



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE
SAN NICOLÁS DE HIDALGO**

**DIVISIÓN DE POSGRADO DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
MAESTRÍA EN ESTRUCTURAS**

**“ENVOLVENTE DE RESISTENCIA LATERAL
DE PISO PARA ESTRUCTURAS DE
CONCRETO REFORZADO”**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
**MAESTRO EN INGENIERÍA
EN EL ÁREA DE ESTRUCTURAS**

PRESENTA:
TÉODULO IVÁN CORNEJO VÁZQUEZ

ASESOR:
DR. HUGO HERNÁNDEZ BARRIOS
DR. EN INGENIERÍA EN EL ÁREA DE ESTRUCTURAS

MORELIA, MICHOACAN, JUNIO 2013.



ÍNDICE

RELACIÓN DE FIGURAS	I
RELACIÓN DE TABLAS	VI
OBJETIVO	X
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 2. CURVA ENVOLVENTE DE RESISTENCIA LATERAL DE PISO PARA ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA CONFINADA	10
2.1 Introducción	11
2.2 Modelo trilineal de cortante para muros de mampostería confinada	11
2.2.1 Hipótesis de cálculo para la curva envolvente	11
2.2.2 Envolvente de comportamiento histerético	12
2.2.3 Ductilidad	14
2.2.4 Torsión	15
2.2.5 Procedimiento de calculo	17
2.3 Programación y aplicación de la metodología	18
2.3.1 Ejemplo 1m	19
2.3.1.1 Envolvente de resistencia lateral de piso en dirección X	22
2.3.1.2 Envolvente de resistencia lateral de piso en dirección Y	27
2.3.1.3 Envolvente de resistencia lateral de piso en direcciones X y Y	30
2.3.2 Ejemplo 2m	35
2.3.2.1 Envolvente de resistencia lateral de piso en dirección X	38
2.3.2.2 Envolvente de resistencia lateral de piso en dirección Y	39
2.3.2.3 Envolvente de resistencia lateral de piso en direcciones X y Y	40
2.3.2.4 Falla por fuerza lateral o por carga axial	41
2.3.3 Ejemplo 3m	47
2.3.3.1 Envolvente de resistencia lateral de piso en dirección X	48
2.3.3.2 Envolvente de resistencia lateral de piso en	50

	dirección Y	
2.3.3.3	Envolvente de resistencia lateral de piso en direcciones X y Y	51
2.4	Conclusiones generales	57
CAPÍTULO 3.	CURVA ENVOLVENTE DE RESISTENCIA LATERAL DE PISO PARA ESTRUCTURAS FORMADAS POR MUROS DE CONCRETO REFORZADO CON BARRAS CORRUGADAS	62
3.1	Introducción	63
3.2	Modelo trilineal de cortante para muros de concreto reforzado con barras corrugadas.	63
3.2.1	Envolvente de comportamiento histerético	63
3.3	Programación y aplicación de la metodología	67
3.3.1	Calibración del programa	67
3.3.1.1	Resultados comparticos con pruebas experimentales	70
3.3.2	Ejemplo 1cb	72
3.3.2.1	Envolvente de resistencia lateral de piso en dirección X	73
3.3.2.2	Envolvente de resistencia lateral de piso en dirección Y	75
3.3.2.3	Envolvente de resistencia lateral de piso en direcciones X y Y	75
3.3.3	Ejemplo 2cb	79
3.3.3.1	Envolvente de resistencia lateral de piso en dirección X	80
3.3.3.2	Envolvente de resistencia lateral de piso en dirección Y	82
3.3.3.3	Envolvente de resistencia lateral de piso en direcciones X y Y	83
3.3.4	Ejemplo 3cb	85
3.3.4.1	Envolvente de resistencia lateral de piso en dirección X	86
3.3.4.2	Envolvente de resistencia lateral de piso en dirección Y	88
3.3.4.3	Envolvente de resistencia lateral de piso en direcciones X y Y	89
3.4	Influencia de la resistencia a compresión del concreto y del porcentaje de acero en el comportamiento sísmico	91
3.4.1	Influencia de la resistencia a compresión del	91

	concreto	
3.4.1.1	Ejemplo de aplicación	97
3.4.2	Influencia del porcentaje de acero	99
3.4.2.1	Ejemplo de aplicación	101
3.5	Conclusiones generales	104

CAPÍTULO 4.	CURVA ENVOLVENTE DE RESISTENCIA LATERAL DE PISO PARA ESTRUCTURAS FORMADAS POR MUROS DE CONCRETO REFORZADO CON MALLA ELECTRO SOLDADA	107
4.1	Introducción	108
4.2	Modelo trilineal de cortante para muros de concreto reforzado con malla electro soldada	108
4.2.1	Envolvente de comportamiento histerético	108
4.3	Programación y aplicación de la metodología	111
4.3.1	Calibración del programa	112
4.3.1.1	Resultados comparticos con pruebas experimentales	115
4.3.2	Ejemplo 1cm	117
4.3.2.1	Envolvente de resistencia lateral de piso en dirección X	118
4.3.2.2	Envolvente de resistencia lateral de piso en dirección Y	119
4.3.2.3	Envolvente de resistencia lateral de piso en direcciones X y Y	1120
4.3.3	Ejemplo 2cm	124
4.3.3.1	Envolvente de resistencia lateral de piso en dirección X	125
4.3.3.2	Envolvente de resistencia lateral de piso en dirección Y	127
4.3.3.3	Envolvente de resistencia lateral de piso en direcciones X y Y	128
4.3.4	Ejemplo 3cm	129
4.3.4.1	Envolvente de resistencia lateral de piso en dirección X	131
4.3.4.2	Envolvente de resistencia lateral de piso en dirección Y	132
4.3.4.3	Envolvente de resistencia lateral de piso en direcciones X y Y	133
4.4	Resistencia y desplazamiento último	135
4.5	Conclusiones generales	138

CAPÍTULO 5. CURVA ENVOLVENTE DE RESISTENCIA LATERAL DE PISO PARA ESTRUCTURAS FORMADAS POR MUROS DE CONCRETO REFORZADO Y MAMPOSTERÍA CONFINADA	140
5.1 Introducción	141
5.2 Modelos trilineales de cortante para muros de concreto reforzado y mampostería confinada	141
5.3 Programación y aplicación de la metodología	141
5.3.1 Ejemplo 1hb	141
5.3.1.1 Envoltente de resistencia lateral de piso en dirección X	143
5.3.1.2 Envoltente de resistencia lateral de piso en dirección Y	144
5.3.1.3 Envoltente de resistencia lateral de piso en direcciones X y Y	145
5.3.2 Ejemplo 1hm	149
5.3.2.1 Envoltente de resistencia lateral de piso	150
5.3.3 Ejemplo 2hb	153
5.3.3.1 Envoltente de resistencia lateral de piso en dirección X	154
5.3.3.2 Envoltente de resistencia lateral de piso en dirección Y	156
5.3.3.3 Envoltente de resistencia lateral de piso en direcciones X y Y	157
5.3.4 Ejemplo 2hm	160
5.3.4.1 Envoltente de resistencia lateral de piso	161
5.3.5 Ejemplo 3hb	163
5.3.5.1 Envoltente de resistencia lateral de piso en dirección X	165
5.3.5.2 Envoltente de resistencia lateral de piso en dirección Y	167
5.3.5.3 Envoltente de resistencia lateral de piso en direcciones X y Y	168
5.3.6 Ejemplo 3hm	169
5.3.6.1 Envoltente de resistencia lateral de piso	170
5.4 Conclusiones generales	172
CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES GENERALES	174
6.1 Capítulo 1	175

6.2	Capítulo 2	175
6.3	Capítulo 3	177
6.4	Capítulo 4	179
6.5	Capítulo 5	181
LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN		183
REFERENCIAS		184
ANEXO A1	Manual de usuario del programa “ENRELA_MA_HHB”	187
ANEXO B1	Manual de usuario del programa “ENRELA_COB_JC”	219
ANEXO C1	Manual de usuario del programa “ENRELA_COM_JC”	245
ANEXO D1	Manual de usuario del programa “ENRELA_COMA_JC”	271

RELACIÓN DE FIGURAS

Figura 1.1	Vivienda de interés social	3
Figura 1.2	Vivienda de 3 niveles con malla electrosoldada	3
Figura 1.3	Conjunto habitacional “Zona Dorada”	4
Figura 1.4	Primer modo de vibrar	6
Figura 1.5	Curva idealizada de histéresis.	7
Figura 1.6	Curva idealizada de histéresis.	8
Figura 2.1	Desplazamientos horizontales impuestos	11
Figura 2.2	Curva idealizada de histéresis	12
Figura 2.3	Curvas para definir los términos de ductilidad	15
Figura 2.4	Fenómeno de torsión	16
Figura 2.5	Posición del centro de masa y rigidez por efecto de torsión	18
Figura 2.6	Planta y elevación de estructura de mampostería confinada	20
Figura 2.6.1	Áreas tributarias para la descarga de los muros	20
Figura 2.7	Evolución de la forma modal	24
Figura 2.7.1	Envolvente de resistencia en la dirección X	26
Figura 2.7.2	Envolvente de resistencia en la dirección Y	29
Figura 2.8	Envolvente de resistencia en las direcciones X y Y	30
Figura 2.9	Criterio de ductilidad en las envolvente de resistencia en dirección X y Y	31
Figura 2.10	Envolventes de resistencia lateral de los diferentes niveles	32
Figura 2.11	Comparación de envolventes de resistencia lateral	33
Figura 2.12	Secuencia de falla en muros ante carga lateral	34
Figura 2.13	Planta de estructura de mampostería confinada	36
Figura 2.14	Envolvente de resistencia lateral en dirección X	38
Figura 2.14.1	Evolución de la forma modal	39
Figura 2.15	Envolvente de resistencia lateral en dirección Y	39
Figura 2.16	Envolvente de resistencia lateral en dirección X y Y	40
Figura 2.17	Envolventes de resistencia lateral de piso	41
Figura 2.17.1	Áreas tributarias para estructura del ejemplo 2m	44
Figura 2.18	Carga axial máxima en el primer entrepiso	44
Figura 2.19	Carga axial máxima en muros del primer entrepiso	45

Figura 2.20	Planta de estructura “más eficiente”.	48
Figura 2.21	Planta de estructura “menos eficiente	48
Figura 2.22	Envoltentes de resistencia lateral en dirección X	49
Figura 2.23	Evolución de la forma modal	50
Figura 2.24	Envoltentes de resistencia lateral en dirección Y	51
Figura 2.25	Envoltentes de resistencia lateral en dirección X y Y	52
Figura 2.26	Cortante actual en la estructura del ejemplo 2m	54
Figura 2.27	Fuerzas y cortantes (kN) del ejemplo 3m “menos eficiente”.	60
Figura 3.1	Curva idealizada de histéresis	63
Figura 3.2	Planta y elevación de estructura de concreto	68
Figura 3.3	Envoltente de resistencia lateral de muro 9	69
Figura 3.4	Envoltente de resistencia lateral de muros	69
Figura 3.5	Comparación de envoltentes de resistencia lateral de muros	70
Figura 3.6	Planta y elevación de estructura de concreto reforzado	73
Figura 3.7	Envoltente de resistencia lateral en dirección X.	74
Figura 3.8	Evolución de la forma modal	74
Figura 3.9	Envoltente de resistencia lateral en dirección Y	75
Figura 3.10	Envoltente de resistencia lateral en dirección X y Y	76
Figura 3.10.1	Envoltentes de resistencia lateral de los diferentes niveles	77
Figura 3.10.2	Comparación de envoltentes de resistencia lateral	78
Figura 3.10.3	Secuencia de falla en muros ante carga lateral	78
Figura 3.11	Distribución en planta de muros	80
Figura 3.12	Envoltente de resistencia lateral en dirección X	81
Figura 3.13	Evolución de la forma modal	82
Figura 3.14	Envoltente de resistencia lateral en dirección Y	82
Figura 3.15	Envoltente de resistencia lateral en dirección X y Y	83
Figura 3.15.1	Secuencia de falla en muros ante carga lateral	84
Figura 3.16	Distribución en planta de muros	86
Figura 3.17	Envoltente de resistencia lateral en dirección X	87
Figura 3.18	Evolución de la forma modal.	88
Figura 3.19	Envoltente de resistencia lateral en dirección Y	88
Figura 3.20	Envoltente de resistencia lateral en dirección X y Y	89

Figura 3.20.1	Secuencia de falla en muros ante carga lateral	90
Figura 3.21	Muro de concreto reforzado con barras	91
Figura 3.21.1	Envolvente resistencia lateral del muro con $f'_c=10$ Mpa	93
Figura 3.22	Resistencia lateral máxima y su desplazamiento asociado del muro, con diferentes f'_c del concreto	95
Figura 3.23	Influencia de la resistencia f'_c del concreto en la ductilidad del muro	96
Figura 3.24	Envolventes de resistencia lateral de piso de la estructura del ejemplo 1cb, con diferentes resistencias f'_c del concreto	97
Figura 3.25	Influencia de f'_c del concreto en la ductilidad de la estructura del ejemplo 1cb	98
Figura 3.26	Resistencia lateral máxima y su desplazamiento asociado del muro, con diferentes p de acero	100
Figura 3.27	Influencia del porcentaje de acero p en la ductilidad del muro	101
Figura 3.28	Envolventes de resistencia lateral de piso de la estructura del ejemplo 1cb, con diferentes p de acero	102
Figura 3.29	Influencia del p de acero en la ductilidad de la estructura del ejemplo 1cb	103
Figura 4.1	Curva idealizada de histéresis	108
Figura 4.2	Planta y elevación de estructura de concreto	113
Figura 4.3	Envolvente de resistencia lateral de muro 22	114
Figura 4.4	Envolvente de resistencia lateral de muros	114
Figura 4.5	Comparación de envolventes de resistencia lateral de muros	115
Figura 4.6	Planta y elevación de estructura de concreto reforzado	117
Figura 4.7	Envolvente de resistencia lateral en dirección X	118
Figura 4.8	Evolución de la forma modal	119
Figura 4.9	Envolvente de resistencia lateral en dirección Y	119
Figura 4.10	Envolvente de resistencia lateral en dirección X y Y	120
Figura 4.10.1	Envolventes de resistencia lateral de los diferentes niveles	122
Figura 4.10.2	Comparación de envolventes de resistencia lateral	123
Figura 4.10.3	Secuencia de falla en muros ante carga lateral	123
Figura 4.11	Distribución en planta de muros	125
Figura 4.12	Envolvente de resistencia lateral en dirección X	126
Figura 4.13	Evolución de la forma modal	127
Figura 4.14	Envolvente de resistencia lateral en dirección Y	127
Figura 4.15	Envolvente de resistencia lateral en dirección X y Y	128

Figura 4.15.1	Secuencia de falla en muros ante carga lateral	129
Figura 4.16	Distribución en planta de muros	130
Figura 4.17	Envolvente de resistencia lateral en dirección X	131
Figura 4.18	Evolución de la forma modal	132
Figura 4.19	Envolvente de resistencia lateral en dirección Y	133
Figura 4.20	Envolvente de resistencia lateral en dirección X y Y	134
Figura 4.20.1	Secuencia de falla en muros ante carga lateral	135
Figura 4.21	Comparación de envolventes de resistencia lateral en direcciones X y Y con $d_u = d_{V_{máx}}$ y $d_u > d_{V_{máx}}$	137
Figura 5.1	Planta y elevación de estructura de concreto reforzado y mampostería confinada	143
Figura 5.2	Evolución de la forma modal.	143
Figura 5.3	Envolventes de resistencia lateral en dirección X	144
Figura 5.4	Envolvente de resistencia lateral en dirección Y	145
Figura 5.5	Envolvente de resistencia lateral en dirección X y Y.	146
Figura 5.6	Envolventes de resistencia lateral de los diferentes niveles	147
Figura 5.7	Comparación de envolventes de resistencia lateral	148
Figura 5.8	Secuencia de falla por carga lateral de los muros del segundo entrepiso	149
Figura 5.9	Envolventes de resistencia lateral	151
Figura 5.10	Envolventes de resistencia lateral de los diferentes niveles	152
Figura 5.11	Planta y elevación de estructura de concreto reforzado y mampostería confinada	154
Figura 5.12	Evolución de la forma modal	155
Figura 5.13	Envolventes de resistencia lateral en dirección X	155
Figura 5.14	Envolvente de resistencia lateral en dirección Y	156
Figura 5.15	Envolvente de resistencia lateral en dirección X y Y	157
Figura 5.16	Comparación de las envolvente de resistencia lateral de los diferentes niveles en dirección Y	158
Figura 5.17	Comparación del estado del muro 1 en cada nivel	159
Figura 5.18	Secuencia de falla por carga lateral de los muros del segundo entrepiso	159
Figura 5.19	Envolventes de resistencia lateral	162
Figura 5.20	Envolventes de resistencia lateral de los diferentes niveles	163
Figura 5.21	Planta de la estructura de concreto reforzado y mampostería confinada	165
Figura 5.22	Evolución de la forma modal	166

Figura 5.23	Envoltentes de resistencia lateral en dirección X	166
Figura 5.24	Envoltente de resistencia lateral en dirección Y	167
Figura 5.25	Envoltente de resistencia lateral en dirección X y Y	168
Figura 5.26	Secuencia de falla por carga lateral de los muros del segundo entrepiso	169
Figura 5.27	Envoltentes de resistencia lateral	171
Figura 5.28	Envoltentes de resistencia lateral de los diferentes niveles	172

RELACIÓN DE TABLAS

Tabla 1.1	Documentos Mexicanos publicados sobre muros de concreto reforzado	5
Tabla 2.1	Propiedades mecánicas de los materiales del ejemplo 1m	19
Tabla 2.2	Características generales de la estructura del ejemplo 1m	19
Tabla 2.3	Esfuerzos a compresión de cada muro del ejemplo 1m	21
Tabla 2.4	Masa concentrada en cada nivel del ejemplo 1m	22
Tabla 2.5	Coordenadas y dirección de los muros del ejemplo 1m	23
Tabla 2.6	Valores de la evolución de la forma modal del ejemplo 1m	23
Tabla 2.7	Matrices de rigidez (kN/mm) en dirección X del ejemplo 1m	25
Tabla 2.8	Valores de resistencia y desplazamiento en dirección X del ejemplo 1m	26
Tabla 2.9	Valores de ductilidad calculados en dirección X del ejemplo 1m	27
Tabla 2.10	Valores de ductilidad calculados en dirección Y del ejemplo 1m	27
Tabla 2.11	Matrices de rigidez (kN/mm) en dirección Y del ejemplo 1m	28
Tabla 2.12	Valores calculados para envoltorio en dirección Y del ejemplo 1m	29
Tabla 2.13	Comparación de valores de ductilidad del ejemplo 1m	30
Tabla 2.15	Fuerzas y cortantes actuantes en la casa habitación (kN)	35
Tabla 2.16	Propiedades mecánicas de los materiales del ejemplo 2m	35
Tabla 2.17	Características generales de la estructura del ejemplo 2m	36
Tabla 2.18	Fuerzas sísmicas del ejemplo 2m	37
Tabla 2.19	Valores de ductilidad en dirección X del ejemplo 2m	38
Tabla 2.20	Valores de ductilidad en dirección Y del ejemplo 2m	40
Tabla 2.21	Comparación de valores de ductilidad del ejemplo 2m	41
Tabla 2.22	Carga axial actuante y resistencia a compresión (PR) en kN	43
Tabla 2.22'	Valores de resistencia máxima ante carga lateral ($V_{máx}$) y factor de comportamiento sísmico (Q).	44
Tabla 2.23	Comparación del cortante actuante y resistente del ejemplo 2m.	46
Tabla 2.24	Propiedades mecánicas de los materiales del ejemplo 3m	47
Tabla 2.25	Características generales de la estructura del ejemplo 3m	47
Tabla 2.26	Valores de ductilidad en dirección X del ejemplo 3m	49
Tabla 2.27	Valores de ductilidad en dirección Y del ejemplo 3m	51

Tabla 2.28	Comparación de valores de ductilidad del ejemplo 3m	52
Tabla 2.29	Comparación de valores de ductilidad, densidad de muros y cortante máximo del ejemplo 3m	53
Tabla 2.30	Masas del i-ésimo nivel	56
Tabla 2.31	Coeficientes sísmicos reducidos para el método simplificado, correspondientes a estructuras del grupo B	57
Tabla 2.32	Coeficientes sísmicos de desempeño de los ejemplos analizados en el capítulo 2	58
Tabla 2.33	Masas del i-ésimo nivel	59
Tabla 2.34	Cortantes y fuerzas sísmicas del Ejemplo 3m “menos eficiente”.	59
Tabla 3.2	Constantes para el cálculo de la distorsión máxima	66
Tabla 3.3	Constantes para el cálculo de la distorsión última.	66
Tabla 3.4	Características y propiedades de muros analizados	67
Tabla 3.5	Valores de resistencia y distorsión del muro 9	68
Tabla 3.6	Comparación de resistencias máximas	70
Tabla 3.6'	Comparación de distorsiones máxima y última	71
Tabla 3.7	Propiedades mecánicas de los materiales del ejemplo 1cb.	72
Tabla 3.8	Características generales de la estructura del ejemplo 1cb	72
Tabla 3.9	Valores de ductilidad en dirección X del ejemplo 1cb	73
Tabla 3.10	Valores de ductilidad en dirección Y del ejemplo 1cb	75
Tabla 3.11	Comparación de valores de ductilidad del ejemplo 1cb	76
Tabla 3.12	Propiedades mecánicas de los materiales del ejemplo 2cb	79
Tabla 3.13	Características generales de la estructura del ejemplo 2cb	79
Tabla 3.14	Valores de ductilidad en dirección X del ejemplo 2cb	81
Tabla 3.15	Valores de ductilidad en dirección Y del ejemplo 2cb	83
Tabla 3.16	Comparación de valores de ductilidad del ejemplo 2cb	84
Tabla 3.17	Propiedades mecánicas de los materiales del ejemplo 3cb	85
Tabla 3.18	Características generales de la estructura del ejemplo 3cb	85
Tabla 3.19	Valores de ductilidad en dirección X del ejemplo 3cb	87
Tabla 3.20	Valores de ductilidad en dirección Y del ejemplo 3cb	89
Tabla 3.21	Comparación de valores de ductilidad del ejemplo 3cb	90
Tabla 3.22	Valores de resistencia y desplazamiento del muro con diferentes $f'c$ del concreto	94
Tabla 3.23	Comparación de valores de ductilidades del muro con diferentes $f'c$ del concreto	96

Tabla 3.24	. Comparación de valores de ductilidades y coeficiente sísmico de desempeño de la estructura del ejemplo 1cb, con diferentes $f'c$ del concreto	98
Tabla 3.25	Valores de resistencia y desplazamiento del muro con diferentes p de acero.	99
Tabla 3.26	Comparación de valores de ductilidades del muro con diferentes p de acero	100
Tabla 3.27	Comparación de valores de ductilidades y coeficiente sísmico de desempeño para la estructura del ejemplo 1cb, variando el p de acero	102
Tabla 3.28	Comparación entre los ejemplo 1cb y 1m	105
Tabla 3.29	Resultados de los ejemplos analizados en el capítulo 3	106
Tabla 4.2	Constantes para el cálculo de la distorsión máxima.	111
Tabla 4.3	Características y propiedades de muros analizados	112
Tabla 4.4	Valores de resistencia y distorsión del muro 22	113
Tabla 4.5	Comparación de los resultados de resistencias máximas	115
Tabla 4.6	Comparación de los resultados de distorsiones máximas y últimas	116
Tabla 4.7	Propiedades mecánicas de los materiales del ejemplo 1cm	117
Tabla 4.8	Características generales de la estructura del ejemplo 1cm	117
Tabla 4.9	Valores de ductilidad en dirección X del ejemplo 1cm	118
Tabla 4.10	Valores de ductilidad en dirección Y del ejemplo 1cm	120
Tabla 4.11	Comparación de valores de ductilidad del ejemplo 1cm	120
Tabla 4.12	Propiedades mecánicas de los materiales del ejemplo 2cm	124
Tabla 4.13	Características generales de la estructura del ejemplo 2cm	124
Tabla 4.14	Valores de ductilidad en dirección X del ejemplo 2cm	126
Tabla 4.15	Valores de ductilidad en dirección Y del ejemplo 2cm	128
Tabla 4.16	Comparación de valores de ductilidad del ejemplo 2cm	128
Tabla 4.17	Propiedades mecánicas de los materiales del ejemplo 3cm	130
Tabla 4.18	Características generales de la estructura del ejemplo 3cm	130
Tabla 4.19	Valores de ductilidad en sentido X del ejemplo 3m	131
Tabla 4.20	Valores de ductilidad en sentido Y del ejemplo 3cm	133
Tabla 4.21	Comparación de valores de ductilidad del ejemplo 3cm	134
Tabla 4.22	Resultados de los ejemplos analizados en el capítulo 4	138
Tabla 5.1	Propiedades mecánicas de los materiales del ejemplo 1hb	142
Tabla 5.2	Características generales de la estructura del ejemplo 1hb	142

Tabla 5.3	Valores de ductilidad en dirección X del ejemplo 1hb	144
Tabla 5.4	Valores de ductilidad en dirección Y del ejemplo 1hb	145
Tabla 5.5	Comparación de valores de ductilidad del ejemplo 1hb	146
Tabla 5.6	Propiedades mecánicas de los materiales del ejemplo 1hm	146
Tabla 5.7	Características generales de la estructura del ejemplo 1hm	150
Tabla 5.8	Comparación de valores de ductilidad del ejemplo 1hm	151
Tabla 5.9	Propiedades mecánicas de los materiales del ejemplo 2hb	153
Tabla 5.10	Características generales de la estructura del ejemplo 2hb	153
Tabla 5.11	Valores de ductilidad en dirección X del ejemplo 2hb	156
Tabla 5.12	Valores de ductilidad en dirección Y del ejemplo 2hb	156
Tabla 5.13	Comparación de valores de ductilidad del ejemplo 2hb	157
Tabla 5.14	Propiedades mecánicas de los materiales del ejemplo 2hm	160
Tabla 5.15	Características generales de la estructura del ejemplo 2hm	161
Tabla 5.16	Comparación de valores de ductilidad del ejemplo 2hm	162
Tabla 5.17	Propiedades mecánicas de los materiales del ejemplo 3hb	164
Tabla 5.18	Características generales de la estructura del ejemplo 3hb.	164
Tabla 5.19	Valores de ductilidad en dirección X del ejemplo 3hb	167
Tabla 5.20	Valores de ductilidad en dirección Y del ejemplo 3hb	167
Tabla 5.21	Comparación de valores de ductilidad del ejemplo 3hb	168
Tabla 5.22	Propiedades mecánicas de los materiales del ejemplo 3hm.	170
Tabla 5.23	Características generales de la estructura del ejemplo 3hm	170
Tabla 5.24	Comparación de valores de ductilidad del ejemplo 3hm	171
Tabla 5.25	Resultados de los ejemplos analizados en el capítulo 5	173
Tabla 6.1	Resultados de los ejemplos analizados en el capítulo 2	177
Tabla 6.2	Comparación entre los ejemplo 1cb y 1m	178
Tabla 6.3	Resultados de los ejemplos analizados en el capítulo 3	179
Tabla 6.4	Resultados de los ejemplos analizados en el capítulo 4	180
Tabla 6.5	Resultados de los ejemplos analizados en el capítulo 5	182

OBJETIVO

El objetivo del presente trabajo es obtener las envolventes de resistencia lateral de piso de estructuras formadas por muros de concreto reforzado con barras corrugadas y con malla electro soldada, así como también de estructuras mixtas, es decir, los primeros niveles de muros de mampostería confinada y los subsecuentes con muros de concreto reforzado, estableciendo niveles de comportamiento y ductilidades de entrepiso. Determinar el coeficiente de ductilidad sísmico Q para este tipo de estructuras.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN.

Cuando el ser humano se volvió sedentario inicio una creciente necesidad de refugiarse de la intemperie; posteriormente con el crecimiento de la población esta necesidad se incrementó a tal grado que se han buscado sistemas constructivos más veloces y eficientes como las edificaciones de muros de concreto reforzado o edificaciones mixtas de concreto reforzado y mampostería.

En diversas partes del mundo se están desarrollando construcciones de viviendas con muros de concreto reforzado, sin embargo, este tipo de construcción estaban poco estudiadas por lo que no garantizaban un adecuado desempeño sísmico, actualmente ya se cuenta con líneas de investigación para poder entender su comportamiento y así garantizar un desempeño aceptable ante estos eventos.

Después del paso del fenómeno climático el niño, 1998 en Ica Perú, se decidió iniciar una investigación, para desarrollar vivienda de interés social, basada en muros de concreto reforzado con malla electro soldada y/o barras corrugadas (Fig. 1.1) para garantizar un adecuado comportamiento estructural.

Dicha investigación se dio por etapas, iniciando con viviendas unifamiliares de un nivel entre los años 1998 y 1999, de dos niveles entre 1999 y 2000, multifamiliares en 2000 y 2001. En el año 2002 la iniciativa privada toma los desarrollos anteriores para implementarlos en el mercado inmobiliario y los llama “muros de ductilidad limitada”.

Apartir del año 2002 la investigación se centró en la aplicación a multifamiliares de 5 niveles en adelante (Fig. 1.1b), analizando el comportamiento ante demanda sísmica y finalmente culmina en el año 2008 con la incorporación de parámetros de modificación de respuesta sísmica en sus reglamentos.



(a) Acero de refuerzo.

(b) Estructuras de 5 niveles.

Figura 1.1. Vivienda de interés social.

(Tomada de <http://blog.pucp.edu.pe/blog/concretoarmado>)

En México, debido a la creciente demanda de viviendas, empresas privadas han desarrollado un sistema constructivo masivo basado en edificaciones de muros de concreto reforzado de 10 cm de espesor, con acero en barras o mallas de alambres soldado (Fig. 1.2 y 1.3).



Figura 1.2. Vivienda de 3 niveles con malla electro soldada.

Dichas empresas que construyen masivamente estas viviendas (Fig. 1.2 y 1.3) las diseñan con los requisitos de NTCCyM-RCDF-2004, algunos referentes a muros de concreto y otros aludiendo a un tipo de “mampostería de alta resistencia” (Flores et al., 2011), sin embargo, su comportamiento no es el mismo al de la mampostería confinada y en las NTCC-RCDF-2004 no se determina como deben ser analizarlas.



Figura 1.3. Conjunto habitacional “Zona Dorada”.

(Tomada de <http://www.imcyc.com/revistacyt>)

Otras empresas desarrollan un sistema de construcción mixto, es decir, los primeros niveles los construyen con muros de concreto de 10 cm de espesor y los niveles subsecuentes con mampostería de barro.

Debido a las características particulares en estas estructuras su comportamiento ante eventos sísmicos esta poco estudiado ya que no se comportan como los muros de concreto confinados ni como los de mampostería confinada. Es por ello que en el presente trabajo se aborda el tema de muros de concreto reforzado con barras corrugadas o malla electro soldada. Por las características de estos muros, de acuerdo a pruebas experimentales realizadas en nuestro país (México), falla primero a cortante que a flexión de allí que se conocen como muros de cortante (Carrillo et al., 2012).

En México también se han realizado investigaciones para predecir el comportamiento de estas estructuras formadas por muros de concreto reforzado

con malla electro soldada o barras corrugadas. En la Tabla 1.1 se mencionan algunos documentos publicados sobre estas investigaciones.

Tabla 1.1 Documentos Mexicanos publicados sobre muros de concreto reforzado.

Titulo	Año	Autores
Ensaye de muros de concreto con diferente relación de aspecto y bajas cuantías de refuerzo, para uso en vivienda.	2007 ¹	Leonardo E. Flores Corona, Sergio M. Alcocer Martínez de Castro , Julián Carrillo León, Alfredo Sánchez Alejandro, Roberto Uribe y Ángel Ponce
Ensayes dinámicos de muros de concreto con relación de aspecto igual a uno.	2008 ¹	Julián Carrillo León y Sergio M. Alcocer
Comportamiento dinámico y cuasi-estático de sistemas estructurales de muros de concreto con aberturas.	2009 ¹	Julián Carrillo León , Sergio M. Alcocer y Roberto Uribe
Efectos del protocolo de ensaye sobre la respuesta de muros de concreto con relación de aspecto igual a uno.	2010 ¹	Julián Carrillo León y Sergio M. Alcocer
Recomendaciones para diseño sísmico de muros de concreto para vivienda.	2010 ¹	Julián Carrillo y Sergio M. Alcocer
Predicción del desempeño a cortante de muros de concreto para vivienda.	2009 ¹	Julián Carrillo León , Sergio M. Alcocer y Roberto Uribe
Propiedades dinámicas de viviendas construidas con muros de concreto.	2012 ²	Julián Carrillo y Sergio M. Alcocer
Ensayos en mesa vibradora de muros de concreto para vivienda de baja altura.	2012 ²	Julián Carrillo y Sergio M. Alcocer
Correlación entre ensayos dinámicos y cuasi estáticos de muros de concreto.	2012 ²	Julián Carrillo y Sergio M. Alcocer
Modelo de comportamiento a cortante de muros de concreto para vivienda.	2012 ²	Julián Carrillo y Sergio M. Alcocer

¹Artículo, ²Serie investigación y desarrollo UNAM.

En estas investigaciones, después de haber realizado ensayos estáticos y dinámicos de muros de concreto reforzado con acero en barras o en malla electro soldada y con diferentes características geométricas, concluyen con la propuesta de ecuaciones para predecir el comportamiento a cortante de este tipo de muros. El artículo “Predicción del desempeño a cortante de muros de concreto para vivienda” de Carillo et al. (2009) menciona la propuesta del modelo trilineal completo en el cual se determinan tres puntos fundamentales: agrietamiento, máximo y ultimo (Fig. 1.5).

Este modelo se expone a detalle en los capítulos 3 y 4 y es la base para desarrollar los programas en lenguaje fortran llamados “ENRELA_COB_JC” y “ENRELA_COM_JC” para cada capítulo respectivamente. En los programa se calculan los efectos por torsión basados en la metodología de Chipol (2001) y se toma como predominante el primer modo de vibrar, Figura 1.4, para el cual se utiliza la metodología del vector inverso de Chopra (1995).

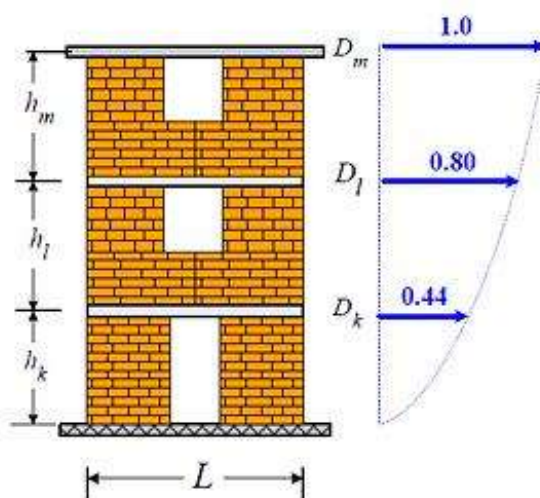


Figura 1.4. Primer modo de vibrar.
(Tomada de Alcocer et al., 2011)

En el capítulo 3 se analizan 3 ejemplos: el primero es el edificio de cuatro niveles propuesto por Alcocer et al. (2011), en el ejemplo 2 una estructura de tres niveles que se construyen actualmente en el estado de México y para el ejemplo 3 una estructuración típica de cinco niveles que actualmente se construye en el estado de Michoacán. Ahora las estructuras se conforman con muros de concreto reforzado con barras corrugadas.

En el capítulo 4 también se analizan los ejemplos del capítulo tres: el primer ejemplo corresponde a el edificio de cuatro niveles propuesto por Alcocer et al. (2011), en el ejemplo 2 una estructura de tres niveles que se construyen actualmente en el estado de México y para el ejemplo 3 una estructuración típica

de cinco niveles que actualmente se construye en el estado de Michoacán. Ahora las estructuras se conforman con muros de concreto reforzado con malla electrosoldada.

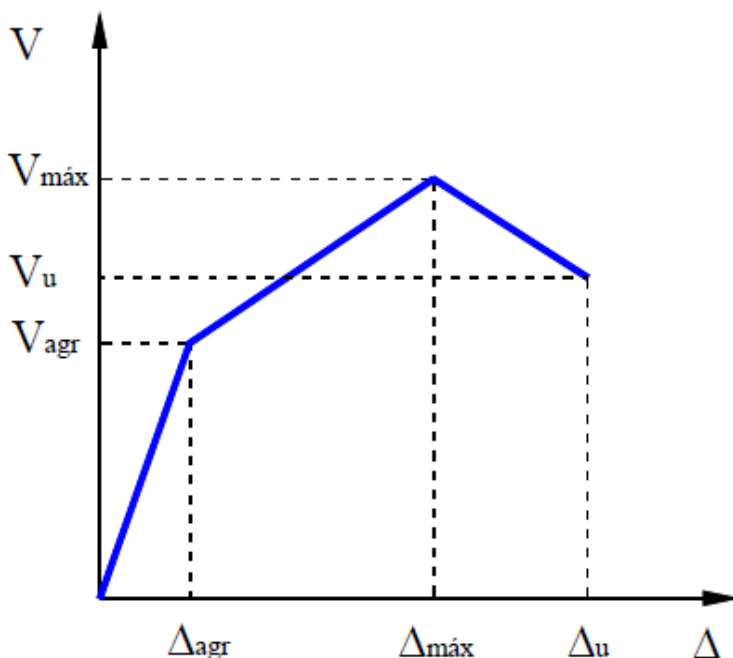


Figura 1.5. Curva idealizada de histéresis.

(Tomada de Carrillo et al., 2009)

Para la mampostería confinada se toma el modelo de cortante propuesto por Alcocer et al. 2011, en el cual se observan los tres puntos que rigen la curva envolvente: agrietamiento, máximo y último (Fig. 1.6). Este modelo se presenta en el capítulo 2, con el cual se desarrolla el programa llamado “ENRELA_MA_HHB” que calcula los efectos por torsión con la metodología descrita por Chipol (2001), el primer modo de vibrar es el predominante y se calcula con la metodología iterativa del vector inverso de Chopra (1995).

En el capítulo 2 se analizan 3 ejemplos: la primera estructura analizada es la descrita por Alcocer et al. (2011) con la finalidad de calibrar el programa y comparar resultados y determinar que funciona adecuadamente el programa desarrollado en este trabajo. El segundo ejemplo corresponde a una edificación de 2 niveles que presenta la Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural (2012) donde analizan la influencia de la torsión sísmica aplicando la metodología descrita por Escobar (2004). Finalmente en el ejemplo 3 se analizan 2 estructuras de 5 niveles que describe Araiza (2002) como “más eficiente” y “menos eficiente” que son edificaciones típicas de la ciudad de México.

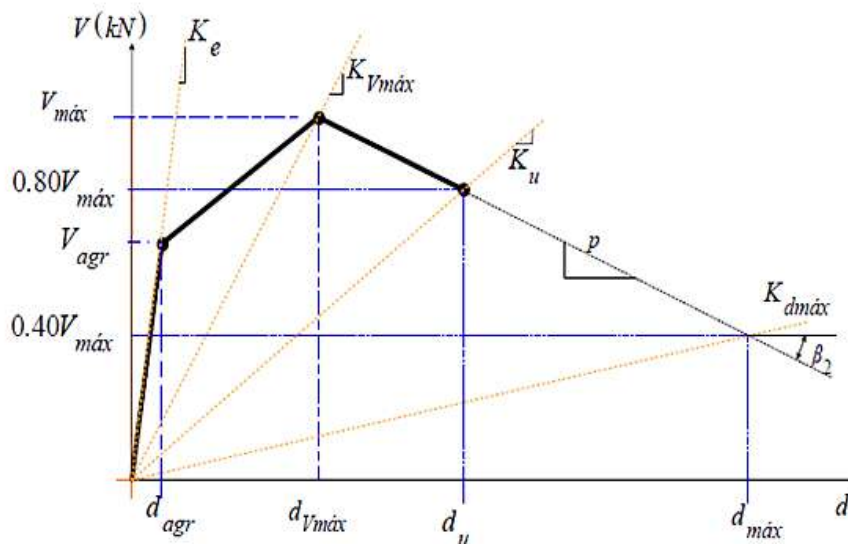


Figura 1.6. Curva idealizada de histéresis.

(Tomada de Alcocer et al., 2011)

En el capítulo 5 se toman los tres modelos mencionados y se desarrolla el programa llamado “ENRELA_COMA_JC” con el que se analizan 6 ejemplos. El primero corresponde a la estructura descrita por Alcocer et al. (2011) de cuatro niveles, el primer entrepiso con muros de concreto reforzado con barras corrugadas y los tres superiores con muros de mampostería confinada. La segunda es la misma estructura descrita por Alcocer et al. (2011) pero ahora de cinco niveles, el primer nivel con muros de concreto reforzado con barras corrugadas y los cuatro superiores de mampostería confinada. Para el tercer ejemplo se utiliza la estructura del ejemplo tres del capítulo tres de cinco niveles pero ahora el primer entrepiso con muros de concreto reforzado con barras corrugadas y los cuatro superiores de mampostería confiando. Los ejemplos cuatro, cinco y seis son las mismas estructuras de los ejemplos uno dos y tres, respectivamente, solo se cambia el tipo de refuerzo en los muros de concreto por malla electrosoldada.

Conclusiones.

En este trabajo se toman los modelos trilineales de cortante para mampostería confinada y concreto reforzado propuestos por Alcocer et al. (2011) y Carrillo et al. (2009), respectivamente.

Basados en estos modelos se desarrollan cuatro programas en lenguaje fortran para analizar estructuras de diferentes niveles y composiciones de materiales: en el capítulo dos ENRELA_MA_HHB para el análisis de estructuras de mampostería

confinada, en el capítulo tres ENRELA_COB_JC para analizar estructuras de concreto reforzado con barras corrugadas, en el capítulo cuatro ENRELA_COM_JC para el análisis de estructuras de concreto reforzado con malla electro soldada y en el capítulo cinco ENRELA_COMA_JC para analizar estructuras mixtas, es decir, muros en los primeros niveles de concreto reforzado ya sea con barras corrugadas o malla electrosoldada y en los superiores con muros de mampostería confinada. Todos los programas calculan los efectos por torsión con la metodología descrita por Chipol (2001), y el primer modo de vibrar con la metodología iterativa del vector inverso de Chopra (1995).

CAPÍTULO 2

**CURVA ENVOLVENTE DE RESISTENCIA LATERAL
DE PISO PARA ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA
CONFINADA.**

2.1 INTRODUCCIÓN.

En este capítulo se aborda el tema sobre la envolvente de resistencia de piso para estructuras formadas por muros de mampostería confinada. Se describe el modelo de predicción propuesto por Alcocer et al. (2011) y se aplica a varios ejemplos.

2.2 MODELO TRILINEAL DE CORTANTE PARA MUROS DE MAMPOSTERÍA CONFINADA.

Se presenta el tema sobre la envolvente de resistencia lateral de piso para estructuras formadas por muros de mampostería confinada del modelo trilineal de resistencia a cortante propuesto por Alcocer et al. (2011). En la gráfica del modelo las ordenadas corresponden a la fuerza cortante y las abscisas al desplazamiento (Fig. 2.2). Se observan los puntos de agrietamiento, máximo y último.

2.2.1 Hipótesis de cálculo para la curva envolvente.

1. Las losas de entrepiso trabajan como diafragmas horizontales rígidos.
2. Los desplazamientos debidos a los efectos por torsión son proporcionales a la rigidez del muro.
3. El primer modo de vibrar es el predominante. Se imponen desplazamientos horizontales que siguen la forma modal de primer modo (Fig. 2.1)
4. La contribución individual de los muros para resistir la fuerza lateral del entrepiso depende de los desplazamientos laterales tomados por el muro y de la forma de la curva idealizada de envolvente de resistencia del muro. Los muros resisten los desplazamientos impuestos hasta agotar su capacidad de ductilidad individual, aunque puede fallar por carga lateral todavía son capaces de resistir carga vertical.
5. En muros con forma de "T", "L" o en forma de cruz, los patines deben ser considerados desligados verticalmente del alma.
6. Las aberturas como puertas y ventanas deben mantener un esquema uniforme de elevación.

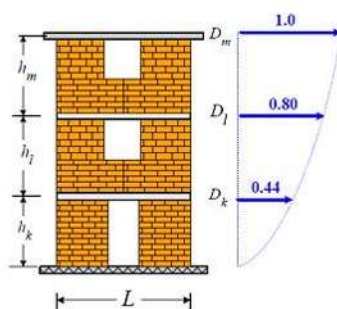


Figura 2.1. Desplazamientos horizontales impuestos.
(Tomada de Alcocer et al. 2011)

2.2.2 Envolvente de comportamiento histerético.

En la Figura 2.2 se muestra la curva trilineal de la envolvente de comportamiento histerético para mampostería confinada por dalas y castillos, donde se identifican tres zonas principales: (a) Zona de comportamiento elástico, es donde se presenta agrietamiento horizontal en los castillos y agrietamiento mínimo en los elementos de mampostería, en esta zona se presenta un comportamiento elástico asociado con una rigidez lateral efectiva, K_e . (b) Zona de máxima resistencia, que está asociada a una carga lateral máxima, $V_{m\acute{a}x}$, y su respectivo desplazamiento, $d_{V_{m\acute{a}x}}$. En esta zona la rigidez del muro, $K_{V_{m\acute{a}x}}$, es más reducida que la rigidez en la que se presentó el primer agrietamiento elástico, lo que permite alcanzar la máxima resistencia. (c) zona de degradación de rigidez y de resistencia, definida por la carga lateral que produce el desplazamiento último, d_u , o justo antes del colapso.

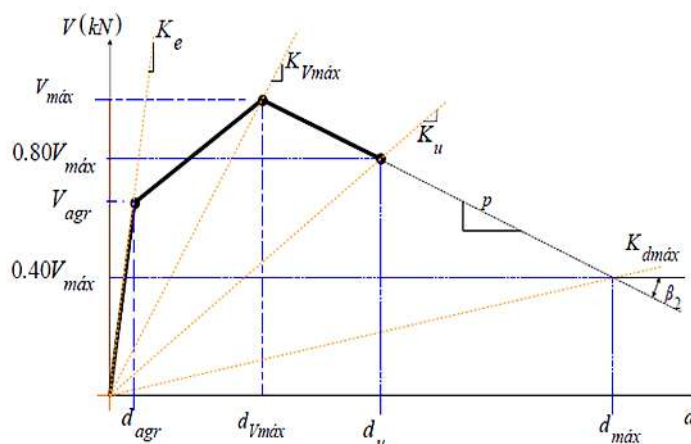


Figura 2.2. Curva idealizada de histéresis.

(Tomada de Alcocer et al., 2011)

A continuación se indican las ecuaciones de los 4 puntos que definen la envolvente de comportamiento histerético observados en la Figura 2.2.

Resistencia (V_{agr}) y desplazamiento (d_{agr}) al agrietamiento.

La fuerza cortante resistente de diseño sugerida en las NTCM-RCDF (2004) es establecida como la fuerza cortante en donde se presentan el primer agrietamiento diagonal de la mampostería, V_{agr} :

$$V_{agr} = [0.5v * _m + 0.3\sigma]A_T \leq 1.5v * _m A_T \quad (1)$$

el desplazamiento asociado es:

$$d_{agr} = \frac{V_{agr}}{K_e} \quad (2)$$

donde K_e es la rigidez en el intervalo elástico:

$$K_e = \left(\frac{H^3}{12E_m I_t} + \frac{1.2H}{G_m A} \right)^{-1} \quad (3)$$

donde H es la altura efectiva del muro, E_m es el módulo de elasticidad de la mampostería, I_t es el momento de inercia de la sección transformada, G_m es el módulo de rigidez al corte, A es el área efectiva al corte, v^*_m es la resistencia a compresión diagonal de la mampostería, σ es el esfuerzo a compresión y A_T es el área transversal del muro.

Resistencia máxima ($V_{m\acute{a}x}$) y desplazamiento máximo ($d_{V_{m\acute{a}x}}$).

$$V_{m\acute{a}x} = 0.3 \left(1.2d_b^2 \sqrt{f'_c f_y} \right) + V_{agr} \quad (4)$$

$$d_{V_{m\acute{a}x}} = \frac{V_{m\acute{a}x}}{0.25 K_e} \quad (5)$$

donde d_b es el diámetro de las varillas; f'_c y f_y son el esfuerzo a compresión del concreto y de fluencia del acero de refuerzo, respectivamente.

Resistencia última (V_u) y desplazamiento último (d_u).

$$V_u = 0.8V_{m\acute{a}x} \quad (6)$$

$$d_u = \frac{V_u}{0.1125 K_e} \quad (7)$$

Resistencia a $d_{m\acute{a}x}$ ($V_{m\acute{a}xx}$) y desplazamiento máximo ($d_{m\acute{a}x}$).

$$V_{m\acute{a}xx} = 0.4V_{m\acute{a}x} \quad (8)$$

$$d_{m\acute{a}x} = \frac{0.4V_{m\acute{a}x}}{0.03 K_e} \quad (9)$$

2.2.3 Ductilidad.

Algunos parámetros que definen el comportamiento sísmico de estructuras de mampostería pueden determinarse si se establece la relación entre resistencia crítica de entrepiso y su correspondiente desplazamiento, es decir, si se determina la curva envolvente de resistencia (Fig. 2.3a) y además se determina el factor de comportamiento sísmico, Q , definido como relación entre la energía que produce el colapso de la estructura y la energía que causa la iniciación del daño (Tomazevic et al., 2004), es decir, el primer cambio de la rigidez estructural,

$$Q = \frac{V_e}{V_{du}} \quad (10)$$

donde V_e es la fuerza elástica y V_{du} es la carga última de diseño. Para estructuras de mampostería confinada de piezas macizas se recomienda un valor de $Q = 2$ (NTCS-RCDF, 2004). El coeficiente sísmico, además de la ductilidad, también depende de la energía histerética, para estructuras relativamente rígidas una forma aproximada de obtener este parámetro (Bazán 1980; Newmark y Hall, 1982; Tomazevic, 1999) es:

$$Q = \sqrt{2\mu_u - 1} \quad (11)$$

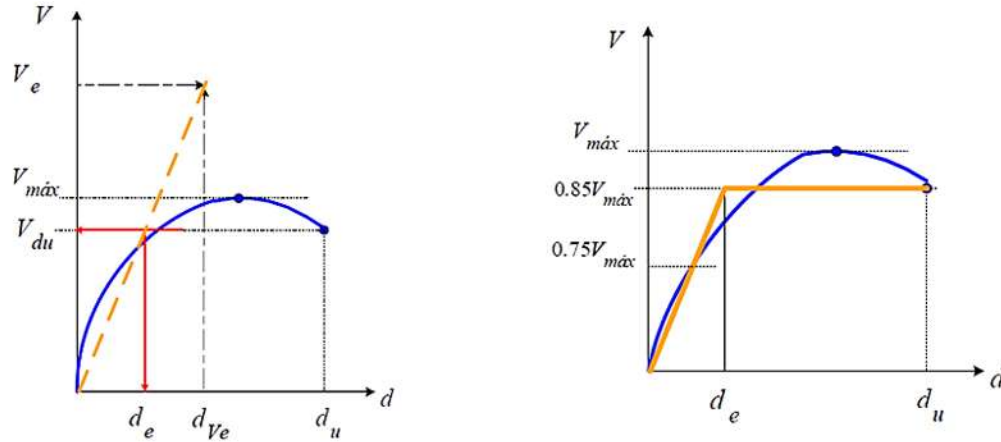
donde μ_u es el factor de ductilidad global. Para estructuras en donde la falla se concentra en la planta baja, la ductilidad global y la del primer nivel se relacionan (Paulay y Priestley, 1990) con:

$$\mu_u = \frac{3}{2n}(\mu_1 - 1) + 1 \quad (12)$$

donde μ_1 es la ductilidad de planta baja y n es el número de niveles de la estructura. La ductilidad μ_1 se obtiene con el criterio de ductilidad equivalente (Priestley, Seible y Calvi, 1996), donde la respuesta se idealiza según una curva bilineal equivalente (Fig. 2.3b) y,

$$\mu_1 = \frac{d_u}{d_e} \quad (13)$$

en donde d_u es el desplazamiento en el intervalo posterior al elástico asociado al 85% de la carga máxima y d_e es el desplazamiento idealizado de diseño.



(a) Factor de comportamiento sísmico, Q . (b) Criterio de ductilidad equivalente

Figura 2.3. Curvas para definir los términos de ductilidad.

2.2.4 Torsión.

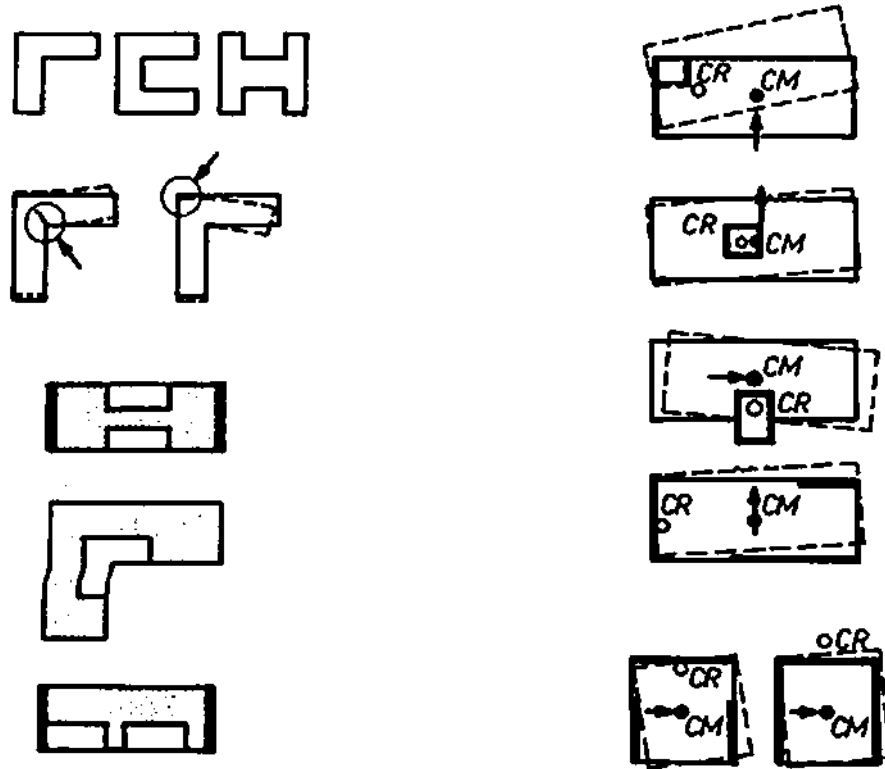
El fenómeno de torsión ocasiona daños importantes en las estructuras, en muchas ocasiones llevándolas al colapso (Chipol, 2001). Este fenómeno se presenta en estructuras con plantas irregulares (Fig. 2.4a). También se presenta en la distribución asimétrica de muros en planta. Se puede tener simetría en planta pero una distribución de muros asimétrica en planta (Fig. 2.4b).

Analíticamente la torsión se presenta cuando el centro de masas (CM) y el centro de rigidez (CR) tienen una excentricidad ($e_x \neq e_y$). Este fenómeno genera un momento torsionante ($M_T = eV$) y se representa como un incremento en las fuerzas cortantes en los muros que conforman la estructura.

Para calcular CR y CM se parte del concepto de centroides, el centroide de rigidez medio en el eje de las abscisas será:

$$\bar{X}_{CR} = \frac{\sum R_y x}{\sum R_y} \quad (14)$$

$$\bar{Y}_{CR} = \frac{\sum R_x y}{\sum R_x} \quad (15)$$



(a) Plantas irregulares en edificios de mampostería.

(b) Distribución asimétrica de muros en planta.

Figura 2.4. Fenómeno de torsión.

(Tomada de Paulay y Priestley, 1992)

Respecto al centro de masas, también se parte del concepto de centroides, solo que ahora está en función de las descargas (W_i) en cada muro, el centro de masas es:

$$\bar{X}_{CM} = \frac{\sum W_i x}{\sum W_i} \quad (16)$$

$$\bar{Y}_{CM} = \frac{\sum W_i y}{\sum W_i} \quad (17)$$

Para calcular las excentricidades:

$$e_x = \bar{X}_{CM} - \bar{X}_{CR} \quad (18)$$

$$e_y = \bar{Y}_{CM} - \bar{Y}_{CR} \quad (19)$$

Si $e_x \neq e_y$ la estructura en estudio presenta momento torsor que se calcula como:

$$M_{Tx} = e_x V_x \quad (20)$$

$$M_{Ty} = e_y V_y \quad (21)$$

Con las ecuaciones mencionadas se obtienen desplazamientos adicionales debidos a la torsión.

2.2.5 Procedimiento de cálculo.

La metodología para calcular la curva envolvente de resistencia de entrepiso es iterativa.

1. Se calculan los datos iniciales:
 - a. Módulo de elasticidad de la mampostería y del concreto.
 - b. Módulo de cortante y compresión diagonal de la mampostería.
 - c. La masa de cada nivel, considerando los entrepisos a ejes medios en alturas.
 - d. Los esfuerzos a compresión actuantes en cada muro.
2. Se imponen desplazamientos arbitrarios inicial e incremental de 5×10^{-09} m y 5×10^{-04} m, respectivamente.
3. Se calcula la resistencia y rigidez de cada muro con las ecuaciones 1 a 9.
4. Para tomar en cuenta los efectos por torsión (Fig. 2.5) se calcula la posición del centro de masas (CM) y el centro de rigideces (CR), las excentricidades (e), el momento por torsión (M_T), la rigidez torsional (K_T) y los desplazamientos por torsión (d_T) con las ecuaciones 14 a 21.

El sistema estructural debe satisfacer la formula aproximada propuesta en el método simplificado de diseño (NTCM-RCDF,2004) para calcular la excentricidad estática en el i -ésimo nivel, e_{si} , que se toma como la distancia entre el centroide de las áreas efectivas de los muros con respecto al centro de cortante. La excentricidad estática debe ser,

$$e_{si} \leq 0.10B_i \quad (22)$$

donde B_i es la dimensión perpendicular del entrepiso medida en dirección del análisis.

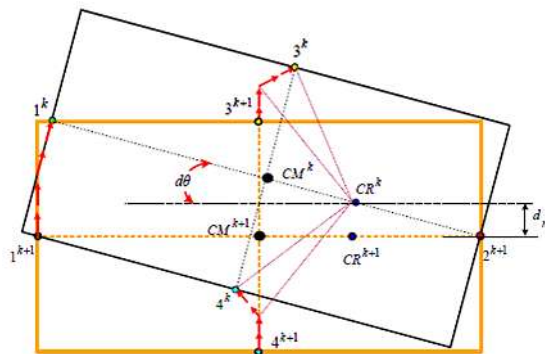


Figura 2.5. Posición del centro de masa y rigidez por efecto de torsión.

5. Se realiza la sumatoria de la fuerza cortante, de la rigidez y desplazamiento de los muros en el sentido del análisis por nivel.
6. Se forma la matriz de rigidez y de masa.
7. Se calcula el primer modo de la forma de vibrar con el método iterativo del vector inverso (Chopra, 1995).
8. Se revisa el criterio de falla ($V_u = 0.8V_{m\acute{a}x}$). Si es mayor se aplica el paso 9 si es menor el paso 2.
9. Se calcula la ductilidad y el factor de comportamiento sísmico con las ecuaciones 10 a 13.
10. Finalizan cálculos.

2.3 PROGRAMACIÓN Y APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA.

En este apartado se aplica el programa desarrollado en lenguaje fortran 90 que se llama "ENRELA_MA_HHB", su diagrama de flujo se encuentra en el apéndice A1 y consta de 5 pasos generales: (1) Inicia con la lectura del archivo de datos que requiere el programa. (2) Se imponen desplazamientos arbitrarios inicial e incremental de 5×10^{-09} m y 5×10^{-04} m, respectivamente. (3) Se calcula la rigidez y resistencia de cada muro. (4) Se calcula la torsión mediante el centro de rigidez y el centro de masas de la estructura. (5) Se calcula el primer modo de vibrar. Se suman las resistencias de cada muro en el sentido del análisis, así como los desplazamientos hasta que llegan a la falla.

Alcocer et al. (2011) presenta como ejemplo para aplicar la metodología, la estructura del Ejemplo 1m, debido a que es una edificación esforzada al límite según las NTCM-RCDF-2004. En este trabajo se analiza dicha estructura para calibrar el programa comparando los valores obtenidos con los resultados presentados por los autores.

2.3.1 Ejemplo 1m.

Calcular la curva envolvente de resistencia lateral de piso de un edificio hipotético de cuatro niveles de mampostería confinada de piezas de barro sólidas que satisface todos los requisitos para que sea aplicado el Método Simplificado de Diseño de las NTCM-RCDF-2004 (Alcocer et al., 2011).

En la Tabla 2.1 se muestran las propiedades mecánicas de los materiales utilizados, el diámetro de las barras corrugadas de los castillos es de 7.94×10^{-3} m. Las propiedades generales se muestran en la Tabla 2.2. En la Figura 2.6 se observa la distribución en planta de los muros y la elevación en la dirección X, en dirección Y el edificio tiene una excentricidad de 0.83 m que es el 97% de ancho en planta del edificio, siendo la excentricidad máxima permitida en esa dirección de 0.85m.

Tabla 2.1 Propiedades mecánicas de los materiales del ejemplo 1m.

Material	Propiedad mecánica	Resistencia(Mpa)
Mampostería	f^*m	1.5
	Em	1200
	Gm	480
	v^*m	0.35
Concreto	$f'c$	15
	Ec	18203.02
Acero	f_y	420
	Es	200000

Tabla 2.2 Características generales de la estructura del ejemplo 1m.

Característica	Datos
Ubicación	Zona III, DF
Coefficiente sísmico (c)	0.19
Uso	Oficinas
Entrepiso	2.50 m
Espesor de losa	0.10 m
Espesor de muros	0.12 m

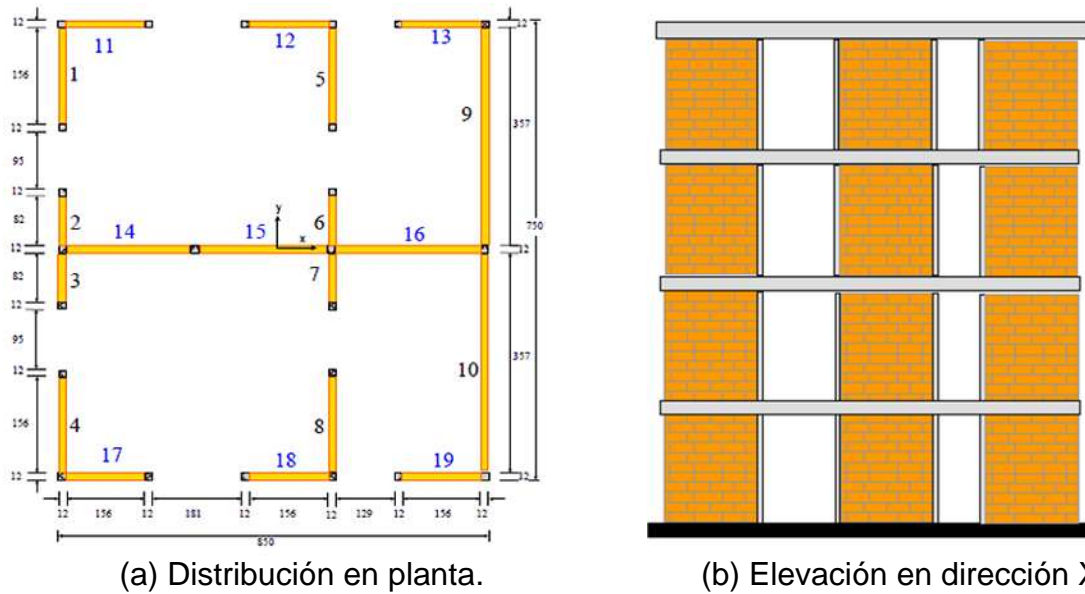


Figura 2.6. Planta y elevación de estructura de mampostería confinada.
(Tomada de Sergio Alcocer et al, 2011)

Para obtener el esfuerzo a compresión actuante en cada muro se utilizó el criterio de áreas tributarias y estas se calcularon de acuerdo a la Figura 2.6.1 Se considera que el peso del muro es de 1951.50 kg/m^3 y que en la azotea se tiene una carga de servicio de 530 kg/m^2 , en los niveles inferiores de 650 kg/m^2 . Con estos datos, se utiliza la ecuación 23 para obtener los esfuerzos a compresión de cada muro.

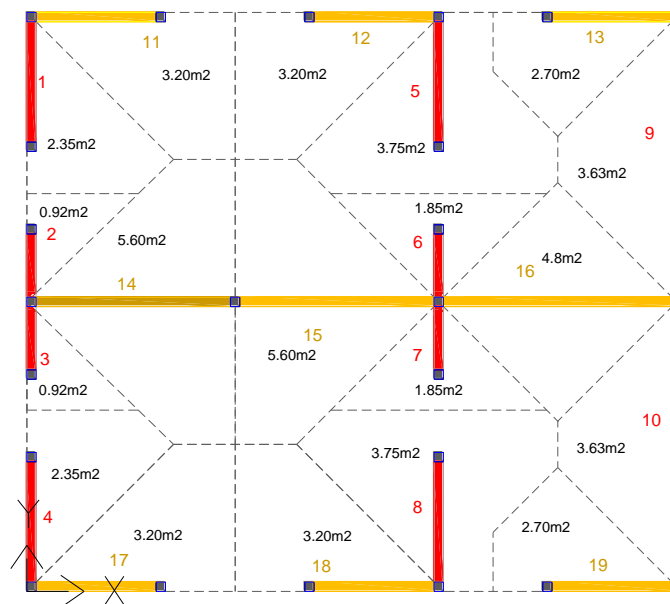


Figura 2.6.1. Áreas tributarias para la descarga de los muros.

$$fcm_{i,j} = \frac{P_{i,j}}{A_{i,j}}, \quad (23)$$

donde $P_{i,j}$ y $A_{i,j}$ es la carga axial y el área del muro j en el nivel i , respectivamente.

Por ejemplo, para obtener el esfuerzo a compresión del muro 1 en el nivel 4, sustituyendo valores y tomando la igualdad de $1kgf/m^2 = 9.8067 \times 10^{-6} Mpa$ se tiene que

$$fcm_{4,1} = \frac{2.35(530)+1.56(0.12)2.4(1951.5)}{1.56(0.12)} = 11336.91 \frac{kg}{m^2} = 0.11 Mpa.$$

El esfuerzo a compresión del muro 1 en el nivel 4 es de $0.11 Mpa$. De la misma manera se calcula el resto de los esfuerzos y los resultados se concentran en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3 Esfuerzos a compresión de cada muro del ejemplo 1m.

Muro	Esfuerzo a compresión actuante (Mpa)			
	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4
1	0.490	0.360	0.240	0.110
2	0.410	0.310	0.200	0.900
3	0.410	0.310	0.200	0.900
4	0.490	0.360	0.240	0.110
5	0.650	0.490	0.320	0.150
6	0.630	0.470	0.310	0.140
7	0.630	0.470	0.310	0.140
8	0.650	0.490	0.320	0.150
9	0.390	0.290	0.190	0.090
10	0.390	0.290	0.190	0.090
11	0.600	0.440	0.290	0.130
12	0.600	0.440	0.290	0.130
13	0.530	0.390	0.260	0.120
14	0.630	0.470	0.300	0.140
15	0.630	0.470	0.300	0.140
16	0.510	0.380	0.250	0.110
17	0.600	0.440	0.290	0.130
18	0.600	0.440	0.290	0.130
19	0.530	0.390	0.260	0.120

Para calcular las masas de cada entrepiso se utiliza la ecuación 24.

$$M_i = \frac{W_i}{g} \quad (24)$$

Como ejemplo se calcula la masa del nivel 4, se toma como $1kg = 9.8067 \times 10^{-3} kN$. Se tiene un área en planta de $63.75m^2$, longitud total de muros de 34.04 m y altura de muros de 2.4 m, tomando el criterio de altura media y sustituyendo valores en la ecuación 24 se tiene:

$$M_4 = \frac{63.75(530) + 34.04(0.12)2.4(1951.5)0.5}{9.81} = \frac{43353.28 kg}{9.81 \frac{m}{s^2}} = \frac{425.15 kN}{9810 \frac{mm}{s^2}} = 0.0433 kN * s^2 / mm.$$

De igual manera se calculan las masas de los demás niveles, los resultados se concentran en la Tabla 2.4.

Tabla 2.4 Masa concentrada en cada nivel del ejemplo 1m.

Nivel	M (kN*s ² /mm)
4	0.0433
3	0.0605
2	0.0605
1	0.0605

2.3.1.1 Envoltente de resistencia lateral de piso en dirección X.

Para calcular la curva de capacidad en dirección X de la estructura, se obtienen las coordenadas del centro de gravedad de cada muro de acuerdo con la ubicación de los ejes de la Figura 2.6.1. Los muros que trabajan en esta dirección son del 11 al 19, en la Tabla 2.5 se concentran dichas coordenadas. La altura de todos los muros es de 2.40 m.

Con los datos mencionados de los muros 11 a 19, se forma el archivo de datos y se ejecuta el programa (ENRELA_MA_HHB.F90) para calcular la envoltente. El programa proporciona varios archivos de datos, entre los cuales se encuentra la evolución del primer modo de vibrar, los valores de este archivo se muestran en la Tabla 2.6, estos valores están normalizados respecto al nivel de azotea de la estructura (Nivel 4) y la gráfica se presenta en la Figura 2.7a en la cual se observa: (1) el comportamiento elástico, (2) carga máxima y (3) en la falla de la estructura. La Figura 2.7b corresponde a los valores obtenidos por Alcocer et al. (2001), al comparar las gráficas se observa que son similares, en ambas figuras falla el primer nivel, también la evolución del modo de vibrar es similar, con ello se verifica que el programa funciona adecuadamente.

En la Tabla 2.7 se presentan las matrices de rigidez de piso. Por cada incremento en los desplazamientos se obtiene una matriz de rigidez.

Tabla 2.5 Coordenadas y dirección de los muros del ejemplo 1m.

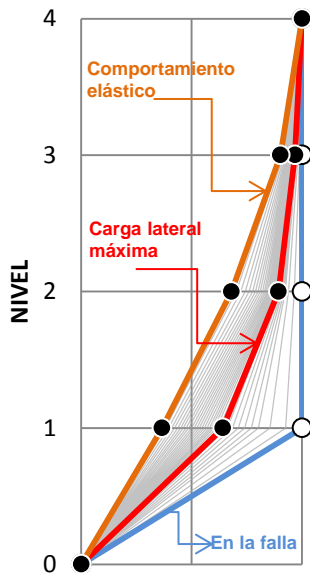
Muro	Centro de gravedad		Dirección
	x	y	
1	0.06	6.60	Y
2	0.06	4.28	Y
3	0.06	3.22	Y
4	0.06	0.90	Y
5	5.35	6.6	Y
6	5.35	4.28	Y
7	5.35	3.28	Y
8	5.35	0.90	Y
9	8.44	5.66	Y
10	8.44	1.91	Y
11	0.90	7.44	X
12	4.51	7.44	X
13	7.60	7.44	X
14	1.38	3.75	X
15	4.09	3.75	X
16	6.96	3.75	X
17	0.90	0.06	X
18	4.51	0.06	X
19	7.60	0.06	X

Tabla 2.6 Valores de la evolución de la forma modal del ejemplo 1m

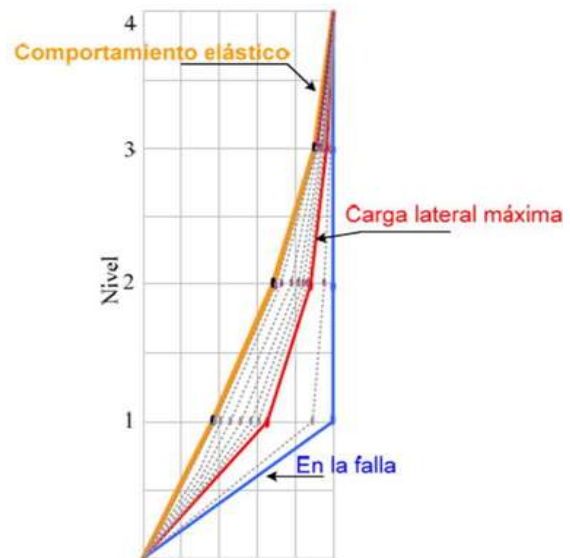
Ciclo	Forma modal	Ciclo	Forma modal	Ciclo	Forma modal	Ciclo	Forma modal	Ciclo	Forma modal	Ciclo	Forma modal	Ciclo	Forma modal
1	0	4	0	7	0	10	0	13	0	16	0	19	0
	0.3656		0.3656		0.3656		0.3656		0.3664		0.3951		0.4369
	0.6809		0.6809		0.6809		0.6809		0.6813		0.7236		0.7763
	0.9026		0.9026		0.9026		0.9026		0.9027		0.9161		0.9325
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
2	0	5	0	8	0	11	0	14	0	17	0	20	0
	0.3656		0.3656		0.3656		0.3656		0.37		0.4095		0.4499
	0.6809		0.6809		0.6809		0.6809		0.6865		0.7434		0.7897
	0.9026		0.9026		0.9026		0.9026		0.9043		0.9223		0.9367
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
3	0	6	0	9	0	12	0	15	0	18	0	21	0
	0.3656		0.3656		0.3656		0.3656		0.3811		0.4235		0.4625
	0.6809		0.6809		0.6809		0.6809		0.7029		0.7609		0.8015
	0.9026		0.9026		0.9026		0.9026		0.9096		0.9278		0.9404
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	

Cont. Tabla 2.6 Valores de la evolución de la forma modal del ejemplo 1m.

Ciclo	Forma modal	Ciclo	Forma modal	Ciclo	Forma modal	Ciclo	Forma modal	Ciclo	Forma modal	Ciclo	Forma modal	Ciclo	Forma modal
22	0	26	0	30	0	34	0	37	0	40	0	43	0
	0.475		0.5235		0.5694		0.6129		0.6614		0.74		0.8544
	0.812		0.8446		0.8674		0.8847		0.8985		0.9137		0.9386
	0.9436		0.9536		0.9605		0.9657		0.9699		0.9744		0.9819
	1		1		1		1		1		1		1
23	0	27	0	31	0	35	0	38	0	41	0	44	0
	0.4873		0.5352		0.5803		0.6255		0.6846		0.7708		0.9258
	0.8214		0.8511		0.8721		0.8888		0.9035		0.9189		0.9648
	0.9465		0.9555		0.9619		0.967		0.9714		0.976		0.9896
	1		1		1		1		1		1		1
24	0	28	0	32	0	36	0	39	0	42	0	45	0
	0.4995		0.5468		0.5909		0.6417		0.711		0.8021		1
	0.8299		0.857		0.8764		0.8936		0.9085		0.9241		1
	0.9491		0.9573		0.9632		0.9684		0.9729		0.9775		1
	1		1		1		1		1		1		1
25	0	29	0	33	0		0		0		0		0
	0.5115		0.5582		0.6017								
	0.8376		0.8624		0.8806								
	0.9514		0.959		0.9645								
	1		1		1								



(a) Calculado en este trabajo.



(b) Tomada de Sergio Alcocer et al, 2011.

Figura 2.7. Evolución de la forma modal.

Tabla 2.7 Matrices de rigidez (kN/mm) en dirección X del ejemplo 1m.

$K_1 = \begin{pmatrix} 648.82 & -324.41 & 0 & 0 \\ -324.41 & 648.82 & -324.41 & 0 \\ 0 & -324.41 & 648.82 & -324.41 \\ 0 & 0 & -324.41 & 648.82 \end{pmatrix}$	$K_2 = \begin{pmatrix} 648.82 & -324.41 & 0 & 0 \\ -324.41 & 648.82 & -324.41 & 0 \\ 0 & -324.41 & 648.82 & -324.41 \\ 0 & 0 & -324.41 & 648.82 \end{pmatrix}$	$K_3 = \begin{pmatrix} 648.82 & -324.41 & 0 & 0 \\ -324.41 & 648.82 & -324.41 & 0 \\ 0 & -324.41 & 648.82 & -324.41 \\ 0 & 0 & -324.41 & 648.82 \end{pmatrix}$	$K_4 = \begin{pmatrix} 648.82 & -324.41 & 0 & 0 \\ -324.41 & 648.82 & -324.41 & 0 \\ 0 & -324.41 & 648.82 & -324.41 \\ 0 & 0 & -324.41 & 648.82 \end{pmatrix}$	$K_5 = \begin{pmatrix} 648.82 & -324.41 & 0 & 0 \\ -324.41 & 648.82 & -324.41 & 0 \\ 0 & -324.41 & 648.82 & -324.41 \\ 0 & 0 & -324.41 & 648.82 \end{pmatrix}$	$K_6 = \begin{pmatrix} 648.82 & -324.41 & 0 & 0 \\ -324.41 & 648.82 & -324.41 & 0 \\ 0 & -324.41 & 648.82 & -324.41 \\ 0 & 0 & -324.41 & 648.82 \end{pmatrix}$	$K_7 = \begin{pmatrix} 648.82 & -324.41 & 0 & 0 \\ -324.41 & 648.82 & -324.41 & 0 \\ 0 & -324.41 & 648.82 & -324.41 \\ 0 & 0 & -324.41 & 648.82 \end{pmatrix}$	$K_8 = \begin{pmatrix} 648.82 & -324.41 & 0 & 0 \\ -324.41 & 648.82 & -324.41 & 0 \\ 0 & -324.41 & 648.82 & -324.41 \\ 0 & 0 & -324.41 & 648.82 \end{pmatrix}$	$K_9 = \begin{pmatrix} 648.82 & -324.41 & 0 & 0 \\ -324.41 & 648.82 & -324.41 & 0 \\ 0 & -324.41 & 648.82 & -324.41 \\ 0 & 0 & -324.41 & 648.82 \end{pmatrix}$	$K_{10} = \begin{pmatrix} 648.82 & -324.41 & 0 & 0 \\ -324.41 & 648.82 & -324.41 & 0 \\ 0 & -324.41 & 648.82 & -324.41 \\ 0 & 0 & -324.41 & 648.82 \end{pmatrix}$	$K_{11} = \begin{pmatrix} 648.82 & -324.41 & 0 & 0 \\ -324.41 & 648.82 & -324.41 & 0 \\ 0 & -324.41 & 648.82 & -324.41 \\ 0 & 0 & -324.41 & 648.82 \end{pmatrix}$	$K_3 = \begin{pmatrix} 315.048 & -175.571 & 0 & 0 \\ -175.571 & 499.981 & -324.41 & 0 \\ 0 & -324.41 & 648.82 & -324.41 \\ 0 & 0 & -324.41 & 648.82 \end{pmatrix}$	$K_3 = \begin{pmatrix} 301.228 & -170.373 & 0 & 0 \\ -170.373 & 494.763 & -324.41 & 0 \\ 0 & -324.41 & 648.82 & -324.41 \\ 0 & 0 & -324.41 & 648.82 \end{pmatrix}$	$K_3 = \begin{pmatrix} 289.045 & -165.953 & 0 & 0 \\ -165.953 & 490.363 & -324.41 & 0 \\ 0 & -324.41 & 648.82 & -324.41 \\ 0 & 0 & -324.41 & 648.82 \end{pmatrix}$	$K_3 = \begin{pmatrix} 278.27 & -162.192 & 0 & 0 \\ -162.192 & 486.602 & -324.41 & 0 \\ 0 & -324.41 & 648.82 & -324.41 \\ 0 & 0 & -324.41 & 648.82 \end{pmatrix}$	$K_3 = \begin{pmatrix} 268.713 & -158.992 & 0 & 0 \\ -158.992 & 483.402 & -324.41 & 0 \\ 0 & -324.41 & 648.82 & -324.41 \\ 0 & 0 & -324.41 & 648.82 \end{pmatrix}$	$K_3 = \begin{pmatrix} 260.216 & -156.272 & 0 & 0 \\ -156.272 & 480.682 & -324.41 & 0 \\ 0 & -324.41 & 648.82 & -324.41 \\ 0 & 0 & -324.41 & 648.82 \end{pmatrix}$	$K_3 = \begin{pmatrix} 252.644 & -153.96 & 0 & 0 \\ -153.96 & 478.37 & -324.41 & 0 \\ 0 & -324.41 & 648.82 & -324.41 \\ 0 & 0 & -324.41 & 648.82 \end{pmatrix}$	$K_3 = \begin{pmatrix} 245.88 & -151.994 & 0 & 0 \\ -151.994 & 476.404 & -324.41 & 0 \\ 0 & -324.41 & 648.82 & -324.41 \\ 0 & 0 & -324.41 & 648.82 \end{pmatrix}$	$K_3 = \begin{pmatrix} 239.821 & -150.321 & 0 & 0 \\ -150.321 & 474.731 & -324.41 & 0 \\ 0 & -324.41 & 648.82 & -324.41 \\ 0 & 0 & -324.41 & 648.82 \end{pmatrix}$	$K_3 = \begin{pmatrix} 234.184 & -148.892 & 0 & 0 \\ -148.892 & 473.302 & -324.41 & 0 \\ 0 & -324.41 & 648.82 & -324.41 \\ 0 & 0 & -324.41 & 648.82 \end{pmatrix}$	$K_3 = \begin{pmatrix} 229.143 & -147.866 & 0 & 0 \\ -147.866 & 472.276 & -324.41 & 0 \\ 0 & -324.41 & 648.82 & -324.41 \\ 0 & 0 & -324.41 & 648.82 \end{pmatrix}$	$K_3 = \begin{pmatrix} 224.489 & -147.327 & 0 & 0 \\ -147.327 & 471.737 & -324.41 & 0 \\ 0 & -324.41 & 648.82 & -324.41 \\ 0 & 0 & -324.41 & 648.82 \end{pmatrix}$	$K_3 = \begin{pmatrix} 220.125 & -147.68 & 0 & 0 \\ -147.68 & 472.09 & -324.41 & 0 \\ 0 & -324.41 & 648.82 & -324.41 \\ 0 & 0 & -324.41 & 648.82 \end{pmatrix}$	$K_3 = \begin{pmatrix} 217.536 & -149.977 & 0 & 0 \\ -149.977 & 474.387 & -324.41 & 0 \\ 0 & -324.41 & 648.82 & -324.41 \\ 0 & 0 & -324.41 & 648.82 \end{pmatrix}$	$K_3 = \begin{pmatrix} 217.385 & -154.778 & 0 & 0 \\ -154.778 & 479.188 & -324.41 & 0 \\ 0 & -324.41 & 648.82 & -324.41 \\ 0 & 0 & -324.41 & 648.82 \end{pmatrix}$	$K_3 = \begin{pmatrix} 220.464 & -162.802 & 0 & 0 \\ -162.802 & 487.212 & -324.41 & 0 \\ 0 & -324.41 & 648.82 & -324.41 \\ 0 & 0 & -324.41 & 648.82 \end{pmatrix}$	$K_3 = \begin{pmatrix} 227.937 & -175.128 & 0 & 0 \\ -175.128 & 499.538 & -324.41 & 0 \\ 0 & -324.41 & 648.82 & -324.41 \\ 0 & 0 & -324.41 & 648.82 \end{pmatrix}$	$K_3 = \begin{pmatrix} 241.557 & -193.41 & 0 & 0 \\ -193.41 & 517.82 & -324.41 & 0 \\ 0 & -324.41 & 648.82 & -324.41 \\ 0 & 0 & -324.41 & 648.82 \end{pmatrix}$	$K_3 = \begin{pmatrix} 263.976 & -220.203 & 0 & 0 \\ -220.203 & 544.613 & -324.41 & 0 \\ 0 & -324.41 & 648.82 & -324.41 \\ 0 & 0 & -324.41 & 648.82 \end{pmatrix}$	$K_3 = \begin{pmatrix} 293.367 & -259.492 & 0 & 0 \\ -259.492 & 583.903 & -324.41 & 0 \\ 0 & -324.41 & 648.82 & -324.41 \\ 0 & 0 & -324.41 & 648.82 \end{pmatrix}$	$K_3 = \begin{pmatrix} 342.824 & -324.41 & 0 & 0 \\ -324.41 & 648.82 & -324.41 & 0 \\ 0 & -324.41 & 648.82 & -324.41 \\ 0 & 0 & -324.41 & 648.82 \end{pmatrix}$	$K_3 = \begin{pmatrix} 324.41 & -324.41 & 0 & 0 \\ -324.41 & 648.82 & -324.41 & 0 \\ 0 & -324.41 & 648.82 & -324.41 \\ 0 & 0 & -324.41 & 648.82 \end{pmatrix}$
--	--	--	--	--	--	--	--	--	---	---	--	--	--	---	--	--	---	---	--	--	--	--	---	--	--	--	--	---	--	--	---	--

Tabla 2.8 Valores de resistencia y desplazamiento en dirección X del ejemplo 1m.

Desplazamiento (mm)	Resistencia (kN)	Desplazamiento (mm)	Resistencia (kN)	Desplazamiento (mm)	Resistencia (kN)
0.00E+00	0.00E+00	2.58462485	731.329683	8.55238947	770.745791
1.25E-06	0.00485746	2.85080091	733.087732	9.00760398	773.752408
0.18253686	56.8481153	3.15382462	735.089154	9.46882271	775.023669
0.36507189	113.695662	3.47426449	737.205607	9.46882271	775.023669
0.54760693	170.543209	3.80527586	739.391883	9.94486289	775.682397
0.73014196	227.390756	4.14532237	741.637834	10.4374365	772.63064
0.91267699	284.238303	4.49465763	743.945136	10.9667938	762.032521
1.09521203	341.085849	4.85390164	746.317884	11.5739319	749.877172
1.27774706	397.933396	5.2235759	748.759522	12.2613565	736.114427
1.46028209	454.780943	5.60398879	751.272087	13.0336177	720.653194
1.64281713	511.62849	5.99523184	753.856183	13.891204	703.483688
1.82535216	568.476037	6.39719577	756.511089	14.8276606	684.735142
2.00788719	625.323583	6.80959005	759.234886	15.8276569	664.714486
2.19042223	680.51916	7.23196036	762.024573	16.8666956	548.410616
2.19042223	680.51916	7.66371255	764.876225	18.385746	324.689855
2.37703979	722.373596	8.10412755	767.785094		

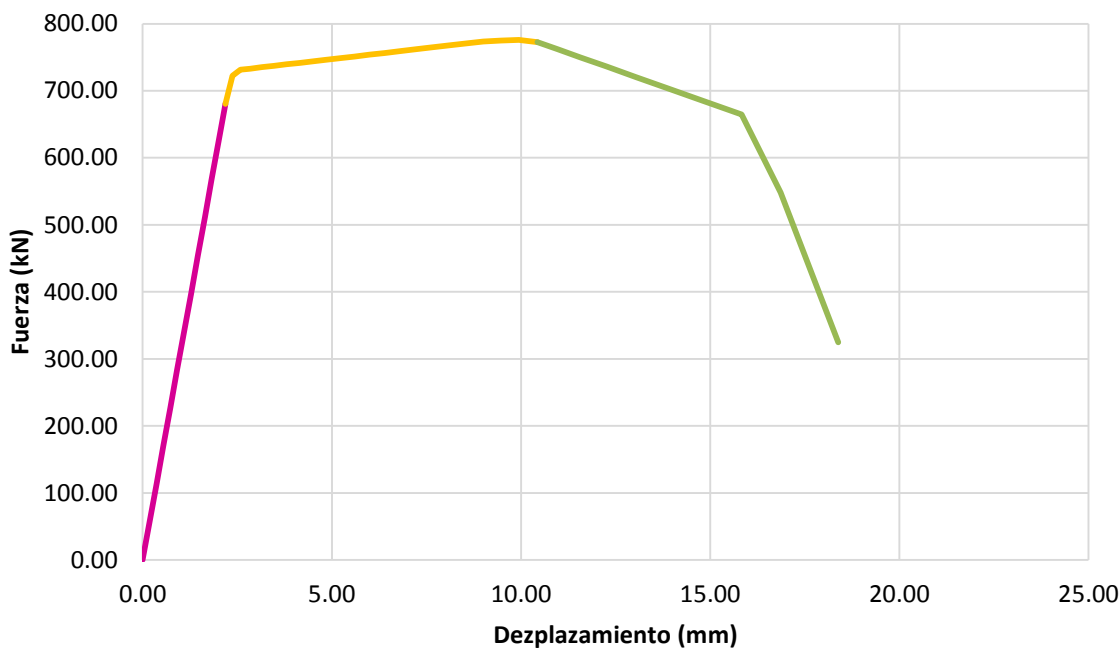


Figura 2.7.1. Envolvente de resistencia en la dirección X.

Los valores que corresponden a la envolvente de resistencia lateral de piso se muestran en la Tabla 2.8, al graficar dichos valores se obtiene la curva mostrada

en la Figura 2.7.1 en la cual se observa que la resistencia máxima es de 775.68 kN, con un desplazamiento de 9.94 mm.

En la Tabla 2.9 se muestran los valores de ductilidad y del factor de comportamiento sísmico obtenidos con el programa.

Tabla 2.9 Valores de ductilidad calculados en dirección X del ejemplo 1m.

Dirección	μ_1	μ_u	Q
X	6.92	3.22	2.33

2.3.1.2 Envolvente de resistencia lateral de piso en dirección Y.

Ahora se obtendrá la curva de capacidad para los muros que se encuentran en la dirección Y según la Figura 2.6.1, las coordenadas del centro de gravedad de cada muro en esta dirección ya se obtuvieron (Tabla 2.5). Los muros que trabajan en esta dirección son del 1 al 10 y sus esfuerzos a compresión se muestran en la Tabla 2.3.

Con los datos mencionados de los muros, se ejecuta el programa y se obtienen los valores referentes a ductilidades y del factor de comportamiento sísmico que se muestran en la Tabla 2.10.

Tabla 2.10 Valores de ductilidad calculados en dirección Y del ejemplo 1m.

Dirección	μ_1	μ_u	Q
Y	6.44	3.04	2.25

En la Tabla 2.11 se muestran las matrices de rigidez de piso, por cada incremento en los desplazamientos se obtiene una matriz de rigidez de piso hasta llegar a la falla de la estructura.

Los valores que corresponden a la envolvente de resistencia lateral de piso, se muestran en la Tabla 2.12, la curva de estos valores es la correspondiente a la Figura 2.7.2 en la cual se observa que la resistencia máxima es de 777.34 kN, con un desplazamiento de 8.50 mm.

Tabla 2.11 Matrices de rigidez (kN/mm) en dirección Y del ejemplo 1m.

$K_1 = \begin{pmatrix} 616.144 & -308.07 & 0 & 0 \\ -308.072 & 616.144 & -308.072 & 0 \\ 0 & -308.07 & 616.144 & -308.072 \\ 0 & 0 & -308.072 & 308.072 \end{pmatrix}$	$K_{12} = \begin{pmatrix} 581.745 & -292.603 & 0 & 0 \\ -292.603 & 600.675 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -308.072 & 308.072 \\ 0 & 0 & 308.072 & 0 \end{pmatrix}$	$K_{13} = \begin{pmatrix} 290.332 & -179.124 & 0 & 0 \\ -179.124 & 487.196 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -308.072 & 308.072 \\ 0 & 0 & 308.072 & 0 \end{pmatrix}$	$K_{14} = \begin{pmatrix} 561.745 & -292.603 & 0 & 0 \\ -292.603 & 600.675 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -308.072 & 308.072 \\ 0 & 0 & 308.072 & 0 \end{pmatrix}$	$K_{15} = \begin{pmatrix} 280.664 & -176.589 & 0 & 0 \\ -176.589 & 484.661 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -308.072 & 308.072 \\ 0 & 0 & 308.072 & 0 \end{pmatrix}$	$K_{16} = \begin{pmatrix} 552.314 & -280.839 & 0 & 0 \\ -280.839 & 588.911 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -308.072 & 308.072 \\ 0 & 0 & 308.072 & 0 \end{pmatrix}$	$K_{17} = \begin{pmatrix} 272.396 & -174.651 & 0 & 0 \\ -174.651 & 482.723 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -308.072 & 308.072 \\ 0 & 0 & 308.072 & 0 \end{pmatrix}$	$K_{18} = \begin{pmatrix} 469.932 & -246.36 & 0 & 0 \\ -246.36 & 552.601 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -308.072 & 308.072 \\ 0 & 0 & 308.072 & 0 \end{pmatrix}$	$K_{19} = \begin{pmatrix} 512.461 & -264.152 & 0 & 0 \\ -264.152 & 571.205 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -308.072 & 308.072 \\ 0 & 0 & 308.072 & 0 \end{pmatrix}$	$K_{20} = \begin{pmatrix} 431.621 & -230.472 & 0 & 0 \\ -230.472 & 536.937 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -308.072 & 308.072 \\ 0 & 0 & 308.072 & 0 \end{pmatrix}$	$K_{21} = \begin{pmatrix} 399.13 & -217.334 & 0 & 0 \\ -217.334 & 524.17 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -308.072 & 308.072 \\ 0 & 0 & 308.072 & 0 \end{pmatrix}$	$K_{22} = \begin{pmatrix} 372.065 & -206.8 & 0 & 0 \\ -206.8 & 514.083 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -308.072 & 308.072 \\ 0 & 0 & 308.072 & 0 \end{pmatrix}$	$K_{23} = \begin{pmatrix} 349.543 & -198.43 & 0 & 0 \\ -198.43 & 506.128 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -308.072 & 308.072 \\ 0 & 0 & 308.072 & 0 \end{pmatrix}$	$K_{24} = \begin{pmatrix} 330.778 & -191.802 & 0 & 0 \\ -191.802 & 499.874 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -308.072 & 308.072 \\ 0 & 0 & 308.072 & 0 \end{pmatrix}$	$K_{25} = \begin{pmatrix} 314.992 & -186.537 & 0 & 0 \\ -186.537 & 494.609 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -308.072 & 308.072 \\ 0 & 0 & 308.072 & 0 \end{pmatrix}$	$K_{26} = \begin{pmatrix} 301.663 & -182.366 & 0 & 0 \\ -182.366 & 490.458 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -308.072 & 308.072 \\ 0 & 0 & 308.072 & 0 \end{pmatrix}$	$K_{27} = \begin{pmatrix} 285.307 & -173.199 & 0 & 0 \\ -173.199 & 481.271 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -308.072 & 308.072 \\ 0 & 0 & 308.072 & 0 \end{pmatrix}$	$K_{28} = \begin{pmatrix} 253.616 & -171.38 & 0 & 0 \\ -171.38 & 479.452 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -308.072 & 308.072 \\ 0 & 0 & 308.072 & 0 \end{pmatrix}$	$K_{29} = \begin{pmatrix} 248.474 & -171.276 & 0 & 0 \\ -171.276 & 479.348 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -308.072 & 308.072 \\ 0 & 0 & 308.072 & 0 \end{pmatrix}$	$K_{30} = \begin{pmatrix} 245.009 & -172.691 & 0 & 0 \\ -172.691 & 480.763 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -308.072 & 308.072 \\ 0 & 0 & 308.072 & 0 \end{pmatrix}$	$K_{31} = \begin{pmatrix} 243.439 & -175.925 & 0 & 0 \\ -175.925 & 483.997 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -308.072 & 308.072 \\ 0 & 0 & 308.072 & 0 \end{pmatrix}$	$K_{32} = \begin{pmatrix} 244.354 & -181.525 & 0 & 0 \\ -181.525 & 489.597 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -308.072 & 308.072 \\ 0 & 0 & 308.072 & 0 \end{pmatrix}$	$K_{33} = \begin{pmatrix} 248.283 & -190.167 & 0 & 0 \\ -190.167 & 498.239 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -308.072 & 308.072 \\ 0 & 0 & 308.072 & 0 \end{pmatrix}$	$K_{34} = \begin{pmatrix} 256.834 & -203.255 & 0 & 0 \\ -203.255 & 511.327 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -308.072 & 308.072 \\ 0 & 0 & 308.072 & 0 \end{pmatrix}$	$K_{35} = \begin{pmatrix} 271.542 & -222.398 & 0 & 0 \\ -222.398 & 530.47 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -308.072 & 308.072 \\ 0 & 0 & 308.072 & 0 \end{pmatrix}$	$K_{36} = \begin{pmatrix} 295.605 & -250.674 & 0 & 0 \\ -250.674 & 588.746 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -308.072 & 308.072 \\ 0 & 0 & 308.072 & 0 \end{pmatrix}$	$K_{37} = \begin{pmatrix} 308.028 & -282.465 & 0 & 0 \\ -282.465 & 600.395 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -308.072 & 308.072 \\ 0 & 0 & 308.072 & 0 \end{pmatrix}$	$K_{38} = \begin{pmatrix} 307.494 & -292.323 & 0 & 0 \\ -292.323 & 600.395 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -308.072 & 308.072 \\ 0 & 0 & 308.072 & 0 \end{pmatrix}$	$K_{39} = \begin{pmatrix} 318.051 & -304.418 & 0 & 0 \\ -304.418 & 612.49 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -308.072 & 308.072 \\ 0 & 0 & 308.072 & 0 \end{pmatrix}$	$K_{40} = \begin{pmatrix} 310.489 & -306.741 & 0 & 0 \\ -306.741 & 614.813 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -308.072 & 308.072 \\ 0 & 0 & 308.072 & 0 \end{pmatrix}$	$K_{41} = \begin{pmatrix} 311.469 & -308.072 & 0 & 0 \\ -308.072 & 616.144 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -308.072 & 308.072 \\ 0 & 0 & 308.072 & 0 \end{pmatrix}$	$K_{42} = \begin{pmatrix} 311.343 & -308.072 & 0 & 0 \\ -308.072 & 616.144 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -308.072 & 308.072 \\ 0 & 0 & 308.072 & 0 \end{pmatrix}$	$K_{43} = \begin{pmatrix} 311.227 & -308.072 & 0 & 0 \\ -308.072 & 616.144 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -308.072 & 308.072 \\ 0 & 0 & 308.072 & 0 \end{pmatrix}$	$K_{44} = \begin{pmatrix} 308.073 & -308.072 & 0 & 0 \\ -308.072 & 616.144 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -308.072 & 308.072 \\ 0 & 0 & 308.072 & 0 \end{pmatrix}$
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	---	--	--	--	---	--	--	--	--	--

Tabla 2.12 Valores calculados para la envolvente en dirección Y del ejemplo 1m.

Desplazamiento (mm)	Resistencia (kN)	Desplazamiento (mm)	Resistencia (kN)	Desplazamiento (mm)	Resistencia (kN)
0.00E+00	0.00E+00	3.00094178	733.611691	10.0967783	769.39015
1.25E-06	0.00503678	3.3377173	737.72529	10.7133916	763.26723
0.18253686	58.0766418	3.69926545	741.093971	11.3786648	755.114676
0.3650719	116.152703	4.07770636	744.125169	12.102402	745.083033
0.54760693	174.228764	4.47103036	747.174848	12.8866844	733.662021
0.73014197	232.304825	4.87812116	750.232486	13.7270088	720.128127
0.912677	290.380886	5.29694369	753.3115	14.6192831	543.033374
1.09521204	348.456947	5.72736201	756.45547	16.6455944	422.050103
1.27774707	406.533008	6.16882483	759.730194	18.0719587	412.759737
1.46028211	464.609069	6.62053069	763.123836	18.7212657	376.642139
1.64281715	522.68513	7.08094952	766.619676	19.5141744	278.120977
1.82535218	580.604005	7.54919844	770.206859	20.6413678	276.621112
1.82535218	580.604005	8.02416317	773.872958	21.1618147	275.928595
2.00823547	626.572596	8.50454804	777.347881	2.17E+01	275.256923
2.22142051	679.143547	8.50454804	777.347881	2.22E+01	274.585781
2.43732027	708.25406	8.99558948	776.79185		
2.70346093	727.793715	9.52596383	773.997911		

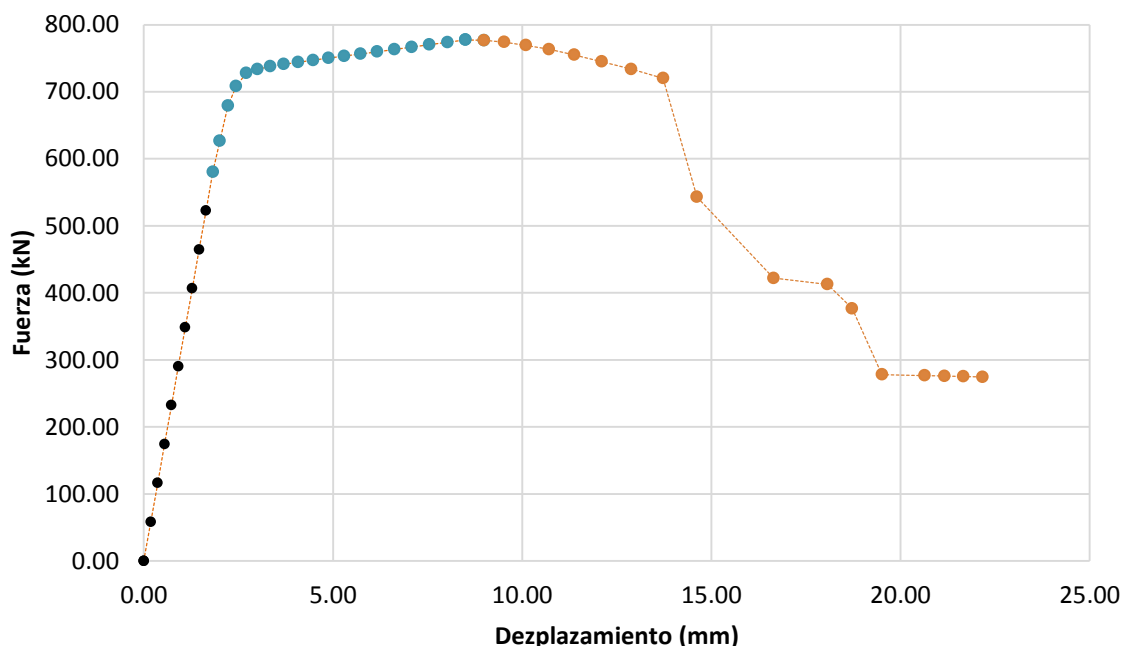
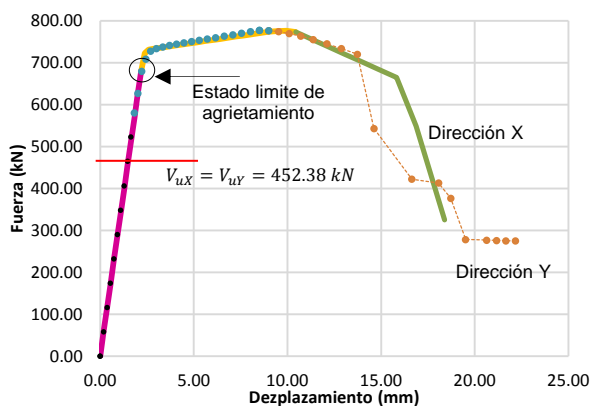


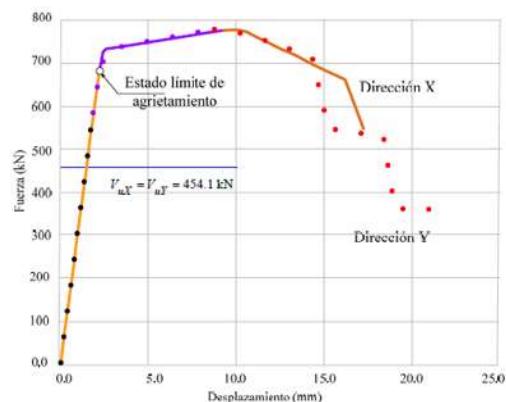
Figura 2.7.2. Envolvente de resistencia en la dirección Y.

2.3.1.3 Envolvente de resistencia lateral de piso en direcciones X y Y.

En este apartado se superponen las gráficas que se obtuvieron del análisis en dirección X y Y. La Figura 2.8a corresponde a dichas gráficas. La Figura 2.8b son las curvas reportadas por Alcocer et al. (2011). Al comparar las gráficas de la Figura 2.8 se observa que son similares en ambas direcciones; también se observa que los valores de resistencia y desplazamiento en los puntos de agrietamiento, máximo y últimos son similares. De esta manera se verifica que el programa desarrollado funciona adecuadamente.



(a) Calculadas en este trabajo.



(b) Alcocer et al., 2011.

Figura 2.8. Envolvente de resistencia en las direcciones X y Y.

La Tabla 2.13 muestra los valores correspondientes a las ductilidades calculadas en este trabajo y los valores que presenta Alcocer et al. (2011). Se observa que el factor de comportamiento sísmico, Q , en ambas direcciones del análisis se mantiene dentro del límite recomendado de $Q = 2$ (NTCM-RCDF, 2004).

Tabla 2.13 Comparación de valores de ductilidad del ejemplo 1m.

Cálculo	Dirección	μ_1	μ_u	Q
Este trabajo	X	6.92	3.22	2.33
	Y	6.44	3.04	2.25
Alcocer et al. (2011)	X	6.53	3.07	2.27
	Y	5.93	2.85	2.17

El programa calcula las ductilidades con los valores de desplazamiento correspondiente al agrietamiento (d_e) y al último (d_u). Para determinar el primero se trazan dos líneas rectas, una en el rango elástico (Ke) y la otra en el máximo ($K1$), el punto en el que se intersectan corresponde al valor de agrietamiento. Para obtener el desplazamiento último se toma el valor de $V_u = 0.80V_{máx}$ y se

interpola. En la Figura 2.9 se observan estos desplazamientos que al sustituirlos en las ecuaciones 11, 12 y 13 se calculan las ductilidades y el factor de comportamiento sísmico, como se menciona en la sección 2.2.3, donde se tiene que

en dirección X

$$\mu_{1x} = \frac{16.22}{2.34} = 6.92$$

$$\mu_{ux} = 3 \frac{(6.92) - 1}{2(4)} + 1 = 3.22$$

$$Q_x = \sqrt{2(3.22) - 1} = 2.33.$$

en dirección Y

$$\mu_{1y} = \frac{14.22}{2.21} = 6.44$$

$$\mu_{uy} = 3 \frac{(6.44) - 1}{2(4)} + 1 = 3.04$$

$$Q_y = \sqrt{2(3.04) - 1} = 2.25.$$

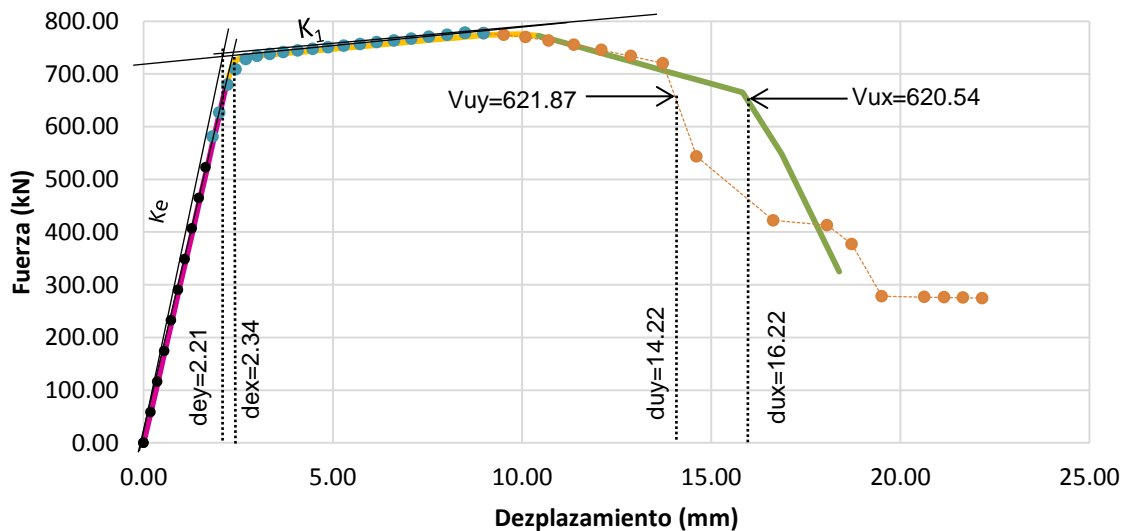
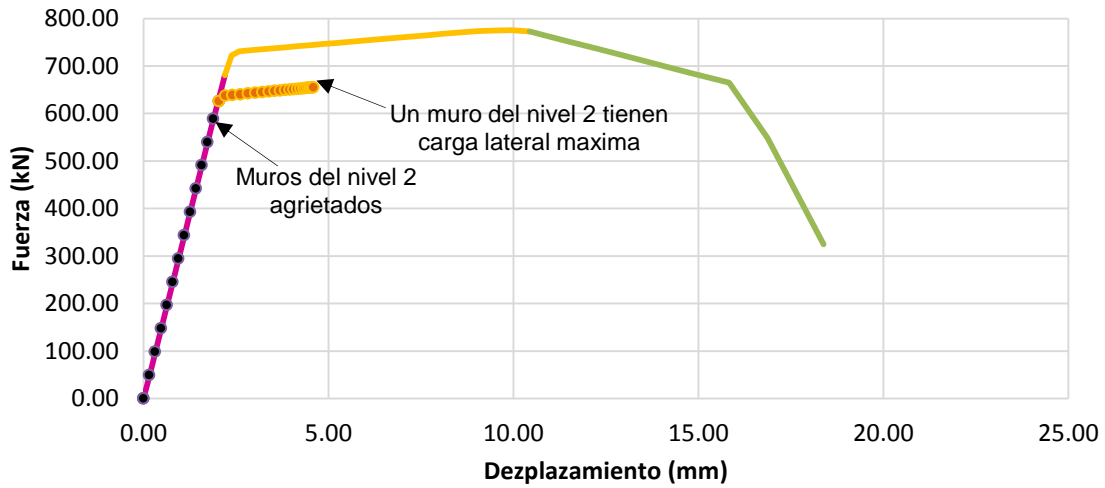
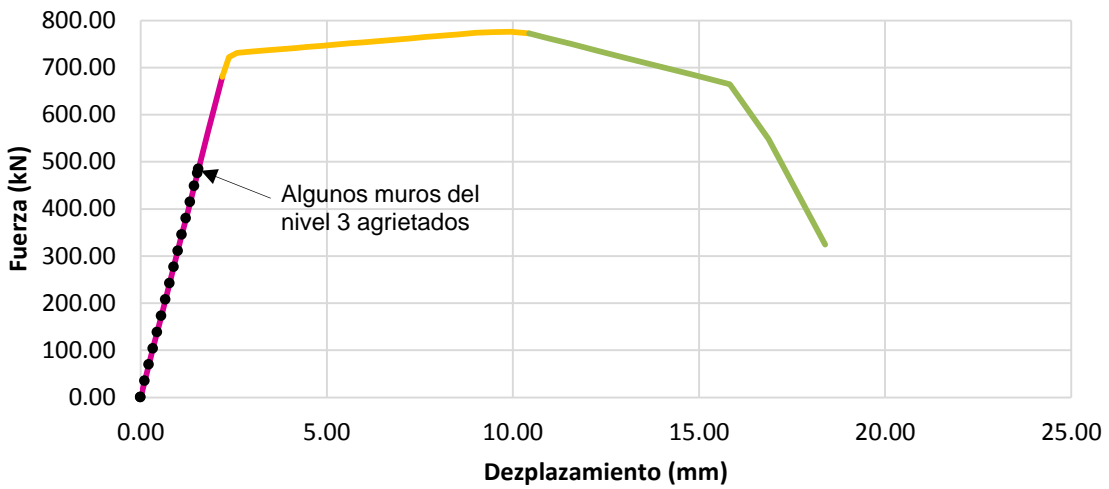


Figura 2.9. Criterio de ductilidad en la envolvente de resistencia en dirección X y Y.

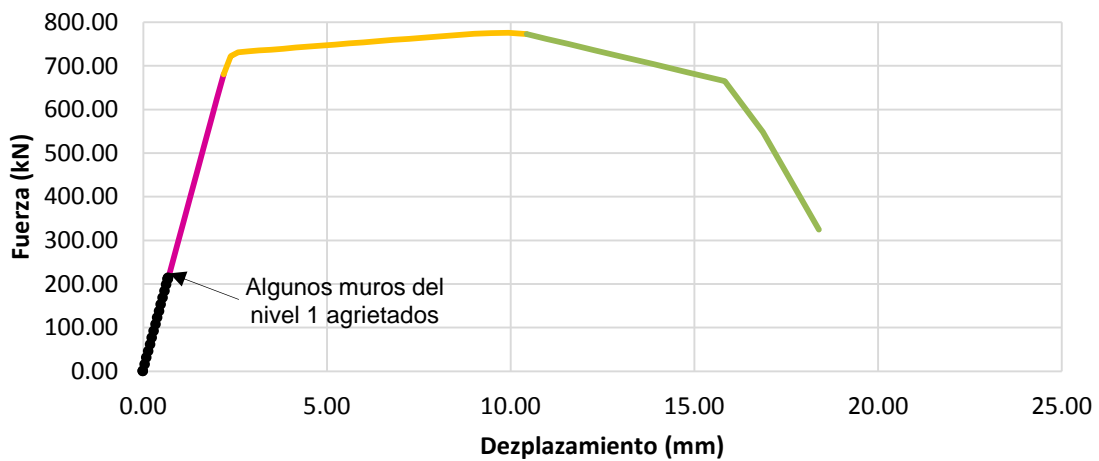
Una de las ventajas de utilizar esta metodología es que se puede determinar el estado de los muros que pertenecen a un entrepiso en particular. En las Figuras 2.10a a 2.10c, se muestra la curva envolvente de resistencia lateral del Nivel 1, y el estado del comportamiento de los muros de los niveles 2, 3 y 4, respectivamente. Se puede observar que el cortante de agrietamiento disminuye en las envolventes de los pisos superiores, debido a que su capacidad de resistencia lateral es menor que la de los muros del primer nivel por tener menor esfuerzo a compresión.



(a) Envolvente de resistencia, Nivel 1 y 2.



(b) Envolvente de resistencia, Nivel 1 y 3.



(c) Envolvente de resistencia, Nivel 1 y 4.

Figura 2.10. Envoltentes de resistencia lateral de los diferentes niveles.

Otro aspecto importante de este tipo de análisis es que se puede conocer el estado de un muro en particular y su fuerza lateral resistente. Como ejemplo, en las Figuras 2.11a a 2.11d, se muestran las curvas envolventes de resistencia lateral de los muros 1, 2 y 10 de la planta baja del edificio (Fig. 2.7a), además, se indica el punto en el que el nivel 1 de la estructura alcanza el cortante de diseño. En la Figura 2.11d se muestran las envolventes de resistencia lateral del muro No. 1 ubicado en los diferentes niveles de la estructura.

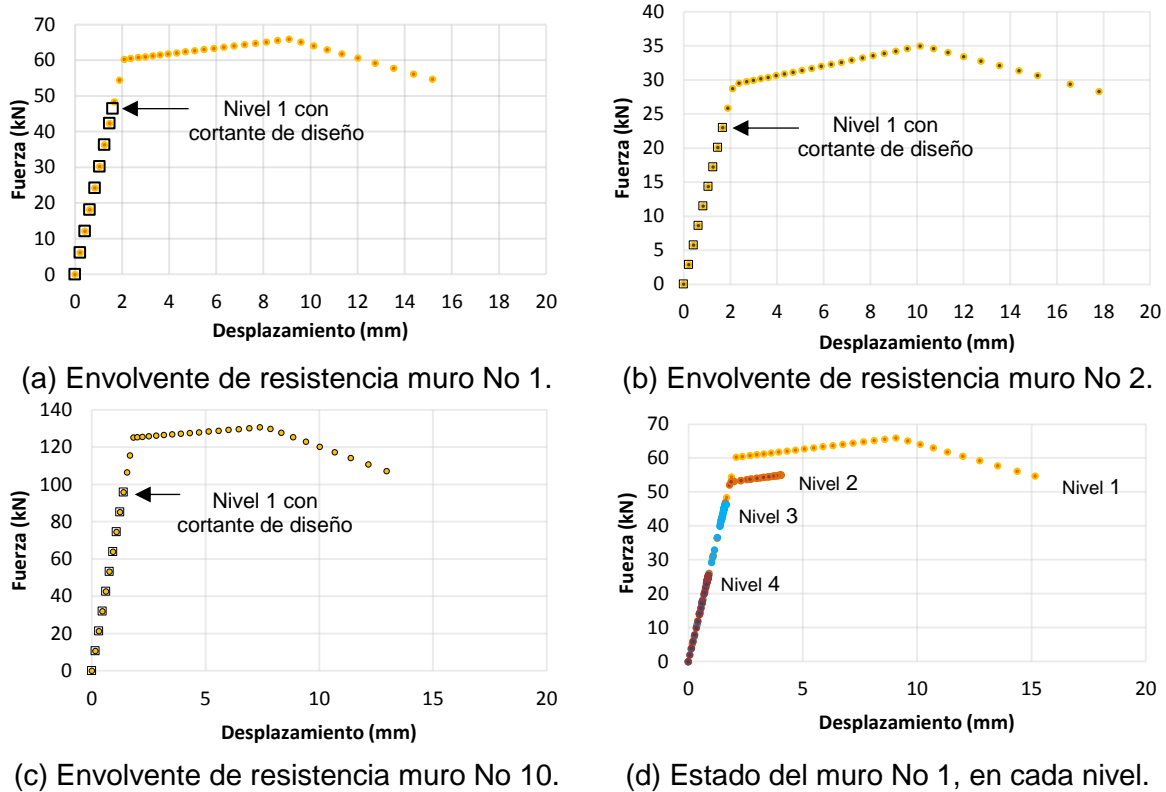
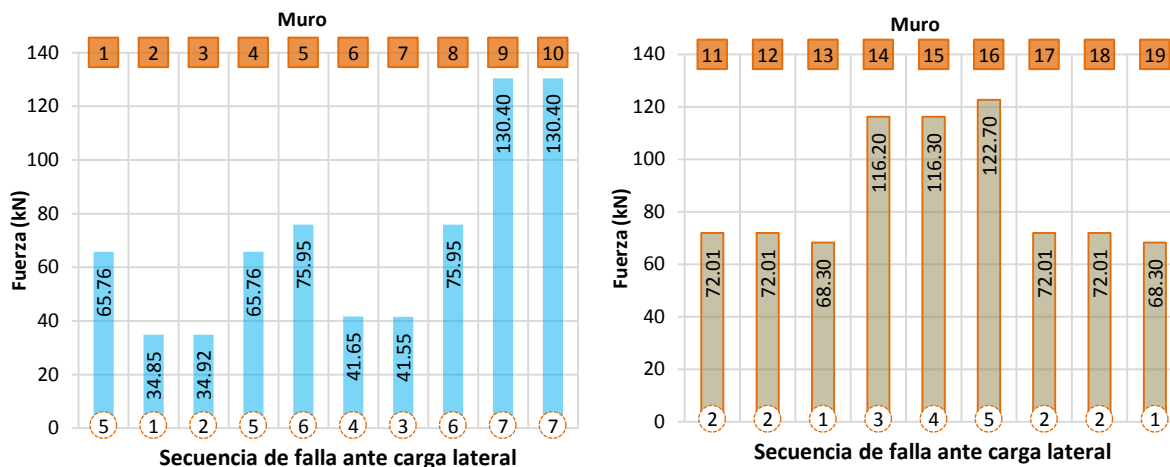


Figura 2.11. Comparación de envolventes de resistencia lateral.

Otra ventaja de hacer el análisis con esta metodología es que se puede observar la secuencia de falla de los muros, es decir, se puede saber que muro falla primero y cual al final. Se toma como el primer muro en llegar a la falla el que tiene menor resistencia ante fuerza lateral y como el último el que tiene mayor. En la Figura 2.12 se observa esta secuencia, en ella se grafica en el eje de las ordenadas la resistencia máxima ante carga lateral y en el de las abscisas en la parte superior el número de muro y en la inferior la secuencia. En sentido Y el primero en fallar es 2 (Fig. 2.12a), en sentido X son el 13 y 19 (Fig. 2.12b).



(a) Muros en dirección Y.

(b) Muros en dirección X.

Figura 2.12. Secuencia de falla en muros ante carga lateral.

Conclusiones.

Comparando los resultados obtenidos en este trabajo y los reportados por Alcocer et al. (2011) de las envolventes de resistencia lateral de piso (Fig. 2.8), ductilidades y la evolución de la forma modal (Fig. 2.9) se corrobora que el programa desarrollado en este trabajo funciona adecuadamente ya que son valores similares. El factor de comportamientos sísmico, Q , está dentro del límite marcado por las NTCM-RCDF-2004 de $Q = 2$ para este ejemplo. En la evolución de la forma modal se observan los tres estados de comportamiento: elástico, carga máxima y en la falla (Fig. 2.9a), además indica que la estructura falla en el primer nivel.

Las ventajas de utilizar esta metodología son las siguientes:

- Conocer el estado de los muros que pertenecen a un entrepiso en particular (Fig. 2.10).
- Saber el estado de un muro en particular y conocer su fuerza lateral resistente (Fig. 2.11).
- Observar la secuencia de falla de los muros ante carga lateral (Fig. 2.12).
- Resultados confiables y ahorro de tiempo considerable en los cálculos.

2.3.2 Ejemplo 2m.

Este ejemplo corresponde a una estructura que se presenta en el libro “Guía de análisis de estructuras de mampostería” publicada por la Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural (Pérez, 2012).

Es una casa habitación de 2 niveles de mampostería confinada de piezas de barro sólidas (Fig. 2.13). Pérez (2012) analizó los efectos por torsión sísmica con el Método de Análisis Sísmico Estático, en la Tabla 2.15 se muestran las fuerzas y cortantes que obtuvo. Al aplicar el método la edificación cumple las hipótesis para calcularla con la metodología aquí programada.

Tabla 2.15 Fuerzas y cortantes actuantes en la casa habitación (kN).

Piso Entrepiso	$c = 0.19$		$c = 0.40$	
	$Fx_i = Fy_i$	$Vx_j = Vy_j$	$Fx_i = Fy_i$	$Vx_j = Vy_j$
2	137.6		289.7	
2		137.6		289.7
1	91.9		193.6	
1		229.6		483.3

En la Tabla 2.16 se muestran las propiedades mecánicas de los materiales utilizados, se colocan 3 barras de diámetro $9.5 \times 10^{-3} m$ en cada castillo. Las propiedades geométricas se muestran en la Tabla 2.17.

Tabla 2.16. Propiedades mecánicas de los materiales del ejemplo 2m.

Material	Propiedad mecánica	Resistencia (Mpa)
Mampostería	f^*m	1.5
	Em	900
	Gm	460
	v^*m	0.35
Concreto	$f'c$	25
	Ec	22000
Acero	f_y	420
	Es	200000

Tabla 2.17 .Características generales de la estructura del ejemplo 2m.

Característica	Datos
Ubicación	Zona IIIa, DF
Coefficiente sísmico (c)	0.19
Uso	Casa habitación
Entrepiso 1	4.00 m
Entrepiso 2	3.00 m
Espesor de losa	0.12 m
Espesor de muros	0.14 m

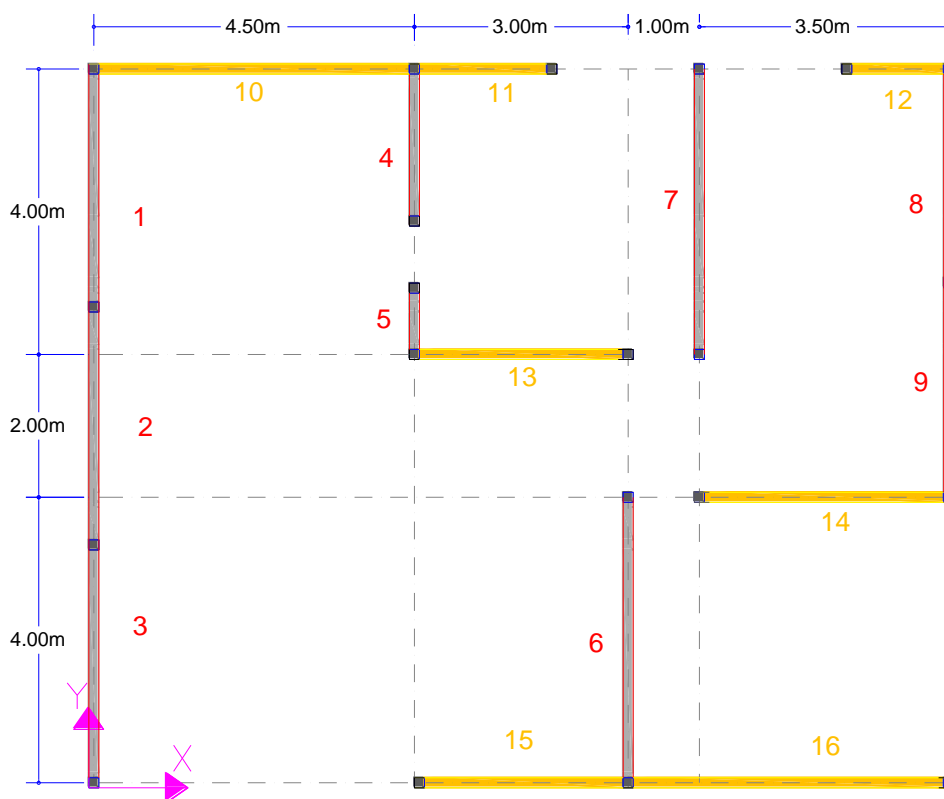


Figura 2.13. Planta de estructura de mampostería confinada.

(Tomada de Pérez, 2012)

Debido a que el programa desarrollado en este trabajo requiere como datos los valores de cargas de servicio y peso volumétrico de la mampostería y el autor no los proporciona, se obtendrán las fuerzas laterales actuantes por medio del Análisis Sísmico Estático como lo indican las NTCS-RCDF (2004) aplicando la ecuación 24', considerando la carga de servicio en losa de azotea y nivel inferior de 460 kg/m^2 y 400 kg/m^2 , respectivamente y el peso volumétrico de la mampostería de 1325 kg/m^3 . Se utiliza el valor del comportamiento sísmico reducido $Q' = 1.2$ indicado por Pérez (2012). Obtenidas las fuerzas laterales actuantes se comparan con las presentadas en la Tabla 2.5.

$$F_i = \frac{c}{Q'} W_i h_i \frac{\sum W_i}{\sum W_i h_i} \quad (24')$$

Para determinar el peso de cada nivel (W_i) se toma el criterio de alturas medias, es decir, para el peso del nivel 1 se toma la mitad de la altura de los muros del nivel 2 y la mitad de los del nivel 1. Para el peso del nivel 2 solo se toma la mitad de la altura de los muros del nivel 2. El área de losa en cada nivel es de 120 m^2 y la longitud total de muros es de 49.20 m , así los pesos de los niveles 1 y 2, respectivamente, son

$$w_1 = 400 (120) + \left(\left(\frac{3.88}{2} \right) + \left(\frac{2.88}{2} \right) \right) 0.14(49.20)1325 = 78847.91 \text{ kg},$$

$$w_2 = 460 (120) + \left(\frac{2.88}{2} \right) 0.14(49.20)1325 = 68342.30 \text{ kg}.$$

En la Tabla 2.18 se indican los valores correspondientes para cada término de la ecuación 24', así como también las fuerzas laterales calculadas de cada nivel (F_{xi}). Como ejemplo se calcula la correspondiente al nivel 1 con $c = 0.19$ y $c = 0.40$, sustituyendo los términos en la ecuación 24' se tiene que

$$F_{1c=0.19} = \frac{0.19}{1.2} (68342.30)(7) \frac{147190.21}{793787.76} = 9259.70 \text{ kg} = 90.81 \text{ kN}.$$

$$F_{1c=0.40} = \frac{0.40}{1.2} (68342.30)(7) \frac{147190.21}{793787.76} = 19494.11 \text{ kg} = 191.17 \text{ kN}.$$

Así también se obtiene $F_{2c=0.19} = 137.60 \text{ kN}$ y $F_{2c=0.40} = 289.98 \text{ kN}$, y son las mismas fuerzas para el sentido X y Y, es decir, $F_1 = F_{x1} = F_{y1}$ y $F_2 = F_{x2} = F_{y2}$.

Tabla 2.18 Fuerzas sísmicas del ejemplo 2m.

Nivel	w_i (kg)	h_i (m)	$(w_i)(h_i)$	$c = 0.19$		$c = 0.40$	
				$F_{xi} = F_{yi}$ (kg)	$F_{xi} = F_{yi}$ (kN)	$F_{xi} = F_{yi}$ (kg)	$F_{xi} = F_{yi}$ (kN)
2	68342.30	7	478396.13	14045.41	137.74	29569.29	289.98
1	78847.91	4	315391.63	9259.70	90.81	19494.11	191.17
$\Sigma=$	147190.21	11	793787.76	23305.12	228.55	49063.40	481.16

Se concluye que las fuerzas laterales calculadas (Tabla 2.18, F_{xi}) con las cargas de servicio consideradas son similares a las indicadas en la Tabla 2.15, es decir, con ellas se corrobora que las cargas de servicio indicadas al inicio de este ejemplo son similares a las que utilizó Pérez (2012) y se utilizarán para calcular los esfuerzos a compresión que se requieren para calcular las envolventes.

2.3.2.1 Envolvente de resistencia lateral de piso en dirección X.

La Figura 2.14 corresponde a la envolvente de resistencia lateral de piso analizando la dirección X, se observa que la resistencia máxima es de 849.60 kN con desplazamiento de 14.13 mm.

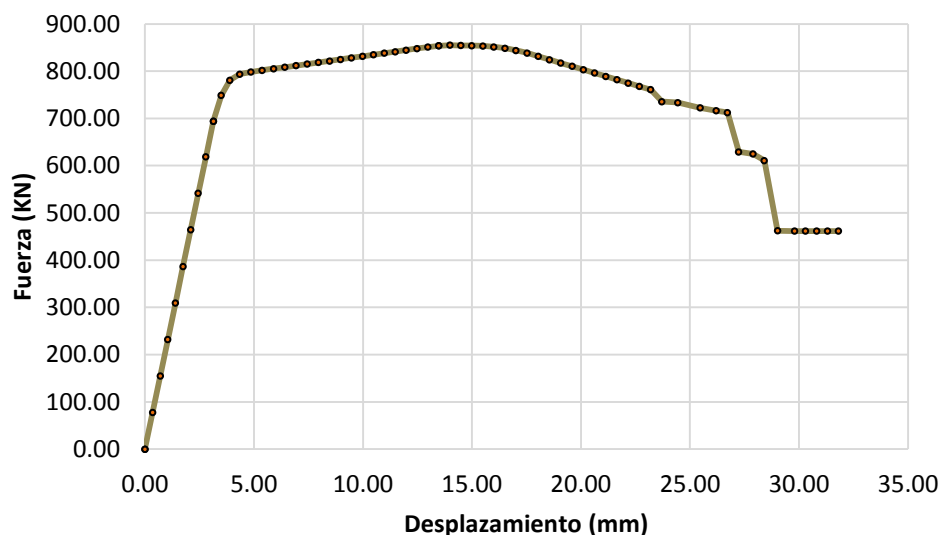


Figura 2.14. Envolvente de resistencia lateral en dirección X.

La Tabla 2.19 indica las ductilidades en dirección X, donde el factor de comportamiento sísmico es de 3.31.

Tabla 2.19. Valores de ductilidad en dirección X del ejemplo 2m.

Dirección	μ_1	μ_u	Q
X	7.63	5.97	3.31

La Figura 2.14.1 muestra la evolución de la forma modal, donde se observa que la estructura falla en el primer nivel

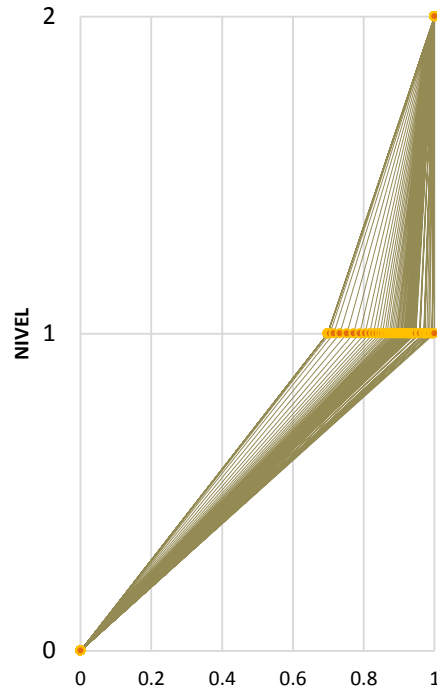


Figura 2.14.1. Evolución de la forma modal.

2.3.2.2 Envolvente de resistencia lateral de piso en dirección Y.

La Figura 2.15 corresponde a la envolvente de resistencia lateral de piso analizando la dirección Y, se observa que la resistencia máxima es de 1159.85 kN con un desplazamiento de 15.64 mm.

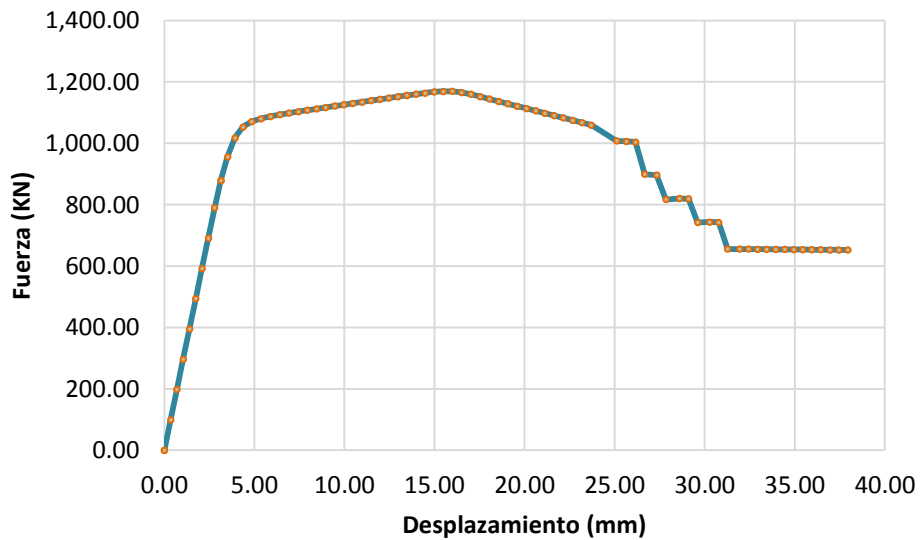


Figura 2.15. Envolvente de resistencia lateral en dirección Y.

En la Tabla 2.20 se muestran las ductilidades, donde el factor de comportamiento sísmico es de 3.24.

Tabla 2.20. Valores de ductilidad en dirección Y del ejemplo 2m.

Dirección	μ_1	μ_u	Q
Y	7.32	5.74	3.24

2.3.2.3 Envolvente de resistencia lateral de piso en direcciones X y Y.

En la Figura 2.16 se presentan las curvas de las dos direcciones de análisis, en ella se observa que la dirección Y tiene mayor resistencia. Los desplazamientos al punto de agrietamiento son diferentes así como los últimos, sin embargo las ductilidades son similares.

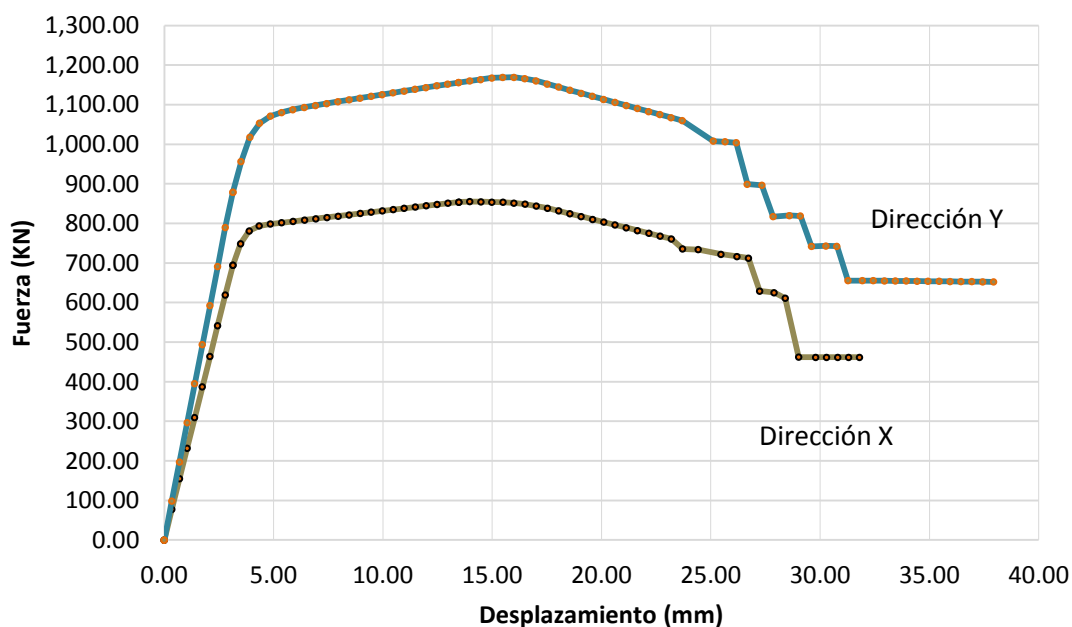


Figura 2.16. Envolvente de resistencia lateral en dirección X y Y.

Las ductilidades de ambos sentidos de análisis (Tabla 2.21), indican que el factor de comportamientos sísmico, Q , se mantiene dentro del límite recomendado de 2 (NTCM-RCDF, 2004). Si se considera un edificio de mampostería con 5 niveles y con altura de entrepiso de 2.50m, como límite de aplicación del Método Simplificado de Diseño, la ductilidad de agrietamientos, μ_1 , debe ser 6 para que el edificio tenga $Q = 2$.

Tabla 2.21. Comparación de valores de ductilidad del ejemplo 2m.

Dirección	μ_1	μ_u	Q
X	7.63	5.97	3.31
Y	7.32	5.74	3.24

2.3.2.4 Falla por fuerza lateral o por carga axial.

En estructuras de mampostería confinada los muros fallan ya sea por fuerza lateral o por carga axial. Estos tipos de falla dependen de la altura de la edificación, conforme aumenta se incrementa la resistencia a fuerza lateral y también la carga axial.

Como ejemplo, para determinar hasta que altura inicia la falla por carga axial, se analiza la estructura del Ejemplo 2m pero considerando la altura de cada entrepiso de 2.50 m. Se analiza con diferentes alturas, desde un nivele hasta llegar a seis y con el programa desarrollado en este trabajo se obtienen las envolventes de resistencia lateral mostradas en la Figura 2.17, donde cada una corresponde a dicha edificación con diferente número de niveles. En la Figura 2.17 también se observa que al incrementarse el número de niveles aumenta la resistencia a fuerza lateral.

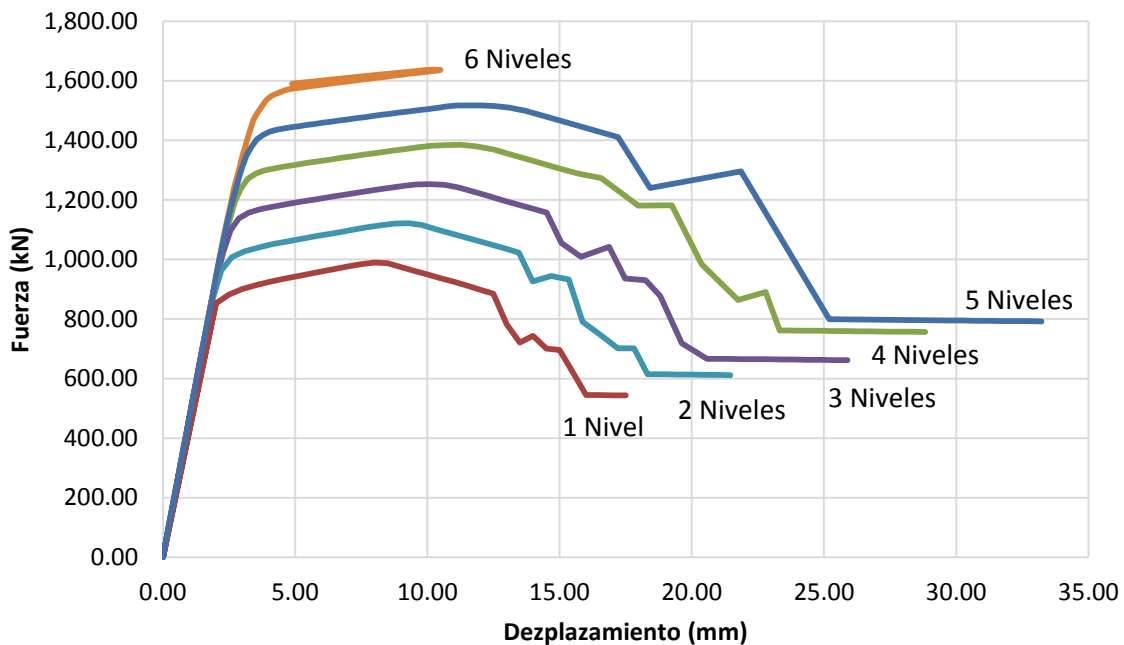


Figura 2.17. Envoltentes de resistencia lateral de piso.

Utilizando la ecuación 25 obtenida de las NTCM-RCDF (2004), se calcula el valor de resistencia a compresión (P_R) de cada muro.

$$P_R = F_R F_E (f m^* + 0.4) A_T \quad 25$$

donde F_R es el factor de resistencia y se toma como 0.6, F_E es el factor de reducción por los efectos de excentricidad y esbeltez que se calcula con la ecuación 25' obtenida de las NTCM-RCDF (2004), $f m^*$ es la resistencia a compresión de la mampostería en Mpa y A_T es el área bruta de la sección transversal del muro en mm^2 .

$$F_E = \left(1 - \frac{2e'}{t}\right) \left[1 - \left(\frac{kH}{30t}\right)^2\right] \left(1 - \frac{H}{L'}\right) + \frac{H}{L'} \leq 0.9 \quad 25'$$

donde t es el espesor de los muros en mm, k es el factor de altura efectiva del muro, H es la altura del muro en mm, L' es la separación de los elementos que rigidizan transversalmente al muro en mm, es decir la separación de centro a centro de los castillos ($L' = L + t$) y e' es la excentricidad para carga vertical (e_c) más una excentricidad accidental igual a $t/24$, es decir $e' = e_c + t/24$, donde

$$e_c = \frac{t}{2} - \frac{b}{3} \quad 25''$$

y b se refiere a la distancia de apoyo de la losa en el muro.

Como ejemplo se calcula la resistencia del muro 1 el cual tienen una longitud de $L = 3330 \text{ mm}$, espesor $t = 140 \text{ mm}$, $k = 1$ según las NTCM-RCDF (2004), suponiendo que $b = t$ se sustituyen valores y se tiene que

$$F_E = \left(1 - \frac{2 \left[\left(\frac{140}{2} - \frac{140}{3} \right) + \frac{140}{24} \right]}{140}\right) \left[1 - \left(\frac{1(2400)}{30(140)}\right)^2\right] \left(1 - \frac{2400}{3330 + 140}\right) + \frac{2400}{3330 + 140} = 0.8102767$$

es menor que 0.9, por lo que se toma $F_E = 0.8102767$. Sustituyendo en la ecuación 25 se tiene que

$$P_R = 0.6(0.8102767)(1.5 + 0.4)(140)(3330) = 430.64 \text{ kN}$$

De igual manera se calcula el resto de los muros y los resultados se indican en la Tabla 2.22, en la cual también se concentran los valores de la carga axial actuante en los muros del primer entrespacio con diferentes niveles obtenidos del análisis por cargas verticales. Como ejemplo se calcula la carga axial actuante del muro 1 con un nivel de altura, su área tributaria de losa es de 4.67 m^2 , la carga de servicio en losa de azotea es de 460 kg/m^2 y el peso volumétrico del muro es de

1325 kg/m³, la altura de 2.4m y el espesor de 0.14m, con estos valores tenemos que la carga axial actuante del muro 1 es de

$$4.67(460) + 3.33(2.4)0.14(1325) = 3630.7160 \text{ kg} = 35.60 \text{ kN}.$$

De igual forma se calcula la carga axial actuante de los diferentes muros. En la Figura 2.17.1 se observan las áreas tributarias que se utilizaron para analizar las cargas verticales.

Tabla 2.22. Carga axial actuante y resistencia a compresión (PR) en kN.

Nivel	Muro	Cantidad de niveles						PR
		1	2	3	4	5	6	
1	1	35.60	68.22	100.96	133.69	166.43	199.16	430.64
1	2	61.24	116.38	171.51	226.65	281.78	336.92	430.64
1	3	48.34	92.26	136.17	180.09	224.00	267.92	430.64
1	4	37.18	70.75	104.32	137.89	171.46	205.03	316.01
1	5	29.32	55.38	81.44	107.50	133.57	159.63	143.64
1	6	89.18	168.99	248.79	328.60	408.40	488.21	492.78
1	7	54.94	104.97	155.01	205.04	255.07	305.11	492.78
1	8	32.75	62.92	93.09	123.26	153.43	183.60	408.81
1	9	31.08	59.80	88.51	117.23	145.95	174.67	408.81
1	10	43.62	84.09	124.56	165.02	205.49	245.96	506.92
1	11	31.62	60.25	88.87	117.50	146.12	174.75	287.28
1	12	20.57	39.30	58.03	76.77	95.50	114.23	215.46
1	13	48.13	91.68	135.22	178.77	222.31	265.86	416.62
1	14	70.37	133.54	196.70	259.87	323.04	386.20	454.85
1	15	69.47	131.57	193.67	255.77	317.87	379.97	408.81
1	16	51.06	98.00	144.94	191.88	238.83	285.77	506.92
Σ =		754.34	1438.07	2121.80	2805.53	3489.26	4172.99	6351.59

En la Figura 2.18 se muestra la gráfica de los valores de la Tabla 2.22 de carga axial en el primer entrepiso con diferentes niveles, es decir se toman los valores de carga axial de los muros en el eje de las ordenadas y en el de las abscisas el referente a la cantidad de niveles. En dicha figura se observa cómo se incrementa la carga axial al incrementar el número de niveles.

En la Tabla 2.22 se observa que la sumatoria de la carga resistente (PR) es mayor que la sumatoria de cualquiera de las cargas axiales actuantes, sin embargo al comparar las cargas de cada muro con diferentes niveles, sobre todo cuando se tienen 4, 5 y 6 niveles (Fig. 2.19), se observa que la $P_R = 143.64 \text{ kN}$ del muro No. 5 es menor que la actuante de 159.63 kN , lo cual indica que existe falla por carga axial con 6 niveles de altura y es en el muro mencionado.

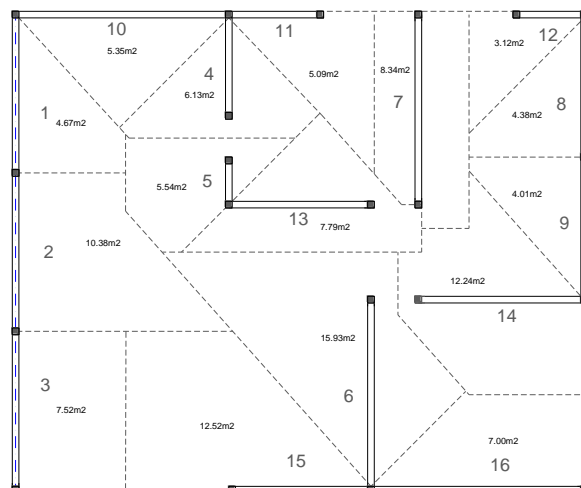


Figura 2.17.1. Áreas tributarias para la estructura del ejemplo 2m.

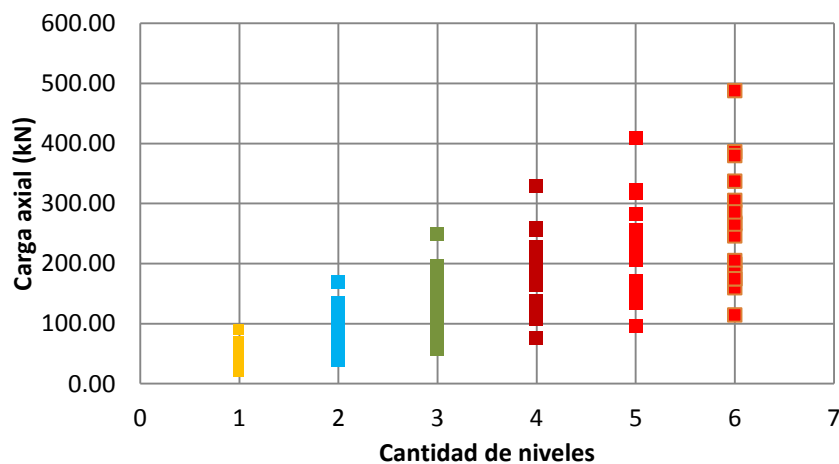


Figura 2.18. Carga axial máxima en el primer entrepiso.

En la Tabla 2.22' se indican los valores obtenidos con el programa desarrollado en este trabajo de resistencia máxima ante carga lateral ($V_{m\acute{a}x}$) y el factor de comportamiento sísmico Q para el edificio con 4, 5 y 6 niveles de altura.

Tabla 2.22' Valores de resistencia máxima ante carga lateral ($V_{m\acute{a}x}$) y factor de comportamiento sísmico (Q).

Niveles	Dirección	$V_{m\acute{a}x}$	Q
4	X	1018.322	2.45
	Y	1384.375	2.48
5	X	1117.782	2.29
	Y	1516.881	2.37
6	X	1118.443	2.16
	Y	1517.356	2.09

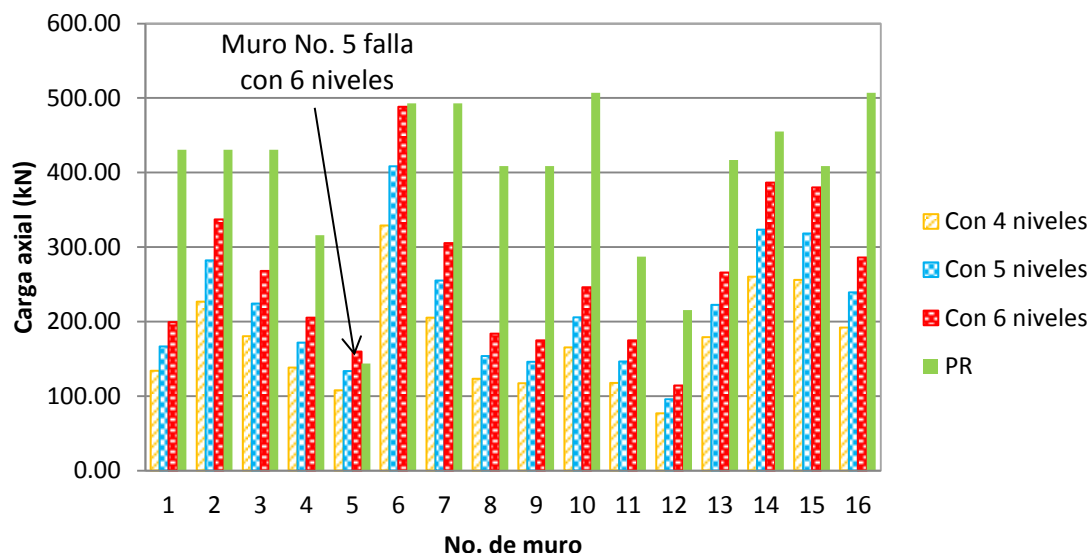


Figura 2.19. Carga axial máxima en muros del primer entrepiso.

Con las características de la edificación estudiada en este apartado se determina que el número máximo de niveles para que no falle por carga axial es de 5. Se calcularon las envolventes de hasta 6 niveles aunque con 6 ya está presente la falla por carga axial del muro No. 5. En la Figura 2.17 la envolvente referente a 6 niveles solo se observa su desarrollo hasta cierto punto debido a que la falla por fuerza lateral no ocurre en el primer nivel, ocurre en el segundo nivel y la envolvente en el nivel de falla corresponde a la misma con 5 niveles, es por esto también que en la Tabla 2.22' los valores de $V_{m\acute{a}x}$ son similares con 5 y 6 niveles.

Los factores de comportamientos sísmico indicados en la Tabla 2.22' son superiores al recomendado por las NTCM-RCDF (2004) de $Q = 2$, aunque la estructura con 6 niveles ya fallo por carga axial en el muro 5 este se puede reforzar ya sea incrementando su longitud, su ancho o colocándolo de concreto reforzado.

Conclusiones.

La evolución de la forma modal (Fig. 2.14) indica que la falla ocurre en el primer nivel. Las ductilidades son similares en ambas direcciones (Tabla 2.21), el factor de comportamientos sísmico, Q , está dentro del límite marcado por las NTCM-RCDF (2004) de $Q = 2$. El eje débil es el X debido a que tienen menor resistencia a fuerza lateral.

En la Tabla 2.23 se indican los cortantes actuantes y resistentes reportados por Pérez (2012), los cortantes actuantes los obtuvo por el Procedimiento Simplificado de Diseño por torsión sísmica propuesto por Escobar et al. (2004a), por lo tanto

son cortantes que incluyen los efectos por torsión sísmica, y los resistentes mediante lo indicado en las NTCM-RCDF (2004) que no toman en cuenta los efectos por cortante. La estructura tiene 7 metros de altura por lo cual se pueden utilizar los dos valores para el coeficiente sísmico: $c = 0.19$ y $c = 0.40$, el primero corresponde al Método Simplificado de Análisis Sísmico y el segundo al Método Estático de Análisis Sísmico (NTCS-RCDF, 2004).

En la Tabla 2.23 también se indican el cortante resistente calculado con el programa desarrollado en este trabajo que también incluyen los efectos por torsión sísmica con el Método propuesto por Chipol (2001) y se observa que es mayor que los cortantes actuantes. De no contemplar los efectos por torsión sísmica los cortantes resistentes de este trabajo deberían ser mayores a los cortantes resistentes calculados con las NTCM-RCDF (2004), es decir, las NTCM calculan la resistencia a cortante con el 70% de la ecuación 1 que se describe al principio de este capítulo y que para el modelo trilineal es la resistencia al agrietamiento y la resistencia máxima se calcula con la ecuación 4 que es la ecuación 1 más la contribución del concreto reforzado de los castillos.

Comparando los cortantes resistentes calculados con las NTCM según Pérez (2012) y los calculados en este trabajo (Tabla 2.23) se observa que son similares por lo que para este ejemplo las NTCM-RCDF (2004) están del lado de la seguridad al determinar que con el Método Simplificado de Análisis Sísmico se pueden despreciar los efectos por torsión sísmica.

Tabla 2.23. Comparación del cortante actuante y resistente del ejemplo 2m.

Dirección	Cortante (kN)			
	Pérez (2012)			Este trabajo
	Actuante		Resistente NTCM	Resistente
	$c = 0.19$	$c = 0.40$		
X	388.5	818.2	849.7	849.601
Y	429.8	904.9	1053.8	1159.849

Para determinar la falla por carga axial, se analizó la estructura con diferentes alturas y se determinó que con una altura de 15 m el muro No. 5 presenta este tipo de falla por lo que el muro se debe reforzar aumentando su sección transversal o cambiándolo por uno de concreto reforzado con lo cual ya no se presentaría la falla por carga axial, ahora fallaría la estructura por fuerza lateral y ocurriría en el segundo entrepiso. Con el programa desarrollado en este trabajo no es posible realizar el análisis de muros con diferentes materiales en un mismo nivel.

2.3.3 Ejemplo 3m.

Para este ejemplo se tomaron dos estructuras de 5 Niveles de mampostería confinada de piezas de barro sólidas, estudiadas por Araiza (2000), donde determina la influencia de la densidad de muros en el comportamiento sísmico. Las define como la más eficiente (Fig. 2.20) y menos eficiente (Fig. 2.21).

En la Tabla 2.24 se muestran las propiedades mecánicas de los materiales utilizados en ambas estructuras, el diametro de las barras corrugadas de los castillos es de 0.0095m. Las propiedades geométricas se muestran en la Tabla 2.25.

Tabla 2.24. Propiedades mecánicas de los materiales del ejemplo 3m.

Material	Propiedad mecánica	Resistencia(Mpa)
Mampostería	f^*m	2
	E_m	1200
	G_m	480
	v^*m	0.35
Concreto	$f'c$	15
	E_c	17146.43
Acero	f_y	420
	E_s	200000

Tabla 2.25 .Características generales de la estructura del ejemplo 3m.

Característica	Datos
Ubicación	Zona II, DF
Coeficiente sísmico (c)	0.32
Uso	Casa habitación
Entrepiso 1	2.55 m
Entrepiso 2,3,4 y 5	2.65 m
Espesor de losa	0.20 m
Espesor de muros	0.12 m

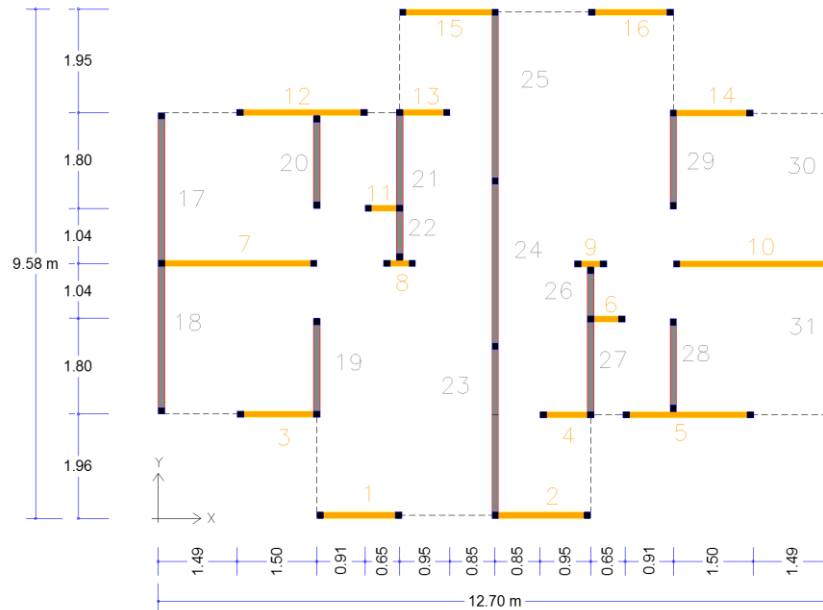


Figura 2.20. Planta de estructura "más eficiente".

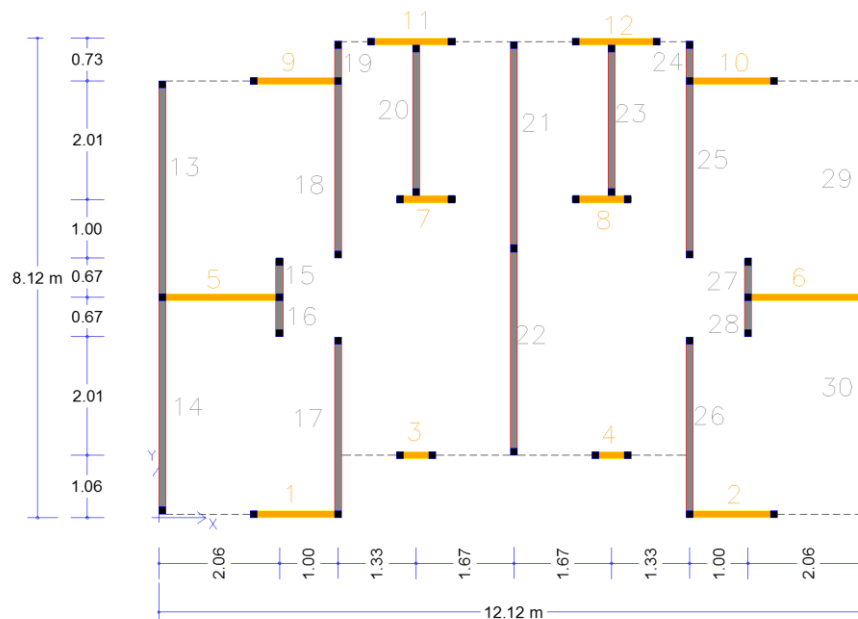


Figura 2.21. Planta de estructura "menos eficiente".

Se consideró que en la azotea se tiene una carga de servicio de 370 kg/m^2 , en los niveles inferiores de 390 kg/m^2 . El peso de los muros es de 1200 kg/m^3 .

2.3.3.1 Envolvente de resistencia lateral de piso en dirección X.

La Figura 2.22 corresponde a las envolventes de resistencia lateral de piso de las estructuras en dirección de análisis X donde se observa que la resistencia máxima

de la más eficiente es mucho mayor que la “menos eficiente”. La “más eficiente” tiene una resistencia máxima de 860.753 kN con un desplazamiento de 8.56 mm. La “menos eficiente” tiene una resistencia máxima de 587.531 kN con un desplazamiento de 9.08 mm.

En la Tabla 2.26 se muestran los valores de ductilidades y el factor de comportamientos sísmico Q . La Figura 2.23 corresponde a la evolución de la forma modal, en ella se observa que ambas estructuras fallan en el primer nivel.

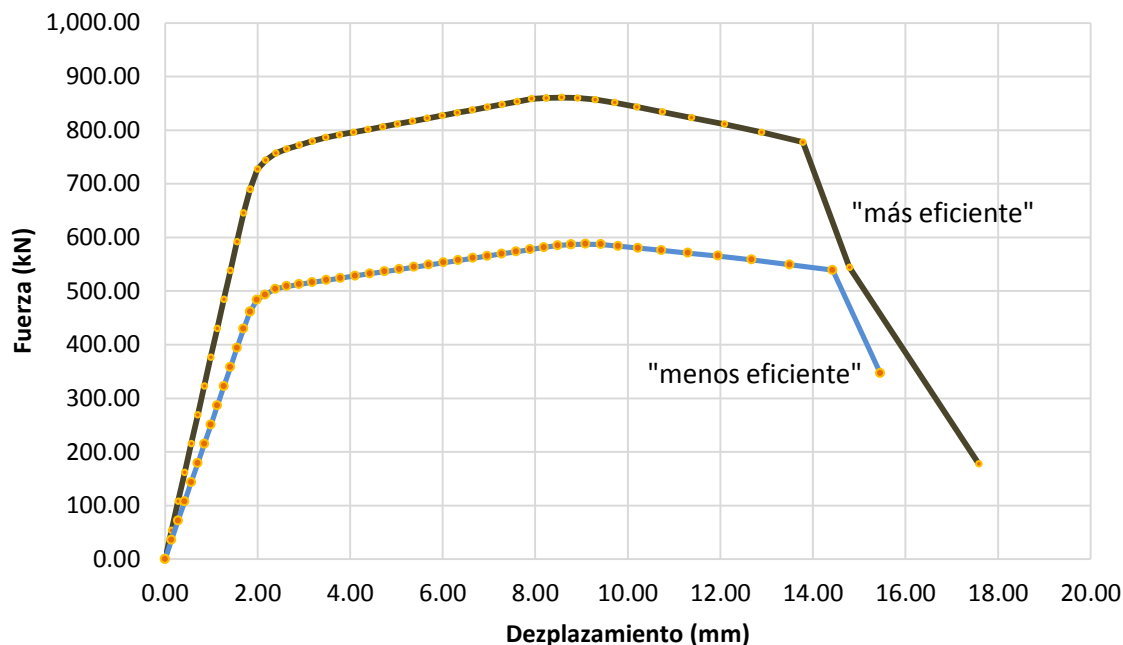
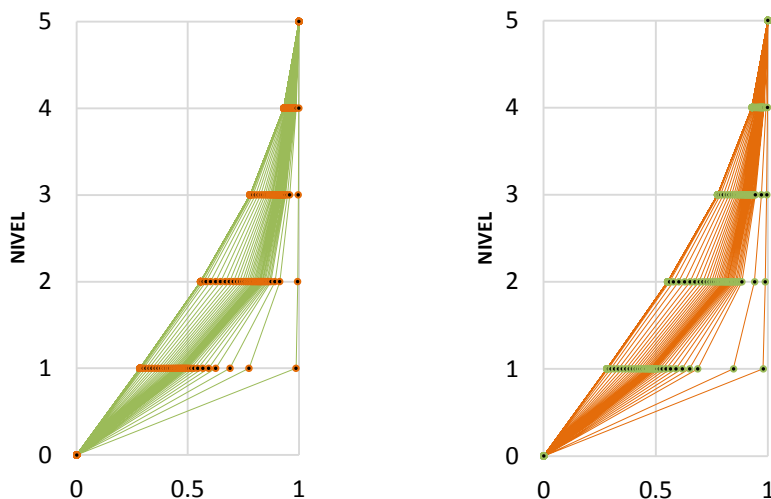


Figura 2.22. Envolturas de resistencia lateral en dirección X.

Tabla 2.26. Valores de ductilidad en dirección X del ejemplo 3m.

Estructura	Dirección	μ_1	μ_u	Q
“más eficiente”	X	7.24	2.87	2.18
“menos eficiente”	X	7.53	2.90	2.22



(a) Estructura “más eficiente”. (b) Estructura “menos eficiente”.

Figura 2.23. Evolución de la forma modal.

2.3.3.2 Envolvente de resistencia lateral de piso en dirección Y.

La Figura 2.24 corresponde a las envolventes de resistencia lateral de piso de las estructuras en dirección de análisis Y, donde se observa que la resistencia máxima de la “menos eficiente” es mayor que la “más eficiente”. La “más eficiente” tiene una resistencia máxima de 1182.108 kN con un desplazamiento de 8.28 mm. La “menos eficiente” tiene una resistencia máxima de 1488.627 kN con un desplazamiento de 7.65 mm.

En la Tabla 2.27 se muestran los valores de ductilidades y el factor de comportamientos sísmico Q .

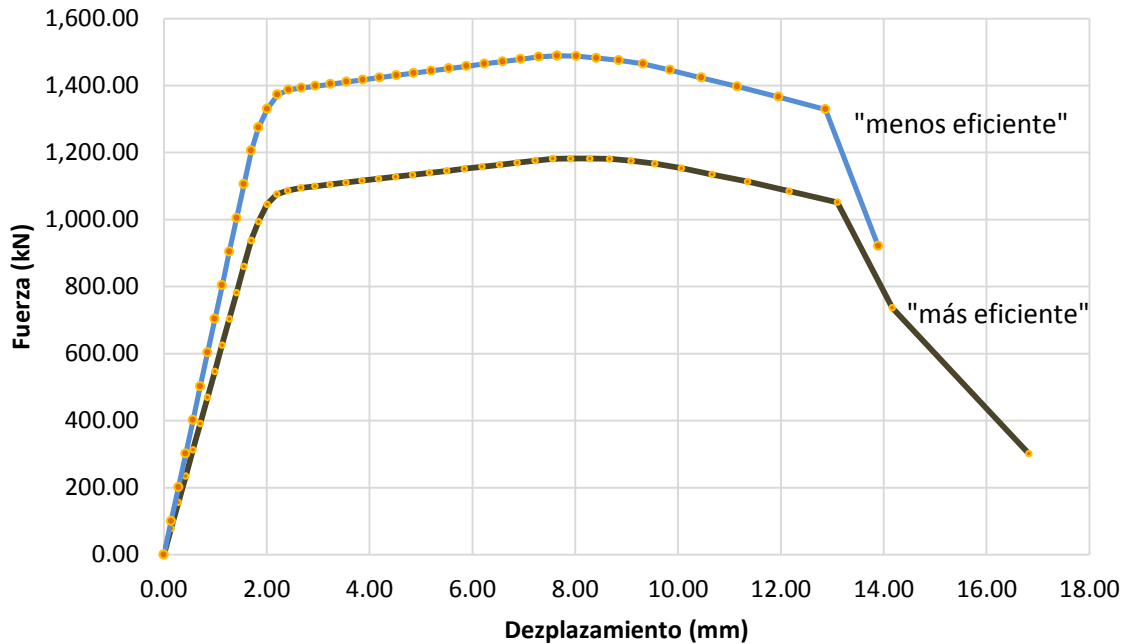


Figura 2.24. Envoltentes de resistencia lateral en dirección Y.

Tabla 2.27. Valores de ductilidad en dirección Y del ejemplo 3m.

Estructura	Dirección	μ_1	μ_u	Q
“más eficiente”	Y	6.97	2.79	2.14
“menos eficiente”	Y	6.80	2.74	2.12

2.3.3.3 Envoltente de resistencia lateral de piso en direcciones X y Y.

La Figura 2.25 corresponde a las curvas de ambas direcciones de análisis, en ella se observa que la dirección Y tiene mayor resistencia que la X, por lo cual el eje débil corresponde a X. También se observa que la estructura “más eficiente” en sentido Y tiene menor resistencia a cortante que la “menos eficiente” en sentido Y. La “más eficiente” en sentido X tiene mayor resistencia a cortante que la “menos eficiente”.

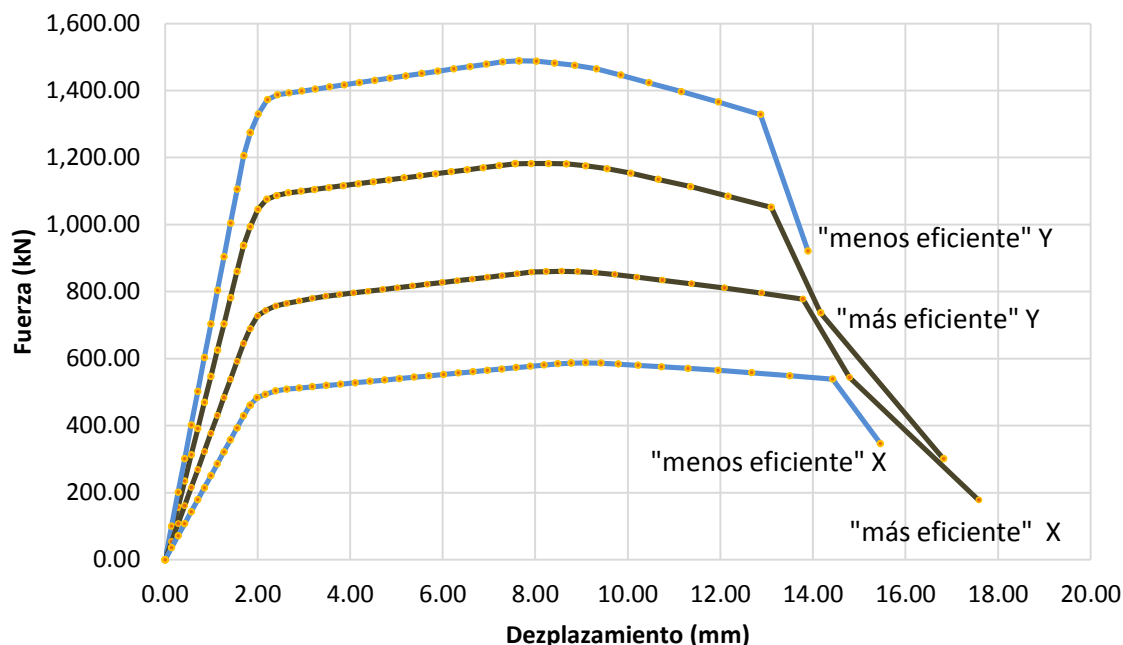


Figura 2.25. Envoltentes de resistencia lateral en dirección X y Y.

La relación de ductilidades se concentra en la Tabla 2.28, se observa que las calculadas en dirección Y de ambas estructuras son menores que las de dirección X, sin embargo en las dos direcciones son superiores al límite recomendado por las NTCM-RCDF (2004) de $Q = 2$.

Tabla 2.28. Comparación de valores de ductilidad del ejemplo 3m.

Estructura	Dirección	μ_1	μ_u	Q
“más eficiente”	X	7.24	2.87	2.18
“menos eficiente”	X	7.53	2.90	2.22
“más eficiente”	Y	6.97	2.79	2.14
“menos eficiente”	Y	6.80	2.74	2.12

Conclusiones.

El eje débil, X, tanto de la estructura “más eficiente” como la “menos eficiente” tiene un factor de comportamiento sísmico superior a la recomendación de las NTCM-RCDF (2004), $Q = 2$ (Tabla 2.26).

El factor de la densidad de muros no es un parámetro que determina si una estructura es eficiente. En la Tabla 2.29 se observa que la densidad de muros, indicada por Araiza (2000), de la estructura “menos eficiente” es el 47.63% de la “más eficiente”, el factor Q del 101.83%, y el cortante máximo del 68.26%, ambos obtenidos con el programa desarrollado en este trabajo. Se tiene una diferencia significativa en la densidad de muros pero no se ve reflejada en el factor de comportamiento sísmico, debido a que la estructura “más eficiente” tiene un valor menor, y si se observa mucha influencia en la resistencia ante carga lateral, por lo tanto el parámetro de densidad de muros no determina la eficiencia de una estructura y si influye en la resistencia a fuerza lateral.

Tabla 2.29. Comparación de valores de ductilidad, densidad de muros y cortante máximo del ejemplo 3m.

Estructura	Eje débil	Factor Q	Densidad de muro (m/m ²)	$V_{m\acute{a}x}$ (kN)
“más eficiente”	X	2.18	0.317	860.753
“menos eficiente”	X	2.22	0.151	587.531

Para determinar la eficiencia de una estructura, es más recomendable utilizar el coeficiente sísmico c que se menciona en las NTCS-RCDF (2004) en la sección 8.1 donde dice: “Para calcular las fuerzas cortantes a diferentes niveles de una estructura, se supondrá un conjunto de fuerzas horizontales actuando sobre cada uno de los puntos donde se supongan concentradas las masas. Cada una de estas fuerzas se tomara igual al peso de la masa que corresponde, multiplicando por un coeficiente proporcional a h , siendo h la altura de la masa en cuestión sobre el desplante (o nivel a partir del cual las deformaciones estructurales pueden ser apreciables). El coeficiente de proporcionalidad se tomará de tal manera que la relación V_0/W_0 sea igual a c/Q' pero no menor a a_0 , donde a_0 es la ordenada espectral que corresponde a $T = 0$ y c el coeficiente sísmico”.

Atendiendo al párrafo anterior, la fuerza lateral que actúa en el i -ésimo nivel, F_i , es

$$F_i = \frac{c}{Q'} W_i h_i \frac{\sum W_i}{\sum W_i h_i} \quad (26)$$

donde W_i es el peso de la i -ésima masa, h_i es la altura de la i -ésima masa sobre el desplante, c el coeficiente sísmico y Q' factor de comportamiento sísmico reducido.

El coeficiente de proporcionalidad es

$$\frac{c}{Q'} = \frac{V_0}{W_0} \quad (27)$$

donde V_0 es la fuerza cortante horizontal que actúa en la base de la edificación por efecto del sismo y W_0 el peso de la edificación sobre dicho nivel.

Para corroborar que de la ecuación 27 se obtiene la fuerza cortante que actúa en la base de una edificación (V_0), se toma el Ejemplo 2m, donde Pérez (2012) indica en la Tabla 2.15 que el cortante que actúa en el primer entrepiso es de 229.6 kN tomando $c = 0.19$ y $Q' = 1.20$. En la Tabla 2.18 se aplicó la ecuación 26 para obtener que $F_{x_2} = 137.74 \text{ kN}$ y $F_{x_1} = 90.81 \text{ kN}$, también se indica que el peso de la edificación es de 147190.21 kg. Sustituyendo valores en la ecuación 27 y despejando V_0 se tiene

$$\frac{0.19}{1.2} = \frac{V_0}{147190.21}$$

$$V_0 = 23305.12 \text{ kg} = 228.6 \text{ kN}$$

que es similar al valor reportando por Pérez (2012). Si se desea obtener este valor a partir del diagrama de cortante con las fuerzas laterales calculadas como lo indica la ecuación 26, se tiene que en el segundo entrepiso es de 137.74 kN y en el primero de $137.74 + 90.81 = 228.6 \text{ kN}$ (Fig. 2.26). Así pues se corrobora que con la ecuación 27 se calcula directamente el cortante en el primer entrepiso.

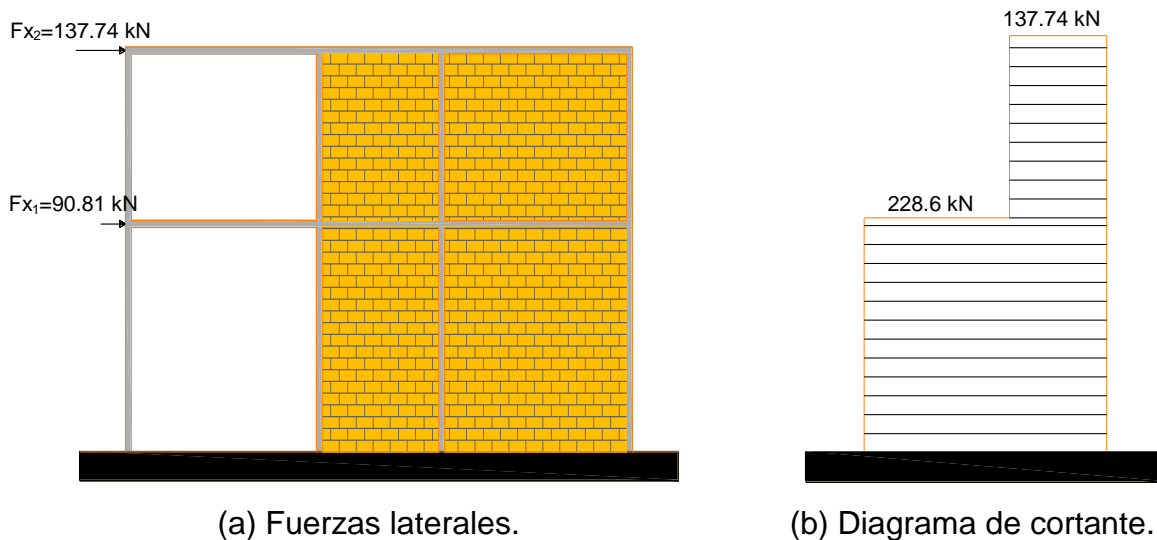


Figura 2.26. Cortante actuante en la estructura del ejemplo 2m.

Para aplicar la metodología aquí programada en la ecuación 27 se propone sustituir el cortante horizontal que actúa en la base de la edificación por efecto del sismo, V_0 , por el cortante horizontal resistente en la base de la edificación, V_R , y el coeficiente sísmico c por el coeficiente sísmico de desempeño c_e . Posteriormente se despeja c_e y se tiene

$$c_e = \frac{V_R}{W_0} Q', \quad (28)$$

esta ecuación requiere de un valor de cortante resistente (V_R) y debe ser menor al cortante resistente máximo ($V_{m\acute{a}x}$), tomando el mismo criterio de falla del modelo trilineal de cortante para muros de mampostería confinada se propone que

$$V_R = V_u = 0.8V_{m\acute{a}x}, \quad (29)$$

debido a que si se toma el 100% de la resistencia máxima la estructura estaría al límite de su resistencia y próxima al colapso. Al calcular el valor V_R con la ecuación 29 la edificación presenta un daño reparable pero con un costo elevado. Si se desea menor daño se debe tomar un valor menor quizá el de agrietamiento, con el cual los costos de reparación serían menores.

La ecuación 28 representa el nivel de eficiencia o desempeño de una estructura ante fuerzas laterales, es decir, indica si la edificación es apropiada para una determinada zona sísmica de la República Mexicana, esto se logra comparando el valor obtenido de c_e con los coeficientes sísmicos c que indican los reglamentos.

Para aplicar la ecuación 28 se realizan los siguientes pasos: (1) se realiza el análisis por cargas verticales para verificar que no existe falla por carga axial, de existir se refuerzan los muros aumentando su sección o cambiando el tipo de material. (2) Se realiza el análisis por fuerzas laterales y se verifica que el valor de Q sea mayor o igual al recomendado por las NTCM-RCDF (2004) de $Q = 2$. (3) Se obtienen los valores de V_u y Q del análisis realizado con el programa desarrollado en este trabajo. (4) Se calcula el peso de la edificación a partir de las masas. (5) Se calcula el valor de c_e y se compara con el valor del coeficiente sísmico c de algún reglamento.

Si el valor c_e es menor que el coeficiente sísmico c la estructura no tiene desempeño aceptable y no se recomienda su construcción debido a que no sería capaz de resistir las fuerzas laterales de un sismo. Si el valor obtenido es igual o mayor que el coeficiente sísmico c la estructura tiene desempeño aceptable y es apta para construirse.

Se utilizara la estructura “más eficiente” del Ejemplo 3m para determinar su desempeño utilizando la ecuación 28. En esta estructura el eje débil es el X debido

a que tiene menor resistencia a fuerza cortante lateral. En el análisis se determinó que en este eje el cortante máximo ($V_{m\acute{a}x}$) y el ultimo (V_u) es de 860.753 kN y 668.602 kN, respectivamente. El coeficiente de comportamiento sísmico es de $Q = 2.18$, como no se conoce el periodo fundamental de la estructura $Q' = Q$. Las masas que actúan en cada nivel (M_i) se muestran en la Tabla 2.30, con ellas se calcula W_0 , según el análisis la estructura no presenta falla por carga axial y falla por fuerza lateral en el nivel 1 por lo que se realiza la sumatoria de las masas desde dicho nivel.

Tabla 2.30. Masas del i-ésimo nivel.

Nivel	M_i (kN*s ² /mm)
1	0.05414
2	0.05452
3	0.05452
4	0.05452
5	0.04339

Realizando la sumatoria de las masas $\sum M_i = 0.26109$ kN*s²/mm, como la aceleración de la gravead es de 9810 mm/s², $W_0 = 0.26109(9810) = 2561.292$ kN. Sustituyendo los términos en la ecuación 28 se tiene

$$c_e = \frac{668.602}{(2561.292)} 2.18 = 0.57 ,$$

lo cual indica que la estructura tiene un cierto desempeño para los coeficientes sísmicos c que dictan los reglamentos de construcciones. Aplicando los coeficientes sísmicos del Reglamento de Construcciones del Estado de Michoacán de 1990 (RCEM, 1990) mostrados en la Tabla 2.31 observamos que el más alto es $c = 0.32$ correspondiente a la zona D con tipo de terreno III y es menor que el calculado, $c_e = 0.57$. Así se concluye que la estructura tiene un desempeño del 56.14%, es decir la estructura es apta para construirse porque tiene una resistencia lateral mayor que las fuerzas sísmicas que se presentarían en dicha zona.

Tabla 2.31. Coeficientes sísmicos reducidos para el método simplificado, correspondientes a estructuras del grupo B.

Zona sísmica del Estado	Tipo de terreno de cimentación	Muros de piezas macizas confinados con dadas y castillos.		
		Altura de la construcción (m)		
		Menor de 4	Entre 4 y 7	Entre 7 y 13
B	I	0.06	0.08	0.08
	II	0.07	0.09	0.10
	III	0.08	0.09	0.11
C	I	0.11	0.12	0.12
	II	0.11	0.14	0.15
	III	0.13	0.15	0.18
D	I	0.24	0.24	0.24
	II	0.24	0.28	0.28
	III	0.24	0.30	0.32

Tabla 426-A del RCEM (1990).

2.4 CONCLUSIONES GENERALES.

Con el Ejemplo 1m se calibro el programa desarrollado, al comparar los valores aquí obtenidos con los que reporta Alcocer et al. (2011) donde se observó que son similares y así queda sustentado su funcionamiento adecuado. Las ductilidades se calculan con el valor del desplazamiento en el punto de agrietamiento (d_e) y correspondiente a V_u (d_u) de la curva envolvente de resistencia.

Las ventajas de utilizar esta metodología programada son que se obtienen los valores de Q' y V_u de una manera rápida, se puede conocer el estado de los muros que pertenecen a un entrepiso en particular, se puede saber el estado de un muro en particular y conocer su fuerza lateral resistente, la secuencia de falla por fuerza lateral de los muros y ahorro de tiempo considerable en los cálculos.

De acuerdo al análisis del Ejemplo 2m, para esta estructura la falla por carga axial se presenta a una altura mayor a los 12.50 m y la falla por fuerza lateral a una altura menor de los 12.5 m. Es por ello que se recomienda realizar primero el análisis por carga vertical de cada muro y posteriormente, si ninguno falla, realizar el análisis por fuerza lateral.

El parámetro de densidad de muros no determina el nivel de desempeño de una estructura es más recomendable determinarlo con el coeficiente sísmico de desempeño propuesto c_e ya que con el programa desarrollado en este trabajo se obtiene de manera rápida, además de que es posible determinar el desempeño de la estructura para cualquier zona sísmica de México. Como ejemplo, en la Tabla

2.32 se indican los valores del coeficiente sísmico de desempeño c_e , obtenido por el programa, de los ejemplos desarrollados, con los cuales se determina si las estructuras son aptas para las zonas sísmicas del estado de Michoacán como se menciona más adelante.

En la Tabla 2.32 se indica el eje débil de cada estructura, el tipo de falla, la resistencia ante fuerza lateral máxima, el factor de comportamiento sísmico y el coeficiente sísmico de desempeño, los valores presentados se obtuvieron con el programa desarrollado en este trabajo. Si se comparan los valores del coeficiente de desempeño sísmico c_e con los coeficientes sísmicos reducidos c para el método simplificado correspondientes a estructuras del grupo B (Tabla 2.31) indicados en el RCEM (1990) se concluye que todas las edificaciones son aptas para todas las zonas sísmicas y tipos de terrenos debido a que los coeficientes sísmicos de desempeño indicados en la Tabla 2.32 son mayores que el coeficiente sísmico más grande indicado en la Tabla 2.31 de $c = 0.32$, solo si las estructuras están clasificadas dentro del grupo B. Si están catalogadas en el grupo A la estructura del Ejemplo 3m “menos eficiente” no se debe construir en la zona D con terreno tipo III ya que no sería capaz de resistir las fuerzas laterales sísmicas debido a que $c_e = 0.42$ es menor que $c = 0.48$.

Tabla 2.32. Coeficientes sísmicos de desempeño de los ejemplos analizados en el capítulo 2.

Ejemplo	Niveles Total	Altura Total (m)	Eje débil	Tipo de falla	$V_{m\acute{a}x}$ (kN)	Q	c_e
1m	4	10	X	Fuerza lateral	775.680	2.33	0.66
2m	2	7	X	Fuerza lateral	849.601	3.31	1.56
	2	5	X	Fuerza lateral	819.918	3.25	1.60
	3	7.5	X	Fuerza lateral	918.139	2.75	1.00
	4	10	X	Fuerza lateral	1018.322	2.45	0.74
	5	12.5	X	Fuerza lateral	1117.782	2.29	0.61
	6	15	X	Carga axial	1118.44 ¹	2.16 ¹	0.48 ¹
3m "más eficiente"	5	13.15	X	Fuerza lateral	860.753	2.18	0.59
3m "menos eficiente"	5	13.15	X	Fuerza lateral	587.531	2.22	0.42

¹ Si el tipo de falla fuera por fuerza lateral.

A continuación se utilizará el Método Simplificado de Análisis Sísmico de las NTCS-RCDF (2004) con la finalidad de verificar que la estructura del Ejemplo 3m “menos eficiente” catalogada como estructura del grupo A no es apta para

construirse en la zona D con terreno tipo III del estado de Michoacán, donde el coeficiente sísmico es $c = 0.48$. El factor de comportamiento sísmico se tomará como $Q = 2$.

El programa desarrollado en este trabajo proporciona un archivo de datos después de realizar el análisis por carga vertical, en el cual se encuentran la masa correspondiente a cada nivel que se muestran en la Tabla 2.33. Al multiplicar la masa de cada nivel por la aceleración de la gravedad de 9810 mm/s^2 se obtiene el peso de cada nivel, con estos datos y los demás proporcionados en la Tabla 2.34 se calculan las fuerzas laterales actuantes en cada entrepiso sustituyendo en la ecuación 26. Como ejemplo se calcula la fuerza lateral actuante del primer nivel, sustituyendo en la ecuación 26 se tiene

$$F_1 = \frac{0.48}{2} 1299805.38 \frac{2454.36}{18810523.95} = 40.70 \text{ kN.}$$

De igual manera se calculan las demás fuerzas y se concentran en la Tabla 2.34, en donde también se indica el cortante actuante de cada nivel. En la Figura 2.27a se observan las fuerzas laterales actuantes aplicadas en cada nivel y en la Figura 2.27b el diagrama de cortante actuante.

Tabla 2.33. Masas del i-ésimo nivel.

Nivel	M_i ($\text{kN}\cdot\text{s}^2/\text{mm}$)
1	0.05196
2	0.05234
3	0.05234
4	0.05234
5	0.04121

Tabla 2.34. Cortantes y fuerzas sísmicas del Ejemplo 3m “menos eficiente”.

Nivel	w_i (kN)	h_i (mm)	$(w_i)(h_i)$	F_i (kN)	V_i (kN)
5	404.27	13150.00	5316151.82	166.47	166.47
4	513.46	10600.00	5442627.24	170.43	336.91
3	513.46	7950.00	4081970.43	127.83	464.73
2	513.46	5200.00	2669968.08	83.61	548.34
1	509.73	2550.00	1299805.38	40.70	589.05
$\Sigma=$	2454.36	–	18810523.95	589.05	–

En la Figura 2.27c se observa la envolvente de resistencia lateral de cada nivel calculadas con el programa desarrollado en este trabajo. En la Figura 2.27d se observa el diagrama de cortante resistente que se obtuvo de las envolventes de

resistencia de la Figura 2.27c. Como ejemplo se calcula el cortante resistente en el nivel 2, el programa indica que la resistencia máxima de este nivel es de $V_{m\acute{a}x} = 530.1161 \text{ kN}$, sustituyendo en la ecuacion 29 se tiene

$$V_{R2} = 0.8(530.1161) = 424.129 \text{ kN} ,$$

de manera similar se calculan los otros niveles.

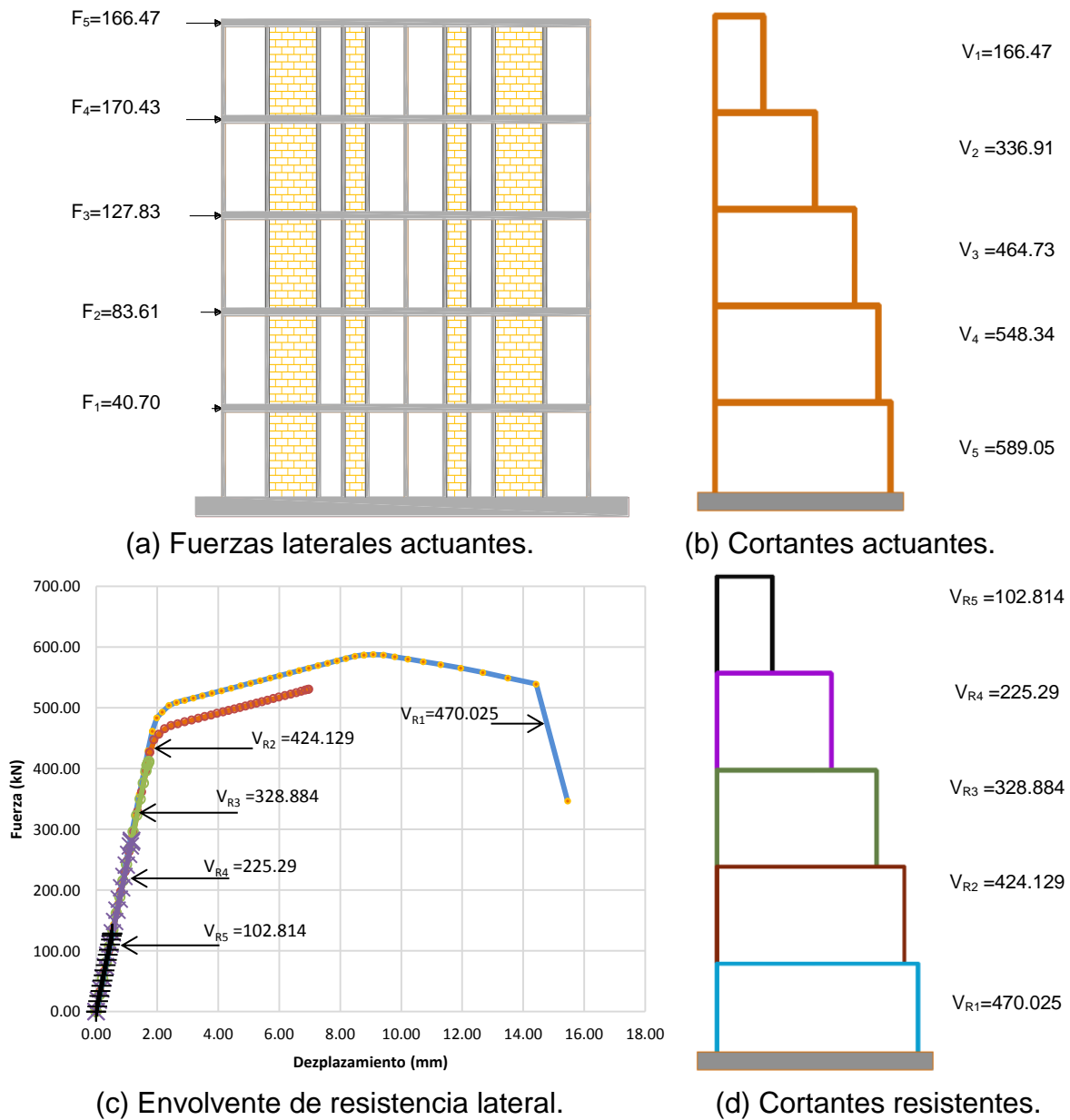


Figura 2.27. Fuerzas y cortantes (kN) del ejemplo 3m “menos eficiente”.

En la Figura 2.27 se observa lo que ocurre cuando el coeficiente sísmico de desempeño propuesto c_e es mayor que el coeficiente sísmico c . En este caso de la estructura del Ejemplo 3m “menos eficientes” si está catalogada en el grupo A el cortante basal resistente, $V_{R1} = 470.25 \text{ kN}$, es menor que el cortante basal actuante, $V_1 = 589.05 \text{ kN}$, es decir la estructura no tiene capacidad de resistir las fuerzas laterales que generaría un evento sísmico en la zona D con terreno tipo III en el estado de Michoacán. De esta manera se corrobora que el coeficiente sísmico de desempeño c_e indica que cuando es menor que el coeficiente sísmico c la estructura no tiene la capacidad de resistir las fuerzas sísmicas laterales.

CAPÍTULO 3

**CURVA ENVOLVENTE DE RESISTENCIA LATERAL DE
PISO PARA ESTRUCTURAS FORMADAS POR MUROS DE
CONCRETO REFORZADO CON BARRAS CORRUGADAS.**

3.1 INTRODUCCIÓN.

En este capítulo se aborda el tema sobre la envolvente de resistencia lateral de piso para estructuras formadas por muros de concreto reforzados con barras corrugadas. La curva corresponde al modelo de predicción propuesto por Carrillo et al. (2009, 2012), mismo que se aplica a varias edificaciones para determinar su comportamiento.

3.2 MODELO TRILINEAL DE CORTANTE PARA MUROS DE CONCRETO REFORZADO CON BARRAS CORRUGADAS.

Se presenta el tema sobre la envolvente de resistencia lateral de piso para estructuras formadas por muros de concreto reforzado del modelo trilineal de resistencia a cortante propuesto por Carrillo et al. (2009 y 2012). En la gráfica de dicho modelo (Fig. 3.1), las ordenadas corresponden a la fuerza cortante y las abscisas al desplazamiento. Se observan tres puntos: agrietamiento, máximo y último.

Las hipótesis de cálculo que se aplican así como la ductilidad, torsión y procedimiento de cálculo se mencionaron en el capítulo 2 secciones 2.2.1, 2.2.3, 2.2.4 y 2.2.5, respectivamente.

3.2.1 Envoltente de comportamiento histerético.

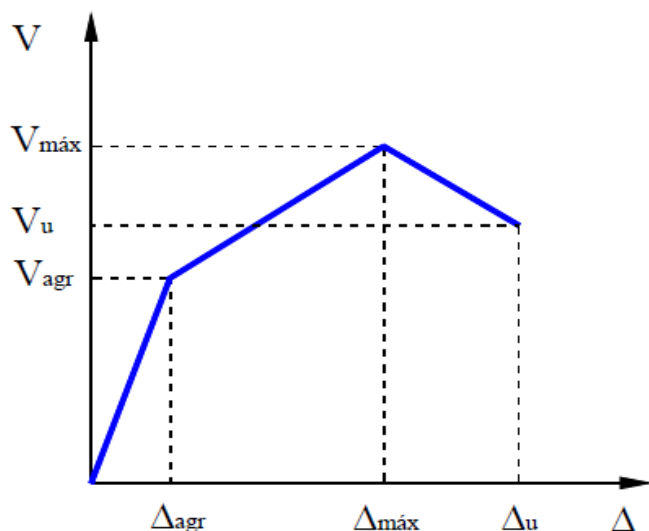


Figura 3.1. Curva idealizada de histéresis.
(Tomada de Carrillo et al., 2009)

3.2.1.1 Capacidad de resistencia.

Resistencia máxima ($V_{m\acute{a}x}$).

La resistencia máxima está representada por la ecuación 1 y es igual a la suma de la contribución del concreto (V_c) más la contribución del refuerzo horizontal (V_s) y cuyo límite representa la resistencia por compresión diagonal.

$$V_{m\acute{a}x} = V_c + V_s = [\alpha_1 \sqrt{f'_c} + \eta_h \rho_h f_{yh}] A_m \leq \alpha_2 \sqrt{f'_c} A_m \quad (1)$$

dónde:

$$A_m = t L$$

$$\alpha_1 = 0.67 - 0.06 \left(\frac{M}{VL} \right) \text{ usando } kg/cm^2$$

$$\alpha_1 = 0.21 - 0.02 \left(\frac{M}{VL} \right) \text{ usando } Mpa$$

$$\alpha_2 = 1.40 - 0.06 \left(\frac{M}{VL} \right) \text{ usando } kg/cm^2$$

$$\alpha_2 = 0.44 - 0.02 \left(\frac{M}{VL} \right) \text{ usando } Mpa$$

A_m área total del muro, calculada en función del espesor (t), longitud (L);
 η_h factor de eficiencia del refuerzo transversal igual a 0.8 (Carrillo et al., 2012);
 α_1 contribución del concreto a la resistencia;
 α_2 límite de resistencia a cortante del concreto;
 ρ_h cuantía de refuerzo horizontal a cortante en el alma (%);
 f_{yh} esfuerzo de fluencia del acero horizontal;
 f'_c resistencia a compresión del concreto;
 $\frac{M}{VL}$ relación entre el momento de flexión y la fuerza cortante por la longitud de muro;

donde la relación $\frac{M}{VL}$ se calcula como $0.75 \sqrt{\frac{H_m}{L_m}}$ (Carillo et al., 2012), H_m se refiere a la altura del muro y L_m a la longitud.

Resistencia al agrietamiento diagonal (V_{agr}).

La resistencia al agrietamiento diagonal es igual a la contribución del concreto.

$$V_{agr} = V_c = \alpha_1 \sqrt{f'_c} A_m \quad (2)$$

Resistencia última (V_u).

Se considera que la resistencia última está asociada a una disminución de resistencia del 20% de la resistencia máxima.

$$V_u = 0.8 V_{m\acute{a}x} \quad (3)$$

3.2.1.2 Capacidad de desplazamiento.

Para el diseño sísmico se utilizan parámetros adimensionales que reflejan de una mejor manera el comportamiento global de las estructuras. En este caso se utiliza la distorsión, la cual se define como el desplazamiento medido al nivel de la losa de entrepiso, normalizado por la altura correspondiente (H_m). Las ecuaciones de desplazamiento se expresan en términos de distorsión (%) y son las que se presentan a continuación.

Distorsión al agrietamiento diagonal (R_{agr}).

Una vez calculada la resistencia al agrietamiento (V_{agr}) y utilizando la rigidez elástica agrietada (K_{agr}) se calcula la distorsión al agrietamiento diagonal.

$$R_{agr}(\%) = \left(\frac{V_{agr}}{K_{agr}} \right) \frac{100}{H_m} \quad (4)$$

donde K_{agr} incluye las deformaciones por cortante y por flexión y se calcula con la ecuación 5.

$$K_{agr} = \left(\frac{H_m^3}{c_1 3 E_c I_g} + \frac{1.2 H_m}{c_2 G_c A_c} \right)^{-1} \quad (5)$$

dónde:

- A_c área de cortante de la sección transversal del muro;
- E_c módulo de elasticidad del concreto;
- I_g momento de inercia centroidal de la sección bruta despreciando el acero de refuerzo;
- G_c módulo de cortante del concreto;
- H_m altura del muro y
- c_1, c_2 factores para incluir el efecto del agrietamiento del concreto y son igual a 0.5 para concreto agrietado.

Distorsión a la resistencia máxima ($R_{m\acute{a}x}$).

$$R_{m\acute{a}x}(\%) = a_1 \left(\frac{M}{VL} \right)^{b_1} \frac{V_{m\acute{a}x}}{A_m \sqrt{f'c}} + a_2 \left(\frac{M}{VL} \right)^{b_2} \quad (6)$$

dónde:

- $V_{m\acute{a}x}$ resistencia máxima del muro ante fuerza lateral;
 A_m área de la sección transversal del muro;
 $f'c$ resistencia a compresión del concreto y
 a_1, a_2, b_1, b_2 constantes que se obtienen de la Tabla 3.2.

Tabla 3.2. Constantes para el cculo de la distorsión máxima.

Constante	Mpa	kgf/cm ²
a_1	2.40	0.75
a_2		-0.20
b_1		0.60
b_2		1.00

La relación $\frac{M}{VL}$ se calcula como $0.75 \sqrt{\frac{H_m}{L_m}}$ (Carillo et al., 2012), H_m se refiere a la altura del muro y L_m a la longitud.

Distorsión ltima (R_u).

$$R_u(\%) = c_1 \left(\frac{M}{VL}\right)^{d_1} \frac{V_{m\acute{a}x}}{A_m \sqrt{f'c}} + c_2 \left(\frac{M}{VL}\right)^{d_2} \quad (7)$$

dónde:

- $V_{m\acute{a}x}$ resistencia máxima del muro ante fuerza lateral;
 A_m área de la sección transversal del muro;
 $f'c$ resistencia a compresión del concreto y
 c_1, c_2, d_1, d_2 constantes que se obtienen de la Tabla 3.3.

Tabla 3.3. Constantes para el cculo de la distorsión última.

Constante	Mpa	kgf/cm ²
c_1	4.10	1.28
c_2		-0.43
d_1		0.15
d_2		-0.40

La relación $\frac{M}{VL}$ se calcula como $0.75 \sqrt{\frac{H_m}{L_m}}$ (Carillo et al., 2012), H_m se refiere a la altura del muro y L_m a la longitud.

3.3 PROGRAMACIÓN Y APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA.

Se aplica el programa desarrollado en lenguaje fortran 90 llamado "ENRELA_COB_JC" el diagrama de flujo se encuentra en el apéndice 1B y consta de 5 pasos generales: (1) inicia con la lectura del archivo de datos que requiere el programa, (2) se impone un desplazamiento arbitrario inicial, en este caso de 5×10^{-09} m, y un desplazamiento incremental de 5×10^{-04} m, (3) se calcula la rigidez y resistencia de cada muro, (4) se calcula la torsión en el edificio mediante el centro de rigidez y el centro de masas y (5) se calcula el primer modo de vibrar. Se suman las resistencias de cada muro en el sentido del análisis, así como los desplazamientos hasta que llegan a la falla.

3.3.1 Calibrado del programa.

Para sustentar los valores de las curvas calculadas con este programa se tomaron como base los valores de las curvas obtenidas de las pruebas experimentales, tanto de los ensayos cíclicos como de los dinámicos de muros con diferente relación de altura longitud (H_m/L_m).

Realizar los cálculos requiere una distribución en planta. Para evitar la influencia del cortante por torsión se realizó el análisis de una estructura de un nivel y planta cuadrada (Fig. 3.2). De esta manera se le solicita al programa los valores de la curva envolvente de resistencia lateral de piso de uno de los muros para compararlos con los valores experimentales. En la Tabla 3.4 se presentan las características y propiedades de algunos muros ensayados experimentalmente, mismas que se tomaron para realizar los cálculos analíticos.

Tabla 3.4. Características y propiedades de muros analizados.

Muro	H_m (m)	L_m (m)	t (m)	Concreto		Refuerzo en el alma		Tipo de carga
				f'_c (Mpa)	E_c (Mpa)	f_y (Mpa)	p_{min} (%)	
9	2.40	2.40	0.10	16.20	10062.31	412	50	Cíclica
17	2.4	5.40	0.10	16.20	10062.31	412	100	
18	2.4	1.24	0.10	16.20	10062.31	412	100	
21	2.4	5.40	0.10	5.20	5700.88	412	100	
28	2.4	1.92	0.10	16.00	10000.00	412	100	
33	2.4	2.40	0.10	5.20	5700.88	412	100	
37	1.92	1.92	0.08	24.80	14757.00	412	100	Dinámica
39	1.92	1.92	0.08	21.00	9146.00	412	100	

Valores tomados de Carrillo (2007) y Carrillo (2008).

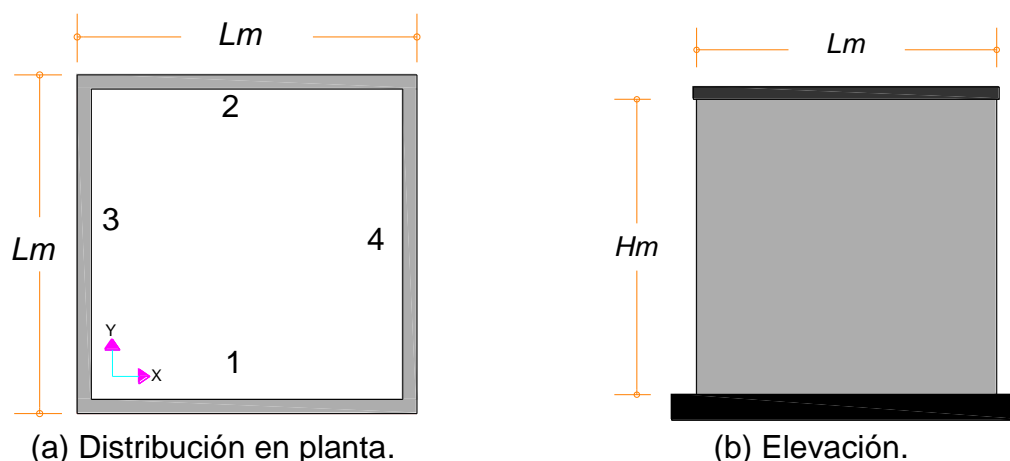


Figura 3.2. Planta y elevación de estructura de concreto.

Como ejemplo para el cálculo analítico se toma el muro 9. En la Figura 3.2a se observa la planta en la cual los cuatro muros tienen las mismas propiedades del muro 9 indicadas en la Tabla 3.4, se considera un espesor de la losa de 0.20 m. Se pide al programa “ENRELA_COB_JC” los valores de la envolvente de uno de los cuatro muros y proporciona los valores indicados en la Tabla 3.5 que al graficarlos se obtiene la envolvente de resistencia lateral del muro 9 mostrada en la Figura 3.3.

Tabla 3.5. Valores de resistencia y distorsión del muro 9.

Distorsión (mm/mm)	Resistencia (kN)	Distorsión (mm/mm)	Resistencia (kN)
0.00000	0.0007	0.00332	278.7102
0.00020	41.1411	0.00351	284.5001
0.00039	82.2818	0.00370	290.2900
0.00059	123.4224	0.00390	296.0797
0.00079	164.5631	0.00409	301.8694
0.00098	205.7038	0.00428	307.6590
0.00118	214.8442	0.00448	305.9653
0.00138	220.7436	0.00468	303.6191
0.00158	226.5741	0.00487	301.2932
0.00177	232.3787	0.00506	298.9658
0.00196	238.1743	0.00525	296.6385
0.00216	243.9669	0.00545	294.3111
0.00235	249.7583	0.00564	291.9836
0.00254	255.5491	0.00583	289.6560
0.00274	261.3397	0.00603	287.3283
0.00293	267.1300	0.00622	285.0006
0.00312	272.9202	0.00641	282.6728

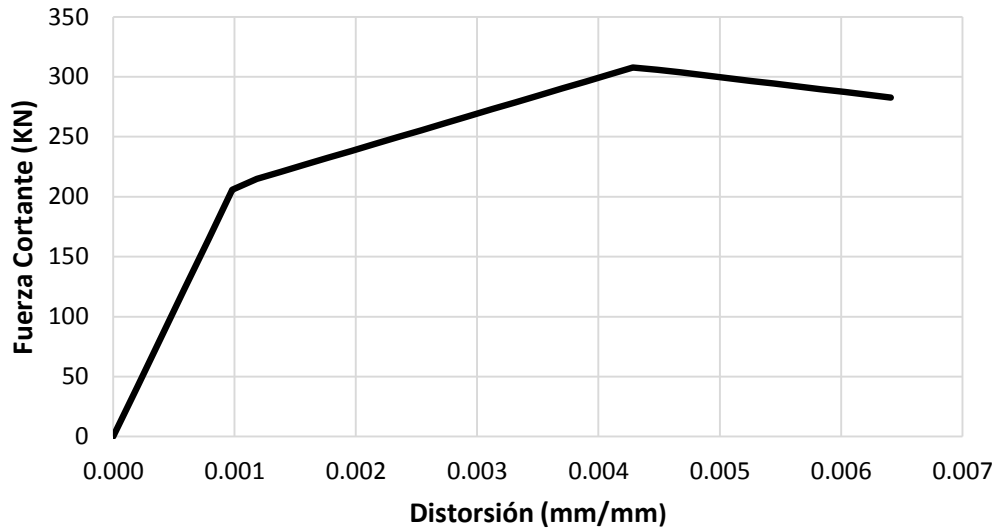


Figura 3.3. Envolvente de resistencia lateral de muro 9.

De manera similar se obtienen las envolventes de los muros de la Tabla 3.4, al graficar cada envolvente obtenemos las curvas de la Figura 3.4.

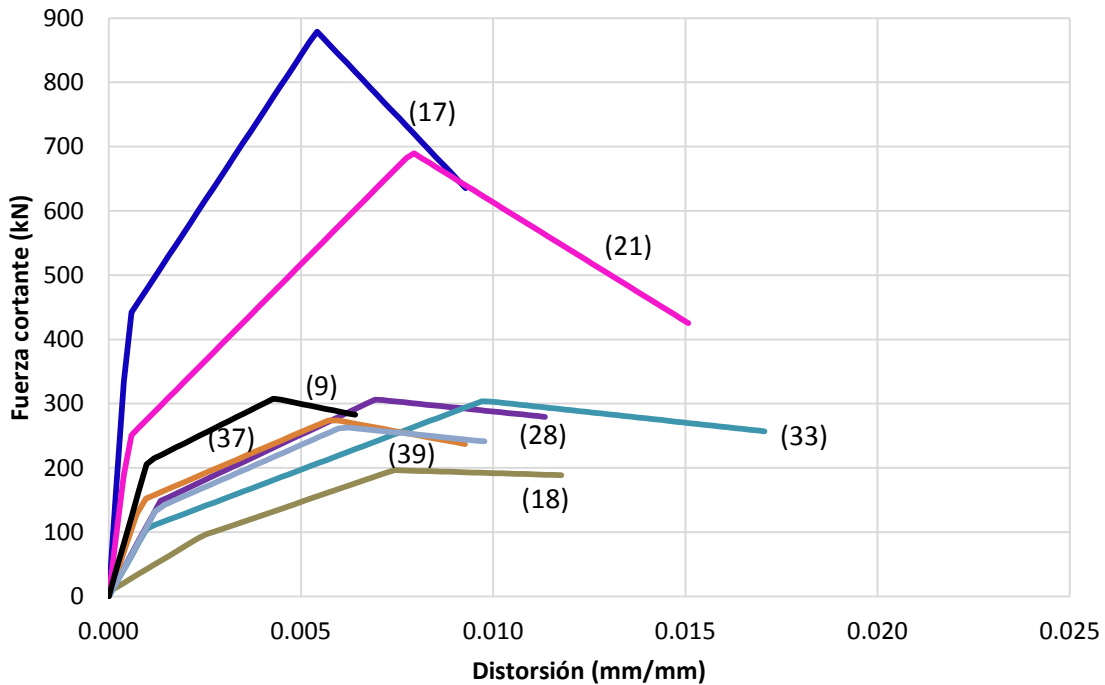
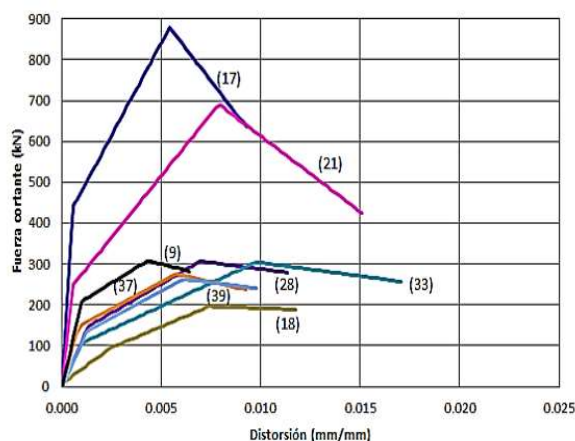


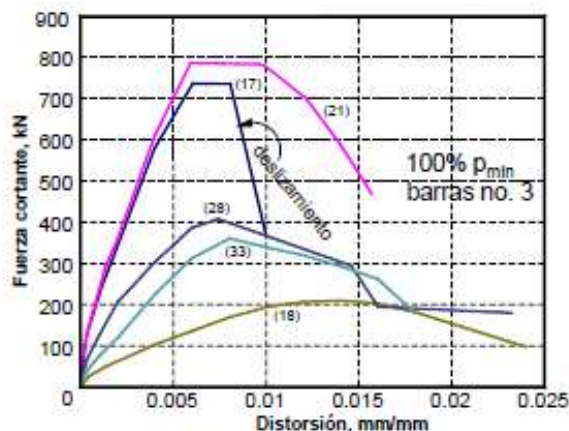
Figura 3.4. Envolvente de resistencia lateral de muros.

3.3.1.1 Resultados comparativos con pruebas experimentales.

Comparando las gráficas calculadas analíticamente (Fig. 3.5a) con las gráficas obtenidas de los ensayos (Fig. 3.5b) se observa que los valores de fuerza cortante máxima ($V_{m\acute{a}x}$) y distorsión son similares, en la Tabla 3.6 y 3.7 se indican estos valores, respectivamente.



(a) Envolturas de este estudio.



(b) Envolturas experimentales.

Figura 3.5. Comparación de envolturas de resistencia lateral de muros.

La Tabla 3.6 indica los valores de cortante resistente máximo experimental, teórico y analítico para cada uno de los muros estudiados; así como también los cocientes entre los valores teóricos y experimentales y el analítico y experimental. En esta Tabla se observa que la media aritmética para ambos casos es inferior a uno.

Tabla 3.6. Comparación de resistencias máximas.

Muro	$V_{m\acute{a}x}$ (kN)			$\frac{T}{E}$	$\frac{F}{E}$
	E	T	F		
9	352	316.80	307.66	0.90	0.87
17	766	804.30	878.80	1.05	1.15
18	208	199.68	196.51	0.96	0.94
21	800	712.00	689.40	0.89	0.86
28	383	348.53	305.97	0.91	0.80
33	336	302.40	303.86	0.90	0.90
37	274	298.66	274.00	1.09	1.00
39	250	282.50	262.90	1.13	1.05
Media aritmética \bar{X}				0.98	0.95

E= experimental, tabla 4.1 (Carrillo, 2012).
T= teórico, tabla 4.1 (Carrillo, 2012).
F= analítico, este trabajo.

La Tabla 3.6' indica los valores de distorsión máxima y última tanto la experimental como teórica y analítica para cada uno de los muros estudiados. Así como también los cocientes entre el valor teórico y experimental y analítico y experimental. Carrillo et al. (2012) no presenta datos de los muros 17 y 21.

Tabla 3.6'. Comparación de distorsiones máxima y última.

Muro	$R_{m\acute{a}x}$ (%)			$\frac{T}{E}$	$\frac{F}{E}$	R_u (%)			$\frac{T}{E}$	$\frac{F}{E}$
	E	T	F			E	T	F		
9	0.66	0.55	0.43	0.84	0.65	1.02	0.8	0.64	0.81	0.63
17	-	-	0.54	-	-	-	-	0.93	-	-
18	1.40	1.32	0.76	0.94	0.55	1.80	2.07	1.20	1.15	0.66
21	-	-	0.79	-	-	-	-	1.51	-	-
28	0.67	0.61	0.69	0.91	1.03	1.09	0.94	1.13	0.86	1.04
33	0.80	0.75	0.97	0.94	1.21	1.51	1.12	1.71	0.74	1.13
37	0.53	0.67	0.57	1.26	1.08	0.58	1.00	0.93	1.73	1.60
39	0.50	0.71	0.62	1.41	1.24	0.53	0.77	0.98	1.45	1.84
Media aritmética \bar{X}				1.05	0.96				1.12	1.15
E= experimental, tabla 5.1 (Carrillo, 2012).										
T= teórico, tabla 5.1 (Carrillo, 2012).										
F= analítico, este trabajo.										

Conclusiones.

En el programa se realizan incrementos de 5×10^{-04} m después del desplazamiento inicial de 5×10^{-09} , por ello es de esperarse que los valores de resistencia y distorsiones no sean exactamente los presentados por Carrillo et al. (2012), principalmente las distorsiones. Lo que debe cumplirse es que sean valores muy cercanos, tanto como lo permitan los incrementos mencionados.

En una metodología adecuada para diseño sísmico, el valor promedio del cociente de resistencia o distorsión teórica y experimental debe ser menor o igual a uno (mayor a uno se tolera 5%), pero la mayoría de los cocientes deben estar cerca de uno; es decir, las resistencias calculadas deben ser menores o iguales que las resistencias experimentales (Carrillo, 2012).

Con la cantidad de muros analizados, las medias aritméticas de resistencia máxima son valores muy cercanos y menores que uno (Carrillo $\bar{X} = 0.98$, este trabajo $\bar{X} = 0.95$). La mayoría de los cocientes es cercana a uno, es decir, la mayoría de las resistencias máximas calculadas son menores o iguales a las experimentales y las presentadas por Carrillo et al. (2012).

Las medias aritméticas de distorsión máxima (Carrillo $\bar{X} = 1.05$, este trabajo $\bar{X} = 0.96$) y última (Carrillo $\bar{X} = 1.12$, este trabajo $\bar{X} = 1.15$) son relativamente cercanas, debido a los incrementos en cada ciclo del programa. En este caso no todas son menores a uno por la cantidad de muros analizados. Los valores de distorsiones son más sensibles por ser valores muy pequeños en relación a las resistencias.

Así queda sustentado que el programa funciona de manera adecuada. A continuación se analizan varias edificaciones que se han construido en México.

3.3.2 Ejemplo 1cb.

La estructura analizada en este ejemplo es la correspondiente al ejemplo 1m del capítulo 2. Ahora se analiza con muros de concreto reforzado con barras corrugadas. El espesor de cada muro es de 10 cm y el porcentaje de acero en el alma es el mínimo estipulado en las NTCC-RCDF (2004), $p_{min} = 0.0025$. La Figura 3.6 corresponde a la planta y elevación. En la Tabla 3.7 se indican las propiedades de los materiales y en la 3.8 las características generales.

Tabla 3.7. Propiedades mecánicas de los materiales del ejemplo 1cb.

Material	Propiedad mecánica	Resistencia(Mpa)
Concreto	$f'c$	15
	Ec	9682.46
Acero	f_y	420
	Es	200000
	p_h	0.0025
	n_h	0.8

Tabla 3.8. Características generales de la estructura del ejemplo 1cb.

Característica	Datos
Ubicación	Zona III, DF
Coefficiente sísmico (c)	0.19
Uso	Oficinas
Entrepiso	2.50 m
Espesor de losa	0.10 m
Espesor de muros	0.10 m

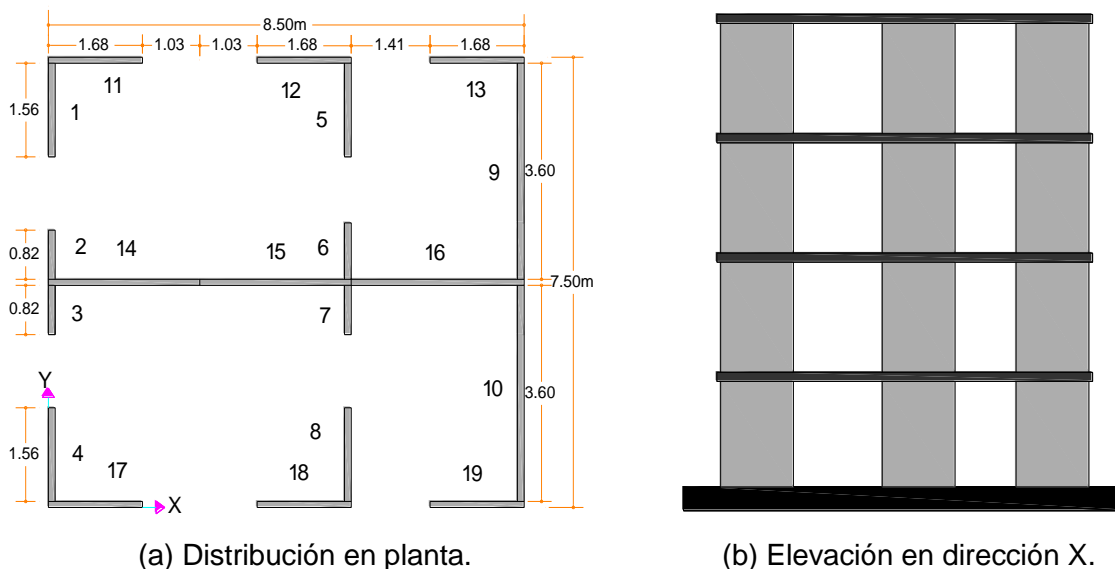


Figura 3.6. Planta y elevación de estructura de concreto reforzado.

Se considera que el peso de muro es de 2200 kg/m^3 , en la azotea una carga de servicio de 530 kg/m^2 y en los niveles inferiores de 650 kg/m^2 .

3.3.2.1 Envolvente de resistencia lateral de piso en dirección X.

La Figura 3.7 corresponde a la envolvente de resistencia lateral de piso analizando en dirección X, la resistencia máxima es de 2915.821 kN con desplazamiento de 18.50 mm .

La Tabla 3.9 indica las ductilidades en esta dirección calculadas como se analizó en el capítulo 2. El factor de comportamiento sísmico, $Q=2.81$, es mayor que la recomendación ($Q=2$) de las NTCS-RCDF (2004).

Tabla 3.9. Valores de ductilidad en dirección X del ejemplo 1cb.

Dirección	μ_1	μ_u	Q
X	10.16	4.44	2.81

La Figura 3.8 muestra la evolución de la forma modal, donde se observa que la estructura falla en el primer nivel.

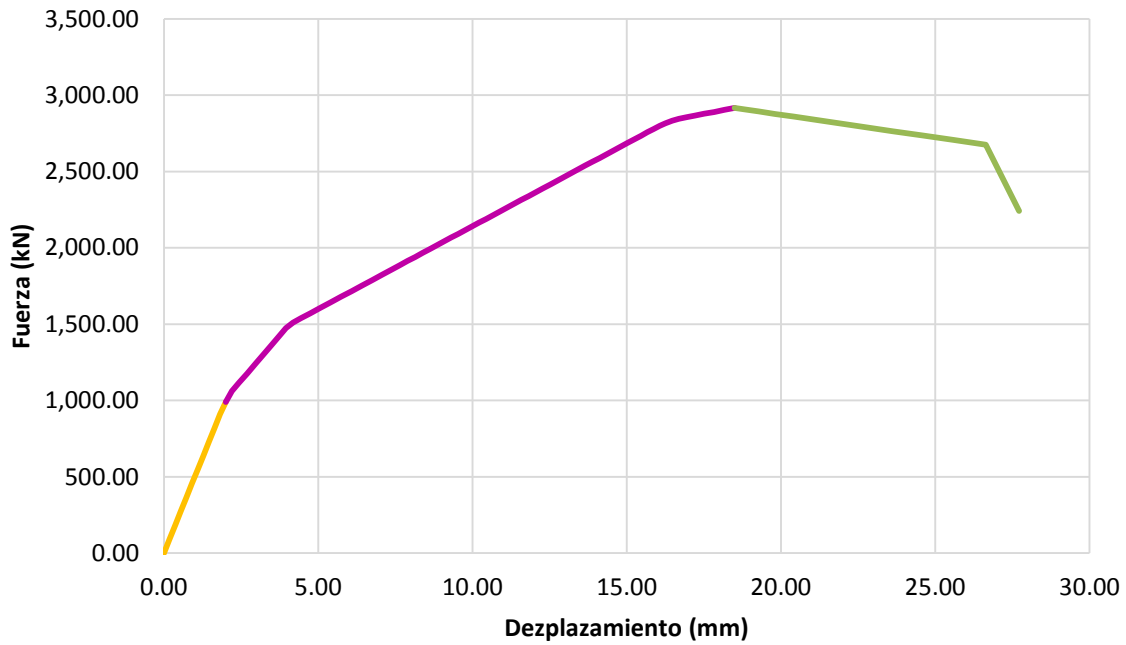


Figura 3.7. Envolvente de resistencia lateral en dirección X.

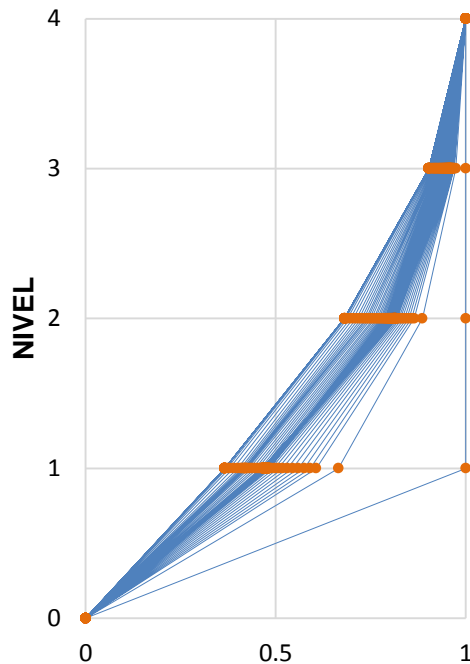


Figura 3.8. Evolución de la forma modal.

3.3.2.2 Envolvente de resistencia lateral de piso en dirección Y.

En la Figura 3.9 se observa la curva de capacidad para el análisis en dirección Y, el valor de resistencia máxima es de 3045.789 kN y su desplazamiento de 17.83 mm. La Tabla 3.10 indica las ductilidades donde se tiene que el factor de comportamiento sísmico, $Q=2.93$, es mayor que 2.

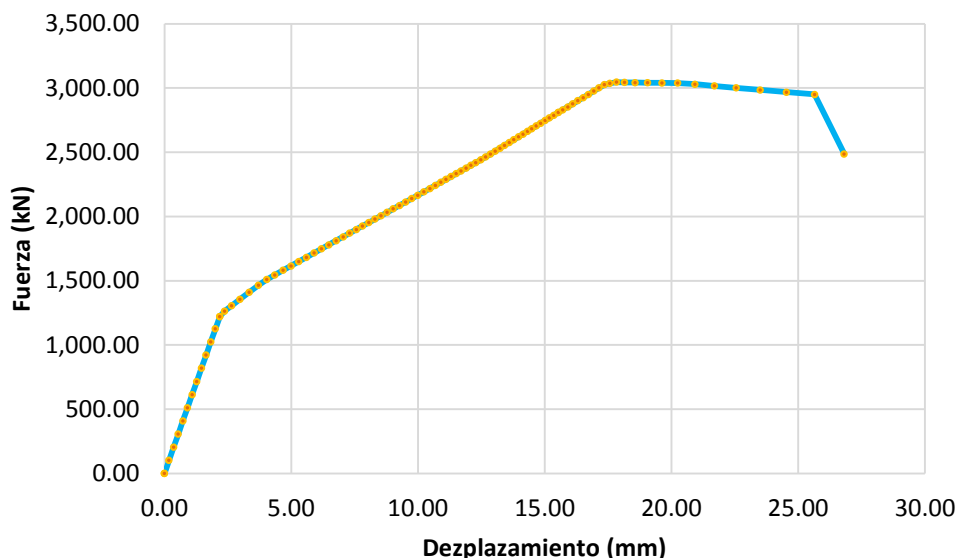


Figura 3.9. Envolvente de resistencia lateral en dirección Y.

Tabla 3.10. Valores de ductilidad en dirección Y del ejemplo 1cb.

Dirección	μ_1	μ_u	Q
Y	11.11	4.79	2.93

3.3.2.3 Envolvente de resistencia lateral de piso en direcciones X y Y.

La Figura 3.10 corresponde a la superposición de las gráficas que se obtuvieron del análisis en dirección X y Y. Se observa que la resistencia máxima a cortante en dirección X es menor por lo que es el eje débil. La dirección X tiene mayor desplazamiento último.

La Tabla 3.11 indica las ductilidades en direcciones X y Y. se observa que la ductilidad en dirección Y, $Q = 2.93$, es mayor que en dirección X, $Q = 2.81$.

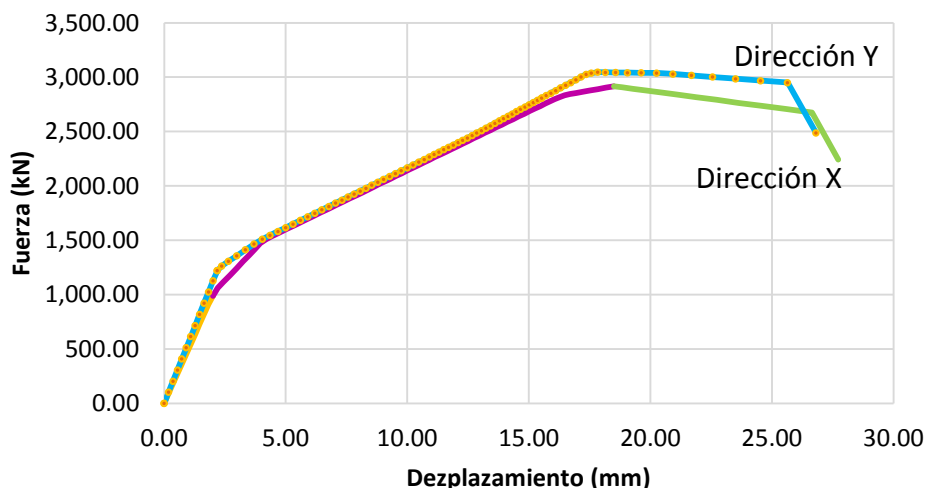


Figura 3.10. Envolvente de resistencia lateral en dirección X y Y.

Tabla 3.11. Comparación de valores de ductilidad del ejemplo 1cb.

Dirección.	μ_1	μ_u	Q
X	10.16	4.44	2.81
Y	11.11	4.79	2.93

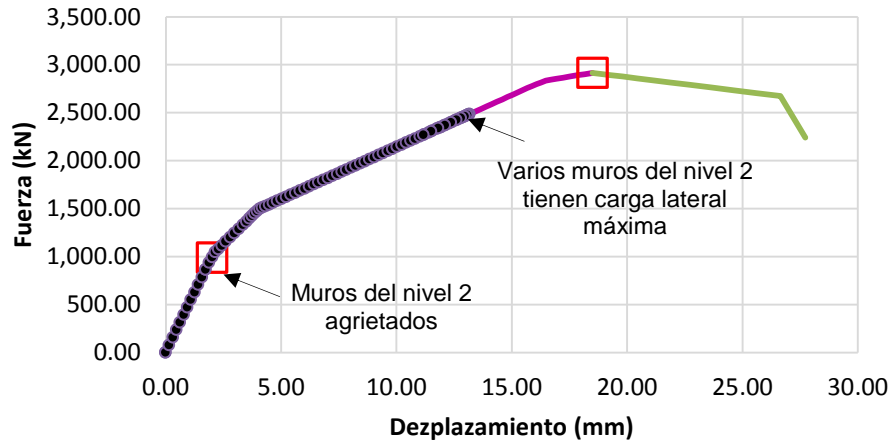
En las Figuras 3.10.1a a 3.10.1c, se muestra la curva envolvente de resistencia lateral del Nivel 1, y el estado del comportamiento de los muros de los niveles 2, 3 y 4, respectivamente. Se puede observar que las resistencias de los niveles superiores sigue la trayectoria de la curva de resistencia del nivel 1, debido a que la capacidad de resistencia lateral no está en función de los esfuerzos en compresión.

En las Figuras 3.10.2a a 3.10.2d, se muestran las curvas envolventes de resistencia lateral de los muros 1, 2 y 10 de la planta baja del edificio. En la Figura 3.10.2d se muestran las envolventes de resistencia lateral del muro No. 1 ubicado en los diferentes niveles de la estructura.

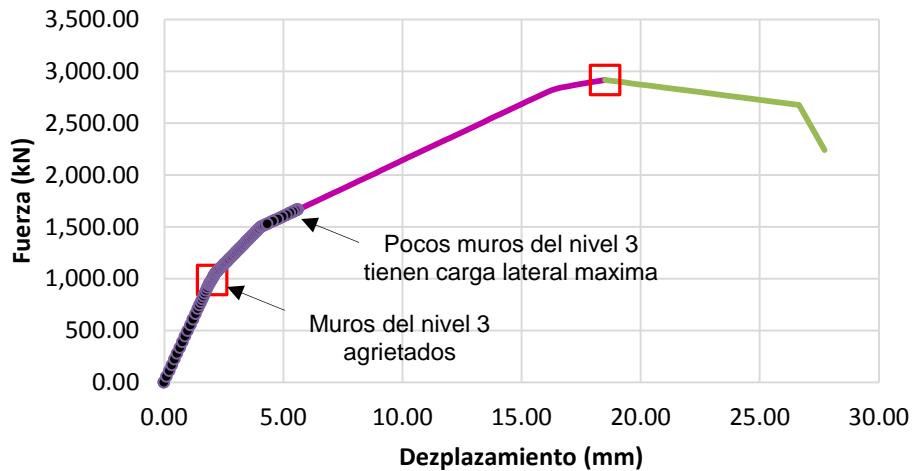
En la Figura 3.10.3 se observa la secuencia de falla de los muros por carga lateral, se grafica en el eje de las ordenadas la resistencia máxima ante carga lateral y en el de las abscisas el número de muro en la parte superior y la secuencia en la inferior. En sentido Y los primeros en fallar son 6 y 7 (Fig. 3.10.3a), en sentido X son 11, 12, 13, 17, 18 y 19 (Fig. 3.10.3b).

ENVOLVENTE DE RESISTENCIA LATERAL DE PISO PARA ESTRUCTURAS DE CONCRETO REFORZADO.

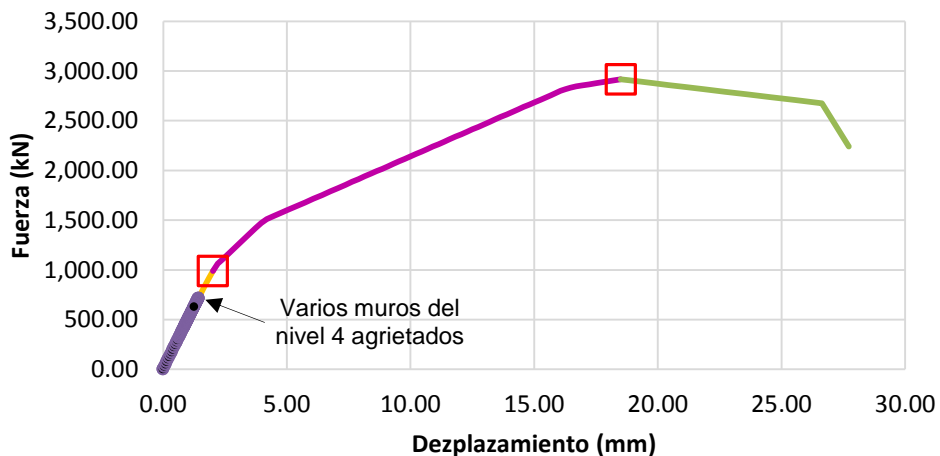
Curva envolvente de resistencia lateral de piso para estructuras formadas por muros de concreto reforzado con barras.



(a) Envoltura de resistência, Nível 1 e 2.



(b) Envoltura de resistência, Nível 1 e 3.

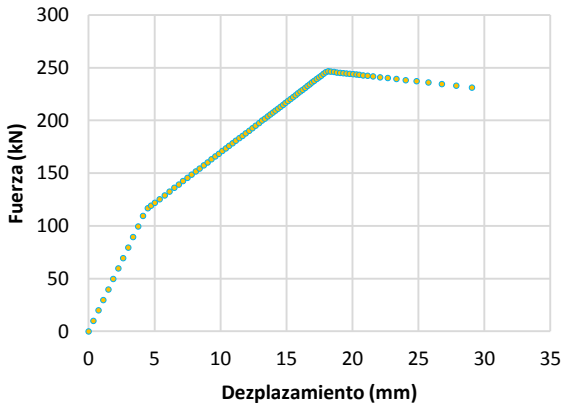


(c) Envoltura de resistência, Nível 1 e 4.

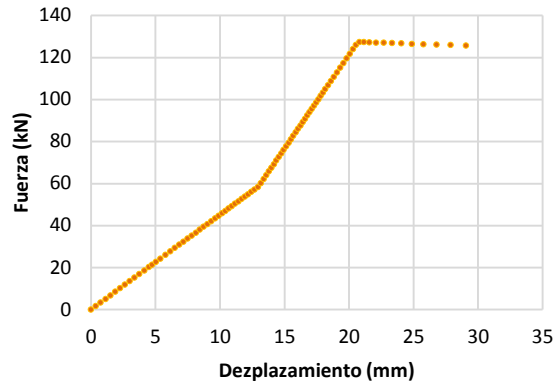
Figura 3.10.1. Envolturas de resistência lateral de los diferentes niveles.

ENVOLVENTE DE RESISTENCIA LATERAL DE PISO PARA ESTRUCTURAS DE CONCRETO REFORZADO.

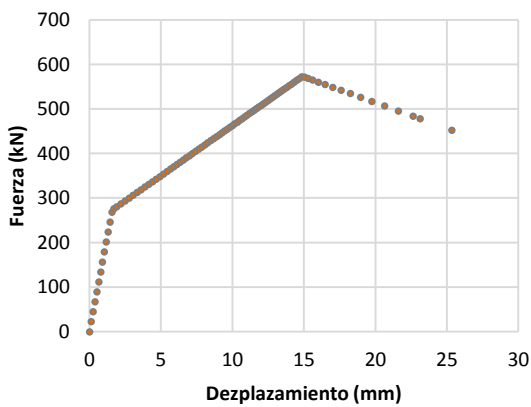
Curva envolvente de resistencia lateral de piso para estructuras formadas por muros de concreto reforzado con barras.



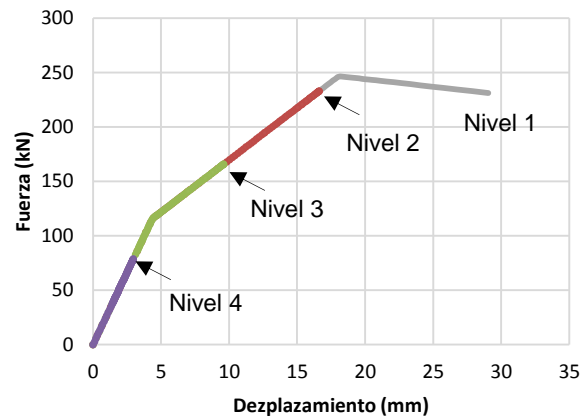
(a) Envolvente de resistencia muro No 1.



(b) Envolvente de resistencia muro No 2.

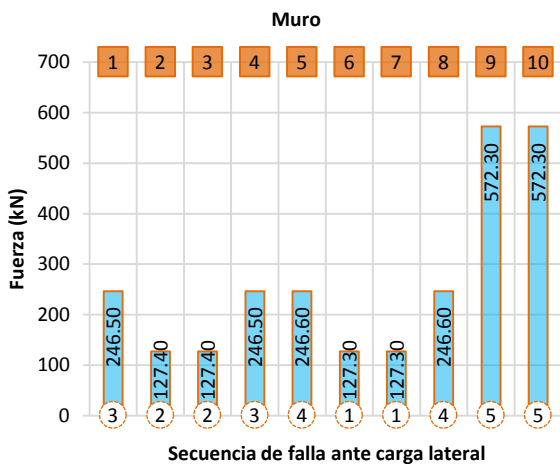


(c) Envolvente de resistencia muro No 10.

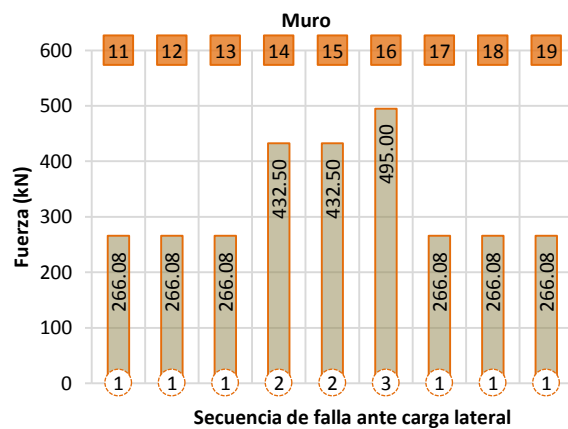


(d) Estado del muro No 1, en cada nivel.

Figura 3.10.2. Comparación de envolventes de resistencia lateral.



(a) Muros en dirección Y.



(b) Muros en dirección X.

Figura 3.10.3. Secuencia de falla en muros ante carga lateral.

Conclusiones.

De acuerdo a la forma modal la estructura falla en el primer nivel, el eje débil corresponde a X debido a que la fuerza lateral resistente es menor por tener menor densidad de muros (0.150m/m^2). En el sentido Y la densidad de muros es mayor (0.192 m/m^2) por lo tanto su resistencia lateral es mayor.

EL factor de comportamiento sísmico en ambas direcciones se mantiene dentro del límite recomendado de 2 (NTCS-RCDF, 2004). El coeficiente sísmico de desempeño en el eje débil es $c_e = 2.99$.

3.3.3 Ejemplo 2cb.

Para este ejemplo usaremos una estructura de 3 niveles similar a las que publico el Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto (IMCYC) en la revista Construcción y Tecnología en Concreto de Marzo 2011.

La Figura 3.11 muestra la distribución de muros en planta. Los muros de concreto reforzado con barras corrugadas tienen un espesor de 10 cm y $p_{min} = 0.0025$ de acero de refuerzo en el alma. En la Tabla 3.12 se concentran las propiedades y en la Tabla 3.13 las características generales.

Tabla 3.12. Propiedades mecánicas de los materiales del ejemplo 2cb.

Material	Propiedad mecánica	Resistencia(Mpa)
Concreto	$f'c$	15
	Ec	9682.46
Acero	f_y	420
	Es	200000
	p_h	0.0025
	n_h	0.8

Tabla 3.13. Características generales de la estructura del ejemplo 2cb.

Característica	Datos
Ubicación	Zona III, DF
Coefficiente sísmico (c)	0.19
Uso	Vivienda
Entrepiso	2.50 m
Espesor de losa	0.10 m
Espesor de muros	0.10 m

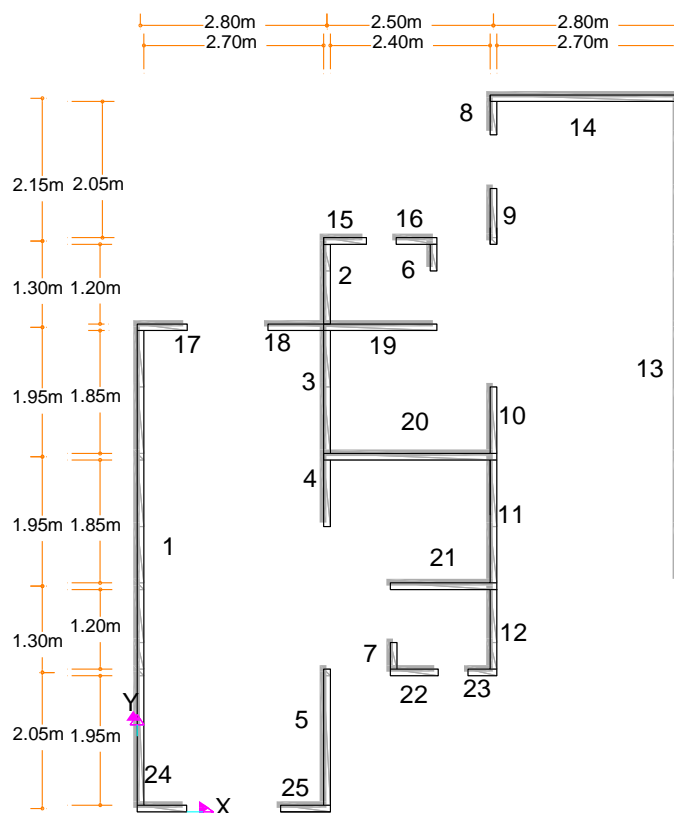


Figura 3.11. Distribución en planta de muros.

Se considera que el peso de muro es de 2200 kg/m^3 y que en la azotea se tiene una carga de servicio de 660 kg/m^2 y en los niveles inferiores de 673 kg/m^2 .

3.3.3.1 Envolvente de resistencia lateral de piso en dirección X.

Los muros ubicados en esta dirección son de 14 a 25. La Figura 3.12 corresponde a la envolvente de resistencia lateral de piso en dirección X, se observa que la resistencia máxima es de 2789.653 kN con desplazamiento de 23.62 mm .

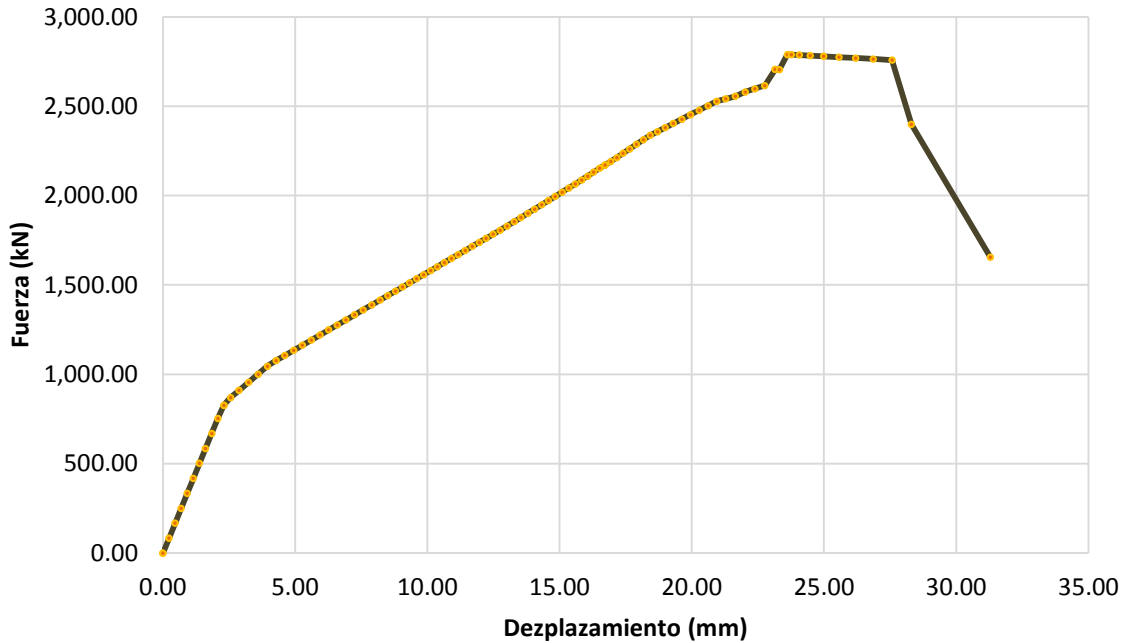


Figura 3.12. Envolvente de resistencia lateral en dirección X.

La Tabla 3.14 indica las ductilidades en esta dirección calculadas como se analizó en el capítulo 2. El factor de comportamiento sísmico, $Q=2.59$, es mayor que la recomendación ($Q=2$) de las NTCS-RCDF (2004).

Tabla 3.14. Valores de ductilidad en dirección X del ejemplo 2cb.

Dirección.	μ_1	μ_u	Q
X	6.71	3.85	2.59

La Figura 3.13 muestra la evolución de la forma modal, donde se observa que la estructura falla en el primer nivel.

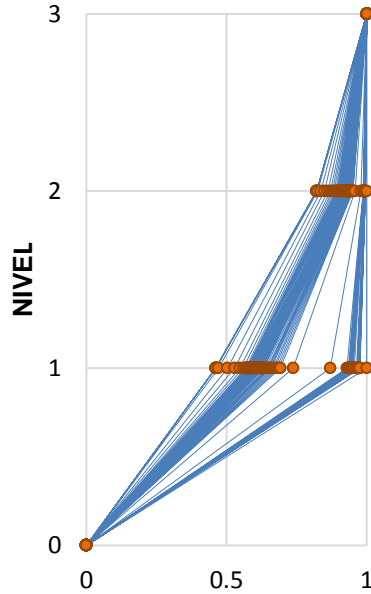


Figura 3.13. Evolución de la forma modal.

3.3.3.2 Envolvente de resistencia lateral de piso en dirección Y.

La Figura 3.14 corresponde a la curva de capacidad para el análisis en dirección Y, el valor de resistencia máxima es de 3705.231 kN y su desplazamiento de 17.59 mm. La Tabla 3.15 indica las ductilidades donde se tiene que el factor de comportamiento sísmico, $Q=4.25$, es mayor que 2.

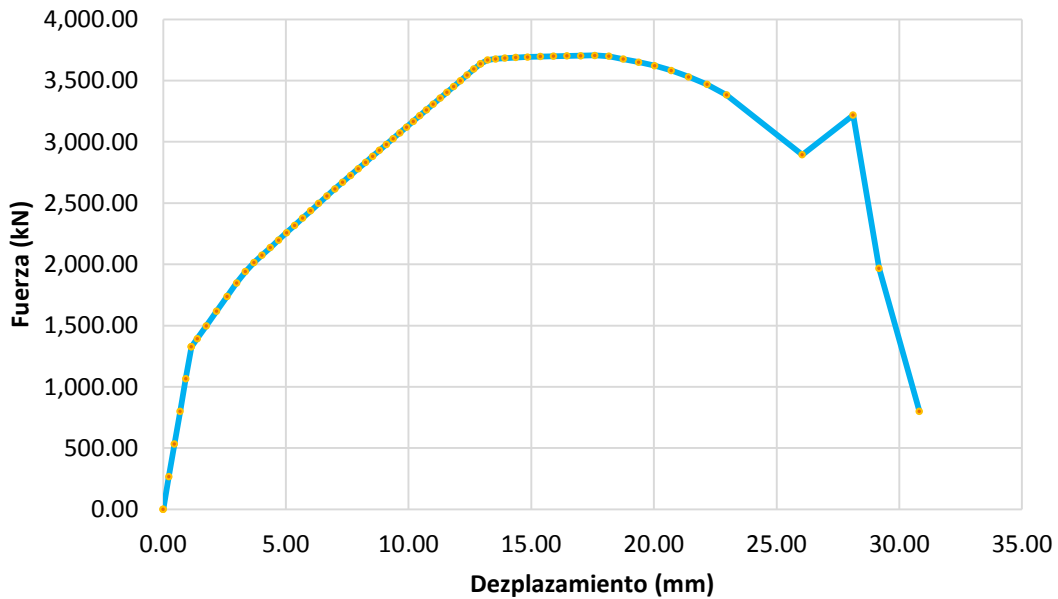


Figura 3.14. Envolvente de resistencia lateral en dirección Y.

Tabla 3.15. Valores de ductilidad en dirección Y del ejemplo 2cb.

Dirección.	μ_1	μ_u	Q
Y	18.10	9.55	4.25

3.3.3.3 Envolvente de resistencia lateral de piso en direcciones X y Y.

La Figura 3.15 corresponde a la superposición de las gráficas que se obtuvieron del análisis en dirección X y Y, donde se observa que la resistencia máxima a cortante en dirección Y es mayor. Las pendientes de la rigidez elástica son similares. La dirección X tiene mayor desplazamiento.

La Tabla 3.16 indica las ductilidades en direcciones X y Y. En ella se observa que la ductilidad en dirección X, $Q = 2.59$, es mayor que en dirección Y, $Q = 4.25$.

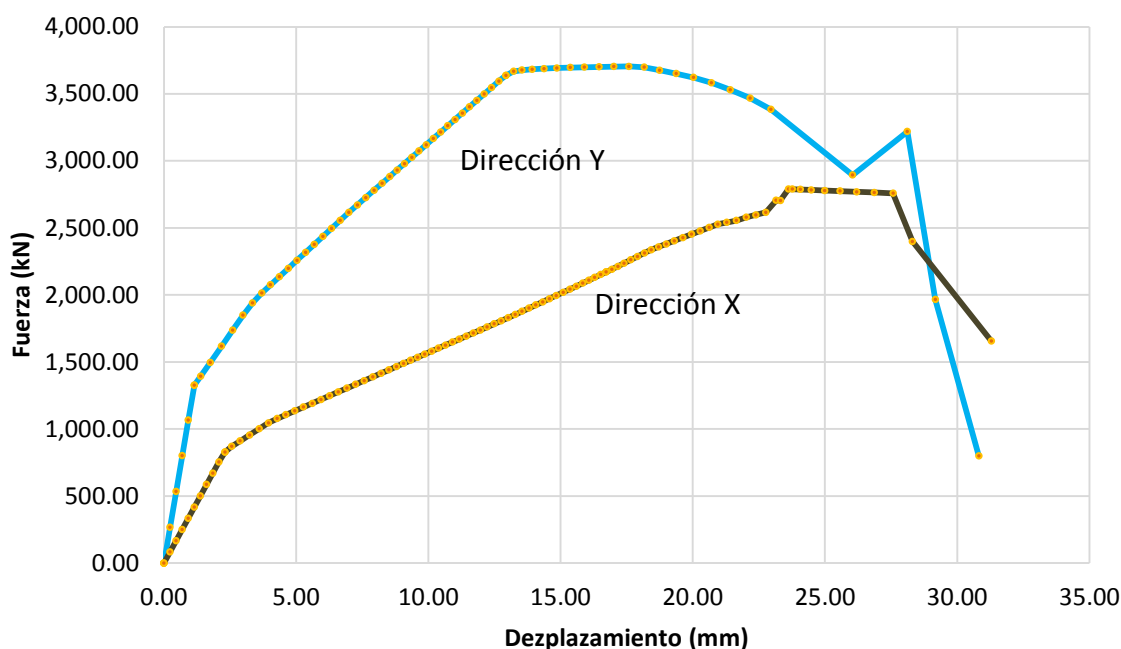


Figura 3.15. Envolvente de resistencia lateral en dirección X y Y.

Tabla 3.16. Comparación de valores de ductilidad del ejemplo 2cb.

Dirección.	μ_1	μ_u	Q
X	6.71	3.85	2.59
Y	18.10	9.55	4.25

En la Figura 3.15.1 se observa la secuencia de falla de los muros por carga lateral, se grafica en el eje de las ordenadas la resistencia máxima ante carga lateral y en el de las abscisas en la parte superior el número de muro y en la inferior la secuencia de falla. En sentido Y el primero en fallar es el 7 (Fig. 3.15.1a), en sentido X el 23 (Fig. 3.15.1b).

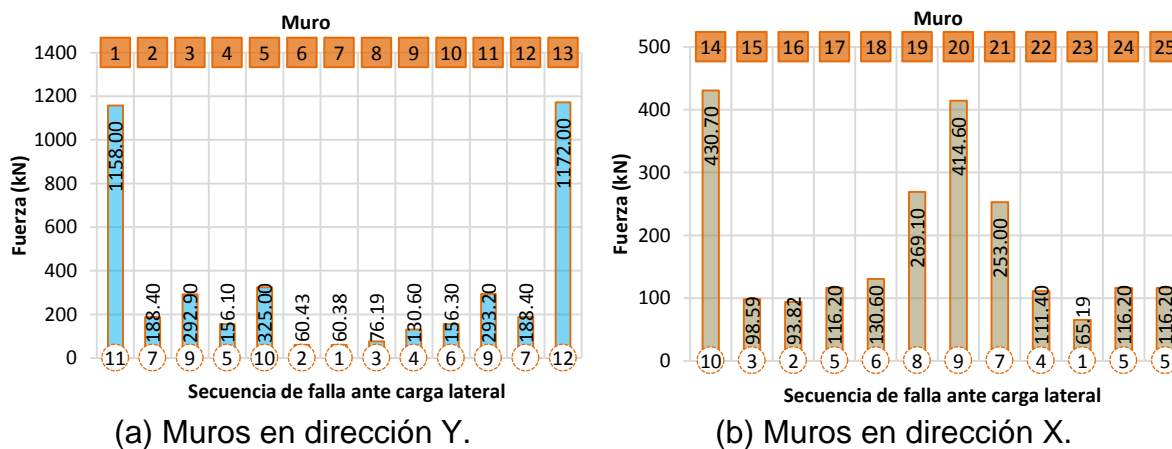


Figura 3.15.1. Secuencia de falla en muros ante carga lateral.

Conclusiones.

De acuerdo a la forma modal la estructura falla en el primer nivel, el eje débil corresponde a X debido a que la fuerza lateral resistente es menor por tener menor densidad de muros (0.240 m^2). En el sentido Y la densidad de muros es mayor (0.455 m^2) por lo tanto su resistencia lateral es mayor.

EL factor de comportamiento sísmico en ambas direcciones se mantiene dentro del límite recomendado de 2 (NTCS-RCDF, 2004). El coeficiente sísmico de desempeño en el eje débil es $c_e = 3.44$.

3.3.4 Ejemplo 3cb.

Para este ejemplo tomaremos la distribución en planta (Fig. 3.16) de una edificación de 5 Niveles de altura con muros de concreto de 10 cm reforzados con barras corrugadas que se construyen en la ciudad de Morelia Michoacán.

El acero de refuerzo en el alma de los muros es de $p_{min} = 0.0025$. En la Tabla 3.17 se concentran las propiedades y en la Tabla 3.18 las características generales.

Tabla 3.17. Propiedades mecánicas de los materiales del ejemplo 3cb.

Material	Propiedad mecánica	Resistencia(Mpa)
Concreto	$f'c$	25
	Ec	22000
Acero	fy	420
	Es	200000
	ph	0.0025
	nh	0.8

Tabla 3.18. Características generales de la estructura del ejemplo 3cb.

Característica	Datos
Ubicación	Zona B, Mich.
Coefficiente sísmico (c)	0.32
Uso	Vivienda
Entrepiso	2.55 m
Espesor de losa	0.10 m
Espesor de muros	0.10 m

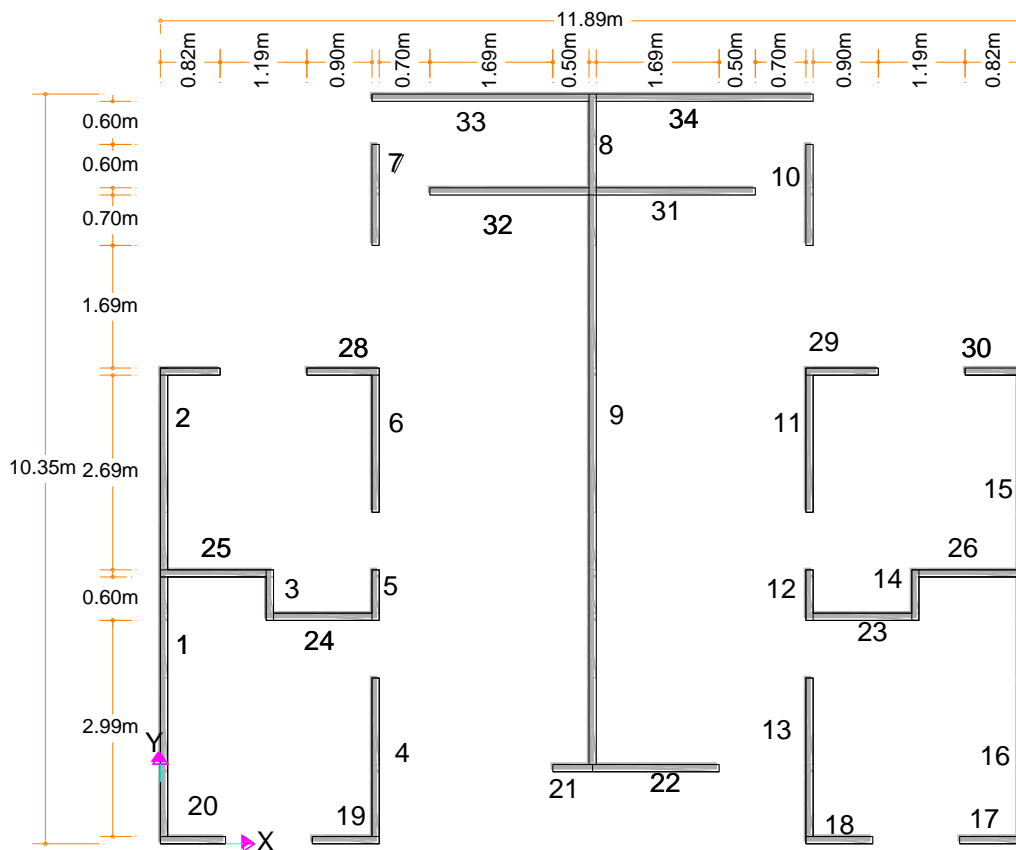


Figura 3.16. Distribución en planta de muros.

Se considera que el peso de muro es de 2200 kg/m^3 y que en la azotea se tiene una carga de servicio de 660 kg/m^2 y en los niveles inferiores de 673 kg/m^2 .

3.3.4.1 Envolvente de resistencia lateral de piso en dirección X.

Los muros ubicados en esta dirección son de 17 a 34. La Figura 3.17 corresponde a la envolvente de resistencia lateral de piso analizando en dirección X, se observa que la resistencia máxima es de 5488.080 kN con desplazamiento de 19.10 mm .

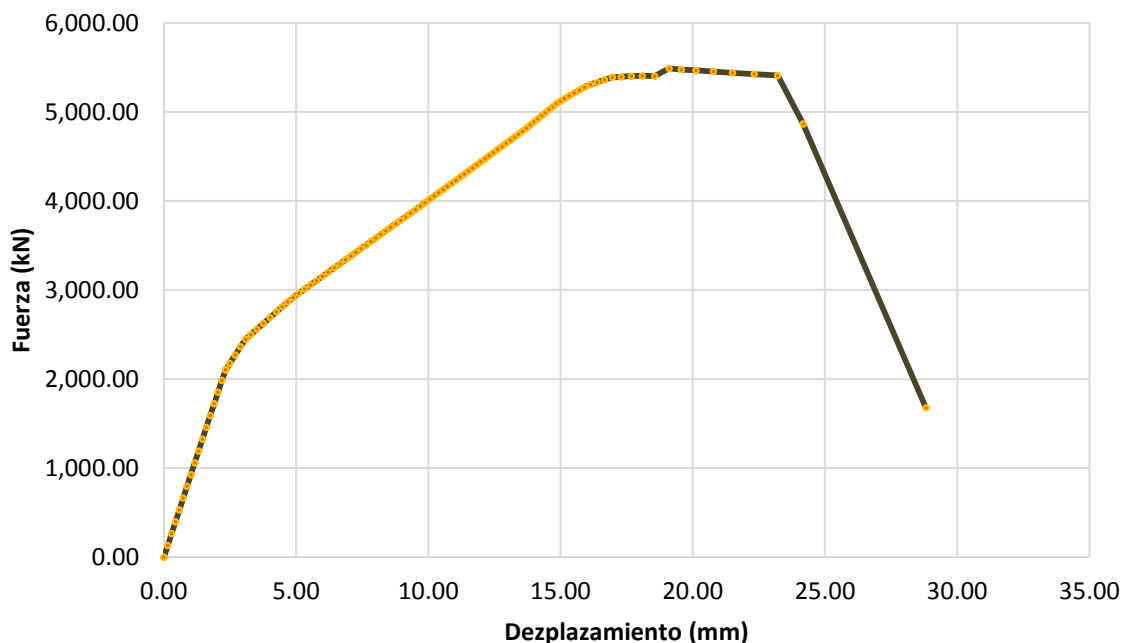


Figura 3.17. Envolvente de resistencia lateral en dirección X.

La Tabla 3.19 indica las ductilidades en esta dirección calculadas como se analizó en el capítulo 2. El factor de comportamiento sísmico, $Q=2.43$, es mayor que la recomendación ($Q=2$) de las NTCS-RCDF (2004).

Tabla 3.19. Valores de ductilidad en dirección x del ejemplo 3cb.

Dirección.	μ_1	μ_u	Q
X	9.19	3.46	2.43

La Figura 3.18 muestra la evolución de la forma modal, donde se observa que la estructura falla en el primer nivel.

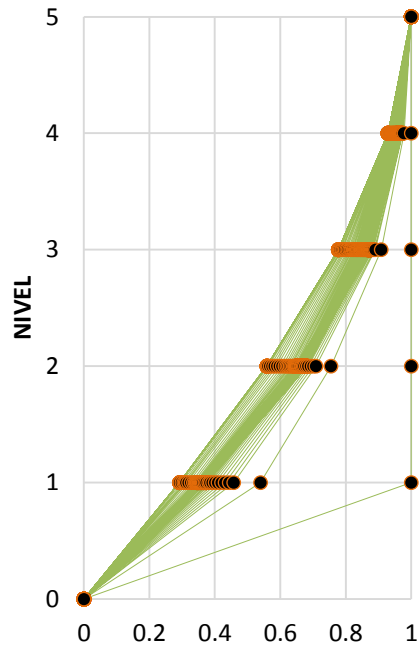


Figura 3.18. Evolución de la forma modal.

3.3.4.2 Envolvente de resistencia lateral de piso en dirección Y.

La Figura 3.19 corresponde a la curva de capacidad para el análisis en dirección Y, el valor de resistencia máxima es de 5917.040 kN y su desplazamiento de 15.13 mm. La Tabla 3.20 indica las ductilidades donde se tiene que el factor de comportamiento sísmico, $Q=2.70$, es mayor que 2.

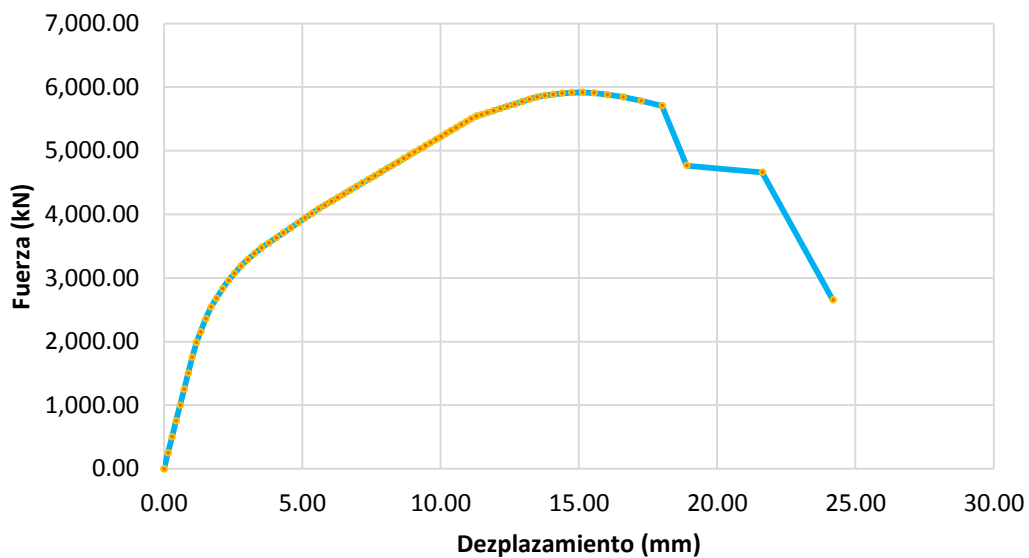


Figura 3.19. Envolvente de resistencia lateral en dirección Y.

Tabla 3.20. Valores de ductilidad en dirección Y del ejemplo 3cb.

Dirección.	μ_1	μ_u	Q
Y	11.48	4.14	2.70

3.3.4.3 Envolvente de resistencia lateral de piso en direcciones X y Y.

La Figura 3.20 corresponde a la superposición de las gráficas que se obtuvieron del análisis en dirección X y Y, donde se observa que la resistencia máxima a cortante en dirección Y es mayor. Las pendientes de la rigidez elástica son diferentes. La dirección X tiene desplazamiento último mayor.

La Tabla 3.21 indica las ductilidades en direcciones X y Y. En ella se observa que la ductilidad en dirección X, $Q=2.43$, es menor que en dirección Y, $Q=2.70$.

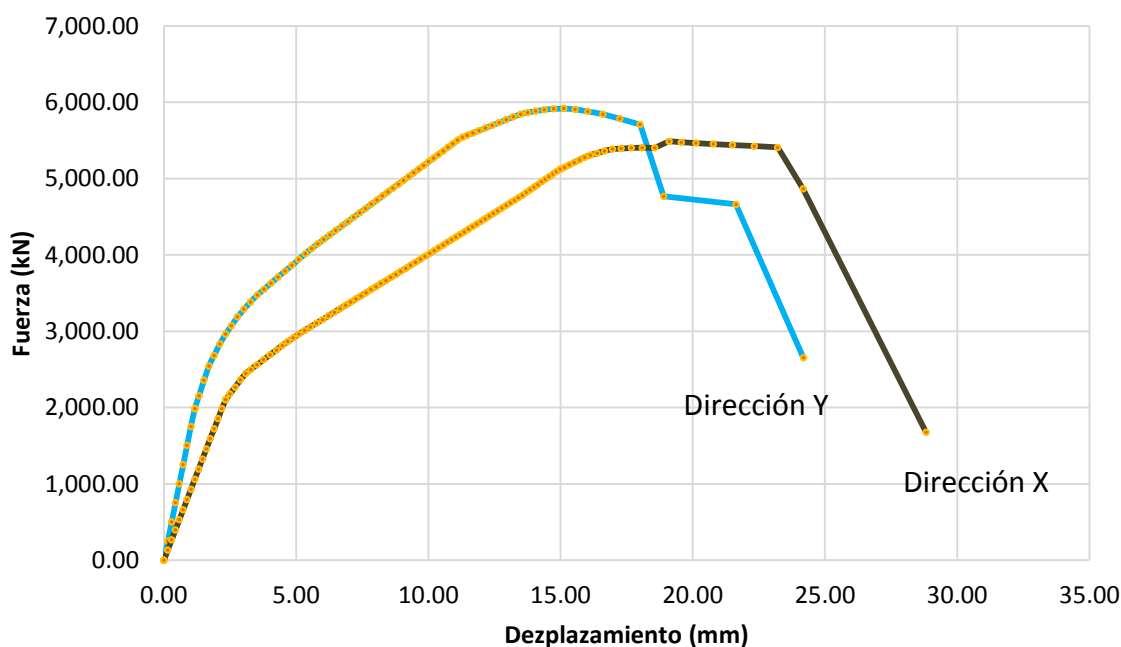


Figura 3.20. Envolvente de resistencia lateral en dirección X y Y.

Tabla 3.21. Comparación de valores de ductilidad del ejemplo 3cb.

Dirección.	μ_1	μ_u	Q
X	9.19	3.46	2.43
Y	11.48	4.14	2.70

En la Figura 3.20.1 se observa la secuencia de falla de los muros por carga lateral, se grafica en el eje de las ordenadas la resistencia máxima ante carga lateral y en el de las abscisas en la parte superior el número de muro y en la parte inferior la secuencia de falla. En sentido Y el primero en fallar es el 12 (Fig. 3.20.1a) y en sentido X el 21 (Fig. 3.20.1b).

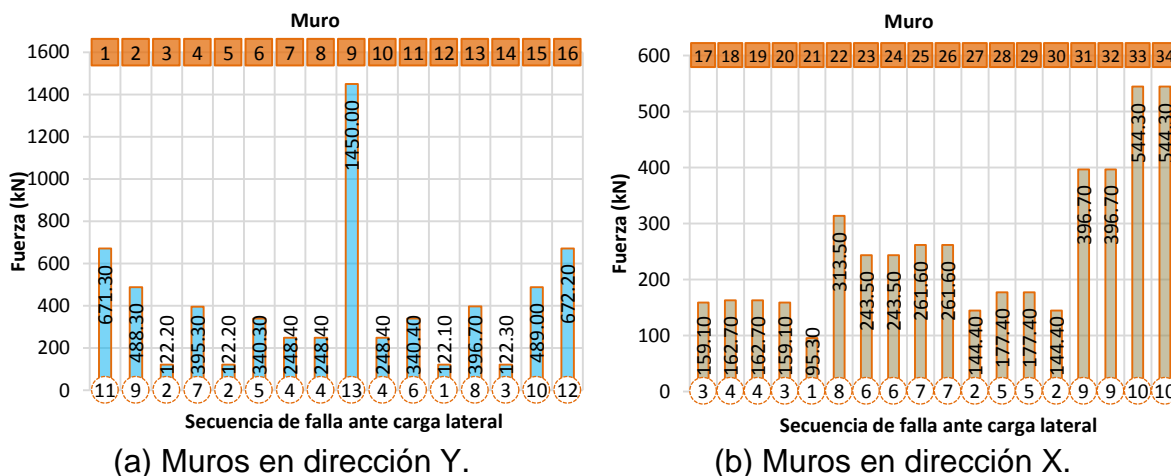


Figura 3.20.1. Secuencia de falla en muros ante carga lateral.

Conclusiones.

De acuerdo a la forma modal la estructura falla en el primer nivel, el eje débil corresponde a X debido a que la fuerza lateral resistente es menor por tener menor densidad de muros (0.270 m/m^2). En el sentido Y la densidad de muros es mayor (0.377 m/m^2) por lo tanto su resistencia lateral es mayor.

EL factor de comportamiento sísmico en ambas direcciones se mantiene dentro del límite recomendado de 2 (NTCS-RCDF, 2004). El coeficiente sísmico de desempeño en el eje débil es de $c_e = 2.34$.

3.4 INFLUENCIA DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO Y DEL PORCENTAJE DE ACERO EN EL COMPORTAMIENTO SÍSMICO.

En este apartado se analizará la influencia que tiene la resistencia a compresión del concreto, $f'c$, y el porcentaje de acero, p , en el comportamiento sísmico representado através de la ductilidad. Para determinar dicha influencia se analiza el muro mostrado en la Figura 3.21, cuadrado ($H_m/L_m = 1$) y de 10 cm de espesor, reforzado con barras corrugadas.

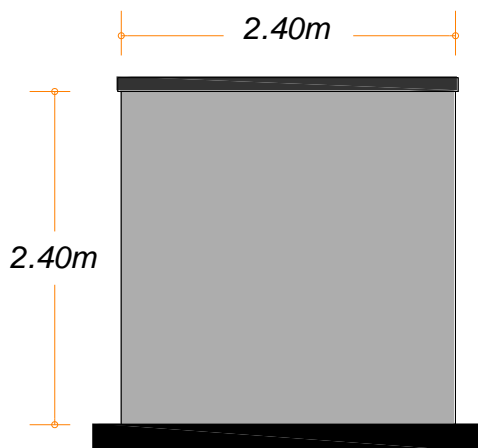


Figura 3.21. Muro de concreto reforzado con barras.

3.4.1 Influencia de la resistencia a compresión del concreto.

Para analizar la influencia de la resistencia a compresión del concreto, se toman valores de $f'c$ de 1 hasta 35 Mpa y $p = 0.0025$, el concreto se clasifica según las NTCC-RCDF (2004) y se sustituyen en las ecuaciones de resistencia y desplazamiento indicadas en la sección 3.2.1 de este capítulo para determinar los valores de los puntos que definen el modelo trilineal.

Como ejemplo, se toma el valor de $f'c = 10 \text{ Mpa}$, $H_m = L_m = 2.40 \text{ m}$ y $p = 0.0025$, el concreto es clase 2, usando las ecuaciones de la sección 3.2.1 en Mpa y sustituyendo valores se tiene

Resistencia al agrietamiento,

$$V_{agr} = V_c = \alpha_1 \sqrt{f'c} A_m = (0.21 - 0.02(M/VL)) \sqrt{f'c} A_m = \left(0.21 - 0.02 \left(0.75 \sqrt{H_m/L_m} \right) \right) \sqrt{f'c} A_m.$$

Sustituyendo valores,

$$V_c = \left(0.21 - 0.15 \sqrt{2400/2400} \right) \sqrt{10} (100) 2400 = 147994.59 \text{ N}.$$

Resistencia máxima,

$$V_{m\acute{a}x} = V_c + V_s = [\alpha_1 \sqrt{f'c} + \eta_h \rho_h f_{yh}] A_m \leq \alpha_2 \sqrt{f'c} A_m.$$

Sustituyendo valores,

$$V_s = [\eta_h \rho_h F_{yh}] A_m = [0.8(0.0025)420]100(2400) = 201600 \text{ N},$$

$$V_c + V_s = 147994.59 + 201600 = 349594.59 \text{ N},$$

$$\alpha_2 \sqrt{f'c} A_m = 0.44 - 0.02(M/VL) \sqrt{f'c} A_m = 0.44 - 0.02 \left(0.75 \sqrt{H_m/L_m} \right) \sqrt{f'c} A_m,$$

$$\alpha_2 \sqrt{f'c} A_m = \left(0.44 - 0.02 \left(0.75 \sqrt{2400/2400} \right) \right) \sqrt{10}(100)2400 = 322552.32 \text{ N},$$

$$\therefore V_{m\acute{a}x} = 322552.32 \text{ N}.$$

Resistencia última,

$$V_u = 0.8V_{m\acute{a}x}.$$

Sustituyendo valores,

$$V_u = 0.8(322552.32) = 258041.86 \text{ N}.$$

Rigidez elástica,

$$K_e = \left(\frac{H^3}{1.5E_c I_g} + \frac{1.2H}{0.5G_c A_c} \right)^{-1}.$$

Sustituyendo valores,

$$K_e = \left(\frac{2400^3}{1.5(7905.69)1.15(10^{11})} + \frac{1.2(2400)}{0.5(3293.51)100(2400)} \right)^{-1} = 57450.32 \text{ N/mm}.$$

Distorsión al agrietamiento,

$$R_{agr}(\%) = \left(\frac{V_{agr}}{K_{agr}} \right) \frac{100}{H_m}.$$

Sustituyendo valores,

$$R_{agr}(\%) = \left(\frac{147994.59}{57450.32} \right) \frac{100}{2400} = 0.1073,$$

para determinar la distorsión en términos de desplazamiento se tiene

$$d_{agr} = R_{agr}(\%)(H_m/100) = 0.1073(2400/100) = 2.58 \text{ mm}.$$

Distorsión máxima,

$$R_{m\acute{a}x}(\%) = a_1(M/VL)^{b_1} \frac{V_{m\acute{a}x}}{A_m \sqrt{f'c}} + a_2(M/VL)^{b_2},$$

$$R_{m\acute{a}x}(\%) = a_1 \left(0.75 \sqrt{H_m/L_m} \right)^{b_1} \frac{V_{m\acute{a}x}}{A_m \sqrt{f'c}} + a_2 \left(0.75 \sqrt{H_m/L_m} \right)^{b_2}.$$

Sustituyendo valores,

$$R_{m\acute{a}x}(\%) = 2.40 \left(0.75 \sqrt{2400/2400} \right)^{0.60} \frac{322552.32}{100(2400)\sqrt{10}} + (-0.20) \left(0.75 \sqrt{2400/2400} \right)^1,$$

$$R_{m\acute{a}x}(\%) = 0.7083,$$

para determinar la distorsión en términos de desplazamiento se tiene

$$d_{Vmáx} = R_{máx}(\%)(H_m/100) = 0.7083(2400/100) = 17.00 \text{ mm}.$$

Distorsión última,

$$R_u(\%) = c_1(M/VL)^{d_1} \frac{V_{máx}}{A_m \sqrt{f'c}} + c_2(M/VL)^{d_2}$$

$$R_u(\%) = c_1 \left(0.75\sqrt{H_m/L_m}\right)^{d_1} \frac{V_{máx}}{A_m \sqrt{f'c}} + c_2 \left(0.75\sqrt{H_m/L_m}\right)^{d_2}.$$

Sustituyendo valores,

$$R_u(\%) = 4.10 \left(0.75\sqrt{2400/2400}\right)^{0.15} \frac{322552.32}{100(2400)\sqrt{10}} + (-0.43) \left(0.75\sqrt{2400/2400}\right)^{-0.40},$$

$$R_u(\%) = 1.1865,$$

para determinar la distorsión en términos de desplazamiento se tiene

$$d_u = R_u(\%)(H_m/100) = 1.1865(2400/100) = 28.48 \text{ mm}.$$

Por lo tanto los valores que definen la curva trilineal de la envolvente de resistencia lateral para un muro con las características mencionadas y con $f'c = 10 \text{ Mpa}$ son:

$$V_{agr} = 147994.59 \text{ N},$$

$$V_{máx} = 322552.32 \text{ N},$$

$$V_u = 258041.86 \text{ N},$$

$$d_{agr} = 2.58 \text{ mm},$$

$$d_{Vmáx} = 17.00 \text{ mm},$$

$$d_u = 28.48 \text{ mm}.$$

Con estos puntos se traza la envolvente de resistencia lateral del muro mostrada en la Figura 3.21.1.

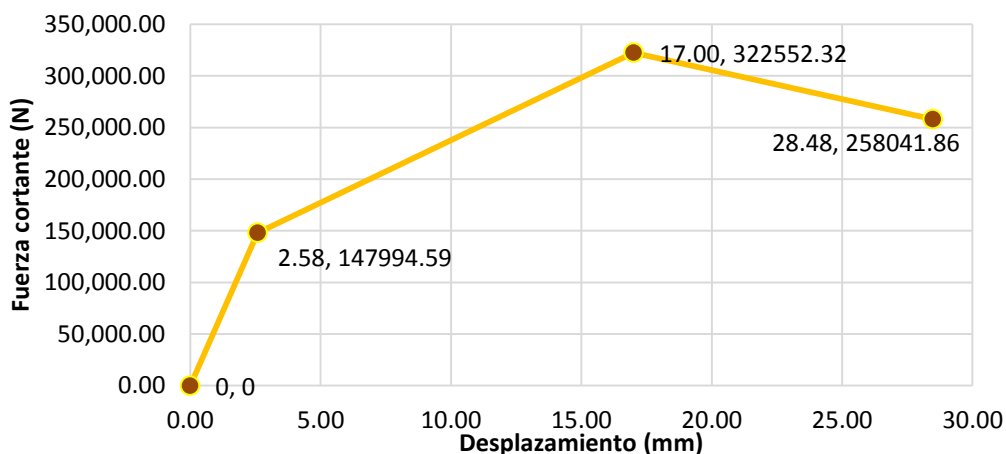


Figura 3.21.1 Envolvente resistencia lateral del muro con $f'c=10 \text{ Mpa}$.

Igualmente se calculan los valores para las diferentes resistencias a compresión del concreto y los resultados se concentran en la Tabla 3.22

Tabla 3.22. Valores de resistencia y desplazamiento del muro con diferentes $f'c$ del concreto.

Concreto (Mpa)		Cortante (N)			Desplazamiento (mm)		
$Clase_{NTCC}$	$f'c$	V_{agr}	$V_{m\acute{a}x}$	V_u	d_{agr}	$d_{vm\acute{a}x}$	d_u
2	1	46800.00	102000.00	81600.00	2.58	17.00	28.48
	5	104647.98	228078.93	182463.15	2.58	17.00	28.48
	10	147994.59	322552.32	258041.86	2.58	17.00	28.48
	15	181255.62	382855.62	306284.50	2.58	16.36	27.24
	20	209295.96	410895.96	328716.77	2.58	14.96	24.50
	25 ¹	234000.00	435600.00	348480.00	2.58	13.99	22.63
1	25	234000.00	435600.00	348480.00	1.46	13.99	22.63
	30	256334.16	457934.16	366347.33	1.46	13.28	21.25
	35	276872.53	478472.53	382778.03	1.46	12.73	20.18

¹ si se considera clase II

En la Tabla 3.22 se observa que al incrementarse la resistencia a compresión del concreto la resistencia ante fuerza lateral aumentan y los desplazamientos disminuyen. En la Figura 3.22 se grafican, los valores indicados en la Tabla 3.22, en el eje de las ordenadas el cortante resistente máximo ($V_{m\acute{a}x}$) y en el de las abscisas su correspondiente desplazamiento ($d_{vm\acute{a}x}$) para cada valor de $f'c$ del concreto; en la figura se observa que conforme aumenta la resistencia a compresión del concreto se incrementa la resistencia máxima a cortante, sin embargo su desplazamiento correspondiente disminuye. Es decir, al aumentar la resistencia $f'c$ del concreto la rigidez del muro también se incrementa y por consiguiente la resistencia máxima a cortante aumenta y su desplazamiento asociado disminuye.

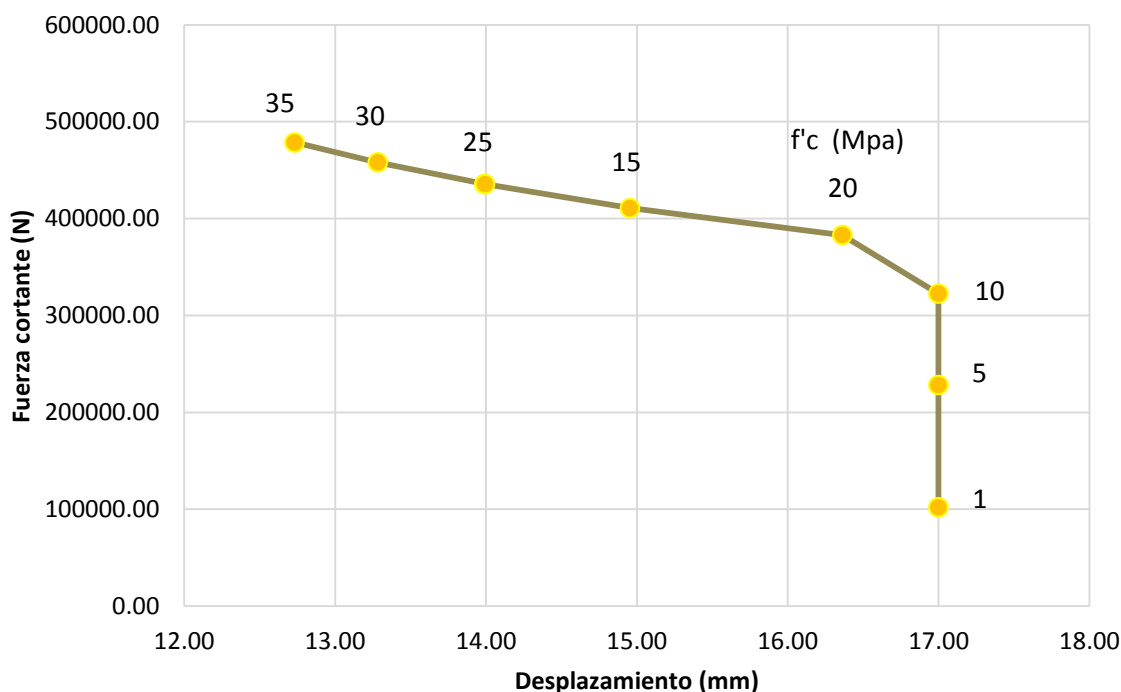


Figura 3.22. Resistencia lateral máxima y su desplazamiento asociado del muro, con diferentes $f'c$ del concreto.

Después de obtener los valores indicados en la Tabla 3.22, se toman los valores de los desplazamientos al agrietamiento d_{agr} y último d_u , con los cuales se calculan las ductilidades utilizando las ecuaciones indicadas en la sección 2.2.3 del capítulo 2. Como ejemplo se calcula la ductilidad del muro con $f'c = 10 \text{ Mpa}$, sustituyendo los valores se tiene:

$$\mu_1 = \frac{d_u}{d_e} = \frac{28.48}{2.58} = 11.04;$$

$$\mu_u = \frac{3}{2n}(\mu_1 - 1) + 1 = 3 \frac{(11.04) - 1}{2(1)} + 1 = 16.06;$$

$$Q = \sqrt{2\mu_u - 1} = \sqrt{2(16.06) - 1} = 5.58.$$

Igualmente se calculan los valores para las diferentes resistencias del concreto y los resultados se concentran en la Tabla 3.23; donde se observa que para cada clase de concreto el factor de comportamiento sísmico Q se incrementa conforme disminuye la resistencia $f'c$ del concreto. Es decir, el muro presenta mejor comportamiento sísmico con menores resistencias $f'c$ del concreto, ya sea concreto clase 1 o clase 2.

Tabla 3.23. Comparación de valores de ductilidades del muro con diferentes $f'c$ del concreto.

Concreto (Mpa)		Ductilidades		
Clase _{NTCC}	$f'c$	μ_1	μ_u	Q
2	1	11.04	16.06	5.58
	5	11.04	16.06	5.58
	10	11.04	16.06	5.58
	15	10.56	15.34	5.45
	20	9.50	13.74	5.15
	25 ¹	8.77	12.66	4.93
1	25	15.50	22.75	6.67
	30	14.56	21.33	6.46
	35	13.82	20.23	6.28

¹ si se considera clase II

En la Figura 3.23 se grafican los valores indicados en la Tabla 3.23, en donde el eje de las ordenadas corresponden a los valores del factor Q y el de las abscisas los de la resistencia $f'c$ del concreto; en la figura se observa la influencia de la resistencia a compresión del concreto para el muro, con menores resistencias $f'c$ del concreto el muro tienen mayor valor del factor de comportamiento sísmico (mayor ductilidad), también se observa que el valor de Q es relativamente cercano para concreto clase 2 con $f'c = 1 \text{ Mpa}$ y para concreto clase 1 con $f'c = 35 \text{ Mpa}$, $Q = 5.58$ y $Q = 6.28$, respectivamente, sin embargo la diferencia entre las resistencias del concreto son significativas.

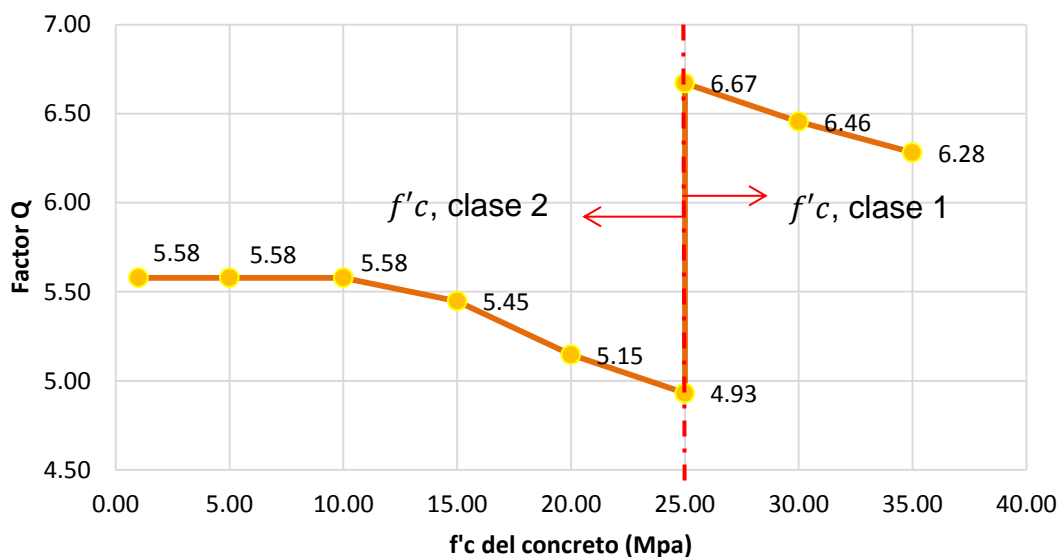


Figura 3.23. Influencia de la resistencia $f'c$ del concreto en la ductilidad del muro.

3.4.1.1 Ejemplo de aplicación.

Como ejemplo para determinar la influencia de $f'c$ en el comportamientos sísmico de una edificación, se utilizará la estructura del ejemplo 1cb, para la cual se utilizarán resistencias del $f'c$ del concreto de 1 hasta 35 Mpa y $p = 0.0025$. Se realizan los análisis con el programa desarrollado en este trabajo el cual indica que no existen fallas por cargas verticales, los resultados se discuten a continuación.

En la Figura 3.24 se observan las curvas envolventes de resistencia lateral de piso con diferentes valores de resistencia del concreto. En ella se observa que al incrementar la resistencia $f'c$ del concreto también se incrementa la resistencia ante fuerza lateral, sin embargo, los desplazamientos disminuyen ya que la rigidez de la estructura se va incrementando.

En la Tabla 3.24 se indican las ductilidades, la resistencia máxima ante fuerzas laterales y el coeficiente sísmico de desempeño c_e para diferentes valores de $f'c$. En ella se observa que al disminuir la resistencia $f'c$ del concreto el factor Q se incrementa, c_e y $V_{máx}$ disminuyen.

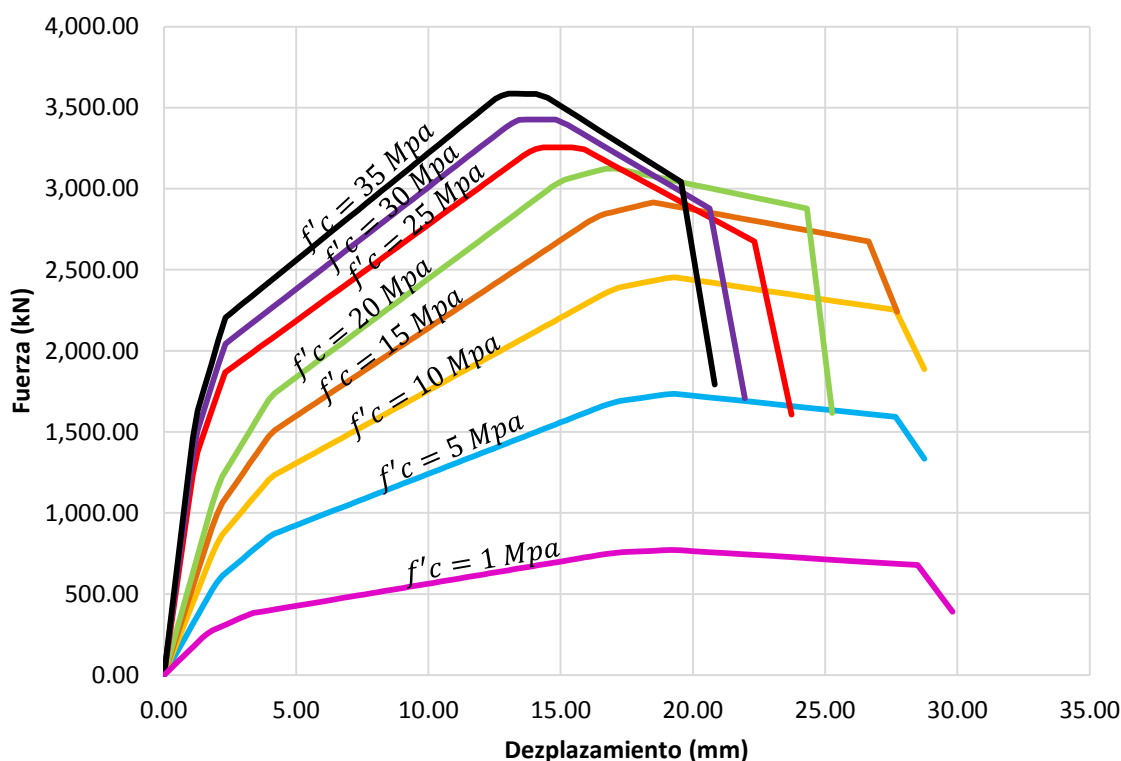


Figura 3.24. Envloventes de resistencia lateral de piso de la estructura del ejemplo 1cb, con diferentes resistencias $f'c$ del concreto.

Tabla 3.24. Comparación de valores de ductilidades y coeficiente sísmico de desempeño de la estructura del ejemplo 1cb, con diferentes $f'c$ del concreto.

Concreto (Mpa)		Ductilidades			$V_{m\acute{a}x}$ (kN)	c_e
Clase _{NTCC}	$f'c$	μ_1	μ_u	Q		
2	1	10.55	4.58	2.86	772.341	0.89
	5	10.55	4.58	2.86	1735.598	1.86
	10	10.55	4.58	2.86	2452.506	2.56
	15	10.16	4.44	2.81	2915.821	2.99
	20	9.09	4.03	2.66	3125.319	3.04
	25 ¹	8.35	3.76	2.55	3313.714	3.09
1	25	14.28	5.98	3.31	3255.375	3.94
	30	13.24	5.59	3.19	3427.602	4.00
	35	12.56	5.33	3.11	3586.482	4.08

¹ si se considera clase II

En la Figura 3.25 se grafican los valores indicados en la Tabla 3.24, en donde el eje de las ordenadas corresponden a los valores del factor Q y el de las abscisas a los de la resistencia $f'c$ del concreto; en la figura se observa la influencia de la resistencia a compresión del concreto para la estructura del Ejemplo 1cb, con menores resistencias $f'c$ del concreto se tienen mayor valor del factor de comportamiento sísmico, es decir más ductilidad. También se observa que el valor de $Q = 2.86$ y de $Q = 3.11$ son relativamente cercanos pero con resistencias significativas del concreto de $f'c = 1$ Mpa y $f'c = 35$ Mpa, respectivamente.

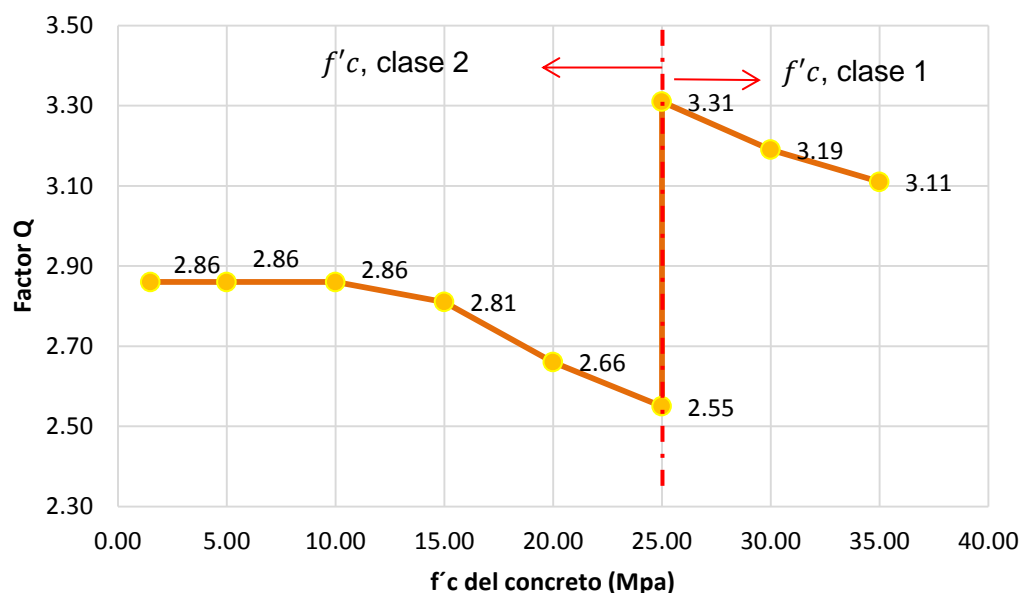


Figura 3.25. Influencia de $f'c$ del concreto en la ductilidad de la estructura del ejemplo 1cb.

3.4.2 Influencia del porcentaje de acero.

Para analizar la influencia del porcentaje de acero, se toman valores de 0.0005 hasta 0.0025 que es el porcentaje mínimo acero requerido por temperatura, NTCC-RCDF (2004). Para determinar cómo influye este parámetro se utilizará la resistencia a compresión del concreto de $f'c = 10 \text{ Mpa}$. Se sustituyen los valores en las ecuaciones de resistencia y desplazamiento indicadas en la sección 3.2.1 de este capítulo para determinar los valores de los puntos que definen el modelo trilineal.

En la sección 3.3.5.1, a manera de ejemplo, se sustituyeron los valores en las ecuaciones del modelo trilineal utilizando $f'c = 10 \text{ Mpa}$ y $p = 0.0025$ para determinar los valores de resistencia y desplazamiento correspondientes al muro en estudio, ahora lo que se varia es el porcentaje de acero, p , y los resultados se concentran en la Tabla 3.25.

Tabla 3.25. Valores de resistencia y desplazamiento del muro con diferentes p de acero.

p	Cortante (N)			Desplazamiento (mm)		
	V_{agr}	$V_{m\acute{a}x}$	V_u	d_{agr}	$d_{V_{m\acute{a}x}}$	d_u
0.0025	147994.594	322552.32	258041.86	2.40	17.00	28.48
0.0020	147994.594	309274.59	247419.68	2.40	16.15	26.83
0.0015	147994.594	268954.59	215163.68	2.40	13.58	21.82
0.0010	147994.594	228634.59	182907.68	2.40	11.00	16.81
0.0005	147994.594	188314.59	150651.68	2.40	8.42	11.81

En la Tabla 3.25 se observa que al disminuir el p de acero la resistencia ante fuerza lateral $V_{m\acute{a}x}$ y V_u y sus correspondientes desplazamientos disminuyen. En la Figura 3.26 se grafican, los valores indicados en la Tabla 3.25, en el eje de las ordenadas el cortante resistente máximo ($V_{m\acute{a}x}$) y en el de las abscisas su correspondiente desplazamiento ($d_{V_{m\acute{a}x}}$) para cada valor de p del acero; en la figura se observa que conforme disminuye el porcentaje de acero también disminuye la resistencia máxima y su desplazamiento correspondiente. Es decir conforme disminuye p disminuye la ductilidad del muro.

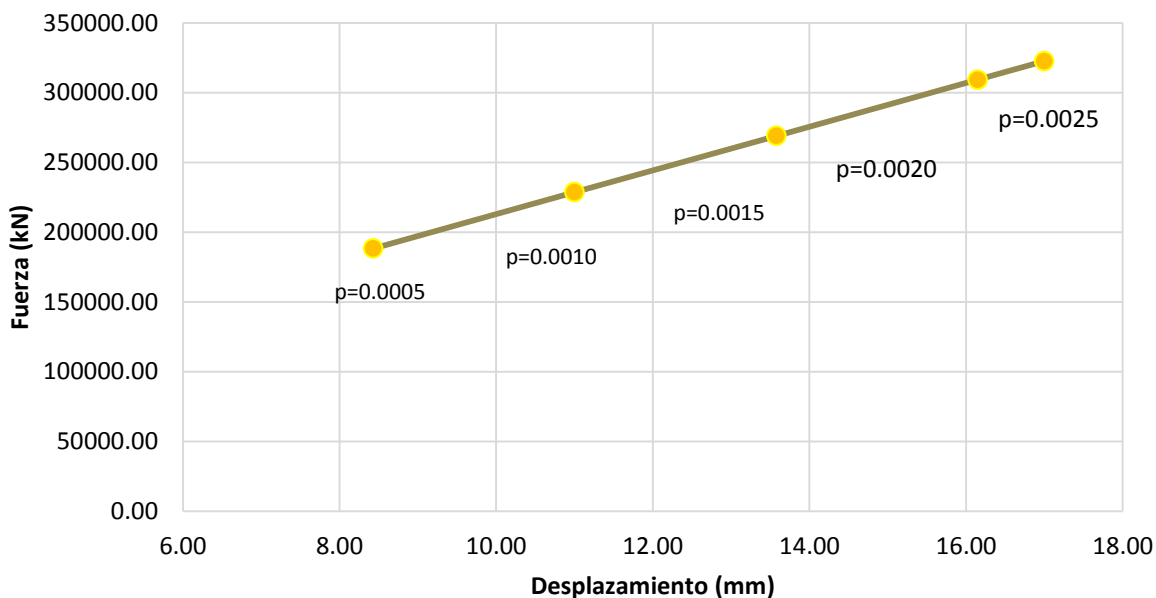


Figura 3.26. Resistencia lateral máxima y su desplazamiento asociado del muro, con diferentes p de acero.

De la Tabla 3.25 se toman los valores de los desplazamientos al agrietamiento d_{agr} y último d_u para calcular las ductilidades como se indicó en la sección 3.3.5.1, los resultados se concentran en la Tabla 3.26; donde se observa que al disminuir el porcentaje de acero disminuye la ductilidad.

Tabla 3.26. Comparación de valores de ductilidades del muro con diferentes p de acero.

p	Ductilidades		
	μ_1	μ_u	Q
0.0025	11.88	17.33	5.80
0.0020	11.18	16.27	5.62
0.0015	8.87	12.80	4.96
0.0010	7.00	10.01	4.36
0.0005	4.92	6.88	3.57

En la Figura 3.27 se grafican los valores indicados en la Tabla 3.26, en donde el eje de las ordenadas corresponden a los valores del factor Q y el de las abscisas a los del p de acero; en la figura se observa la influencia del p de acero para el muro, con menor p de acero el muro tiene menor ductilidad.

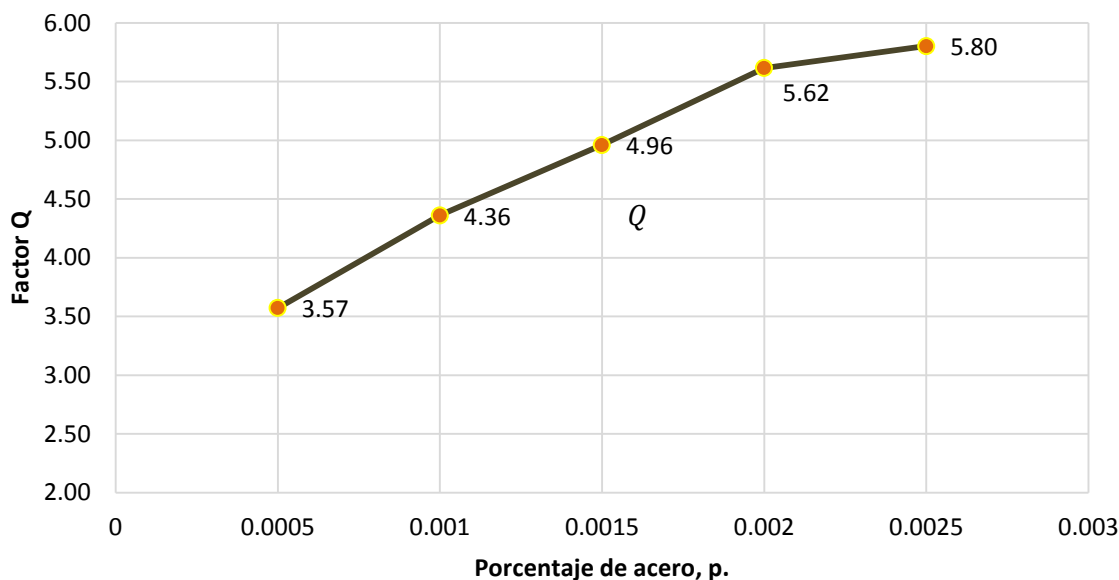


Figura 3.27. Influencia del porcentaje de acero p en la ductilidad del muro.

3.4.2.1 Ejemplo de aplicación.

Como ejemplo para determinar la influencia del p de acero en el comportamiento sísmico de una edificación, se utilizará la estructura del ejemplo 1cb, para la cual se utilizarán valores del p de acero de 0 hasta 0.0025. Se realizan los análisis con el programa desarrollado en este trabajo el cual indica que no existen fallas por cargas verticales, los resultados se discuten a continuación.

En la Figura 3.28 se observan las curvas envolventes de resistencia lateral de piso con diferentes porcentajes de acero. En ella se observa que al disminuir el p de acero la resistencia ante fuerza lateral $V_{m\acute{a}x}$ y V_u y sus correspondientes desplazamientos disminuyen.

En la Tabla 3.27 se indican las ductilidades, la resistencia máxima ante fuerzas laterales y el coeficiente sísmico de desempeño c_e para diferentes valores del p de acero. En ella se observa que al disminuir el p de acero disminuyen la ductilidad Q , la resistencia máxima a cortante $V_{m\acute{a}x}$ y el coeficiente sísmico de desempeño c_e .

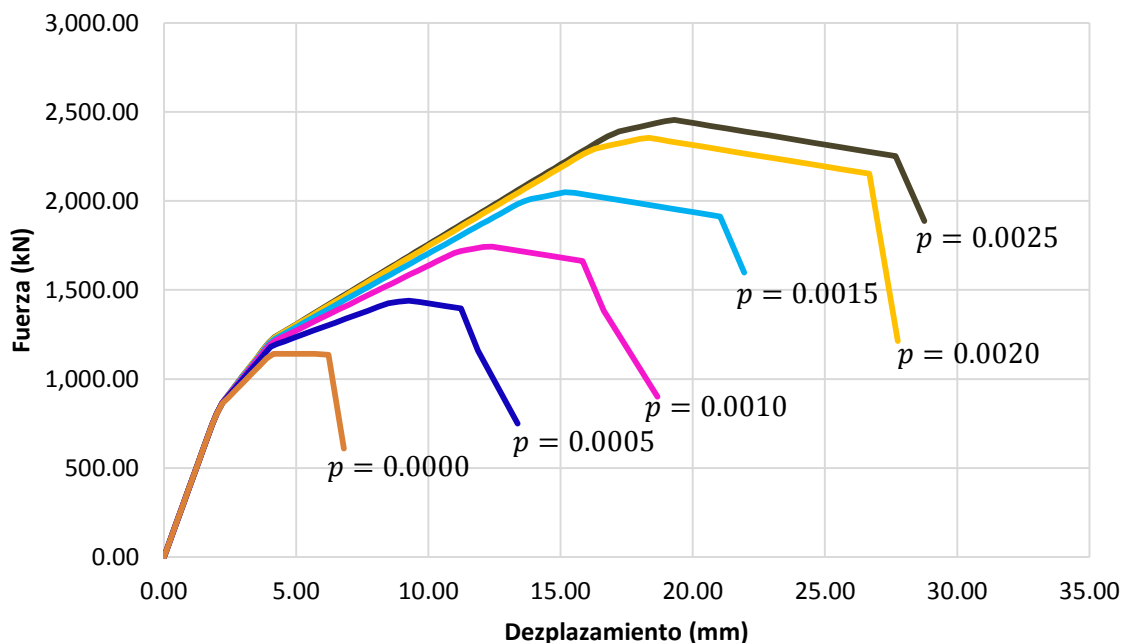


Figura 3.28. Envolventes de resistencia lateral de piso de la estructura del ejemplo 1cb, con diferentes p de acero.

Tabla 3.27. Comparación de valores de ductilidades y coeficiente sísmico de desempeño para la estructura del ejemplo 1cb, variando el p de acero.

p	Ductilidades			$V_{m\acute{a}x}$ (kN)	c_e
	μ_1	μ_u	Q		
0.0025	10.55	4.58	2.86	2454.506	2.56
0.0020	9.97	4.36	2.78	2353.308	2.39
0.0015	8.06	3.65	2.51	2047.832	1.88
0.0010	6.11	2.92	2.20	1742.655	1.40
0.0005	4.36	2.26	1.88	1440.034	0.99
0.0000	3.14	1.80	1.61	1140.262	0.67

En la Figura 3.29 se grafican los valores indicados en la Tabla 3.27, en donde el eje de las ordenadas corresponden a los valores del factor Q y el de las abscisas al p de acero; en la figura se observa la influencia del porcentaje de acero en la ductilidad de la estructura del Ejemplo 1cb, con menor p de acero menor ductilidad. El valor mínimo del factor de comportamiento sísmico $Q = 1.61$ se obtienen sin acero de refuerzo, es decir, se tendría esa ductilidad si la estructura se edificara sin barras corrugadas, sin embargo de realizarlo así se conduciría a una falla tipo frágil que para edificaciones en zonas sísmicas debe evitarse.

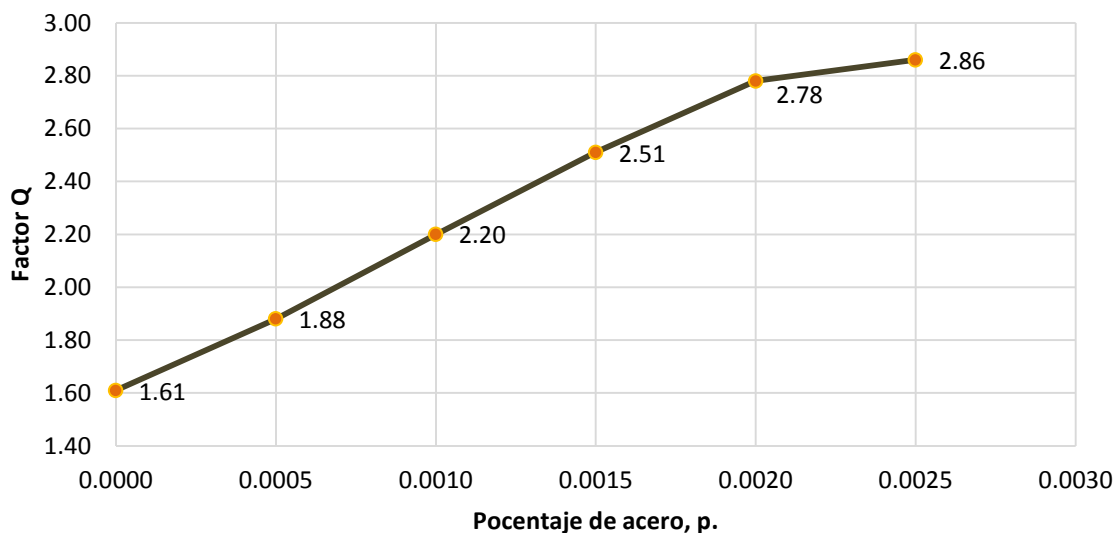


Figura 3.29. Influencia del p de acero en la ductilidad de la estructura del ejemplo 1cb.

Conclusiones.

La resistencia a compresión del concreto, $f'c$, y el porcentaje de acero, p , influyen en la ductilidad de la estructura. Con menor resistencia $f'c$ del concreto la ductilidad se incrementa. Con menor p de acero la ductilidad disminuye.

Estos parámetros también influyen en la resistencia ante fuerza lateral. Con menor resistencia $f'c$ del concreto menor resistencia a cortante. Con menor p de acero menor resistencia a cortante.

Se determinó la influencia de $f'c$ en la estructura del ejemplo 1cb, utilizando $p = 0.0025$ con diferentes valores de $f'c$. El factor de comportamiento sísmico es mayor a la recomendación de las NTCS-RCDF (2004) de 2. Aun cuando la resistencia a cortante disminuye con menor $f'c$, los coeficientes sísmicos de desempeño c_e son altos (Tabla 3.24), es decir los c_e son mayores que $c = 0.45$ para zona IIIb indicado en las NTCS-RCDF (2004) y que $c = 0.96$ para estructura tipo A en zona D terreno tipo III del RCEM (1990), lo cual indica que se puede construir dicha edificación con una resistencia del concreto menor que lo indicado al inicio del ejemplo 1cb de $f'c = 15 \text{ Mpa}$, de esta manera se tienen un costo económico menor y mayor desempeño sísmico.

Se determinó la influencia del p en la estructura del ejemplo 1cb, utilizando $f'c = 10 \text{ Mpa}$ con diferentes valores de p . El factor de comportamiento sísmico es mayor a la recomendación de las NTCS-RCDF (2004) de 2, para valores mayores de $p = 0.0005$. Aun cuando la resistencia a cortante disminuye con menor p , los

coeficientes sísmicos de desempeño c_e son altos (Tabla 3.27), es decir los c_e son mayores que $c = 0.45$ para zona IIIb indicado en las NTCS-RCDF (2004) y que $c = 0.48$ para estructura tipo A en zona D terreno tipo III del RCEM (1990), lo cual indica que se puede construir dicha edificación con p menor de 0.0025 pero mayor que 0.0005.

La finalidad de analizar la influencia del porcentaje de acero es para determinar con que cantidad se puede obtener un factor de comportamiento sísmico igual o mayor que 2 y se concluye que se puede utilizar un $p = 0.0010$ con una resistencia a compresión del concreto de $f'c = 10 \text{ Mpa}$, sin embargo, se debe cumplir el requerimiento de las NTCC-RCDF (2004) del porcentaje de acero por temperatura $p_{min} = 0.0025$ para lo cual se puede utilizar malla electrosoldada ya que con el $p = 0.0010$ de barras corrugadas se está cumpliendo que se tendrá una falla dúctil y un valor de $Q = 2.20$.

Se logra obtener una ductilidad mayor o igual de $Q = 2$ utilizando resistencia a compresión del concreto bajo y porcentaje de acero en barras pequeño, siempre y cuando se cumpla el requerimiento de las NTCC-RCDF (2004) del porcentaje de acero mínimo por temperatura $p_{min} = 0.0025$, para el cual se puede utilizar malla electrosoldada.

3.5 CONCLUSIONES GENERALES.

Las pruebas experimentales indican que los muros de concreto reforzado fallan primero a cortante y no a flexión, es por ello que se propone el modelo trilineal para predecir la resistencia a cortante (Carrillo et al., 2009).

Comparando los valores reportados por Carrillo et al. (2012) de pruebas experimentales, teóricos y los obtenidos en este trabajo se sustenta que el programa funciona adecuadamente, debido a que son valores similares.

La resistencia a compresión del concreto, $f'c$ y el porcentaje de acero, p , son parámetros que influyen en la ductilidad y en la resistencia ante fuerza laterales. Con menor resistencia $f'c$ del concreto la ductilidad se incrementa. Con menor p de acero la ductilidad disminuye. Con menor resistencia $f'c$ del concreto menor resistencia a cortante. Con menor p de acero menor resistencia a cortante.

Se puede obtener una ductilidad $Q \geq 2$ utilizando resistencia a compresión del concreto bajo y porcentaje de acero en barras pequeño, siempre y cuando se cumpla el requerimiento indicado en las NTCC-RCDF (2004) del porcentaje de acero mínimo por temperatura $p_{min} = 0.0025$, para el cual se propone complementar con malla electrosoldada. Es decir, se propone utilizar acero de refuerzo en barras corrugadas para obtener la ductilidad indicada en las NTCS-

RCDF (2004) y así tener una falla dúctil (porcentaje de acero por ductilidad, p_Q) y el acero por temperatura que indican las NTCC-RCDF (2004) colocarlo con malla electrosoldada (porcentaje de acero por temperatura, p_T), es decir, una vez garantizada la ductilidad de la estructura con el porcentaje de acero en barras, se puede complementar el porcentaje mínimo por temperatura con malla electrosoldada, de tal manera que

$$p_{min} = p_Q + p_T. \quad (8)$$

Este tipo de estructuras tienen mayor resistencia a cortante que las de mampostería confinada, esto se observa en la Tabla 3.28, en la cual se comparan los resultados de la estructura del ejemplo 1cb (muros de concreto reforzado con barras) de este capítulo y los del ejemplo 1m (muros de mampostería confinada) del capítulo 2; en ella se observa que la resistencia a compresión de la mampostería confinada es el 10% del concreto reforzado, el cortante máximo del 26.60%, el factor Q del 82.92% y el c_e del 22.07%, es por ello que en las estructuras de concreto reforzado con barras aun con valores de $f'c$ bajos se obtienen cortantes resistentes y c_e altos.

Tabla 3.28. Comparación entre los ejemplo 1cb y 1m.

Muros	Niveles Total	Altura Total (m)	Eje débil	Tipo de falla	Resistencia a compresión (Mpa)	$V_{m\acute{a}x}$ (kN)	Q	c_e
Mampostería confinada	4	10	X	Fuerza lateral	1.5	775.68	2.33	0.66
Concreto reforzado con barras	4	10	X	Fuerza lateral	15	2915.82	2.81	2.99

Para las estructuras de los ejemplos analizados la falla que rige es por fuerza lateral debido a que el concreto tiene mayor resistencia a compresión que la carga axial actuante en cada muro y de acuerdo a la forma modal la falla ocurre en el primer entrepiso. En la Tabla 3.29 se indican los valores correspondientes al sentido del eje débil de resistencia a compresión del concreto $f'c$, porcentaje de acero p , resistencia máxima ante fuerza lateral $V_{m\acute{a}x}$, factor de comportamiento sísmico Q , y el coeficiente sísmico de desempeño c_e , obtenidos con el programa desarrollado en este capítulo. En ella se observa que el eje débil es el X. Los factores de comportamiento sísmico son mayores que el recomendado por las NTCS-RCDF (2004) de $Q = 2$. Los coeficientes sísmicos de desempeño son altos en comparación con los coeficientes sísmicos c presentados por las NTCS-RCDF (2004) y por el RCEM (1990) para estructuras del grupo A, donde $c = 0.45$ y

$c = 0.48$, respectivamente. Es decir, las estructuras analizadas son aptas para construirse en cualquier zona sísmica del DF y del Estado de Michoacán.

Tabla 3.29. Resultados de los ejemplos analizados en el capítulo 3.

Ej.	Niveles Total	Altura Total (m)	Eje débil	Tipo de falla	$f'c$ (Mpa)	p	$V_{m\acute{a}x}$ (kN)	Q	c_e
1cb	4	10	X	Fza. lateral	1	0.0025	722.341	2.86	0.89
	4	10	X	Fza. lateral	5	0.0025	1735.598	2.86	1.81
	4	10	X	Fza. lateral	10	0.0025	2452.506	2.86	2.56
	4	10	X	Fza. lateral	15	0.0025	2915.821	2.81	2.99
	4	10	X	Fza. lateral	20	0.0025	3125.319	2.66	3.04
	4	10	X	Fza. lateral	25	0.0025	3255.375	3.31	3.94
	4	10	X	Fza. lateral	30	0.0025	3427.602	3.19	4.00
	4	10	X	Fza. lateral	35	0.0025	3586.482	3.11	4.08
	4	10	X	Fza. lateral	10	0.0020	2353.308	2.78	2.39
	4	10	X	Fza. lateral	10	0.0015	2047.832	2.51	1.88
	4	10	X	Fza. lateral	10	0.0010	1742.655	2.2	1.40
2cb	3	7.5	X	Fza. lateral	15	0.0025	2789.653	2.59	3.44
3cb	5	12.75	X	Fza. lateral	25	0.0025	5488.080	2.43	2.34

Las NTCC-RCDF (2004) indican que en muros de concreto reforzado para vivienda de interés social se admite utilizar concreto clase 2 con $f'c = 15$ Mpa, sin embargo, de acuerdo al análisis realizado en este trabajo, para las estructuras con las características indicadas es recomendable utilizar resistencias menores con lo cual se obtiene mejor comportamiento sísmico.

En muros de concreto reforzados, como los indicados en este trabajo, se recomienda utilizar resistencias a compresión del concreto bajas para obtener mejor comportamiento sísmico.

CAPÍTULO 4

**CURVA ENVOLVENTE DE RESISTENCIA LATERAL DE
PISO PARA ESTRUCTURAS FORMADAS POR MUROS DE
CONCRETO REFORZADO CON MALLA
ELECTROSOLDADA.**

4.1 INTRODUCCIÓN.

En este capítulo se aborda el tema sobre la envolvente de resistencia lateral de piso para estructuras formadas por muros de concreto reforzados con malla electrosoldada. El modelo trilineal que se describe es el propuesto por Carrillo et al. (2009, 2012) y se aplica a varias edificaciones para determinar su comportamiento.

4.2 MODELO TRILINEAL DE CORTANTE PARA MUROS DE CONCRETO REFORZADO CON MALLA ELECTROSOLDADA.

Se presenta el tema sobre la envolvente de resistencia lateral de piso para estructuras formadas por muros de concreto reforzado del modelo trilineal de resistencia a cortante propuesto por Carrillo (2009). En la gráfica de dicho modelo (Fig. 4.1), las ordenadas corresponden a la fuerza cortante y las abscisas al desplazamiento. En este modelo sólo se presentan dos puntos (agrietamiento y máximo) debido a que el punto de fluencia de la malla electrosoldada no está definido con exactitud, sólo se conoce que a un máximo esfuerzo determinado se presenta el tipo de falla frágil.

Las hipótesis de cálculo que se aplican así como la ductilidad, torsión y procedimiento de cálculo son los mencionados en el capítulo 2 secciones 2.2.1, 2.2.3, 2.2.4 y 2.2.5, respectivamente.

4.2.1 Envolvente de comportamiento histerético.

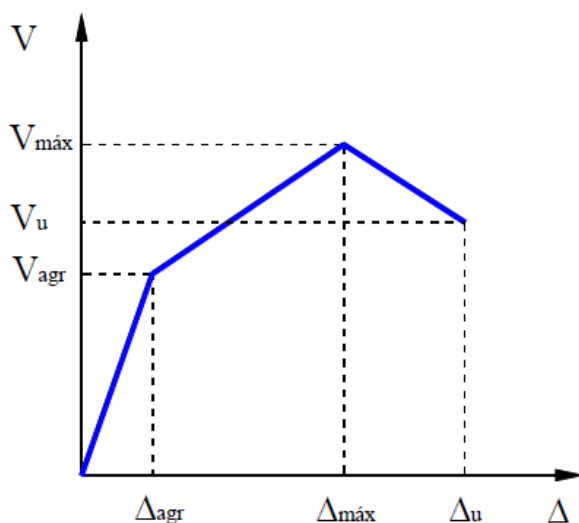


Figura 4.1. Curva idealizada de histéresis.
(Tomada de Carrillo, 2009)

4.2.1.1 Capacidad de resistencia

Resistencia máxima ($V_{m\acute{a}x}$).

La resistencia máxima está representada por la ecuación 1 que es igual a la suma de la contribución del concreto (V_c) más la contribución del refuerzo horizontal (V_s) y cuyo límite representa la resistencia por compresión diagonal.

$$V_{m\acute{a}x} = V_c + V_s = [\alpha_1 \sqrt{f'_c} + \eta_h \rho_h f_{yh}] A_m \leq \alpha_2 \sqrt{f'_c} A_m \quad (1)$$

dónde:

$$A_m = t L$$

$$\alpha_1 = 0.67 - 0.06 \left(\frac{M}{VL} \right) \text{ usando } kg/cm^2$$

$$\alpha_1 = 0.21 - 0.02 \left(\frac{M}{VL} \right) \text{ usando } Mpa$$

$$\alpha_2 = 1.40 - 0.06 \left(\frac{M}{VL} \right) \text{ usando } kg/cm^2$$

$$\alpha_2 = 0.44 - 0.02 \left(\frac{M}{VL} \right) \text{ usando } Mpa$$

- A_m área total del muro, calculada en función del espesor (t), longitud (L);
- η_h factor de eficiencia del refuerzo transversal igual a 0.7 (Carrillo et al., 2012);
- α_1 contribución del concreto a la resistencia;
- α_2 límite de resistencia a cortante del concreto;
- ρ_h cuantía de refuerzo horizontal a cortante en el alma (%);
- f_{yh} esfuerzo de fluencia del acero horizontal;
- f'_c resistencia a compresión del concreto;
- $\frac{M}{VL}$ relación entre el momento de flexión y la fuerza cortante por la longitud de muro;

donde la relación $\frac{M}{VL}$ se calcula como $0.75 \sqrt{\frac{H_m}{L_m}}$ (Carillo et al., 2012), H_m se refiere a la altura del muro y L_m a la longitud.

Resistencia al agrietamiento diagonal (V_{agr}).

La resistencia al agrietamiento diagonal es igual a la contribución del concreto.

$$V_{agr} = V_c = \alpha_1 \sqrt{f'_c} A_m \quad (2)$$

Resistencia última (V_u).

Se considera que la resistencia última está asociada a una disminución de resistencia del 20% de la resistencia máxima.

$$V_u = 0.80V_{m\acute{a}x} \quad (3)$$

4.2.1.2 Capacidad de desplazamiento.

Para el diseño sísmico se utilizan parámetros adimensionales que reflejan de una mejor manera el comportamiento global de las estructuras. En este caso se utiliza la distorsión, la cual se define como el desplazamiento medido al nivel de la losa de entrepiso, normalizado por la altura correspondiente (H_m). Las ecuaciones de desplazamiento se expresan en términos de distorsión (%) y son las que se presentan a continuación.

Distorsión al agrietamiento diagonal (R_{agr}).

Una vez calculada la resistencia al agrietamiento y utilizando la rigidez elástica agrietada (K_{agr}) se calcula la distorsión al agrietamiento diagonal.

$$R_{agr}(\%) = \left(\frac{V_{agr}}{K_{agr}} \right) \frac{100}{H_m} \quad (4)$$

Donde K_{agr} incluye las deformaciones por cortante y por flexión y se calcula con la ecuación 5.

$$K_{agr} = \left(\frac{Hm^3}{c_1 3E_c I_g} + \frac{1.2H_m}{c_2 G_c A_c} \right)^{-1} \quad (5)$$

dónde:

- A_c área de cortante de la sección transversal del muro;
- E_c módulo de elasticidad del concreto;
- I_g momento de inercia centroidal de la sección bruta despreciando el acero de refuerzo;
- G_c módulo de cortante del concreto;
- H_m altura del muro y
- c_1, c_2 Factores para incluir el efecto del agrietamiento del concreto y son igual a 0.5 para concreto agrietado.

Distorsión a la resistencia máxima ($R_{m\acute{a}x}$).

$$R_{m\acute{a}x}(\%) = a_1 \left(\frac{M}{VL} \right)^{b_1} \frac{V_{m\acute{a}x}}{A_m \sqrt{f'c}} + a_2 \left(\frac{M}{VL} \right)^{b_2} \quad (6)$$

dónde:

$V_{m\acute{a}x}$ resistencia máxima del muro ante fuerza lateral;
 A_m área de la sección transversal del muro;
 $f'c$ resistencia a compresión del concreto y
 a_1, a_2, b_1, b_2 constantes que se obtienen de la Tabla 4.2.

Tabla 4.2. Constantes para el cálculo de la distorsión máxima.

Constante	Mpa	kgf/cm ²
a_1	2.60	0.81
a_2		-0.23
b_1		1.35
b_2		2.40

La relación $\frac{M}{VL}$ se calcula como $0.75 \sqrt{\frac{H_m}{L_m}}$ (Carillo et al., 2012), H_m se refiere a la altura del muro y L_m a la longitud.

Distorsión última (R_u).

$$R_u(\%) = R_{m\acute{a}x}(\%) \quad (7)$$

4.3 PROGRAMACIÓN Y APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA.

Se aplica el programa desarrollado en lenguaje fortran 90 llamado "ENRELA_COM_JC" el diagrama de flujo se encuentra en el apéndice 1C y consta de 5 pasos generales: (1) inicia con la lectura del archivo de datos que requiere el programa, (2) se impone un desplazamiento arbitrario inicial, en este caso de 5×10^{-09} m, y un desplazamiento incremental de 5×10^{-04} m, (3) se calcula la rigidez y resistencia de cada muro, (4) se calcula la torsión en el edificio mediante el centro de rigidez y el centro de masas y (5) se calcula el primer modo de vibrar. Se suman las resistencias de cada muro en el sentido del análisis, así como los desplazamientos hasta que llegan a la falla.

4.3.1 Calibrado del programa.

Para sustentar los valores de las curvas calculadas con este programa se tomaron como base los valores de las curvas obtenidas de las pruebas experimentales, tanto de los ensayos cíclicos como de los dinámicos de muros con diferente relación de altura longitud (H_m/L_m).

Realizar los cálculos requiere una distribución en planta. Para evitar la influencia del cortante por torsión se realizó el análisis de una estructura de un nivel y planta cuadrada (Fig. 4.2). De esta manera se le solicita al programa los valores de la curva envolvente de resistencia lateral de piso de uno de los muros para compararlos con los valores experimentales. En la Tabla 4.3 se presentan las características y propiedades de algunos muros ensayados experimentalmente, mismas que se tomaron para realizar los cálculos analíticos.

Tabla 4.3. Características y propiedades de muros analizados.

Muro	H_m (m)	L_m (m)	t (m)	Concreto		Refuerzo en el alma		Tipo de carga
				f'_c (Mpa)	E_c (Mpa)	f_y (Mpa)	p_{min} (%)	
22	2.4	5.40	0.10	20.0	11180.34	491	50	Cíclica
23	2.4	2.40	0.10	20.0	11180.34	491	50	
24	2.4	1.24	0.10	20.0	11180.34	491	50	
25	2.4	540	0.10	5.20	5700.88	491	50	
26	2.4	2.4	0.10	28.6	23530.75	491	50	
27	2.4	1.24	0.10	28.6	23530.75	491	50	
29	2.4	1.92	0.10	16.0	10000.00	491	50	
36	1.92	1.92	0.08	24.80	14757.00	491	50	Dinámica
38	1.92	1.92	0.08	21.00	9146.00	491	50	

Valores tomados de Carrillo (2007) y Carrillo (2008).

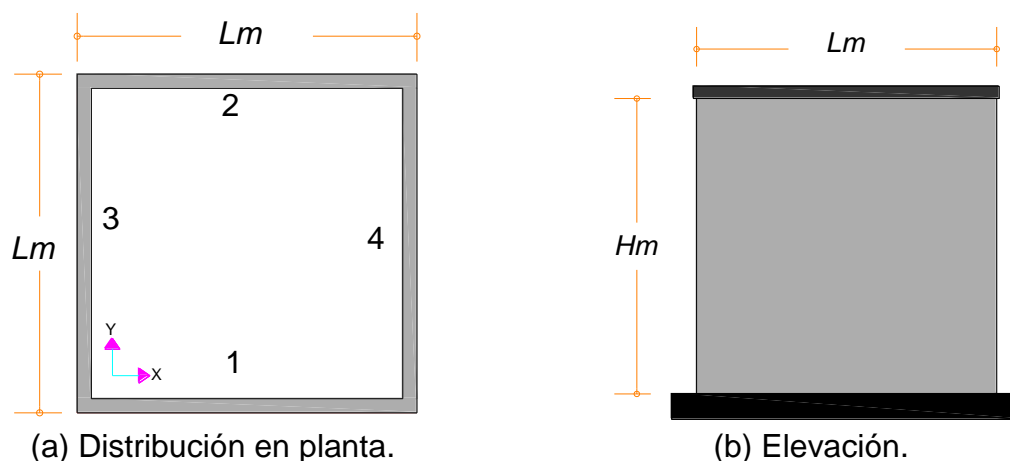


Figura 4.2. Planta y elevación de estructura de concreto.

Como ejemplo para el cálculo analítico se toma el muro 22. En la Figura 4.2a se observa la planta en la cual los cuatro muros tienen las mismas propiedades del muro 22 indicadas en la Tabla 4.3, se considera un espesor de la losa de 0.20 m. Se pide al programa “ENRELA_COM_JC” los valores de la envolvente de uno de los cuatro muros y proporciona los valores indicados en la Tabla 4.4 que al graficarlos se obtiene la envolvente de resistencia lateral del muro 22 mostrada en la Figura 4.3.

Tabla 4.4. Valores de resistencia y distorsión del muro 22.

Resistencia (kN)	Distorsión (mm/mm)
0.00297	0.00000
185.70806	0.00020
371.41427	0.00039
492.05718	0.00059
514.00371	0.00079
535.77073	0.00098
557.46652	0.00117
579.13793	0.00137
600.80126	0.00156
622.46155	0.00175
644.12039	0.00195
665.77835	0.00214
687.43572	0.00233
709.09264	0.00253

ENVOLVENTE DE RESISTENCIA LATERAL DE PISO PARA ESTRUCTURAS DE CONCRETO REFORZADO.

Curva envolvente de resistencia lateral de piso para estructuras formadas por muros de concreto reforzado con malla electrosoldada.

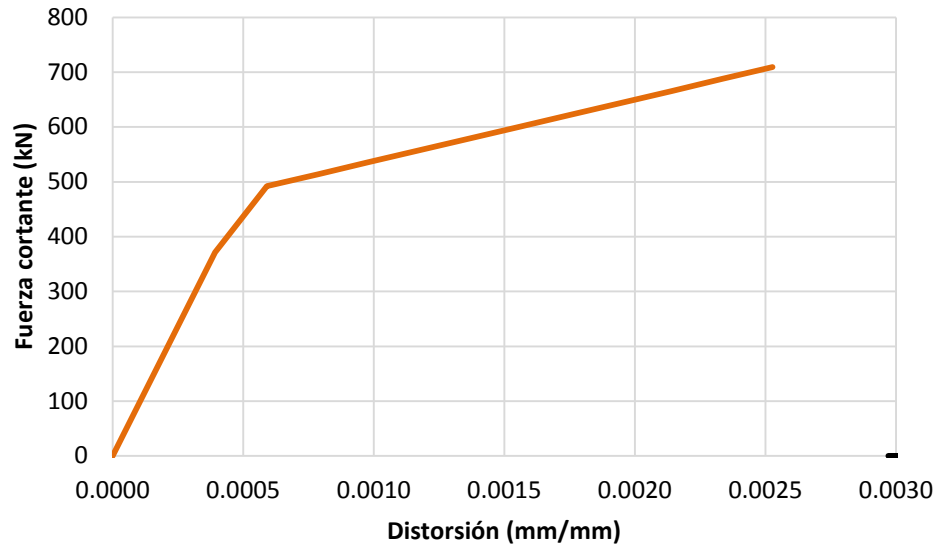


Figura 4.3. Envolvente de resistencia lateral de muro 22.

De manera similar obtenemos las envolventes de los muros de la Tabla 4.3, al graficar cada envolvente obtenemos la Figura 4.4.

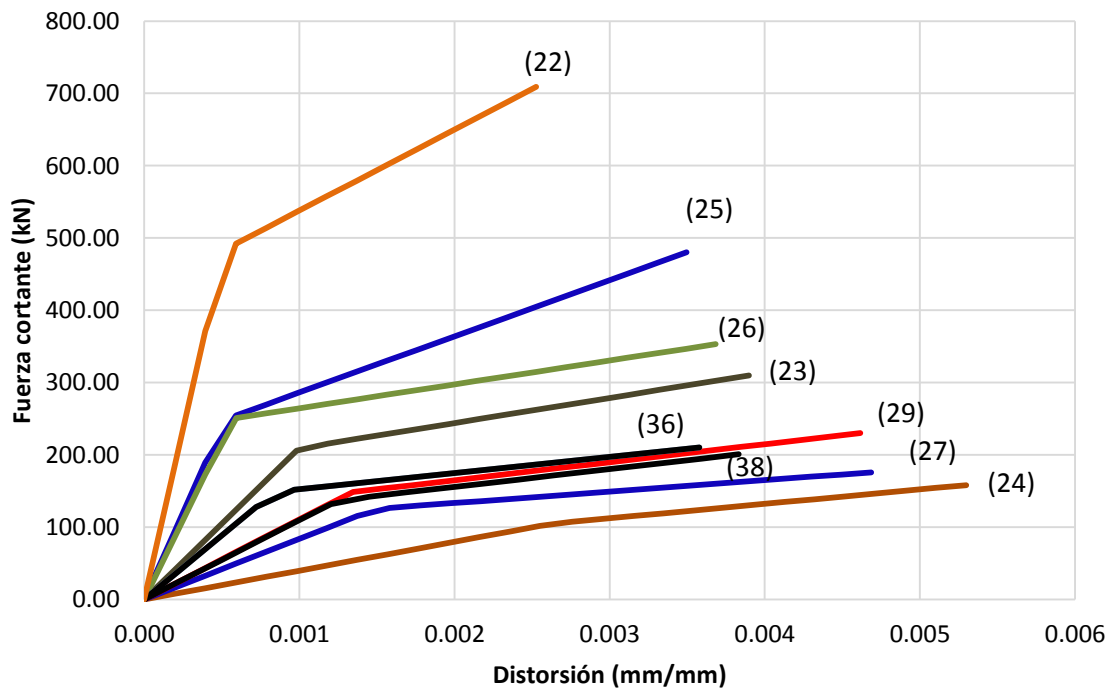


Figura 4.4. Envolvente de resistencia lateral de muros.

4.3.1.1 Resultados comparativos con pruebas experimentales.

Comparando las gráficas calculadas analíticamente (Fig. 3.5a) con las gráficas obtenidas de los ensayos (Fig. 3.5b) se observa que los valores de fuerza cortante máxima ($V_{m\acute{a}x}$) y distorsión son similares, en la Tabla 4.5 y 4.6 se indican estos valores, respectivamente.

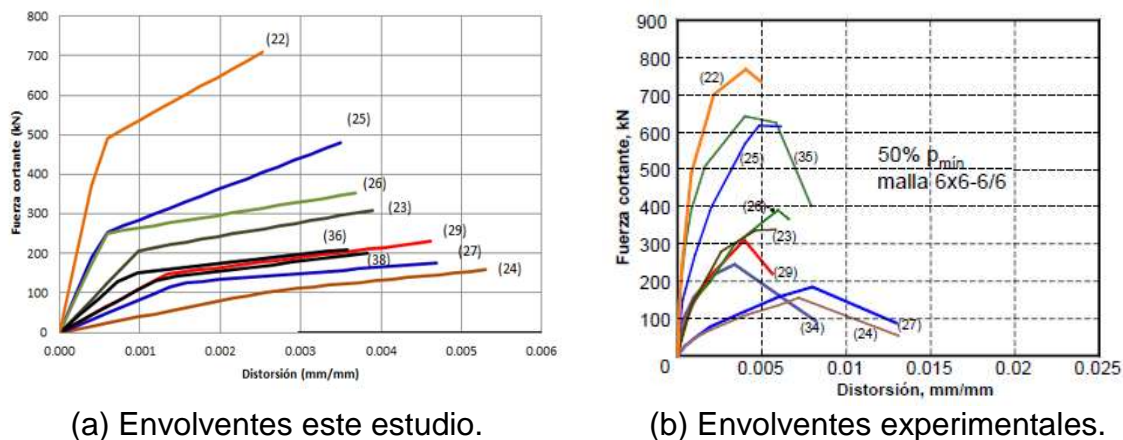


Figura 4.5. Comparación de envolventes de resistencia lateral de muros.

La Tabla 4.5 indica los valores de cortante resistente máximo experimental, teórico y analítico para cada uno de los muros estudiados. Así como también los cocientes entre el teórico y experimental y el analítico y experimental. Las medias aritméticas son inferiores a uno.

Tabla 4.5. Comparación de los resultados de resistencias máximas.

Muro	$V_{m\acute{a}x}$ (kN)			$\frac{T}{E}$	$\frac{F}{E}$
	E	T	F		
22	776	783.76	709.09	1.01	0.91
23	329	335.58	309.79	1.02	0.94
24	154	161.70	158.15	1.05	1.03
25	568	550.96	480.22	0.97	0.85
26	400	360.00	353.00	0.90	0.88
27	172	170.28	175.85	0.99	1.02
29	252	257.04	240.07	1.02	0.95
36	234	222.30	210.22	0.95	0.90
38	240	208.80	200.79	0.87	0.84
Media aritmética \bar{X}				0.98	0.92

E= experimental tabla 4.1 (Carrillo, 2012)
T= teórico, tabla 4.1 (Carrillo, 2012)
F= analítico, este trabajo.

La Tabla 4.6 indica los valores de distorsión máxima y última tanto la experimental como teórica y analítica para cada uno de los muros estudiados. Así como también los cocientes entre teórica y experimental y analítica y experimental. Las medias aritméticas para este estudio son inferiores a uno.

Tabla 4.6. Comparación de los resultados de distorsiones máximas y últimas.

Muro	$R_{m\acute{a}x}$ (%)			$\frac{T}{E}$	$\frac{F}{E}$	R_u (%)			$\frac{T}{E}$	$\frac{F}{E}$
	E	T	F			E	T	F		
22	0.39	0.35	0.25	0.90	0.65	0.45	0.35	0.25	0.77	0.56
23	0.47	0.55	0.39	1.16	0.83	0.52	0.54	0.39	1.04	0.75
24	0.66	0.77	0.53	1.16	0.80	0.68	0.77	0.53	1.13	0.78
25	0.44	0.46	0.35	1.04	0.79	0.45	0.46	0.35	1.02	0.78
26	0.60	0.52	0.37	0.87	0.61	0.63	0.52	0.37	0.82	0.58
27	0.70	0.73	0.47	1.04	0.67	0.71	0.74	0.47	1.04	0.66
29	0.40	0.41	0.46	1.02	1.15	0.4	0.40	0.46	1.00	1.15
36	0.40	0.46	0.36	1.15	0.89	0.54	0.51	0.36	0.94	0.66
38	0.62	0.52	0.38	0.84	0.62	0.65	0.53	0.38	0.81	0.59
Media aritmética \bar{X}				1.02	0.78				0.95	0.72
E= experimental, tabla 5.1 (Carrillo, 2012).										
T= teórico, tabla 5.1 (Carrillo, 2012).										
F= analítico, este trabajo.										

Conclusiones.

Con la cantidad de muros analizados, las medias aritméticas de resistencia máxima son valores muy cercanos y menores que uno (Carrillo $\bar{X} = 0.98$, este trabajo $\bar{X} = 0.92$). La mayoría de los cocientes es cercana a uno, es decir, la mayoría de las resistencias máximas calculadas son menores o iguales a las experimentales y las presentadas por Carrillo et al. (2012).

Las medias aritméticas de distorsión máxima (Carrillo $\bar{X} = 1.05$, este trabajo $\bar{X} = 0.96$) y última (Carrillo $\bar{X} = 1.02$, este trabajo $\bar{X} = 0.78$) son relativamente cercanas, debido a los incrementos en cada ciclo del programa. En este caso no todas son menores a uno por la cantidad de muros analizados y las que se exceden cumplen con el 5% de tolerancia.

Así queda sustentado que el programa funciona de manera adecuada. A continuación se analizan las mismas estructuras del capítulo 3, solo que ahora los muros están reforzados con mallas electrosoldadas.

4.3.2 Ejemplo 1cm.

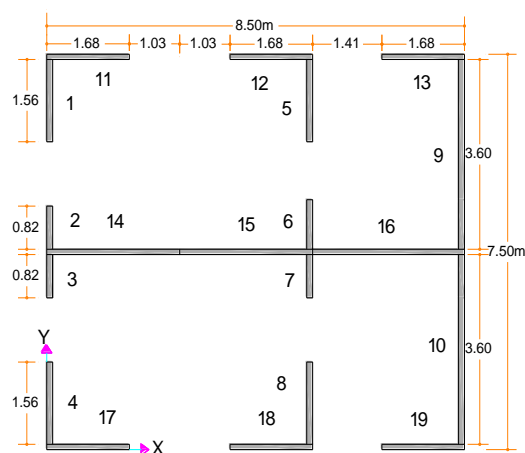
La estructura analizada en este ejemplo es la correspondiente al ejemplo 1cb del capítulo 3. Ahora se analiza utilizando refuerzo con malla electrosoldada. El espesor de cada muro es de 10 cm y el porcentaje de acero en el alma es el mínimo estipulado en las NTCC-RCDF (2004), $p_{min} = p_Q = 0.0025$. La Figura 4.6 corresponde a la planta y elevación. En la Tabla 4.7 se indican las propiedades mecánicas de los materiales y en la 4.8 las características generales.

Tabla 4.7. Propiedades mecánicas de los materiales del ejemplo 1cm.

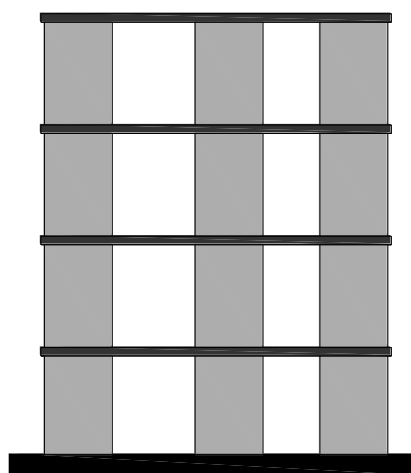
Material	Propiedad mecánica	Resistencia(Mpa)
Concreto	$f'c$	15
	Ec	9682.46
Acero	f_y	500
	Es	200000
	p_h	0.0025
	n_h	0.7

Tabla 4.8. Características generales de la estructura del ejemplo 1cm.

Característica	Datos
Ubicación	Zona III, DF
Coefficiente sísmico (c)	0.19
Uso	Oficinas
Entrepiso	2.50 m
Espesor de losa	0.10 m
Espesor de muros	0.10 m



(a) Distribución en planta.



(b) Elevación en dirección X.

Figura 4.6. Planta y elevación de estructura de concreto reforzado.

Se considera que el peso de muro es de 2200 kg/m^3 , en la azotea una carga de servicio de 530 kg/m^2 y en los niveles inferiores de 650 kg/m^2 .

4.3.2.1 Envolvente de resistencia lateral de piso en dirección X.

La Figura 4.7 corresponde a la envolvente de resistencia lateral de piso analizando en dirección X, se observa que la resistencia máxima es de 2641.779 kN con desplazamiento de 13.39 mm .

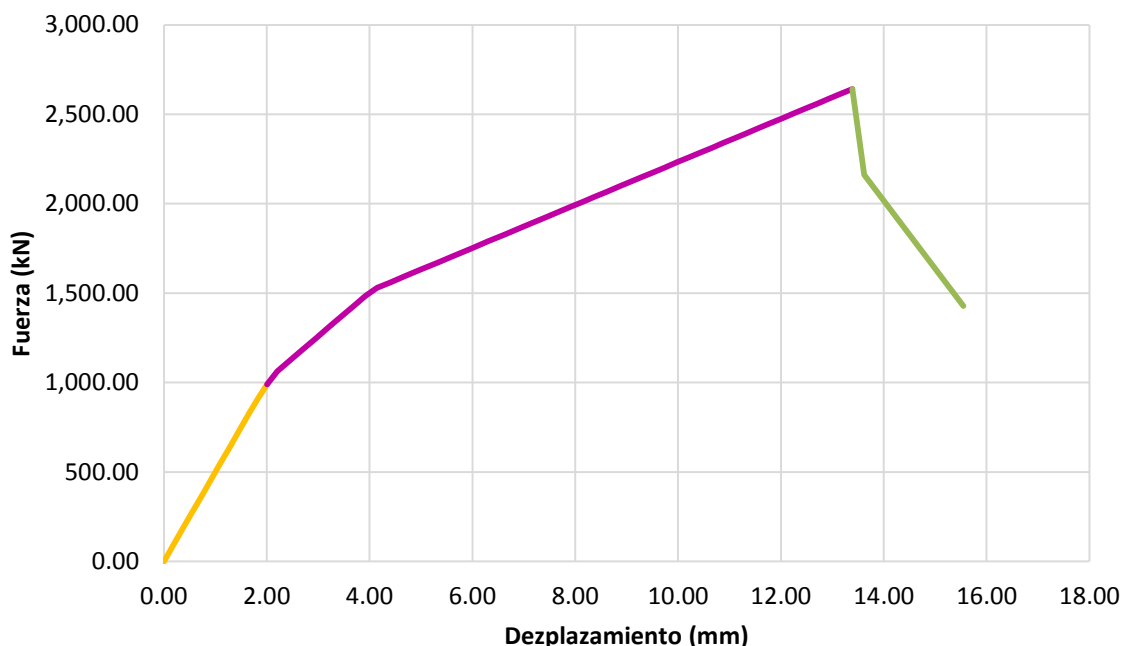


Figura 4.7. Envolvente de resistencia lateral en dirección X.

La Tabla 4.9 indica las ductilidades en esta dirección calculadas como se analizó en el capítulo 2 (criterio simplificado). El factor de comportamiento sísmico, $Q = 1.98$, cercano a 2 que recomiendan las NTCS-RCDF (2004).

Tabla 4.9. Valores de ductilidad en dirección X del ejemplo 1cm.

Dirección	μ_1	μ_u	Q
X	4.92	2.47	1.98

La Figura 4.8 muestra la evolución de la forma modal, donde se observa que la estructura falla en el primer nivel.

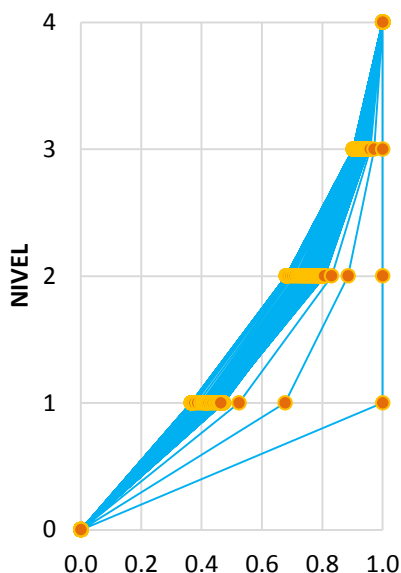


Figura 4.8. Evolución de la forma modal.

4.3.2.2 Envolvente de resistencia lateral de piso en dirección Y.

La Figura 4.9 corresponde a la curva de capacidad para el análisis en dirección Y, el valor de resistencia máxima es de 2904.617 kN y su desplazamiento de 14.23 mm. La Tabla 4.10 indica las ductilidades donde se tiene que el factor de comportamiento sísmico, $Q = 2.25$, es mayor que 2.

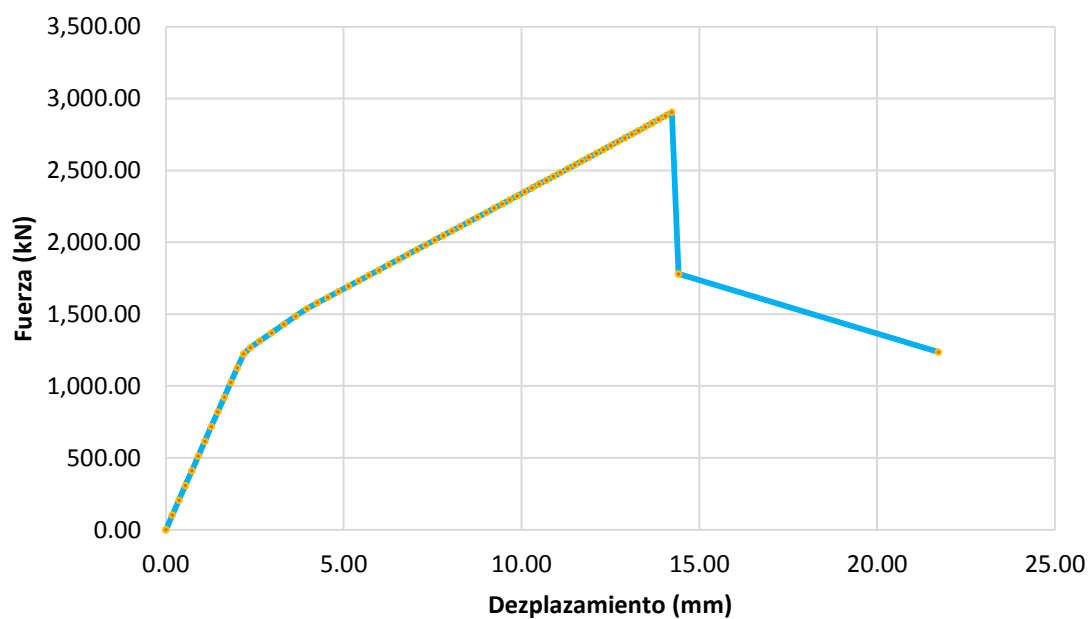


Figura 4.9. Envolvente de resistencia lateral en dirección Y.

Tabla 4.10. Valores de ductilidad en dirección Y del ejemplo 1cm.

Dirección	μ_1	μ_u	Q
Y	6.02	2.88	2.18

4.3.2.3 Envolvente de resistencia lateral de piso en direcciones X y Y.

La Figura 4.10 corresponde a la superposición de las gráficas que se obtuvieron del análisis en dirección X y Y. Se observa que la resistencia máxima a cortante en dirección Y es mayor. La dirección X tiene menor desplazamiento último

La Tabla 4.11 indica las ductilidades en direcciones X y Y. se observa que la ductilidad en dirección Y, $Q = 2.18$, es mayor que en dirección X, $Q = 1.98$.

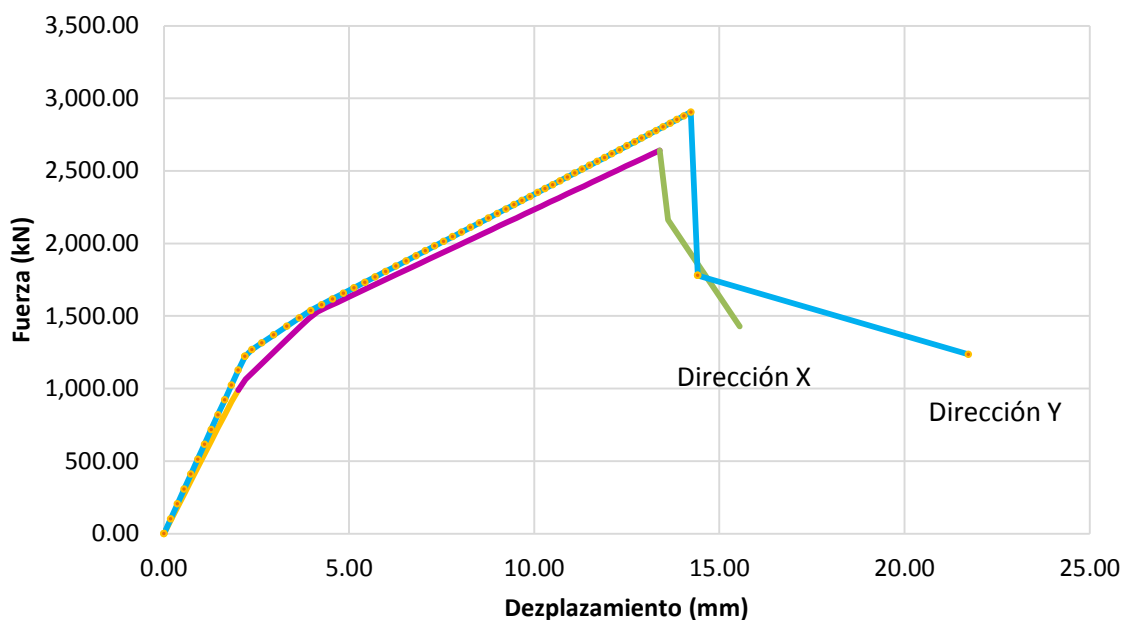


Figura 4.10. Envolvente de resistencia lateral en dirección X y Y.

Tabla 4.11. Comparación de valores de ductilidad del ejemplo 1cm.

Dirección	μ_1	μ_u	Q
X	4.92	2.47	1.98
Y	6.02	2.88	2.18

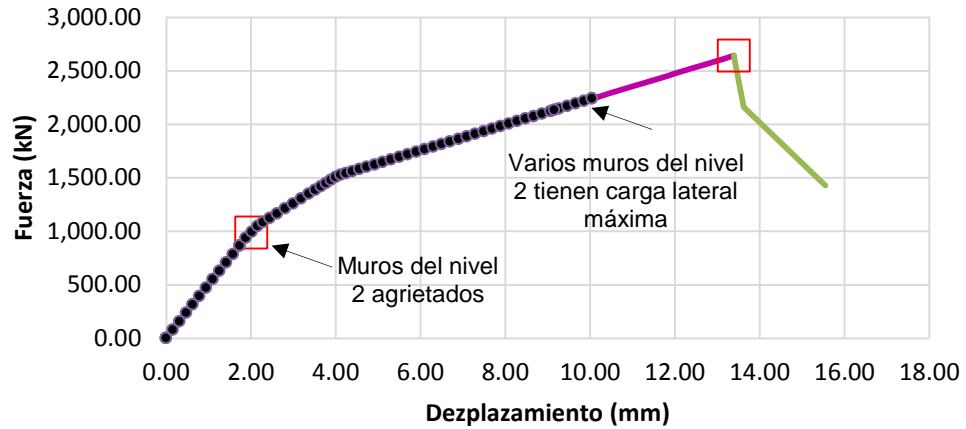
En las Figuras 4.10.1a a 4.10.1c, se muestra la curva envolvente de resistencia lateral del Nivel 1, y el estado del comportamiento de los muros de los niveles 2, 3 y 4, respectivamente. Se puede observar que las resistencias de los niveles superiores sigue la trayectoria de la curva de resistencia del nivel 1, debido a que la capacidad de resistencia lateral no está en función de los esfuerzos en compresión.

En las Figuras 4.10.2a a 4.10.2d, se muestran las curvas envolventes de resistencia lateral de los muros 1, 2 y 10 de la planta baja del edificio. En la Figura 4.10.2d se muestran las envolventes de resistencia lateral del muro No. 1 ubicado en los diferentes niveles de la estructura.

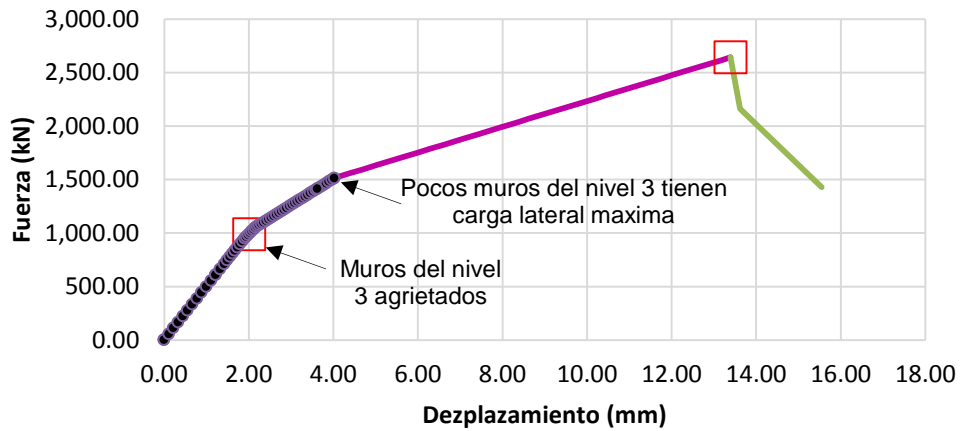
En la Figura 4.10.3 se observa la secuencia de falla de los muros por carga lateral, se grafica en el eje de las ordenadas la resistencia máxima ante carga lateral y en el de las abscisas el número de muro en la parte superior y la secuencia en la inferior. En sentido Y los primeros en fallar son 2 y 3 (Fig. 4.10.3a), en sentido X son 11, 12, 13, 17, 18 y 19 (Fig. 4.10.3b).

ENVOLVENTE DE RESISTENCIA LATERAL DE PISO PARA ESTRUCTURAS DE CONCRETO REFORZADO.

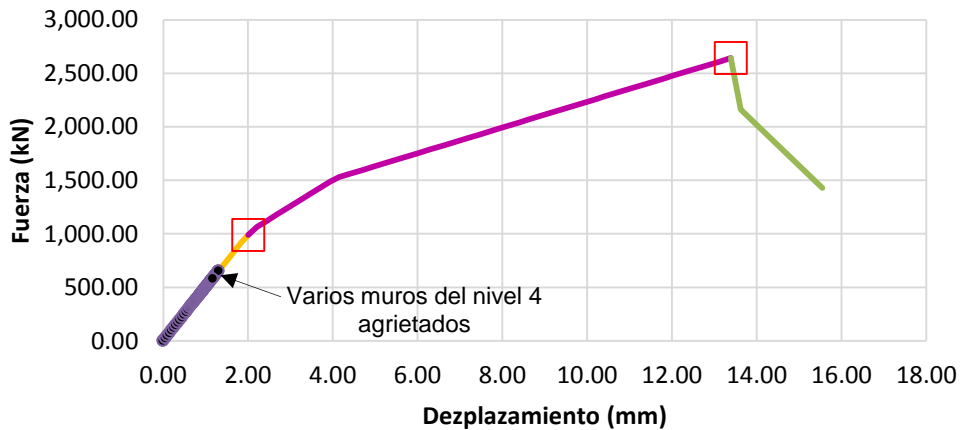
Curva envolvente de resistencia lateral de piso para estructuras formadas por muros de concreto reforzado con malla electrosoldada.



(a) Envolvente de resistencia, Nivel 1 y 2.



(b) Envolvente de resistencia, Nivel 1 y 3.

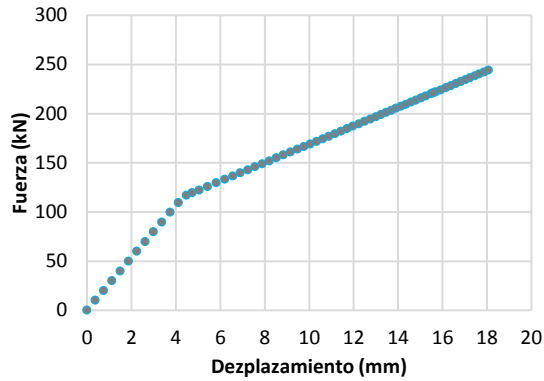


(c) Envolvente de resistencia, Nivel 1 y 4.

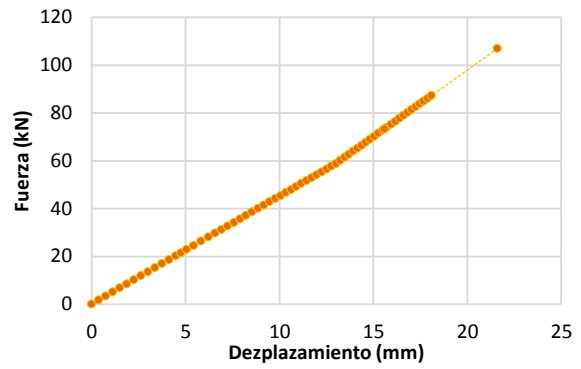
Figura 4.10.1. Envolventes de resistencia lateral de los diferentes niveles.

ENVOLVENTE DE RESISTENCIA LATERAL DE PISO PARA ESTRUCTURAS DE CONCRETO REFORZADO.

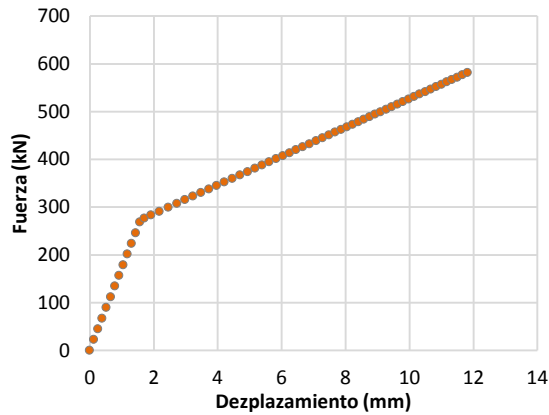
Curva envolvente de resistencia lateral de piso para estructuras formadas por muros de concreto reforzado con malla electrosoldada.



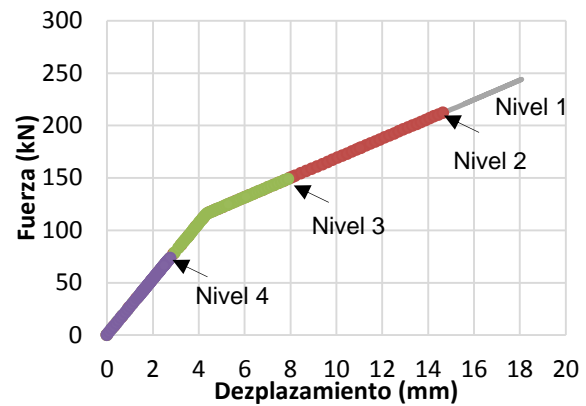
(a) Envolvente de resistencia muro No 1.



(b) Envolvente de resistencia muro No 2.

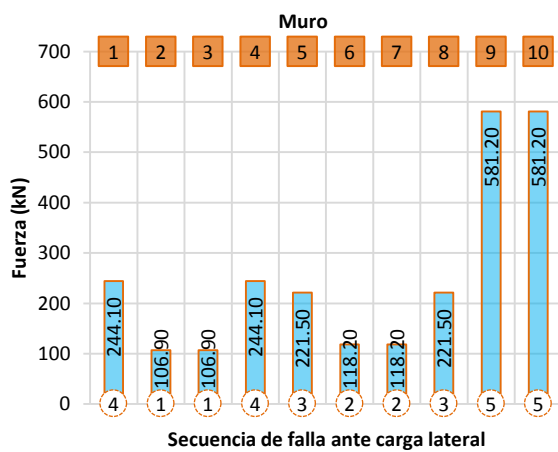


(c) Envolvente de resistencia muro No 10.

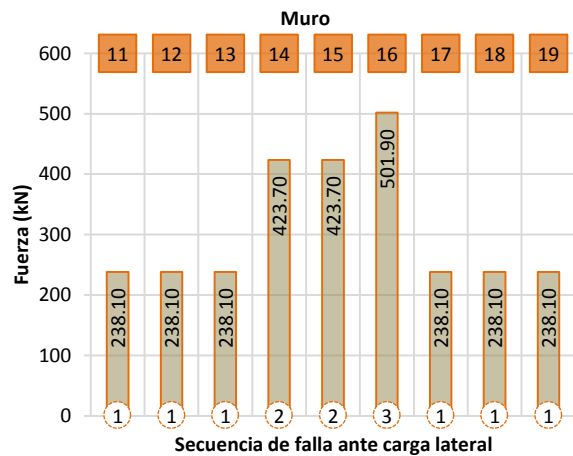


(d) Estado del muro No 1, en cada nivel.

Figura 4.10.2. Comparación de envolventes de resistencia lateral.



(a) Muros en dirección Y.



(b) Muros en dirección X.

Figura 4.10.3. Secuencia de falla en muros ante carga lateral.

Conclusiones.

De acuerdo a la forma modal la estructura falla en el primer nivel, el eje débil corresponde a X debido a que la fuerza lateral resistente es menor por tener menor densidad de muros (0.150m/m^2). En el sentido Y la densidad de muros es mayor (0.192 m/m^2) por lo tanto su resistencia lateral es mayor.

El coeficiente sísmico de desempeño en el eje débil es $c_e = 1.92$. EL factor de comportamiento sísmico en el eje débil es menor a la recomendación de las NTCS-RCDF (2004) de 2. Para obtener un valor mayor se recomienda utilizar un concreto de resistencia a compresión menor, sin embargo, por el tipo de acero de refuerzo la estructura tendría un tipo de falla frágil que en zonas sísmicas no se debe de presentar, por lo cual, la estructura no debe edificarse colocando refuerzo en el alma con malla electrosoldada para obtener la ductilidad.

4.3.3 Ejemplo 2cm.

La estructura corresponde a la del ejemplo 2cb del capítulo 3. En la Figura 4.11 se muestra la distribución de muros en planta. Ahora se analiza utilizando refuerzo con malla electrosoldada. El espesor de cada muro es de 10 cm y el porcentaje de acero en el alma es de $p_Q = 0.0025$. En la Tabla 4.12 se indican las propiedades mecánicas y en la Tabla 4.13 las características generales.

Tabla 4.12. Propiedades mecánicas de los materiales del ejemplo 2cm.

Material	Propiedad mecánica	Resistencia(Mpa)
Concreto	$f'c$	15
	E_c	9682.46
Acero	f_y	500
	E_s	200000
	p_h	0.0025
	n_h	0.7

Tabla 4.13. Características generales de la estructura del ejemplo 2cm.

Característica	Datos
Ubicación	Zona III, DF
Coficiente sísmico (c)	0.19
Uso	Vivienda
Entrepiso	2.50 m
Espesor de losa	0.10 m
Espesor de muros	0.10 m

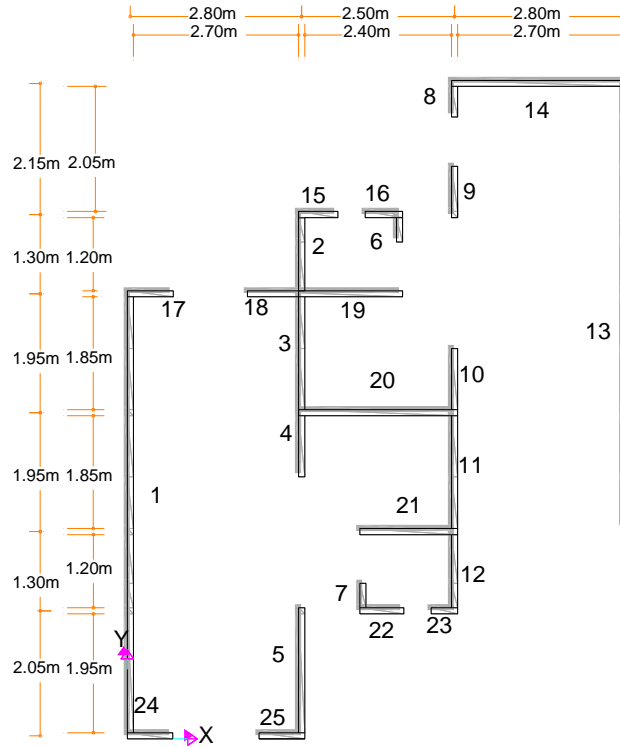


Figura 4.11. Distribución en planta de muros.

Se considera que el peso de muro es de 576 kg/ml y que en la azotea se tiene una carga de servicio de 660 kg/m² y en los niveles inferiores de 673 kg/m².

4.3.3.1 Envolvente de resistencia lateral de piso en dirección X.

Los muros ubicados en esta dirección son del 25 al 31. La Figura 4.12 corresponde a la envolvente de resistencia lateral de piso analizando en dirección X, se observa que la resistencia máxima es de 2098.051 kN con desplazamiento de 14.68 mm.

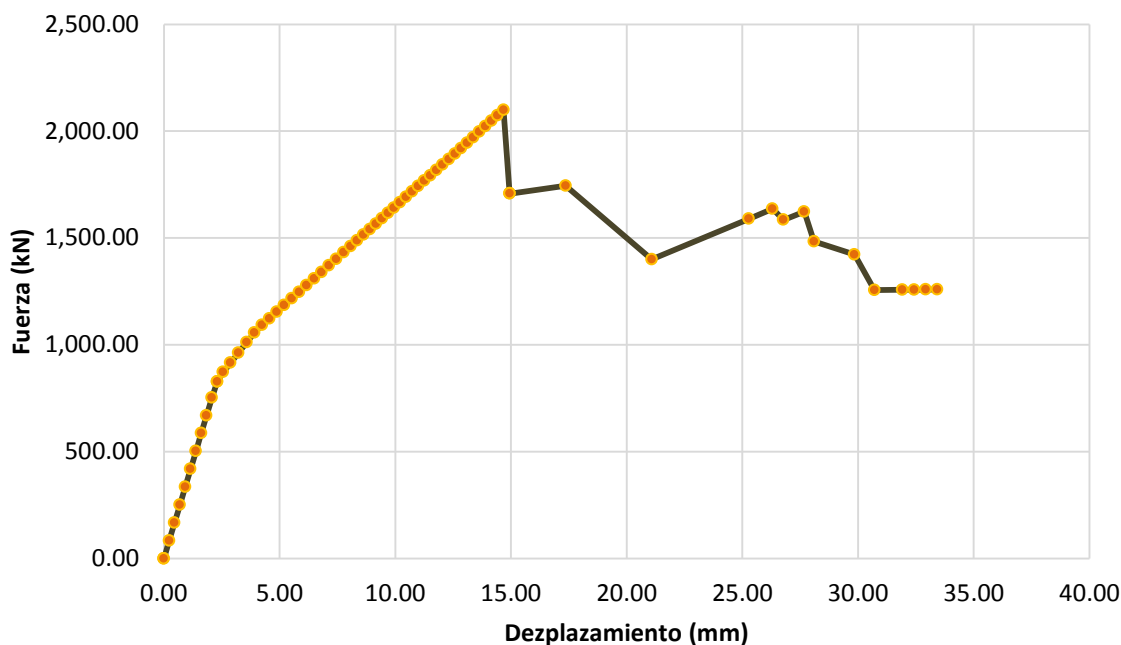


Figura 4.12. Envolvente de resistencia lateral en dirección X.

La Tabla 4.14 indica las ductilidades en esta dirección calculadas. El factor de comportamiento sísmico, $Q = 2.39$, es mayor que la recomendación de las NTCC-RCDF (2004) de 2.

Tabla 4.14. Valores de ductilidad en dirección X del ejemplo 2cm.

Dirección	μ_1	μ_u	Q
X	5.71	3.36	2.39

La Figura 4.13 muestra la evolución de la forma modal, donde se observa que la estructura falla en el primer nivel.

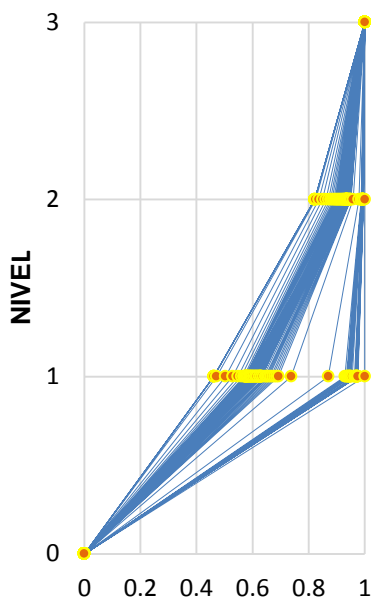


Figura 4.13. Evolución de la forma modal.

4.3.3.2 Envolvente de resistencia lateral de piso en dirección Y.

La Figura 4.14 corresponde a la curva de capacidad para el análisis en dirección Y, el valor de resistencia máxima es de 3358.695 kN y su desplazamiento de 9.93 mm. La Tabla 4.15 indica las ductilidades donde se tiene que el factor de comportamiento sísmico, $Q = 2.66$.

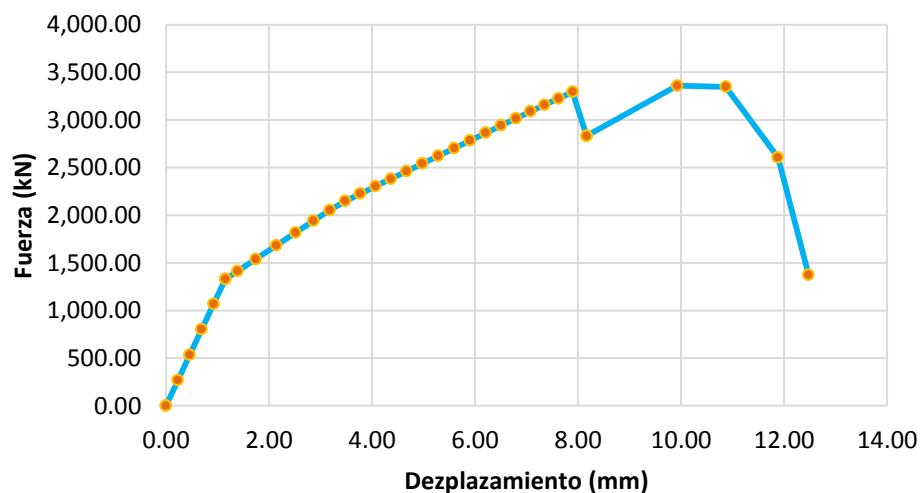


Figura 3.14. Envolvente de resistencia lateral en dirección Y.

Tabla 4.15. Valores de ductilidad en dirección Y del ejemplo 2cm.

Dirección	μ_1	μ_u	Q
Y	7.09	4.04	2.66

4.3.3.3 Envolvente de resistencia lateral de piso en direcciones X y Y.

La Figura 4.15 corresponde a la superposición de las gráficas obtenidas de los análisis en dirección X y Y, donde se observa que la resistencia máxima a cortante en dirección X es menor y por lo tanto corresponde al eje débil. La Tabla 4.16 indica las ductilidades en direcciones X y Y, en ella se observa que la ductilidad en dirección X, $Q = 2.39$, es menor que en dirección Y, $Q = 2.66$.

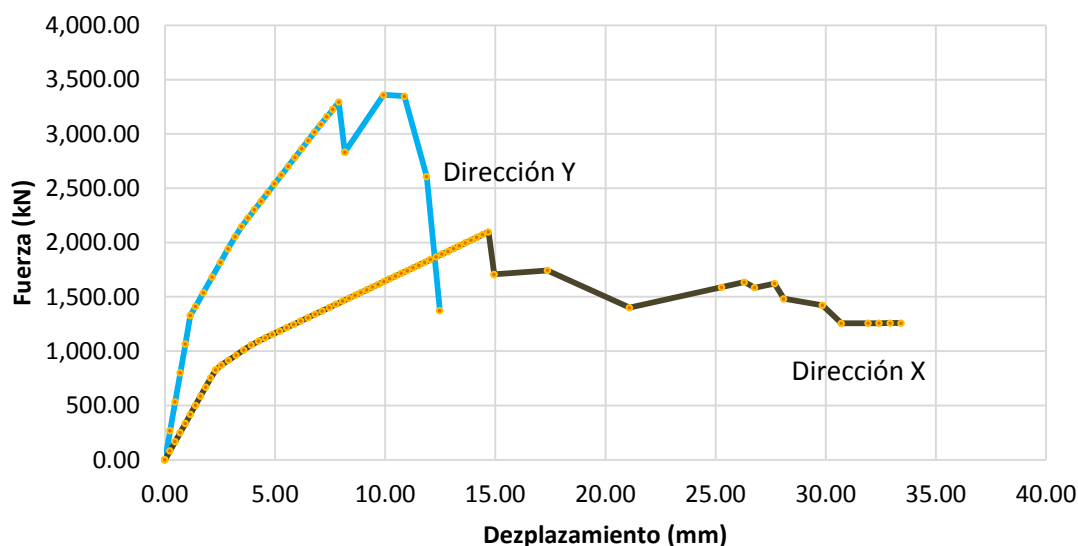


Figura 4.15. Envolvente de resistencia lateral en dirección X y Y.

Tabla 4.16. Comparación de valores de ductilidad del ejemplo 2cm.

Dirección.	μ_1	μ_u	Q
X	5.71	3.36	2.39
Y	7.09	4.04	2.66

En la Figura 4.15.1 se observa la secuencia de falla de los muros por carga lateral, se grafica en el eje de las ordenadas la resistencia máxima ante carga lateral y en el de las abscisas en la parte superior el número de muro y en la inferior la secuencia de falla. En sentido Y el primero en fallar es el 7 (Fig. 4.15.1a), en sentido X es el 23 (Fig. 4.15.1b).

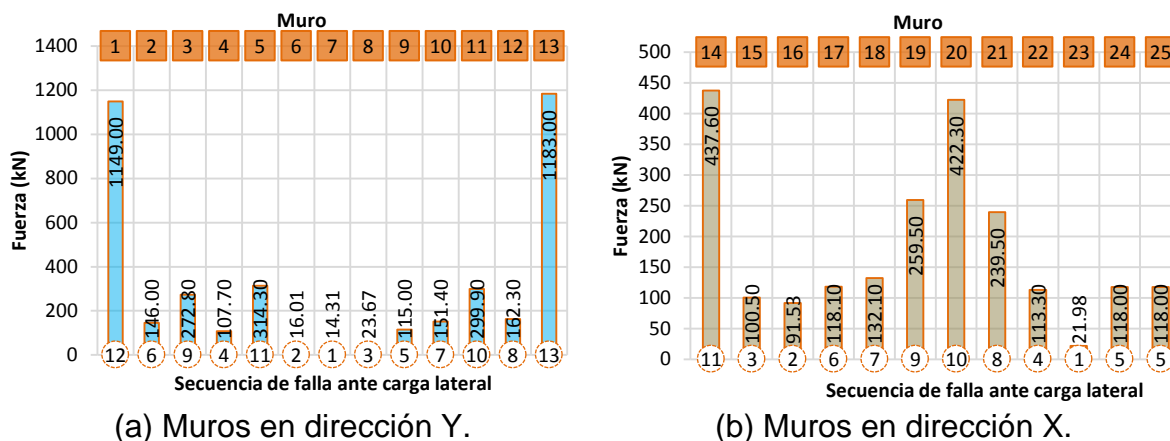


Figura 4.15.1. Secuencia de falla en muros ante carga lateral.

Conclusiones.

De acuerdo a la forma modal la estructura falla en el primer nivel, el eje débil corresponde a X debido a que la fuerza lateral resistente es menor por tener menor densidad de muros (0.240 m/m^2). En el sentido Y la densidad de muros es mayor (0.455 m/m^2) por lo tanto su resistencia ante carga lateral es mayor.

El coeficiente sísmico de desempeño en el eje débil es $c_e = 2.39$. EL factor de comportamiento sísmico en el eje débil es mayor a la recomendación de las NTCS-RCDF (2004) de 2, sin embargo, por el tipo de acero de refuerzo la estructura tendría un tipo de falla frágil que en zonas sísmicas no se debe de presentar, por lo cual, la estructura no debe edificarse colocando refuerzo en el alma con malla electrosoldada para obtener la ductilidad.

4.3.4 Ejemplo 3cm.

La estructura corresponde a la del ejemplo 3cb del capítulo 3. En la Figura 4.16 se muestra la distribución de muros en planta. Ahora se analiza utilizando refuerzo con malla electrosoldada. El espesor de cada muro es de 10 cm y el porcentaje de acero en el alma es de $p_Q = 0.0025$. En la Tabla 4.17 se indican las propiedades mecánicas de los materiales y en la Tabla 4.18 las características generales.

Tabla 4.17. Propiedades mecánicas de los materiales del ejemplo 3cm.

Material	Propiedad mecánica	Resistencia(Mpa)
Concreto	$f'c$	25
	Ec	22000
Acero	f_y	500
	Es	200000
	p_h	0.0025
	n_h	0.7

Tabla 4.18. Características generales de la estructura del ejemplo 3cm.

Característica	Datos
Ubicación	Zona B, Mich.
Coefficiente sísmico (c)	0.32
Uso	Vivienda
Entrepiso	2.55 m
Espesor de losa	0.10 m
Espesor de muros	0.10 m

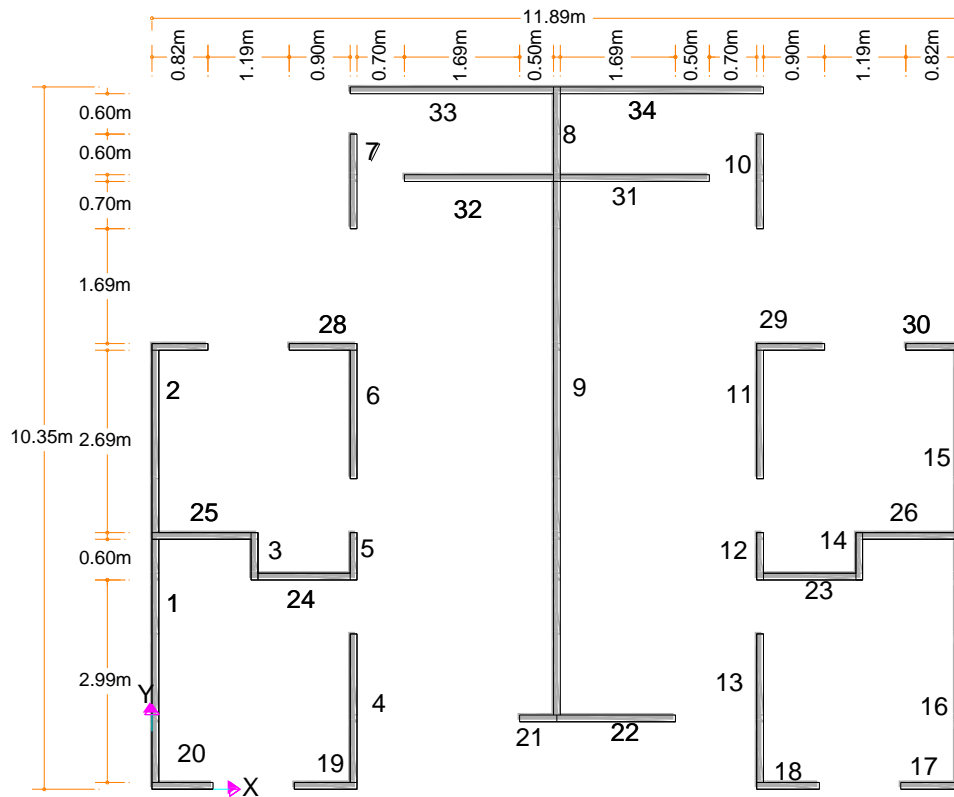


Figura 4.16. Distribución en planta de muros.

Se considera que el peso de muro es de 2200 kg/m^3 y que en la azotea se tiene una carga de servicio de 660 kg/m^2 y en los niveles inferiores de 673 kg/m^2 .

4.3.4.1 Envolvente de resistencia lateral de piso en dirección X.

Los muros ubicados en esta dirección son del 17 al 34. La Figura 4.17 corresponde a la envolvente de resistencia lateral de piso analizando en dirección X, se observa que la resistencia máxima es de 6450.338 kN con desplazamiento de 14.77 mm .

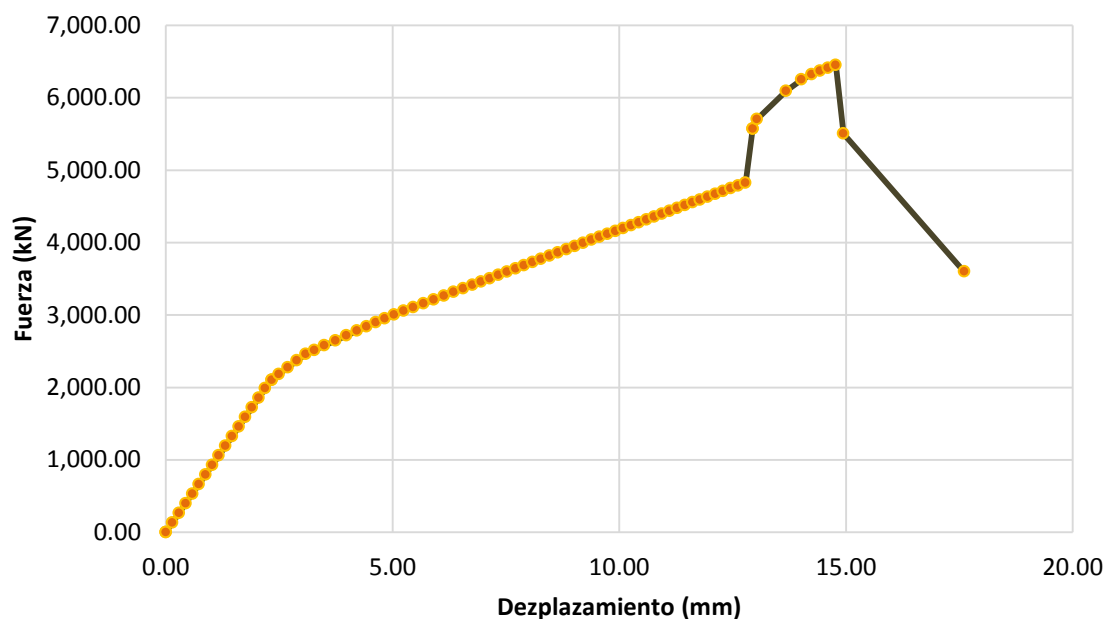


Figura 4.17. Envolvente de resistencia lateral en dirección X.

La Tabla 4.19 indica las ductilidades en esta dirección. El factor de comportamiento sísmico, $Q = 1.92$, es menor que la recomendación de las NTCS-RCDF (2004) de 2.

Tabla 4.19. Valores de ductilidad en sentido X del ejemplo 3cm.

Dirección	μ_1	μ_u	Q
X	5.45	2.34	1.92

La Figura 4.18 muestra la evolución de la forma modal, donde se observa que la estructura falla en el primer nivel.

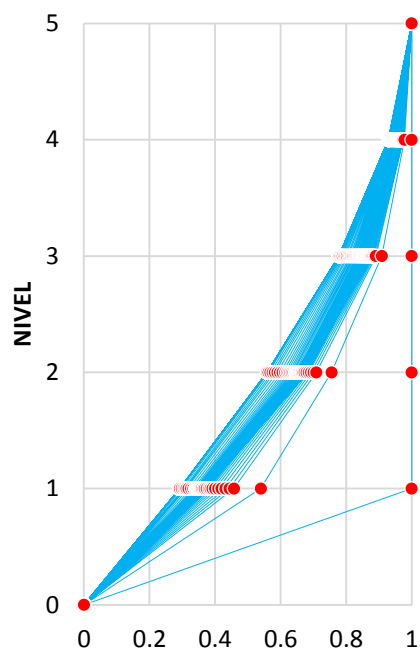


Figura 4.18. Evolución de la forma modal.

4.3.4.2 Envolvente de resistencia lateral de piso en dirección Y.

La Figura 4.19 corresponde a la curva de capacidad para el análisis en dirección Y, el valor de resistencia máxima es de 4814.034 kN y su desplazamiento de 6.70 mm. La Tabla 4.20 indica las ductilidades donde se tiene que el factor de comportamiento sísmico, $Q = 1.65$, es menor que 2.

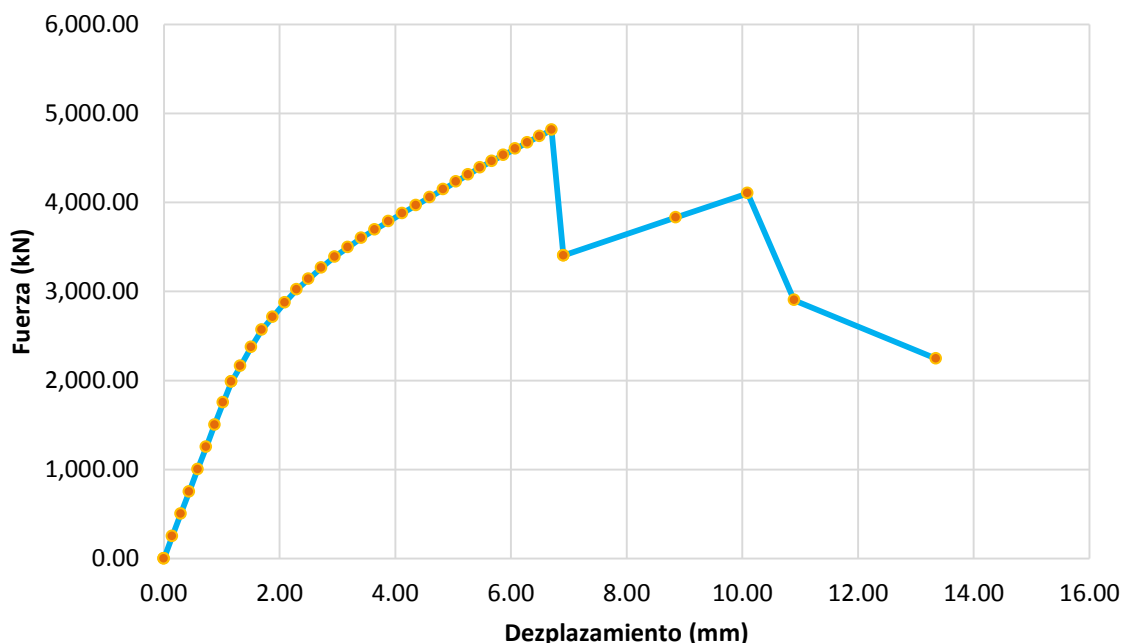


Figura 4.19. Envolvente de resistencia lateral en dirección Y.

Tabla 4.20. Valores de ductilidad en sentido Y del ejemplo 3cm.

Dirección	μ_1	μ_u	Q
Y	3.87	1.86	1.65

4.3.4.3 Envolvente de resistencia lateral de piso en direcciones X y Y.

La Figura 4.20 corresponde a la superposición de las gráficas que se obtuvieron del análisis en dirección X y Y, donde se observa que la resistencia máxima a cortante en dirección X es mayor. Las pendientes de la rigidez elástica son diferentes.

La Tabla 4.21 indica las ductilidades en direcciones X y Y. En ella se observa que la ductilidad en dirección Y, $Q = 1.65$, es menor que en dirección X, $Q = 1.92$.

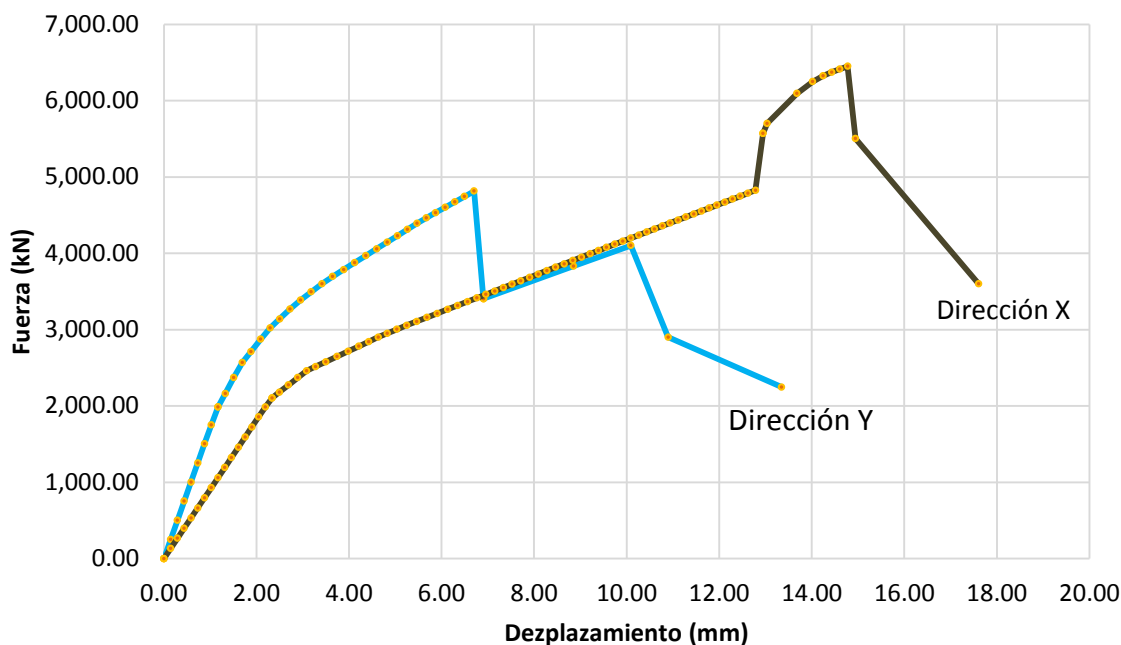


Figura 4.20. Envolvente de resistencia lateral en dirección X y Y.

Tabla 4.21. Comparación de valores de ductilidad del ejemplo 3cm.

Dirección.	μ_1	μ_u	Q
X	5.45	2.34	1.92
Y	3.87	1.86	1.65

En la Figura 4.20.1 se observa la secuencia de falla de los muros por carga lateral, se grafica en el eje de las ordenadas la resistencia máxima ante carga lateral y en el de las abscisas en la parte superior el número de muro y en inferior la secuencia de falla. En sentido Y el primero en fallar es el 3 (Fig. 4.20.1a) y en sentido X es el 21 (Fig. 4.20.1b).

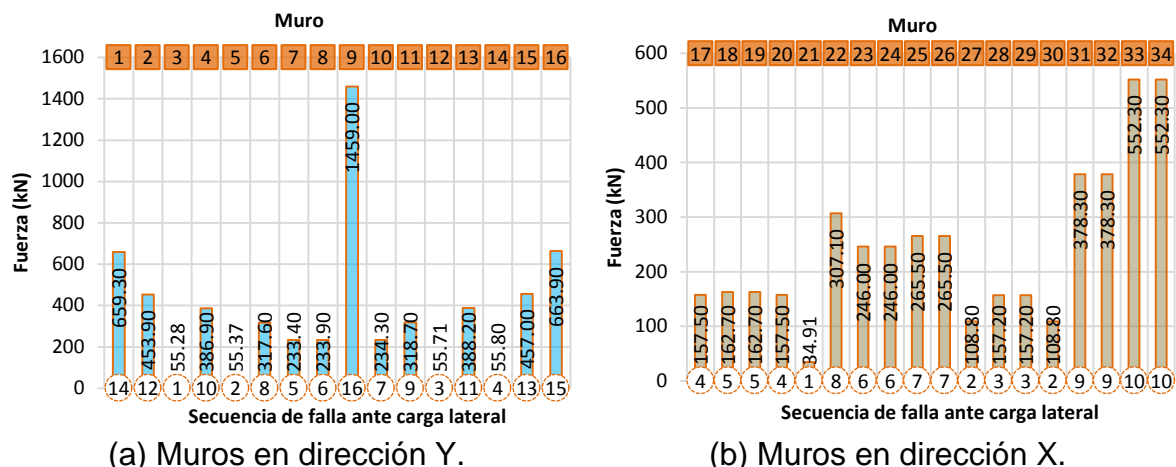


Figura 4.20.1. Secuencia de falla en muros ante carga lateral.

Conclusiones.

De acuerdo a la forma modal la estructura falla en el primer nivel, el eje débil corresponde a X debido a que la fuerza lateral resistente es menor por tener menor densidad de muros (0.270 m/m^2). En el sentido Y la densidad de muros es mayor (0.377 m/m^2) por lo tanto su resistencia lateral es mayor.

El coeficiente sísmico de desempeño en el eje débil es $c_e = 1.39$. EL factor de comportamiento sísmico en el eje débil es menor a la recomendación de las NTCS-RCDF (2004) de 2. Para obtener un valor mayor se recomienda utilizar un concreto de resistencia a compresión menor, sin embargo, por el tipo de acero de refuerzo la estructura tendría un tipo de falla frágil que en zonas sísmicas no se debe de presentar, por lo cual, la estructura no debe edificarse colocando refuerzo en el alma con malla electrosoldada para obtener la ductilidad.

4.4. RESISTENCIA Y DESPLAZAMIENTO ÚLTIMO.

En los ejemplos desarrollados se observó que después de la resistencia máxima existen incrementos repentinos de la resistencia. Esto se debe a que la estructura llega a la falla en el punto de resistencia máxima y el programa continua calculando valores más allá de dicho punto. También se debe a que el modelo descrito no tiene un punto de fluencia definido, es decir, no existe un desplazamiento más allá del asociado a la resistencia máxima y para verificarlo a continuación se propondrá uno tal que el desplazamiento último sea el 80% de la distorsión última correspondiente a muros reforzados con barras corrugadas (capítulo 3), así la ecuación 9 corresponde a la distorsión última propuesta.

La ecuación correspondiente a la distorsión última del capítulo 3 es

$$R_u(\%) = c_1 \left(\frac{M}{VL} \right)^{d_1} \frac{V_{m\acute{a}x}}{A_m \sqrt{f'c}} + c_2 \left(\frac{M}{VL} \right)^{d_2} \quad (8)$$

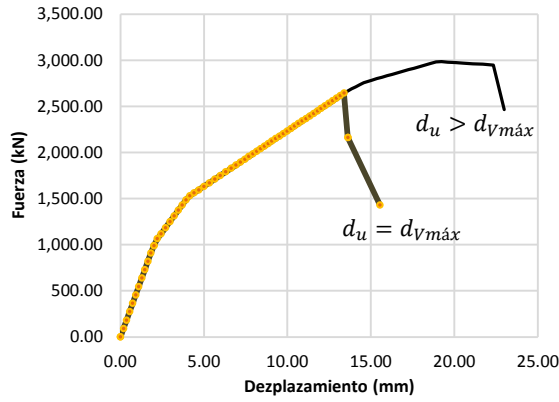
Sustituyendo valores e indicando el 80% se tiene

$$R_u(\%) = 0.8 \left[4.10 \left(0.75 \sqrt{\frac{H_m}{L_m}} \right)^{0.15} \frac{V_{m\acute{a}x}}{A_m \sqrt{f'c}} + (-0.43) \left(0.75 \sqrt{\frac{H_m}{L_m}} \right)^{-0.40} \right] \quad (9)$$

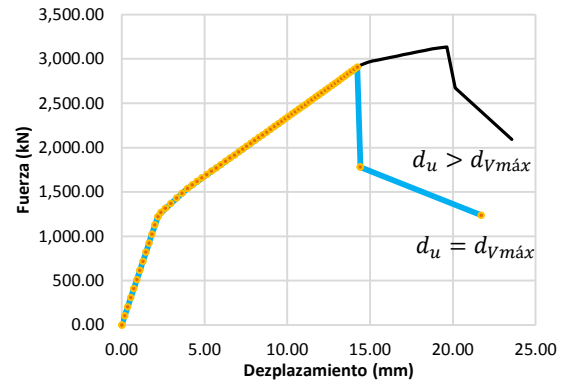
Al sustituir en la secci3n 4.2 la ecuaci3n 7 por la 9 se tiene un modelo trilineal con distorsi3n m3s all3 de la m3xima. Introduciendo esta distorsi3n 3ltima en el programa desarrollado en este trabajo se obtienen nuevas envolventes que se observan en la Figura 4.21 en donde se comparan estas envolventes con el desplazamiento 3ltimo propuesto posterior al m3ximo ($d_u > d_{vm\acute{a}x}$) y con el desplazamiento 3ltimo igual al m3ximo ($d_u = d_{vm\acute{a}x}$), en ellas se observa que aplicando el desplazamiento 3ltimo posterior al m3ximo las curvas no tienen la misma tendencia de incrementos bruscos.

ENVOLVENTE DE RESISTENCIA LATERAL DE PISO PARA ESTRUCTURAS DE CONCRETO REFORZADO.

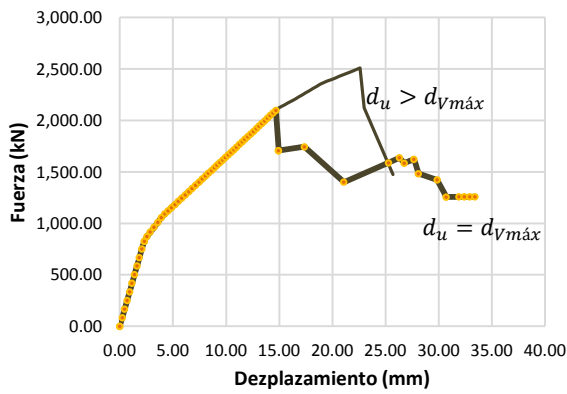
Curva envolvente de resistencia lateral de piso para estructuras formadas por muros de concreto reforzado con malla electrosoldada.



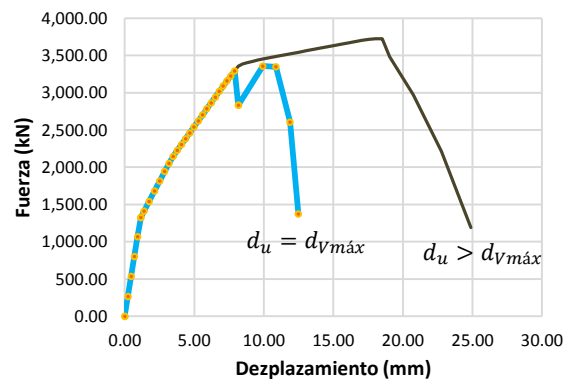
(a) Ejemplo 1cm, X



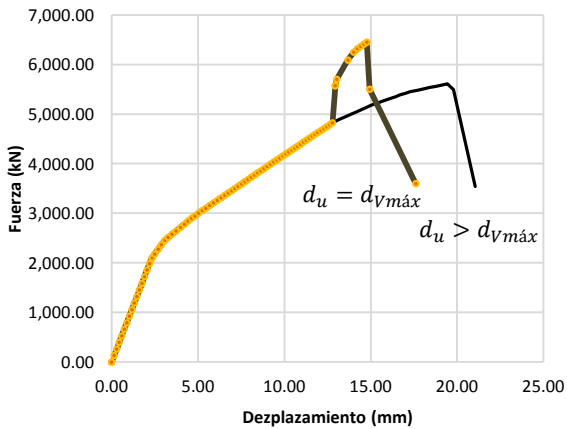
(b) Ejemplo 1cm, Y



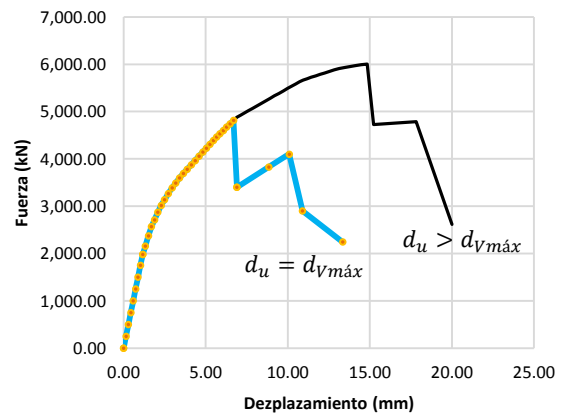
(c) Ejemplo 2cm, X



(d) Ejemplo 2cm, Y



(e) Ejemplo 3cm, X



(f) Ejemplo 3cm, Y

Figura 4.21. Comparación de envolventes de resistencia lateral en direcciones X y Y con $d_u = d_{Vm\u00e1x}$ y $d_u > d_{Vm\u00e1x}$.

4.5 CONCLUSIONES GENERALES.

Comparando los valores reportados por Carrillo et al. (2012) de pruebas experimentales, teóricos y los obtenidos en este trabajo se sustenta que el programa funciona adecuadamente, debido a que son valores similares.

Para las estructuras de los ejemplos analizados la falla que rige es por fuerza lateral debido a que el concreto tiene mayor resistencia a compresión que la carga axial actuante en cada muro y de acuerdo a la forma modal la falla ocurre en el primer entrepiso. En la Tabla 4.22 se indican los valores correspondientes al sentido del eje débil de resistencia a compresión del concreto $f'c$, porcentaje de acero p , resistencia máxima ante fuerza lateral $V_{m\acute{a}x}$, factor de comportamiento sísmico Q , y el coeficiente sísmico de desempeño c_e , obtenidos con el programa desarrollado en este capítulo. Los coeficientes sísmicos de desempeño son altos en comparación con los coeficientes sísmicos c presentados por las NTCS-RCDF (2004) y por el RCEM (1990) para estructuras del grupo A, donde $c = 0.45$ y $c = 0.48$, respectivamente, sin embargo, los factores de comportamiento sísmico para los ejemplos 1cm y 2cm son menores que el recomendado por las NTCS-RCDF (2004) de $Q = 2$, para el ejemplo 2cm el factor Q es mayor, sin embargo, por el tipo de refuerzo la estructura presentaría falla tipo frágil que en zonas sísmicas deben evitarse, por lo que las estructuras no son aptas para construirse en zonas sísmicas.

Tabla 4.22. Resultados de los ejemplos analizados en el capítulo 4.

Ej.	Niveles Total	Altura Total (m)	Eje débil	Tipo de falla	$f'c$ (Mpa)	p	$V_{m\acute{a}x}$ (kN)	Q	c_e
1cm	4	10.00	X	Fza lateral	15	0.0025	2641.799	1.92	1.92
2cm	4	7.50	X	Fza lateral	15	0.0025	2098.051	2.39	2.39
3cm	5	12.75	Y	Fza lateral	25	0.0025	4814.034	1.65	1.39

Como se determinó en el capítulo 3, los parámetros de resistencia a compresión del concreto y porcentaje de acero influyen en el comportamiento sísmico. Para los ejemplos de este capítulo se podría utilizar una resistencia a compresión del concreto menor o incrementar el porcentaje de acero con la finalidad de obtener factores de comportamiento sísmico igual o mayor al indicado por las NTCS-RCDF (2004) de 2. Sin embargo, aun determinando dicho valor de $Q \geq 2$, por el tipo de acero de refuerzo la estructura tendría falla frágil que en zonas sísmicas no debe

presentar, por lo cual, la estructura no es apta para edificarse utilizando refuerzo en el alma con malla electrosoldada para obtener la ductilidad.

Es por ello que se propone utilizar acero de refuerzo en barras corrugadas para obtener la ductilidad indicada en las NTCS-RCDF (2004) de $Q \geq 2$ y así tener una falla dúctil (porcentaje de acero por ductilidad, p_Q) y utilizar acero por temperatura que indican las NTCC-RCDF (2004) con malla electrosoldada (porcentaje de acero por temperatura, p_T). Es decir, una vez garantizada la ductilidad de la estructura con el porcentaje de acero en barras, se puede complementar el porcentaje mínimo por temperatura con malla electrosoldada, de tal manera que

$$p_{min} = p_Q + p_T.$$

CAPÍTULO 5

CURVA ENVOLVENTE DE RESISTENCIA LATERAL DE PISO PARA ESTRUCTURAS FORMADAS POR MUROS DE CONCRETO REFORZADO Y MAMPOSTERÍA CONFINADA.

5.1 INTRODUCCIÓN.

En los capítulos 2, 3 y 4 se presentaron los modelos trilineales para calcular envolventes de resistencia lateral para estructuras con muros de mampostería confinada, concreto reforzado con barras corrugadas y concreto reforzado con malla electrosoldada, respectivamente.

En el presente capítulo se utilizan dichos modelos para calcular la curva de capacidad de varias estructuras conformadas por muros de concreto en los primeros niveles y mampostería reforzada en los niveles superiores.

5.2 MODELOS TRILINEALES DE CORTANTE PARA MUROS DE CONCRETO REFORZADO Y MAMPOSTERÍA CONFINADA.

Se integran en un solo programa los modelos vistos en los capítulos 2, 3 y 4 sobre estructuras con muros de mampostería confinada, muros de concreto reforzados con barras corrugadas y muros de concreto reforzados con malla electro soldada, respectivamente, y se calculan los valores de la envolvente de resistencia lateral de edificaciones conformadas por muros de concreto reforzados en los primeros niveles y de mampostería confinada en los niveles superiores.

5.3 PROGRAMACIÓN Y APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA.

Se aplica el programa desarrollado en lenguaje fortran 90 llamado "ENRELA_COMA_JC", el diagrama de flujo se encuentra en el apéndice 1D y consta de 5 pasos generales: (1) inicia con la lectura del archivo de datos que requiere el programa, (2) se impone un desplazamiento arbitrario inicial, en este caso de 5×10^{-09} m, y un desplazamiento incremental de 5×10^{-04} m, (3) se calcula la rigidez y resistencia de cada muro, (4) se calcula la torsión en el edificio mediante el centro de rigidez y el centro de masas y (5) se calcula el primer modo de vibrar. Se suman las resistencias de cada muro en el sentido del análisis, así como los desplazamientos hasta llegar a la falla.

A continuación se presenta el análisis de varias estructuras.

5.3.1 Ejemplo 1hb.

La estructura analizada en este ejemplo es la que se ha venido analizando en los ejemplos 1m, 1cb y 1cm de los capítulos anteriores. Ahora se analiza indicando el primer nivel con muros de concreto de 10 cm de espesor reforzados con barras corrugadas, el porcentaje de acero en el alma mínimo estipulado en las NTCC-RCDF (2004), $p_{min} = 0.0025$. Los 3 niveles superiores con muros de mampostería confinada de 12 cm. La Figura 5.1 corresponde a la planta y elevación. En la Tabla

5.1 se indican las propiedades de los materiales y en la 5.2 las características generales.

Tabla 5.1. Propiedades mecánicas de los materiales del ejemplo 1hb.

Muro	Material	Propiedad mecánica	Resistencia(Mpa)
Concreto reforzado	Concreto	$f'c$	15
		Ec	9682.46
	Acero	f_y	420
		Es	200000
		p_h	0.0025
		n_h	0.8
Mampostería	Mamposteria	f^*m	1.5
		Em	1200
		Gm	480
		v^*m	0.35
	Concreto	$f'c$	15
		Ec	18203.02
	Acero	f_y	420
		Es	200000

Tabla 5.2. Características generales de la estructura del ejemplo 1hb.

Característica	Datos
Ubicación	Zona III, DF
Coefficiente sísmico (c)	0.19
Uso	Oficinas
Entrepiso	2.50 m
Espesor de losa	0.10 m
Espesor de muros concreto reforzado	0.10 m
Espesor de muros mamposteria	0.12 m

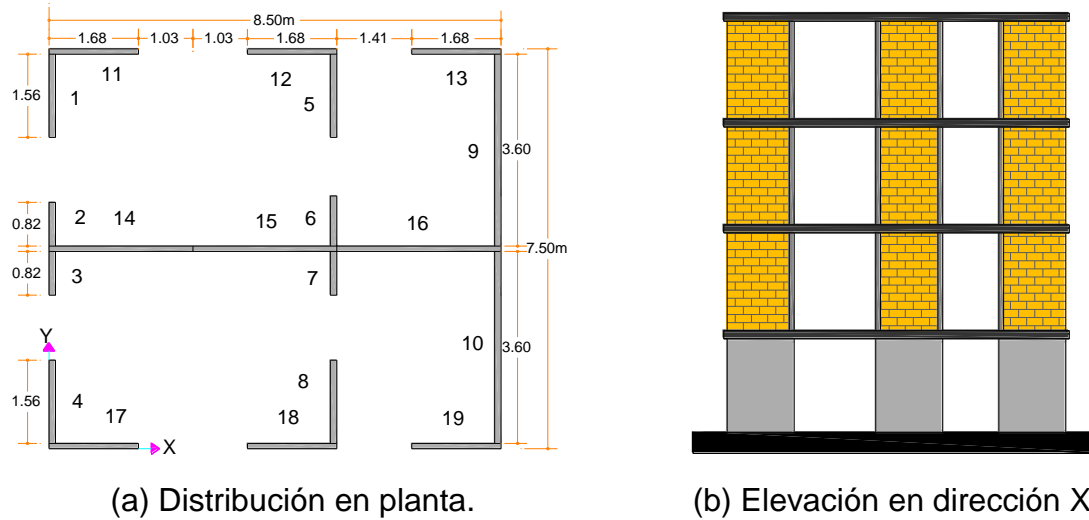


Figura 5.1. Planta y elevación de estructura de concreto reforzado y mampostería confinada.

Se considera el peso de muro de concreto reforzado de 2200 kg/m^3 y el de mampostería confinada de 1951.5 kg/m^3 , en la azotea una carga de servicio de 530 kg/m^2 y en los niveles inferiores de 650 kg/m^2 .

5.3.1.1 Envolvente de resistencia lateral de piso en dirección X.

En la Figura 5.2 se observa la evolución de la forma modal de la estructura analizada con muros de concreto reforzado con barras corrugadas en el primer nivel, el cual indica que la falla ocurre en el segundo entrepiso. Nivel donde inician los muros de mampostería confinada.

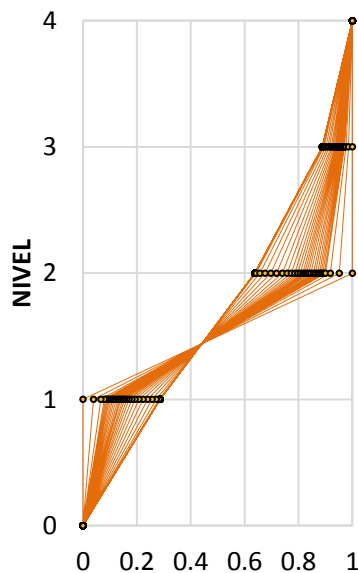


Figura 5.2. Evolución de la forma modal.

En la Figura 5.3 se observa la curva envolvente en sentido X del nivel de falla indicado por la forma modal (nivel 2), donde la resistencia máxima a fuerza lateral es de 729.708 kN con un desplazamiento de 9.24 mm.

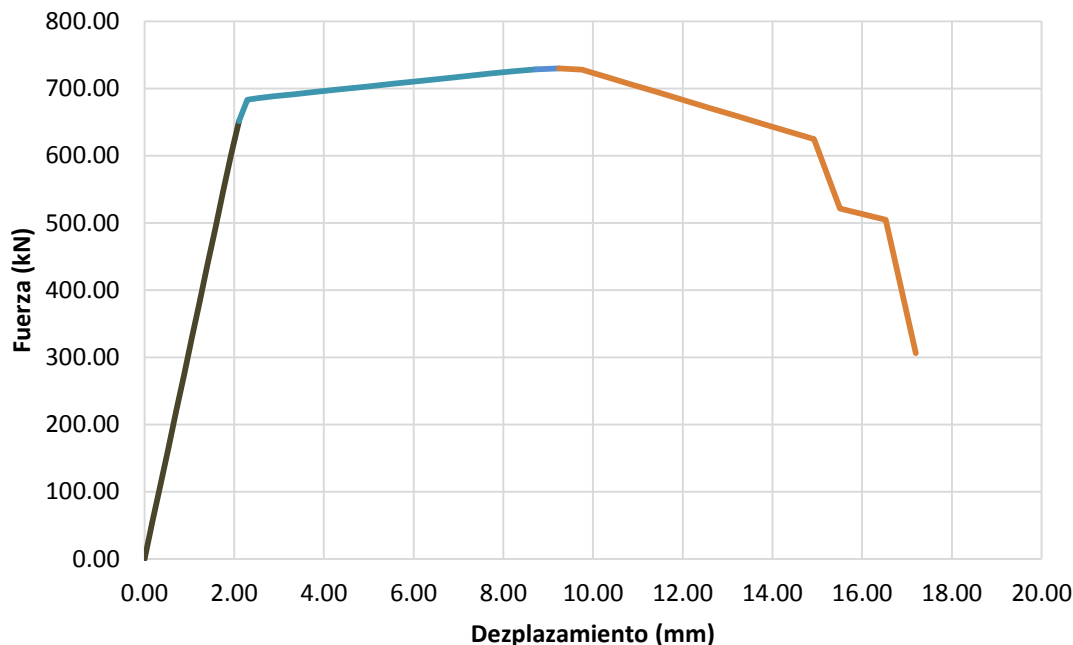


Figura 5.3. Envoltentes de resistencia lateral en dirección X.

La Tabla 5.3 indica las ductilidades en esta dirección, donde se observa que el factor de comportamiento sísmico, $Q = 2.33$, es superior a 2 que recomiendan las NTCM-RCDF (2004).

Tabla 5.3. Valores de ductilidad en dirección X del ejemplo 1hb.

Dirección	μ_1	μ_u	Q
X	6.91	3.22	2.33

5.3.1.2 Envoltente de resistencia lateral de piso en dirección Y.

La Figura 5.4 corresponde a la curva de capacidad para el análisis en dirección Y, donde el valor de resistencia máxima ante fuerza lateral es de 734.840 kN y su desplazamiento de 8.03 mm. La Tabla 5.4 indica las ductilidades en la cual el factor de comportamientos sísmico es $Q = 2.25$.

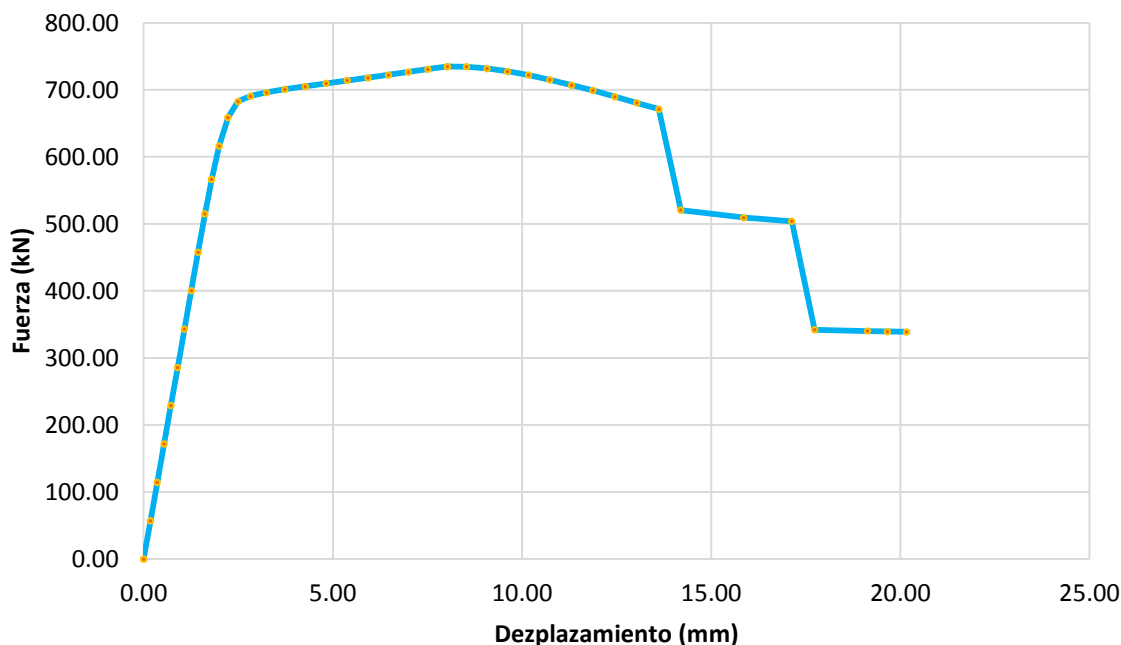


Figura 5.4. Envolvente de resistencia lateral en dirección Y.

Tabla 5.4. Valores de ductilidad en dirección Y del ejemplo 1hb.

Dirección	μ_1	μ_u	Q
Y	6.45	3.04	2.25

5.3.1.3 Envolvente de resistencia lateral de piso en direcciones X y Y.

La Figura 5.5 corresponde a la superposición de las gráficas que se obtuvieron del análisis en dirección X y Y. Se observa que la resistencia máxima a cortante en dirección X es ligeramente menor por lo que es el eje débil. La Tabla 5.5 indica las ductilidades en direcciones X y Y, en la cual se observa que la ductilidad en dirección Y, $Q = 2.25$, es menor que en dirección X, $Q = 2.33$.

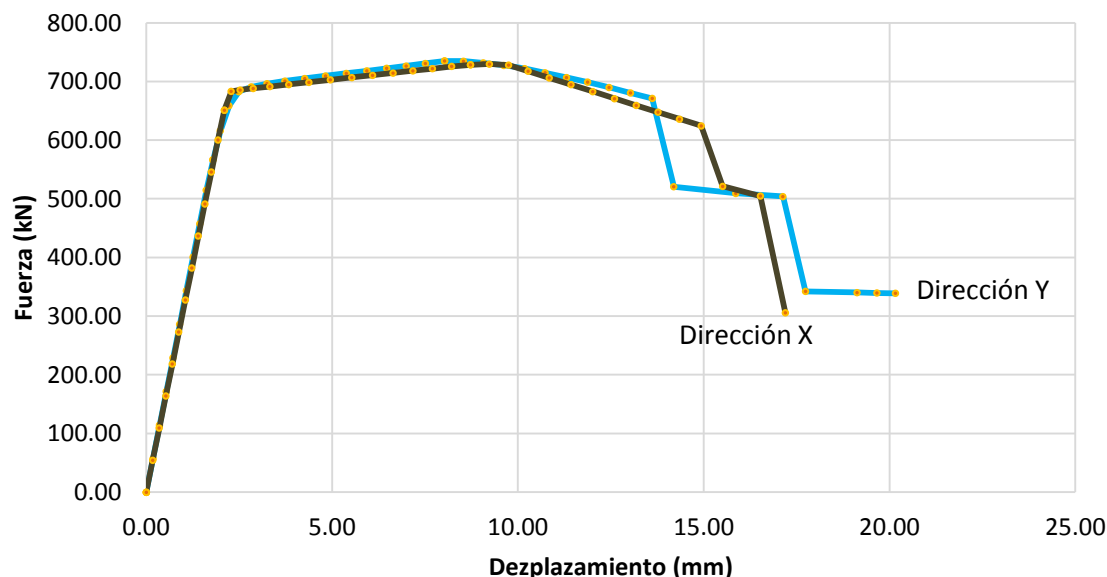


Figura 5.5. Envoltorio de resistencia lateral en dirección X y Y.

Tabla 5.5. Comparación de valores de ductilidad del ejemplo 1hb.

Dirección	μ_1	μ_u	Q
X	6.91	3.22	2.33
Y	6.45	3.04	2.25

En capítulos anteriores se mencionó que una de las ventajas de utilizar esta metodología es que se puede determinar el estado de los muros que pertenecen a un entrepiso en particular. En las Figuras 5.6a a 5.6c, se muestra la curva envolvente de resistencia lateral del Nivel 2 en sentido X y el estado del comportamiento de los muros de los niveles 1, 3 y 4, respectivamente. Se puede observar que el cortante de agrietamiento disminuye en las envolventes de los pisos superiores, debido a que la capacidad de resistencia lateral es menor que los muros del segundo nivel ya que tienen menor esfuerzo a compresión. También se puede observar que el cortante de agrietamiento aumenta en la envolvente del piso inferior, debido a que la capacidad de resistencia lateral es mayor que los muros de los niveles superiores por ser de concreto reforzado. En la Figura 5.6a se observa que los muros del primer entrepiso aportan rigidez en el segundo entrepiso debido a que inician a trabajar en el intervalo de resistencia máxima, es decir, sobrepasan el intervalo al agrietamiento e inicia la contribución del acero de refuerzo.

ENVOLVENTE DE RESISTENCIA LATERAL DE PISO PARA ESTRUCTURAS DE CONCRETO REFORZADO.

Curva envolvente de resistencia de piso para estructuras formadas por muros de concreto y mampostería confinada.

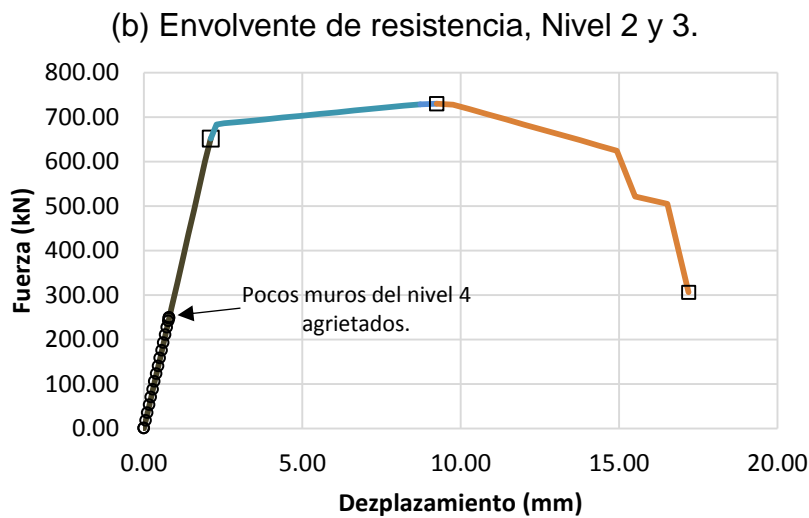
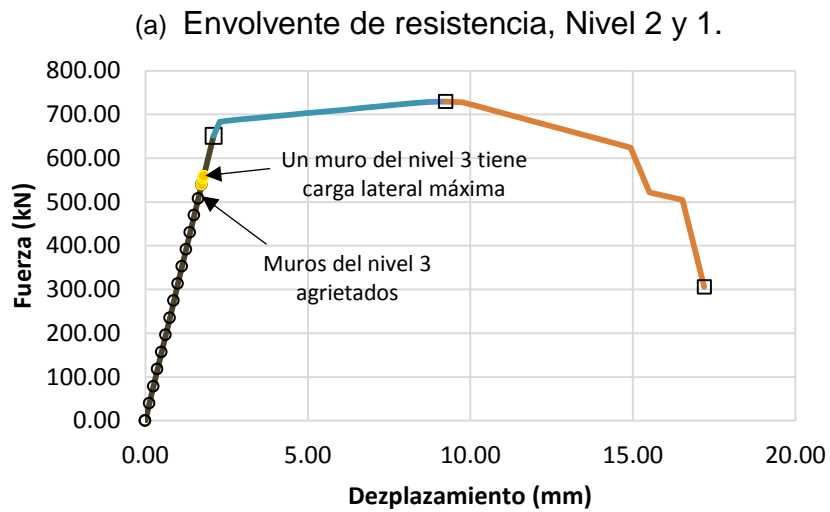
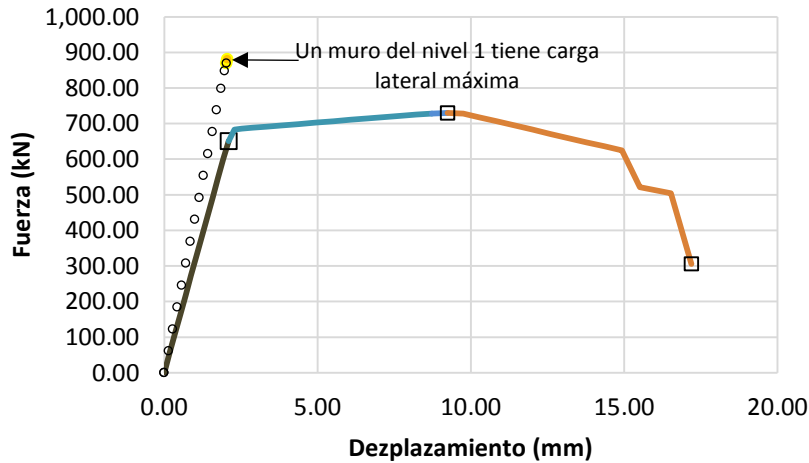
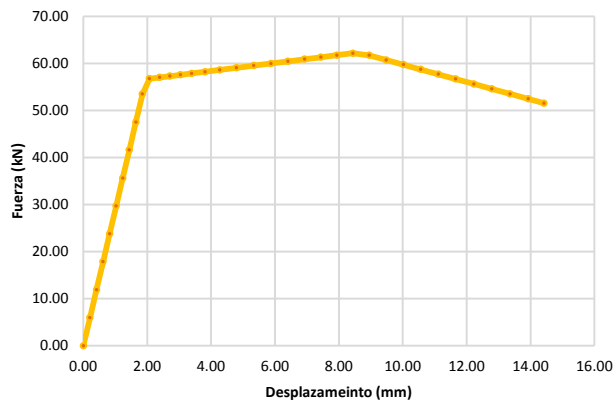
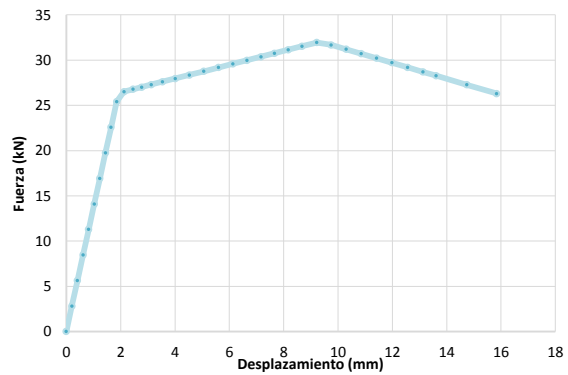


Figura 5.6. Envoltentes de resistencia lateral de los diferentes niveles.

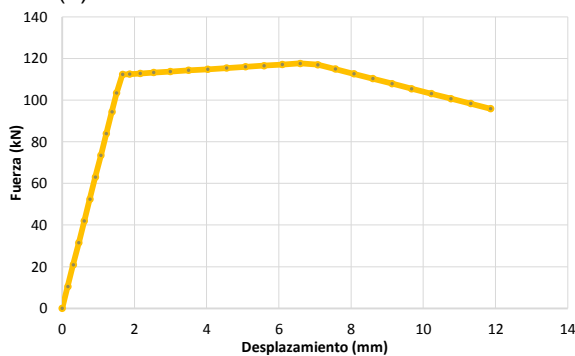
En las Figuras 5.7a a 5.7c, se muestran las curvas envolventes de resistencia lateral de los muros 1, 2 y 10 del nivel 2. En la Figura 5.7d se muestran las envolventes de resistencia lateral del muro No. 1 ubicado en los diferentes niveles de la estructura.



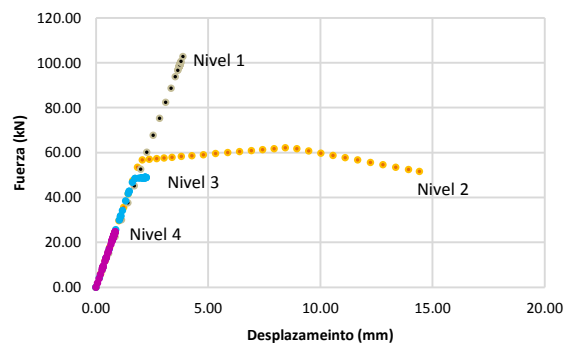
(a) Envoltura de resistencia muro No 1.



(b) Envoltura de resistencia muro No 2.



(c) Envoltura de resistencia muro No 10.



(d) Estado del muro No 1, en cada nivel.

Figura 5.7. Comparación de envolventes de resistencia lateral.

En la Figura 5.8 se observa la secuencia de falla por carga lateral de los muros del segundo entrespacio, el eje de las ordenadas corresponde a la resistencia y el de las abscisas el número de muro. En sentido Y el primero en fallar es el 2 (Fig. 5.8a), en sentido X son el 13 y 19 (Fig. 5.8b).

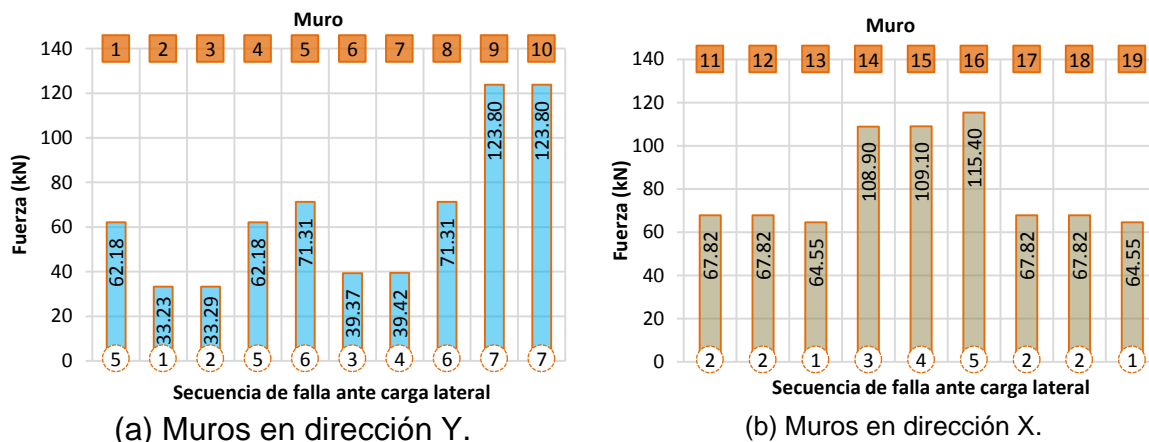


Figura 5.8. Secuencia de falla por carga lateral de los muros del segundo entrepiso.

Conclusiones.

Se analizó la estructura reforzando los muros de concreto del primer nivel con barras corrugadas, de acuerdo a la forma modal la falla ocurre en el segundo entrepiso, nivel donde inician los muros de mampostería confinada. Cuando la estructura llega a la falla los muros del primer entrepiso se encuentran agrietados e inicia la contribución del acero de refuerzo a la resistencia.

El factor de comportamiento sísmico en eje débil, X, es mayor que el recomendado por las NTCM-RCDF (2004) de 2. EL coeficiente sísmico de desempeño $c_e = 0.63$ es mayor que $c = 0.19$ por lo que la estructura es apta para construirse en la zona sísmica III del DF.

5.3.2 Ejemplo 1hm.

La estructura analizada en este ejemplo es la misma que la del ejemplo 1hb. Ahora se analiza indicando el primer nivel con muros de concreto de 10 cm de espesor y reforzados con malla electro soldada, el porcentaje de acero en el alma mínimo estipulado en las NTCC-RCDF (2004), $p_{min} = 0.0025$. Los 3 niveles superiores con muros de mampostería confinada de 12 cm. La Figura 5.1 (Ejemplo 1hb) corresponde a la planta y elevación. En la Tabla 5.6 se indican las propiedades de los materiales y en la 5.7 las características generales.

Tabla 5.6. Propiedades mecánicas de los materiales del ejemplo 1hm.

Muro	Material	Propiedad mecánica	Resistencia(Mpa)
Concreto reforzado	Concreto	$f'c$	15
		Ec	9682.46
	Acero	f_y	500
		Es	200000
		p_h	0.0025
		n_h	0.7
Mampostería	Mampostería	f^*m	1.5
		Em	1200
		Gm	480
		v^*m	0.35
	Concreto	$f'c$	15
		Ec	18203.02
	Acero	f_y	420
		Es	200000

Tabla 5.7. Características generales de la estructura del ejemplo 1hm.

Característica	Datos
Ubicación	Zona III, DF
Coefficiente sísmico (c)	0.19
Uso	Oficinas
Entrepiso	2.50 m
Espesor de losa	0.10 m
Espesor de muros concreto reforzado	0.10 m
Espesor de muros mampostería	0.12 m

Se considera el peso de muro de concreto reforzado de 2200 kg/m^3 y el de mampostería confinada de 1951.5 kg/m^3 , en la azotea una carga de servicio de 530 kg/m^2 y en los niveles inferiores de 650 kg/m^2 .

5.3.2.1 Envolventes de resistencia lateral de piso.

Los resultados de este ejemplo son similares a los del ejemplo 1hb, en la Figura 5.2 (Ejemplo 1hb) se observa la evolución de la forma modal de la estructura analizada con muros de concreto reforzado con malla electrosoldada en el primer nivel, la cual indica que la falla ocurre en el segundo entrepiso, nivel donde inician los muros de mampostería confinada. En la Figura 5.8 (Ejemplo 1hb) se observa la secuencia de falla ante carga lateral de los muros del segundo entrepiso.

La Figura 5.9 corresponde a las envolventes en los dos sentidos ortogonales de análisis, se observa que la resistencia máxima a cortante en dirección X es

ligeramente menor $V_{m\acute{a}x} = 729.708 \text{ kN}$ que en direcci3n Y $V_{m\acute{a}x} = 734.840 \text{ kN}$, por lo que el eje d3bil le corresponde al sentido X y sus desplazamientos asociados son $d_{V_{m\acute{a}x}} = 9.24 \text{ mm}$ y $d_{V_{m\acute{a}x}} = 9.30 \text{ mm}$, respectivamente.

En la Tabla 5.8 se indican las ductilidades, el factor de comportamientos s3micos en direcci3n Y $Q = 2.25$ es menor que en sentido X $Q = 2.33$.

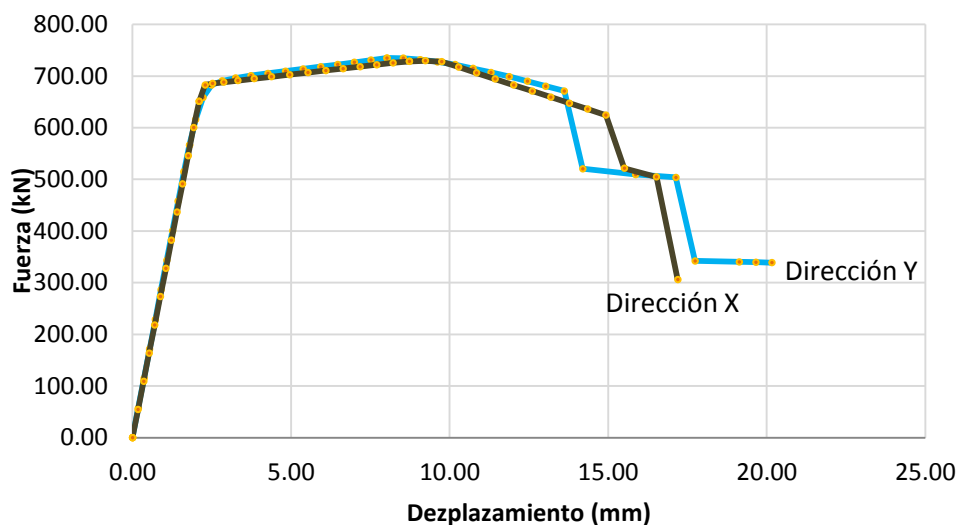


Figura 5.9. Envoltentes de resistencia lateral.

Tabla 5.8. Comparaci3n de valores de ductilidad del ejemplo 1hm.

Direcci3n	μ_1	μ_u	Q
X	6.91	3.22	2.33
Y	6.45	3.04	2.25

En la Figura 5.10 se observa el estado de los muros de los entrepisos, en el nivel 1 (muros de concreto reforzados con malla electrosoldada) los muros se encuentran agrietados e inicia a trabajar el acero de refuerzo para ingresar al intervalo de resistencia lateral m3xima, en el nivel 2 la estructura llego a la falla, en el nivel 3 se encuentran agrietados y al menos uno alcanzo su resistencia lateral m3xima y en el nivel 4 pocos se encuentran agrietados.

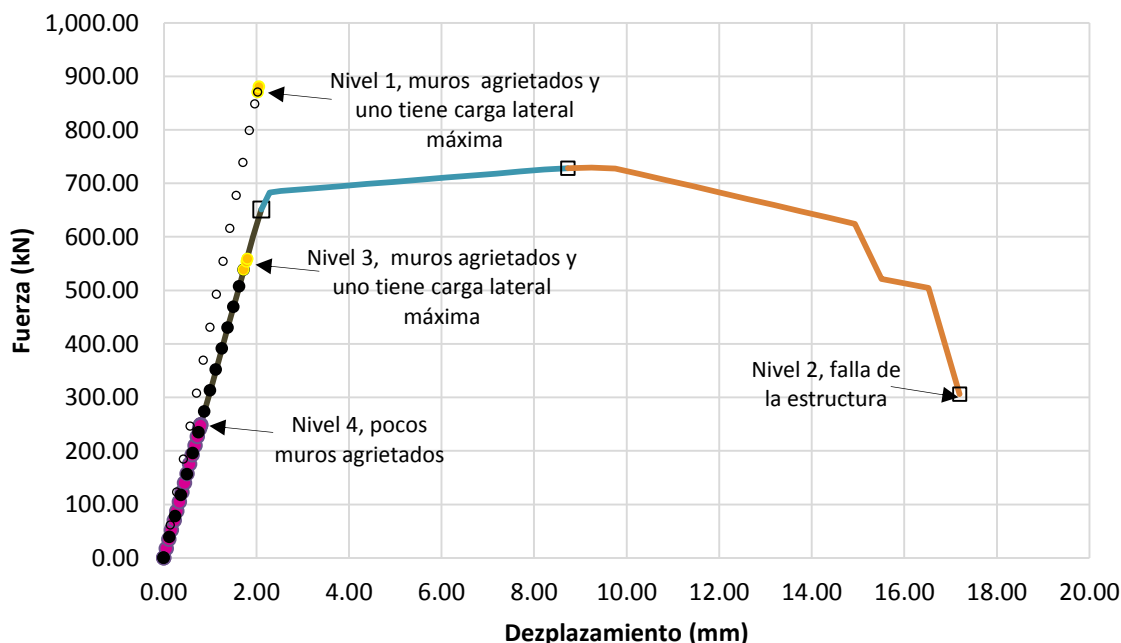


Figura 5.10. Envoltentes de resistencia lateral de los diferentes niveles.

Conclusiones.

Se analizó la estructura reforzando los muros de concreto del primer nivel con malla electrosoldada, los resultados son similares cuando se utiliza como refuerzo barras corrugadas, de acuerdo a la forma modal la falla ocurre en el segundo entrepiso, nivel donde inician los muros de mampostería confinada. Cuando la estructura llega a la falla los muros del primer entrepiso se encuentran agrietados e inicia la contribución del acero de refuerzo a la resistencia lateral.

El factor de comportamiento sísmico en eje débil, X, es mayor que el recomendado por las NTCM-RCDF (2004) de 2. EL coeficiente sísmico de desempeño $c_e = 0.63$ es mayor que $c = 0.19$ por lo que la estructura es apta para construirse en la zona sísmica III del DF, sin embargo, si ocurriera una falla por deslizamiento en el primer entrepiso sería del tipo frágil que en zonas sísmicas no se debe de presentar, es por ello que no se recomienda utilizar acero de refuerzo con malla electrosoldada.

5.3.3 Ejemplo 2hb.

La estructura corresponde a la misma planta del ejemplo anterior solo que ahora con 5 niveles de los cuales el primer nivel tiene muros de concreto de 10 cm de espesor reforzados con barras corrugadas con $p_{min} = 0.0025$. Los cuatro niveles superiores son muros de mampostería confinada de 12 cm. La Figura 5.11 corresponde a la planta y elevación. En la Tabla 5.9 se indican las propiedades de los materiales y en la 5.10 las características generales

Tabla 5.9. Propiedades mecánicas de los materiales del ejemplo 2hb.

Muro	Material	Propiedad mecánica	Resistencia(Mpa)
Concreto reforzado	Concreto	$f'c$	15
		Ec	9682.46
	Acero	f_y	420
		Es	200000
		p_h	0.0025
		n_h	0.8
Mampostería	Mampostería	f^*m	20
		Em	1200
		Gm	480
		v^*m	0.35
	Concreto	$f'c$	15
		Ec	18203.02
	Acero	f_y	420
		Es	200000

Tabla 5.10. Características generales de la estructura del ejemplo 2hb.

Característica	Datos
Ubicación	Zona III, DF
Coefficiente sísmico (c)	0.19
Uso	Oficinas
Entrepiso	2.50 m
Espesor de losa	0.10 m
Espesor de muros concreto reforzado	0.10 m
Espesor de muros mampostería	0.12 m

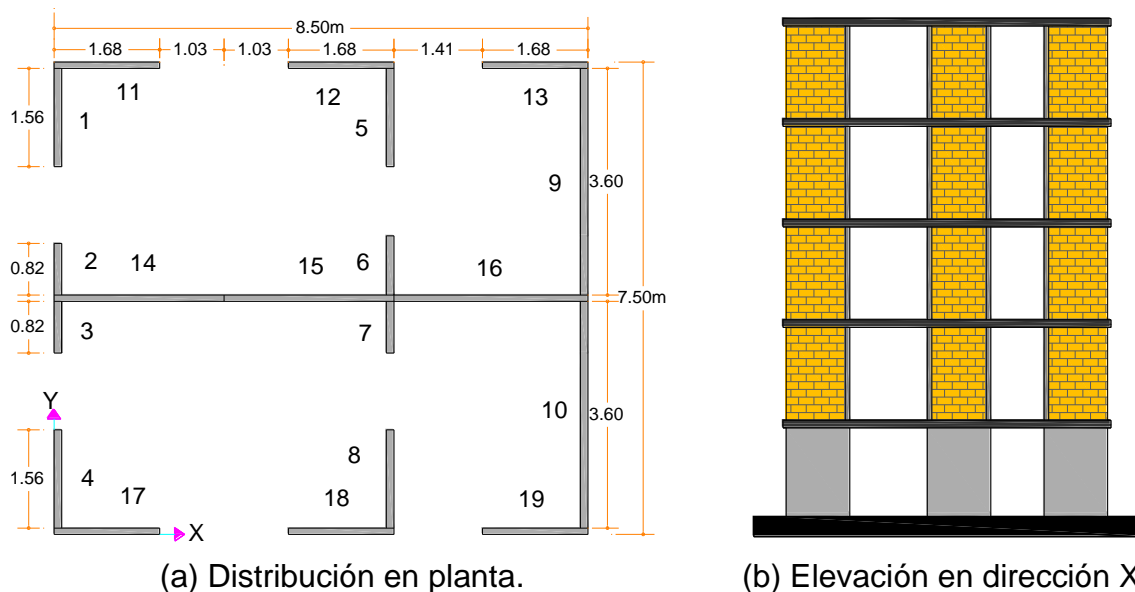


Figura 5.11. Planta y elevación de estructura de concreto reforzado y mampostería confinada.

Se considera el peso de muro de concreto reforzado de 2200 kg/m^3 y el de mampostería confinada de 1951.5 kg/m^3 , en la azotea una carga de servicio de 530 kg/m^2 y en los niveles inferiores de 650 kg/m^2 .

5.3.3.1 Envolvente de resistencia lateral de piso en dirección X.

En la Figura 5.12 se observa la evolución de la forma modal de la estructura analizada con muros de concreto reforzado con barras corrugadas en el primer nivel, la cual indica que la falla ocurre en el segundo entrepiso, entrepiso donde inician los muros de mampostería confinada.

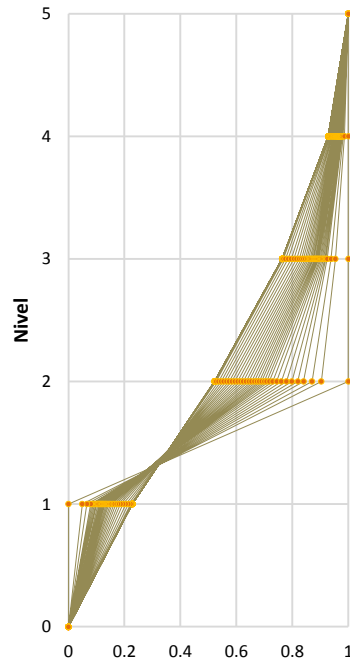


Figura 5.12. Evolución de la forma modal.

En la Figura 5.13 se observa la curva envolvente en sentido X del nivel de falla (nivel 2) indicado por la forma modal, donde la resistencia máxima a fuerza lateral es de 839.446 kN con un desplazamiento de 10.77 mm.

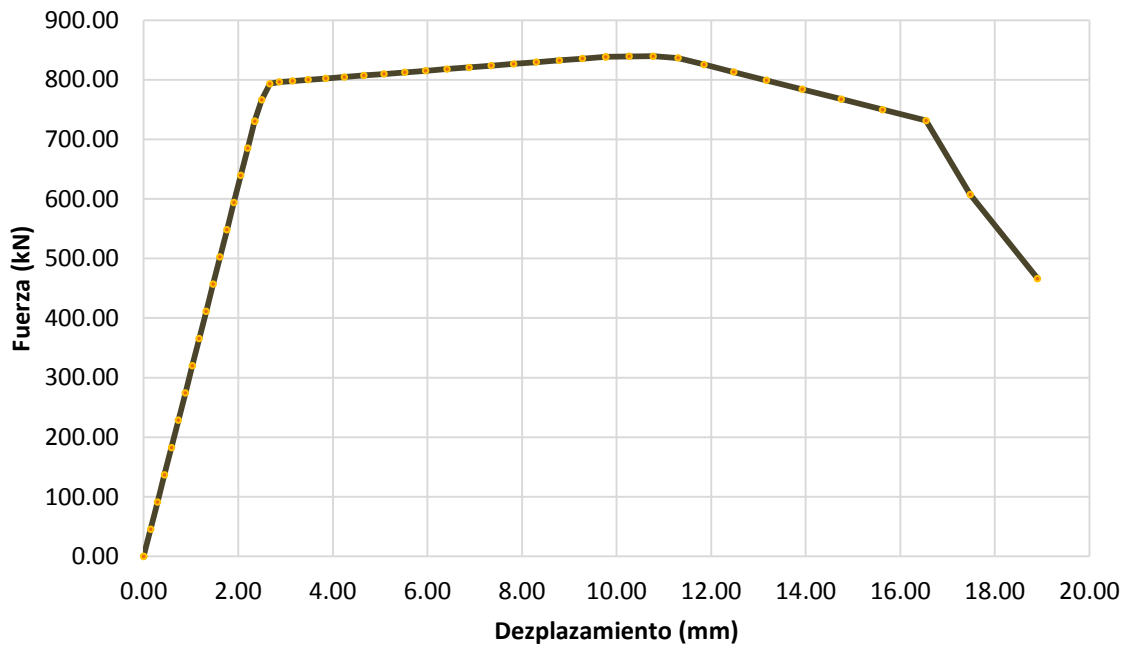


Figura 5.13. Envoltentes de resistencia lateral en dirección X.

La Tabla 5.11 indica las ductilidades en esta dirección, donde se observa que el factor de comportamiento sísmico, $Q = 2.10$, es superior a 2 que recomiendan las NTCM-RCDF (2004).

Tabla 5.11. Valores de ductilidad en dirección X del ejemplo 2hb.

Dirección	μ_1	μ_u	Q
X	6.66	2.70	2.10

5.3.3.2 Envolvente de resistencia lateral de piso en dirección Y.

En la Figura 5.14 se observa la curva de capacidad para el análisis en dirección Y para el segundo nivel, en el cual el valor de resistencia máxima ante fuerza lateral es de 834.557 kN y su desplazamiento de 9.23 mm. La Tabla 5.12 indica las ductilidades en la cual el factor de comportamientos sísmico es $Q = 2.05$.

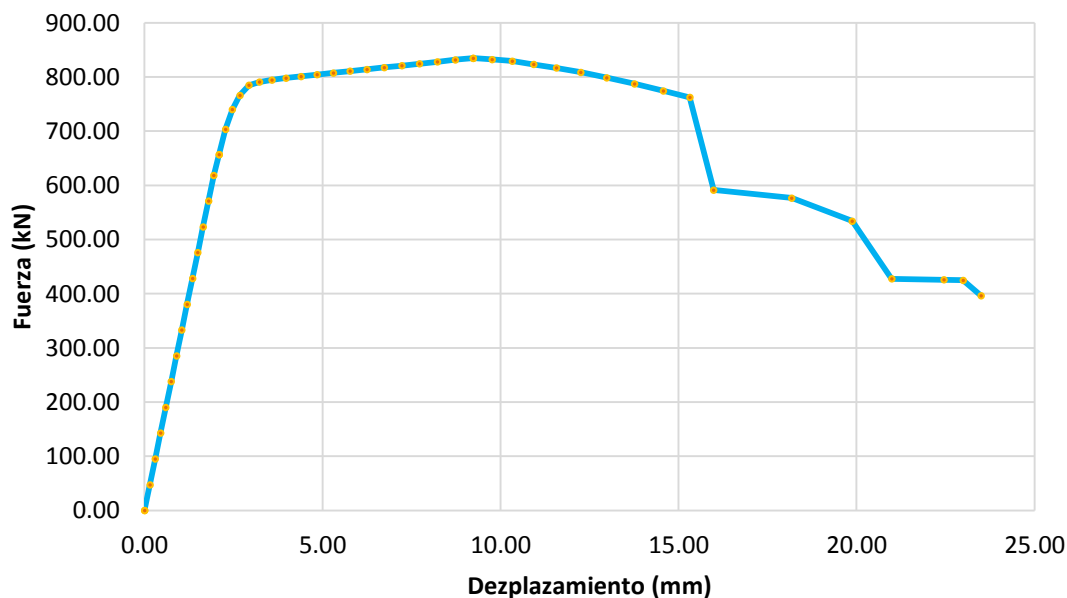


Figura 5.14. Envolvente de resistencia lateral en dirección Y.

Tabla 5.12. Valores de ductilidad en dirección Y del ejemplo 2hb.

Dirección	μ_1	μ_u	Q
Y	6.34	2.60	2.05

5.3.3.3 Envolvente de resistencia lateral de piso en direcciones X y Y.

La Figura 5.15 corresponde a la superposición de las gráficas que se obtuvieron del análisis en las direcciones ortogonales. Se observa que la resistencia máxima a cortante en dirección Y es ligeramente menor, por lo tanto es el eje débil. La Tabla 5.13 indica las ductilidades en direcciones X y Y, en la cual se observa que la ductilidad en dirección Y, $Q = 2.05$, es menor que en dirección X, $Q = 2.10$.

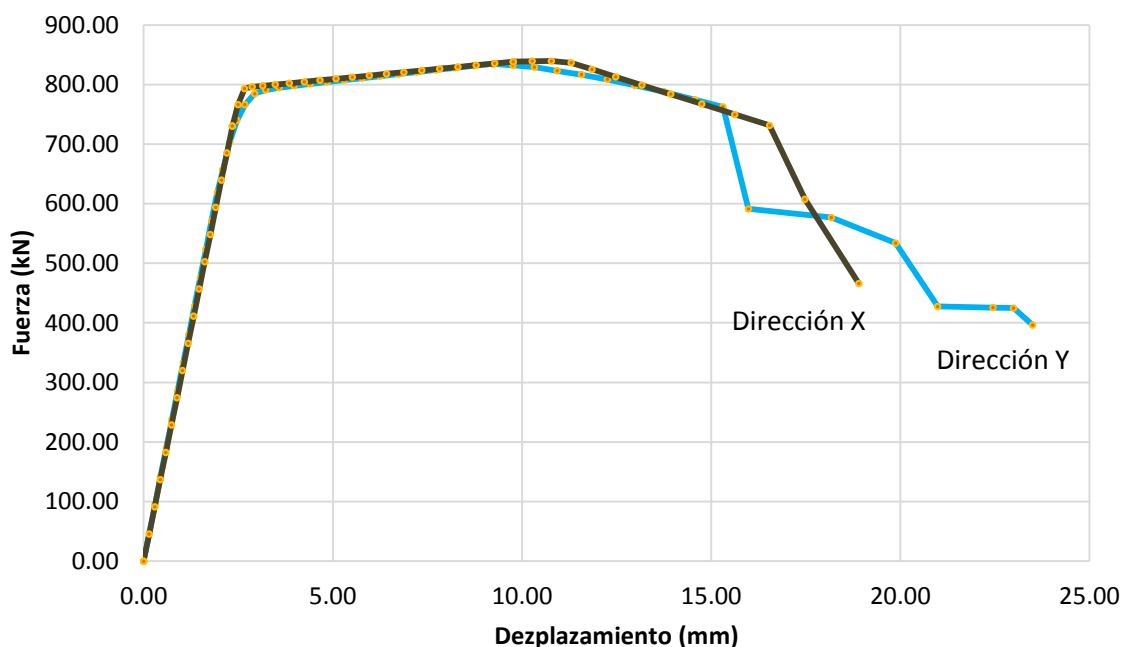


Figura 5.15. Envolvente de resistencia lateral en dirección X y Y.

Tabla 5.13. Comparación de valores de ductilidad del ejemplo 2hb.

Dirección	μ_1	μ_u	Q
X	6.66	2.70	2.10
Y	6.34	2.60	2.05

En la Figura 5.16 se comparan las envolventes de resistencia lateral de los diferentes niveles en dirección Y del ejemplo 2hb y el 1m del capítulo 2. La Figura 5.16a corresponde al ejemplo 2hb, se muestra la curva envolvente de resistencia lateral del nivel de falla, entrepiso 2 (mampostería confinada), y el estado del comportamiento de los muros de los niveles 1, 3, 4 y 5 cuando el nivel 2 llega a la falla los muros del nivel uno aún están dentro del intervalo de agrietamiento, lo

cual indica que varios se encuentran agrietados (concreto reforzado). En el nivel tres todos los muros se encuentran agrietados y el confinamiento de unos trabaja para avanzar en el intervalo de resistencia máxima. En el nivel cuatro y cinco varios muros están agrietados.

La Figura 5.16b corresponde al ejemplo 1m del capítulo 2, se muestra la curva envolvente de resistencia lateral del nivel de falla, nivel 1 (mampostería confinada), y el estado del comportamiento de los muros de los niveles 2, 3, 4, cuando el nivel 1 llego a la falla todos los muros del nivel dos están agrietados y el confinamiento de varios trabaja para avanzar en el intervalo de resistencia lateral máxima, en el nivel tres todos están agrietados e inicia a trabajar el confinamiento de unos para iniciar en el intervalo de resistencia lateral máxima y en el nivel cuatro varios tienen grietas.

Se comparan las curvas de la Figura 5.16a de los Niveles 2, 3, 4, y 5 con las curvas de la Figura 5.16b de los Niveles 1, 2, 3 y 4 debido a que los muros son del mismo material, mampostería confinada, y cuentan con la misma cantidad de niveles a partir de la falla, cuatro. La finalidad de dicha comparación es observar que en las primeras curvas influye la rigidez de los muros de concreto en los cuatro niveles superiores debido a que la resistencia ante fuerza lateral es mayor que las segundas, es decir, la resistencia máxima a cortante en el nivel de falla (Nivel 2) cuando se tienen un entrepiso inferior de concreto reforzado y cuatro niveles de mampostería es de $V_{m\acute{a}x} = 834.577 \text{ kN}$ (Figura 5.16a) y la resistencia máxima a cortante en el nivel de falla (Nivel 1) cuando se tienen solo los 4 niveles de mampostería es $V_{m\acute{a}x} = 777.384 \text{ kN}$ (Figura 5.16b).

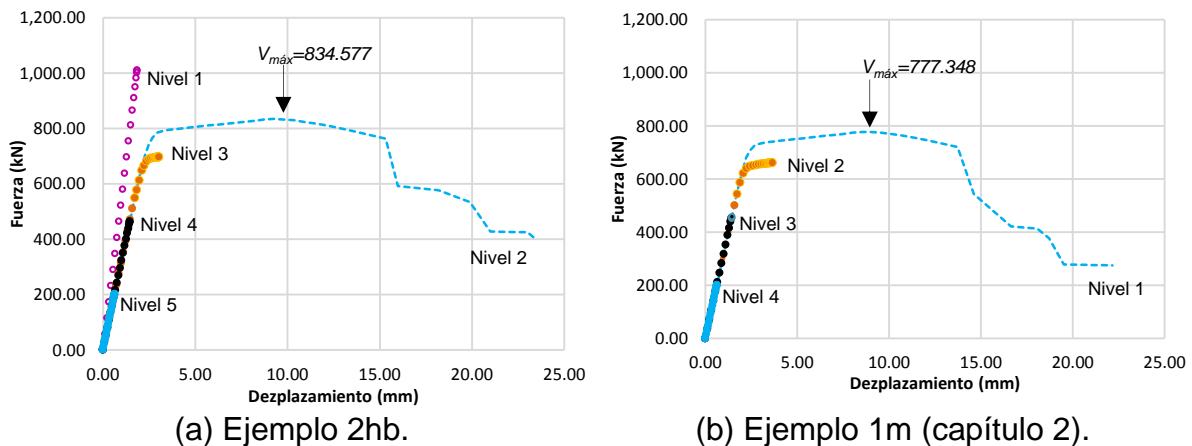


Figura 5.16. Comparación de las envolvente de resistencia lateral de los diferentes niveles en dirección Y.

En la Figura 5.17 se compara el estado del muro 1 en cada nivel del ejemplo 2hb (Fig. 5.17a) y el 1m del capítulo 2 (Fig. 5.17b). En la Figura 5.17a se observa la influencia que tiene el primer nivel de concreto en el muro de mampostería del segundo nivel, ya que la envolvente del Nivel 2 es mayor a la envolvente del Nivel 1 de la Figura 5.17b cuando solo se tienen cuatro niveles de mampostería, es decir, cuando se tienen un muro inferior de concreto reforzado y cuatro niveles de mampostería es de $V_{m\acute{a}x} = 70.60 \text{ kN}$ (Figura 5.17a) y la resistencia máxima a cortante en el nivel de falla (Nivel 1) cuando se tienen solo los 4 niveles de mampostería es $V_{m\acute{a}x} = 65.76 \text{ kN}$ (Figura 5.17b).

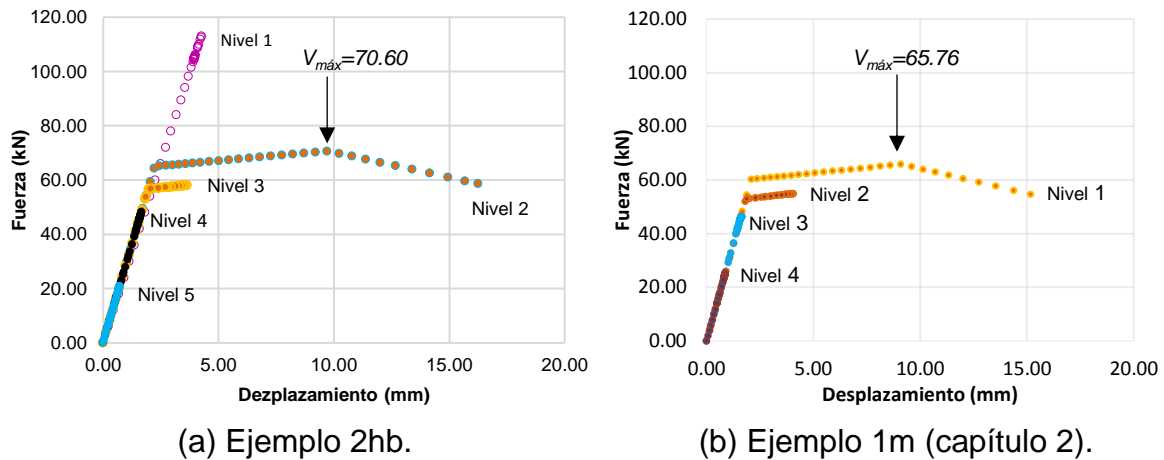


Figura 5.17. Comparación del estado del muro 1 en cada nivel.

En la Figura 5.18 se observa la secuencia de falla por carga lateral de los muros del segundo entrespacio del ejemplo 2hb, el eje de las ordenadas corresponde a la resistencia y el de las abscisas en la parte superior al número de muro y en la inferior a la secuencia de falla. En sentido Y el primero en fallar es el 3 (Fig. 5.18a), en sentido X son el 13 y 19 (Fig. 5.18b).

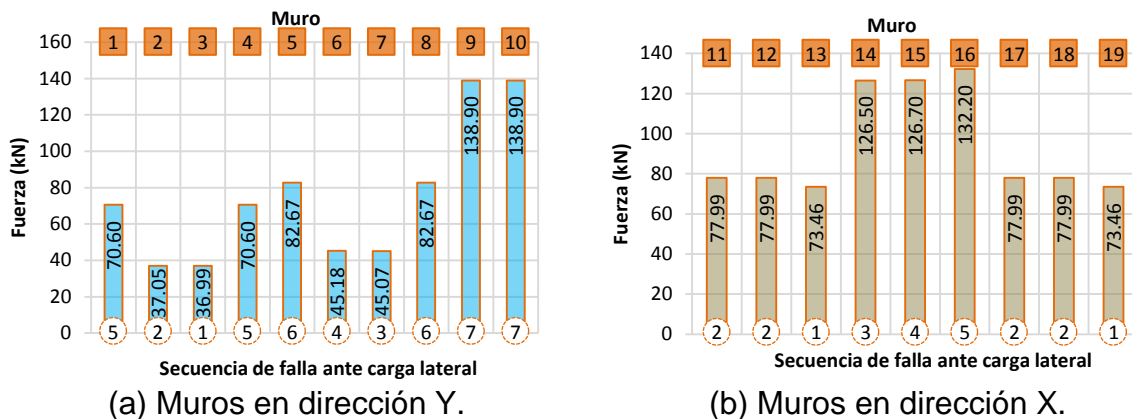


Figura 5.18. Secuencia de falla por carga lateral de los muros del segundo entrespacio.

Conclusiones.

Se analizó la estructura reforzando los muros de concreto del primer nivel con barras corrugadas y de acuerdo a la forma modal la falla ocurre en el segundo entrepiso, nivel donde inician los muros de mampostería confinada. Se determinó que el primer entrepiso tiene influencia en la rigidez de los niveles superiores.

El factor de comportamiento sísmico en eje débil, Y , es mayor que el recomendado por las NTCM-RCDF (2004) de 2. EL coeficiente sísmico de desempeño $c_e = 0.50$ es mayor que $c = 0.19$ por lo que la estructura es apta para construirse en la zona sísmica III del DF.

5.3.4 Ejemplo 2hm.

La estructura analizada en este ejemplo es la misma que la del ejemplo 2hb. Ahora se analiza indicando el primer nivel con muros de concreto de 10 cm de espesor y reforzados con malla electro soldada, el porcentaje de acero en el alma mínimo estipulado en las NTCC-RCDF (2004), $p_{min} = 0.0025$. Los 4 niveles superiores con muros de mampostería confinada de 12 cm. La Figura 5.11 (Ejemplo 2hb) corresponde a la planta y elevación. En la Tabla 5.14 se indican las propiedades de los materiales y en la 5.15 las características generales.

Tabla 5.14. Propiedades mecánicas de los materiales del ejemplo 2hm.

Muro	Material	Propiedad mecánica	Resistencia(Mpa)
Concreto refozado	Concreto	$f'c$	15
		Ec	9682.46
	Acero	f_y	500
		Es	200000
		p_h	0.0025
		n_h	0.7
Mampostería	Mamposteria	f^*m	1.5
		Em	1200
		Gm	480
		v^*m	0.35
	Concreto	$f'c$	15
		Ec	18203.02
	Acero	f_y	420
		Es	200000

Tabla 5.15. Características generales de la estructura del ejemplo 2hm.

Característica	Datos
Ubicación	Zona III, DF
Coefficiente sísmico (c)	0.19
Uso	Oficinas
Entrepiso	2.50 m
Espesor de losa	0.10 m
Espesor de muros de concreto reforzado	0.10 m
Espesor de muros de mampostería	0.12 m

Se considera el peso de muro de concreto reforzado de 2200 kg/m^3 y el de mampostería confinada de 1951.5 kg/m^3 , en la azotea una carga de servicio de 530 kg/m^2 y en los niveles inferiores de 650 kg/m^2 .

5.3.4.1 Envolventes de resistencia lateral de piso.

Los resultados de este ejemplo son similares a los del ejemplo 2hb, en la Figura 5.12 (Ejemplo 2hb) se observa la evolución de la forma modal de la estructura analizada con muros de concreto reforzado con malla electrosoldada en el primer nivel, la cual indica que la falla ocurre en el segundo entrepiso, nivel donde inician los muros de mampostería confinada. En la Figura 5.18 (Ejemplo 2hb) se observa la secuencia de falla ante carga lateral de los muros del segundo entrepiso.

La Figura 5.19 corresponde a las envolventes en los dos sentidos ortogonales de análisis, se observa que la resistencia máxima a cortante en dirección Y es ligeramente menor, $V_{m\acute{a}x} = 834.577 \text{ kN}$, que en dirección X, $V_{m\acute{a}x} = 839.446 \text{ kN}$, por lo que el eje débil le corresponde al sentido Y y sus desplazamientos asociados son $d_{V_{m\acute{a}x}} = 9.23 \text{ mm}$ y $d_{V_{m\acute{a}x}} = 10.77 \text{ mm}$, respectivamente.

En la Tabla 5.16 se indican las ductilidades, el factor de comportamiento sísmico en dirección Y $Q = 2.05$ es menor que en sentido X $Q = 2.10$.

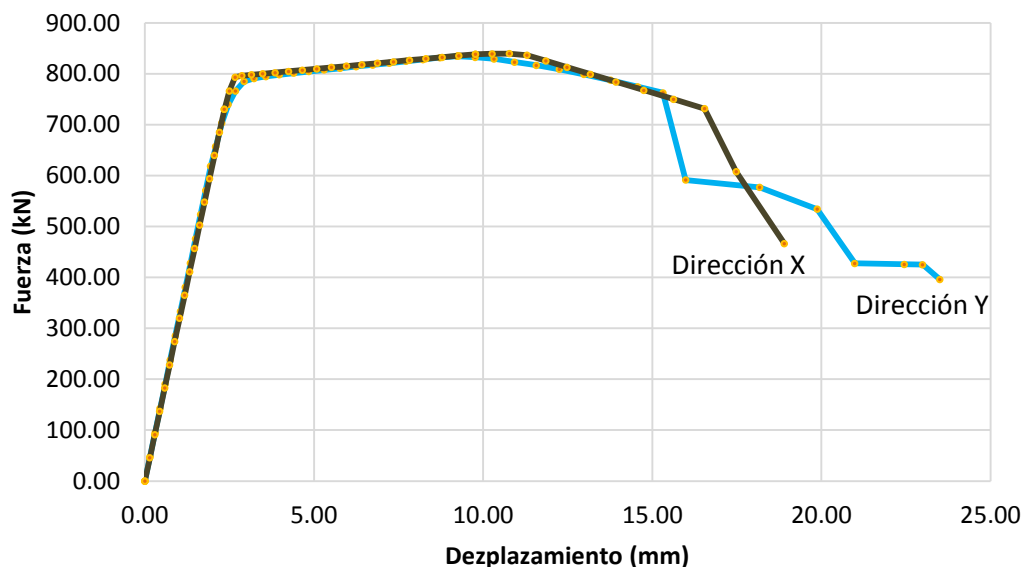


Figura 5.19. Envoltentes de resistencia lateral.

Tabla 5.16. Comparación de valores de ductilidad del ejemplo 2hm.

Dirección	μ_1	μ_u	Q
X	6.66	2.70	2.10
Y	6.34	2.60	2.05

En la Figura 5.20 se observa el estado de los muros de los entrepisos, en el nivel 1 (muros de concreto reforzados con malla electrosoldada) varios muros se encuentran agrietados, en el nivel 2 la estructura llegó a la falla, en el nivel 3 los muros se encuentran agrietados y varios alcanzan su resistencia lateral máxima, en el nivel 4 algunos están agrietados y en el nivel 5 pocos se encuentran con agrietamiento.

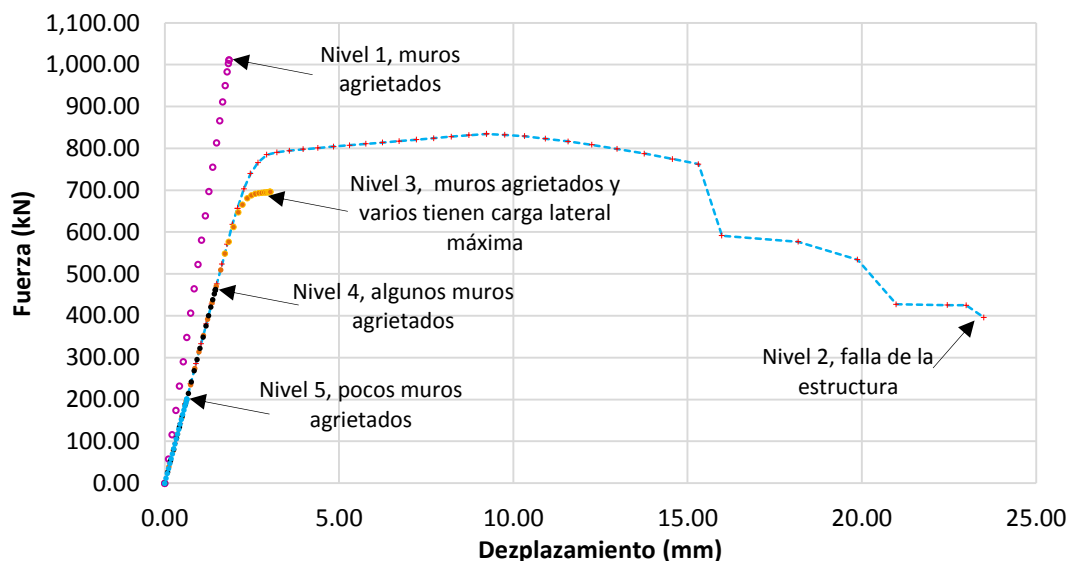


Figura 5.20. Envoltentes de resistencia lateral de los diferentes niveles.

Conclusiones.

Se analizó la estructura reforzando los muros de concreto del primer nivel con malla electrosoldada, los resultados son similares cuando se utiliza como refuerzo barras corrugadas, de acuerdo a la forma modal la falla ocurre en el segundo entrepiso, nivel donde inician los muros de mampostería confinada. Cuando la estructura llega a la falla todos los muros del primer entrepiso se encuentran agrietados.

El factor de comportamiento sísmico en el eje débil, Y , es mayor que el recomendado por las NTCM-RCDF (2004) de 2. EL coeficiente sísmico de desempeño $c_e = 0.50$ es mayor que $c = 0.19$ por lo que la estructura es apta para construirse en la zona sísmica III del DF, sin embargo, si ocurriera una falla por deslizamiento en el primer entrepiso sería del tipo frágil que en zonas sísmicas no se debe de presentar, es por ello que no se recomienda utilizar acero de refuerzo con malla electrosoldada.

5.3.5 Ejemplo 3hb.

La estructura analizada en este ejemplo es la correspondiente al ejemplo 3cb del capítulo 3. Ahora se analiza con el primer nivel de muros de concreto reforzado con barras corrugadas. El espesor de cada muro es de 10 cm y el porcentaje de acero en el alma de $p_{min} = 0.0025$. Los cuatro niveles superiores son muros de mampostería confinada de 12 cm. La Figura 5.21 corresponde a la planta, en la Tabla 5.17 se indican las propiedades de los materiales y en la 5.18 las características generales.

Tabla 5.17. Propiedades mecánicas de los materiales del ejemplo 3hb.

Muro	Material	Propiedad mecánica	Resistencia(Mpa)
Concreto reforzado	Concreto	$f'c$	25
		Ec	22000
	Acero	f_y	420
		Es	200000
		ρ_h	0.0025
		n_h	0.8
Mampostería	Mamposteria	f^*m	2.5
		Em	2000
		Gm	800
		v^*m	0.35
	Concreto	$f'c$	15
		Ec	9682.46
	Acero	f_y	420
		Es	200000

Tabla 5.18. Características generales de la estructura del ejemplo 3hb.

Característica	Datos
Ubicación	Zona B, Mich.
Coefficiente sísmico (c)	0.32
Uso	Vivienda
Entrepiso	2.55 m
Espesor de losa	0.10 m
Espesor de muros concreto reforzado	0.10 m
Espesor de muros mamposteria	0.12 m

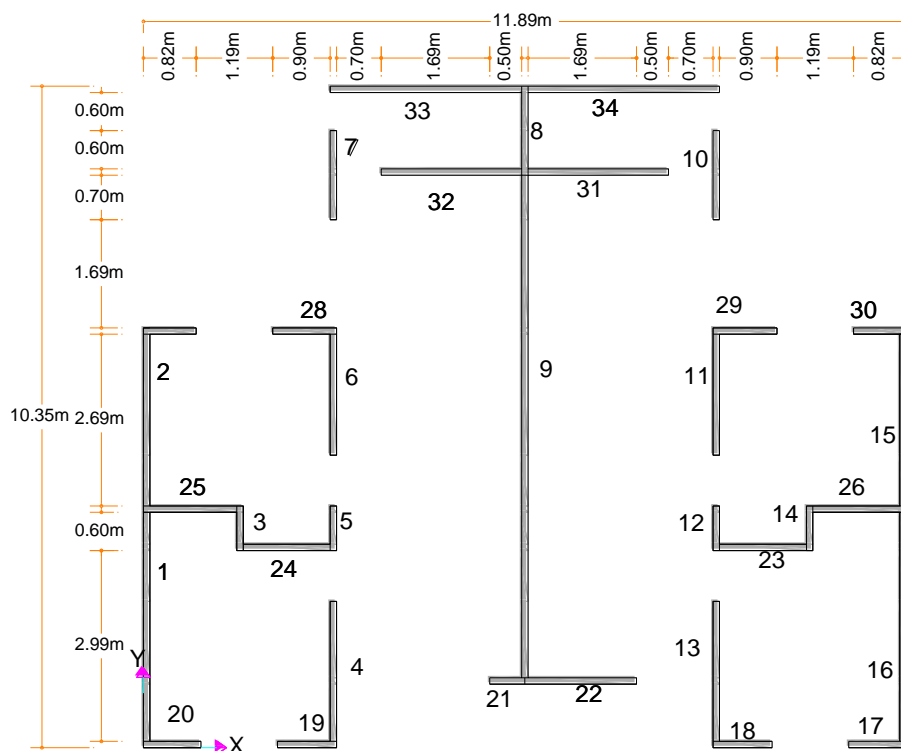


Figura 5.21. Planta de la estructura de concreto reforzado y mampostería confinada.

Se considera el peso de muro de concreto reforzado de 2200 kg/m^3 y el de mampostería confinada de 1951.5 kg/m^3 , en la azotea se tiene una carga de servicio de 660 kg/m^2 y en los niveles inferiores de 673 kg/m^2 .

5.3.5.1 Envolvente de resistencia lateral de piso en dirección X.

En la Figura 5.22 se observa la evolución de la forma modal de la estructura analizada con muros de concreto reforzado con barras corrugadas en el primer nivel, la cual indica que la falla ocurre en el segundo entrepiso, nivel donde inician los muros de mampostería confinada.

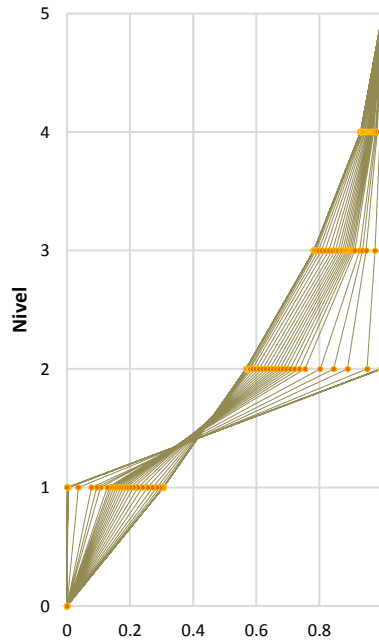


Figura 5.22. Evolución de la forma modal.

En la Figura 5.23 se observa la curva envolvente en sentido X del nivel de falla (nivel 2) indicado por la forma modal, donde la resistencia máxima a fuerza lateral es de 1282.240 kN con un desplazamiento de 6.75 mm.

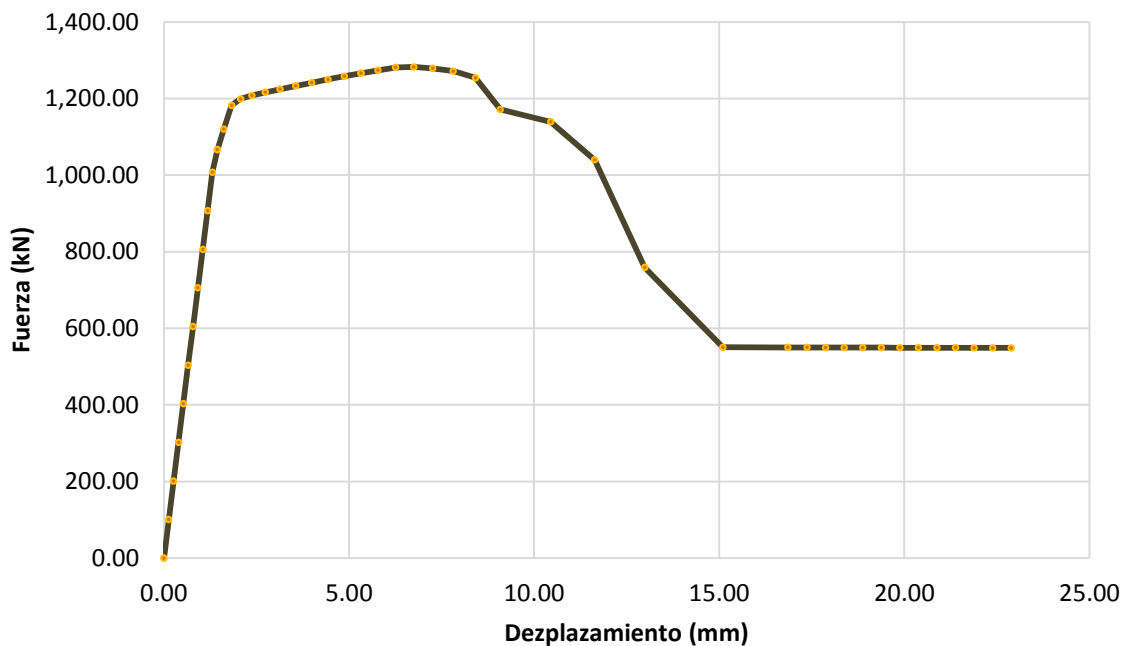


Figura 5.23. Envoltentes de resistencia lateral en dirección X.

La Tabla 5.19 indica las ductilidades en esta dirección, donde se observa que el factor de comportamiento sísmico, $Q = 2.22$, es superior a 2 que recomiendan las NTCM-RCDF (2004).

Tabla 5.19. Valores de ductilidad en dirección X del ejemplo 3hb.

Dirección	μ_1	μ_u	Q
X	7.54	2.96	2.22

5.3.5.2 Envolvente de resistencia lateral de piso en dirección Y.

La Figura 5.24 se observa la curva de capacidad para el análisis en dirección Y, en el segundo nivel, donde el valor de resistencia máxima ante fuerza lateral es de 1693.879 kN y su desplazamiento de 5.49 mm. La Tabla 5.20 indica las ductilidades en la cual el factor de comportamientos sísmico es $Q = 2.08$.

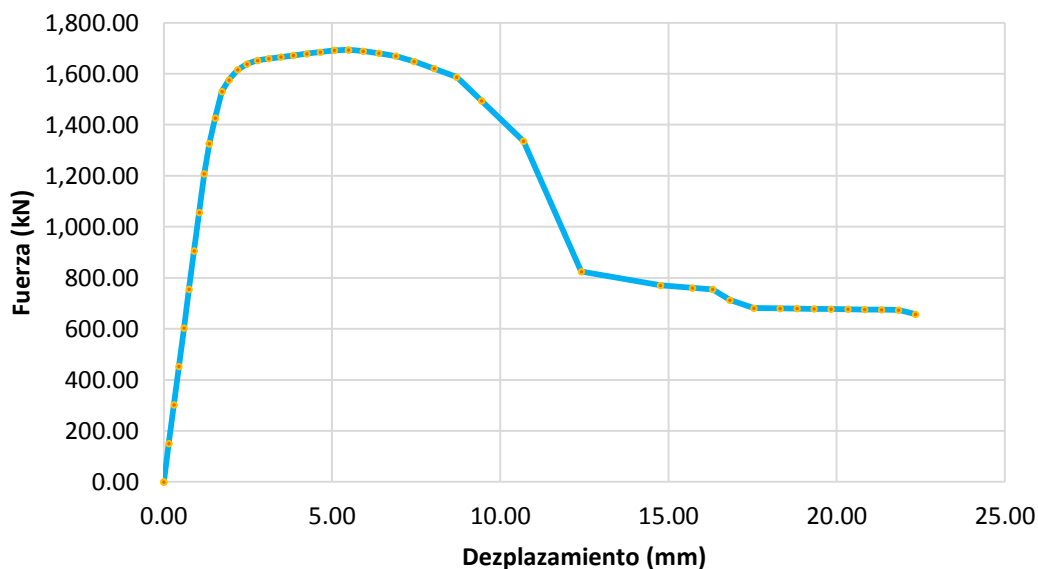


Figura 5.24. Envolvente de resistencia lateral en dirección Y.

Tabla 5.20. Valores de ductilidad en dirección Y del ejemplo 3hb.

Dirección	μ_1	μ_u	Q
Y	6.58	2.67	2.08

5.3.5.3 Envolvente de resistencia lateral de piso en direcciones X y Y.

La Figura 5.25 corresponde a la superposición de las gráficas que se obtuvieron del análisis las direcciones ortogonales. Se observa que la resistencia máxima a cortante en dirección X es menor por lo tanto es el eje débil. La Tabla 5.21 indica las ductilidades en direcciones X y Y, en la cual se observa que la ductilidad en dirección Y, $Q = 2.08$, es menor que en dirección X, $Q = 2.22$.

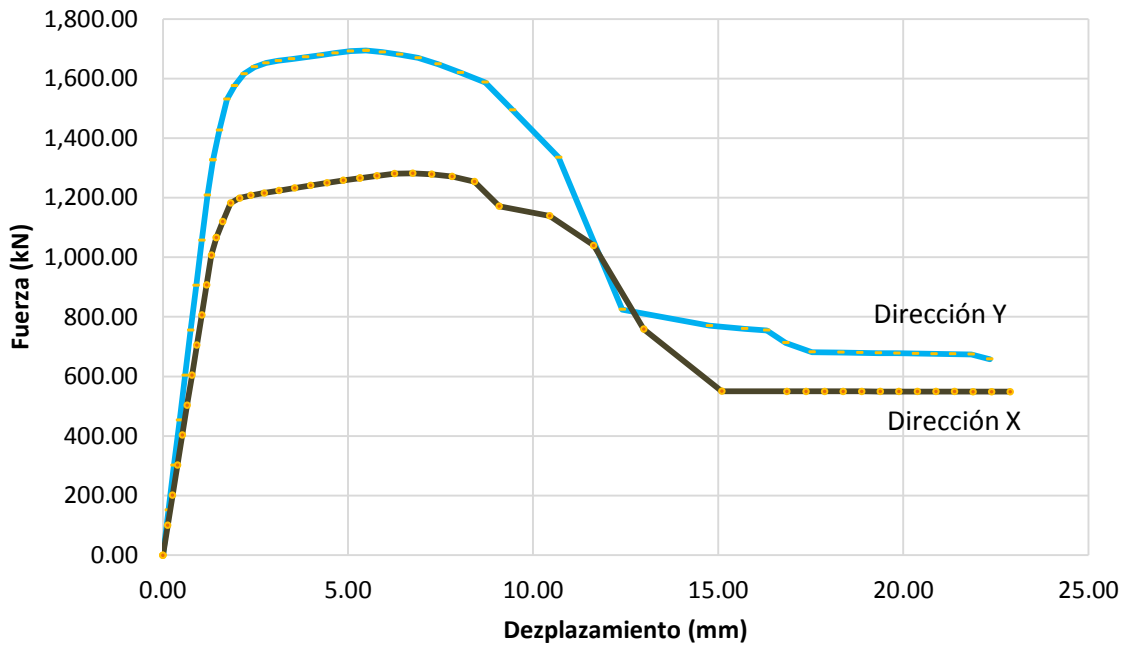


Figura 5.25. Envolvente de resistencia lateral en dirección X y Y.

Tabla 5.21. Comparación de valores de ductilidad del ejemplo 3hb.

Dirección	μ_1	μ_u	Q
X	7.54	2.96	2.22
Y	6.58	2.67	2.08

En la Figura 5.26 se observa la secuencia de falla por carga lateral de los muros del segundo entrepiso, el eje de las ordenadas corresponde a la resistencia y el de las abscisas al número de muro. En sentido Y el primero en fallar es el 14 (Fig. 5.26a), en sentido X es el 21 (Fig. 5.26b).

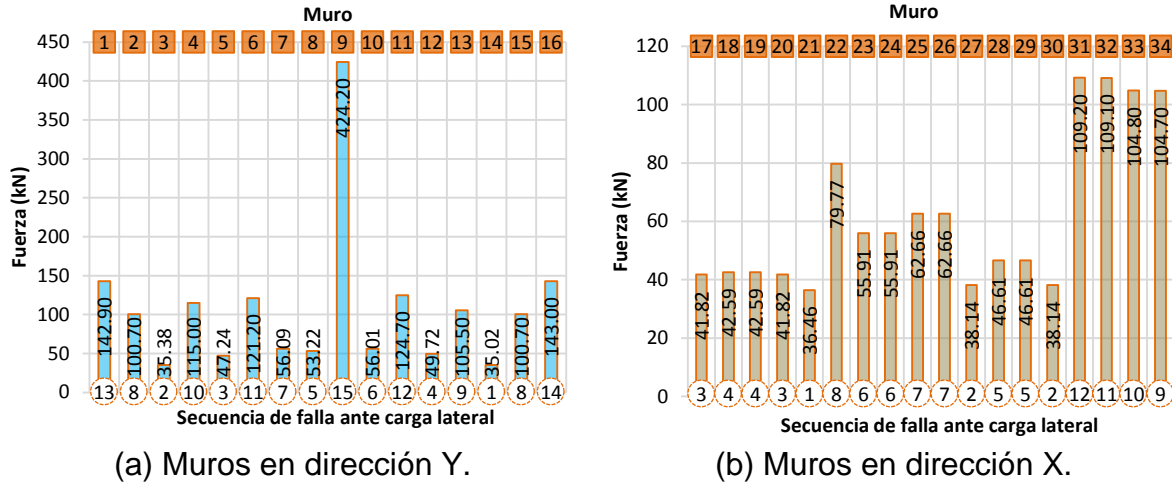


Figura 5.26. Secuencia de falla por carga lateral de los muros del segundo entrepiso.

Conclusiones.

Se analizó la estructura reforzando los muros de concreto del primer nivel con barras corrugadas y de acuerdo a la forma modal la falla ocurre en el segundo entrepiso, nivel donde inician los muros de mampostería confinada.

El factor de comportamiento sísmico en el eje débil, X, es mayor que el recomendado por las NTCM-RCDF (2004) de 2. EL coeficiente sísmico de desempeño es $c_e = 0.50$ es mayor que $c = 0.32$ por lo que la estructura es apta para construirse en la zona sísmica B en el estado de Michoacán.

5.3.6 Ejemplo 3hm.

La estructura analizada en este ejemplo es la misma que la del ejemplo 3hb. Ahora se analiza indicando el primer nivel con muros de concreto de 10 cm de espesor y reforzados con malla electro soldada, el porcentaje de acero en el alma mínimo estipulado en las NTCC-RCDF (2004), $p_{min} = 0.0025$. Los 4 niveles superiores con muros de mampostería confinada de 12 cm. La Figura 5.21 (Ejemplo 3hb) corresponde a la planta. En la Tabla 5.22 se indican las propiedades de los materiales y en la 5.23 las características generales.

Tabla 5.22. Propiedades mecánicas de los materiales del ejemplo 3hm.

Muro	Material	Propiedad mecánica	Resistencia(Mpa)
Concreto reforzado	Concreto	$f'c$	25
		Ec	22000
	Acero	fy	420
		Es	200000
		ph	0.0025
		nh	0.7
Mampostería	Mamposteria	f^*m	2.5
		Em	2000
		Gm	800
		v^*m	0.35
	Concreto	$f'c$	15
		Ec	9682.46
	Acero	fy	420
		Es	200000

Tabla 5.23. Características generales de la estructura del ejemplo 3hm.

Característica	Datos
Ubicación	Zona B, Mich.
Coefficiente sísmico (c)	0.32
Uso	Vivienda
Entrepiso	2.55 m
Espesor de losa	0.10 m
Espesor de muros concreto reforzado	0.10 m
Espesor de muros mamposteria	0.12 m

Se considera el peso de muro de concreto reforzado de 2200 kg/m^3 y el de mampostería confinada de 1951.5 kg/m^3 , en la azotea se tiene una carga de servicio de 660 kg/m^2 y en los niveles inferiores de 673 kg/m^2 .

5.3.6.1 Envolventes de resistencia lateral de piso.

Los resultados de este ejemplo son similares a los del ejemplo 3hb, en la Figura 5.18 (Ejemplo 3hb) se observa la evolución de la forma modal de la estructura analizada con muros de concreto reforzado con malla electrosoldada en el primer nivel, la cual indica que la falla ocurre en el segundo entrepiso, nivel donde inician los muros de mampostería confinada. En la Figura 5.22 (Ejemplo 3hb) se observa la secuencia de falla ante carga lateral de los muros del segundo entrepiso.

La Figura 5.27 corresponde a las envolventes en los dos sentidos ortogonales de análisis, se observa que la resistencia máxima a cortante en dirección X es

menor, $V_{m\acute{a}x} = 1282.240 \text{ kN}$ que en direcci3n Y, $V_{m\acute{a}x} = 1693.879 \text{ kN}$, por lo que el eje d3bil le corresponde al sentido X y sus desplazamientos asociados son $d_{V_{m\acute{a}x}} = 6.75 \text{ mm}$ y $d_{V_{m\acute{a}x}} = 5.49 \text{ mm}$, respectivamente.

En la Tabla 5.24 se indican las ductilidades, el factor de comportamiento s3mico en direcci3n Y $Q = 2.08$ es menor que en sentido X $Q = 2.22$.

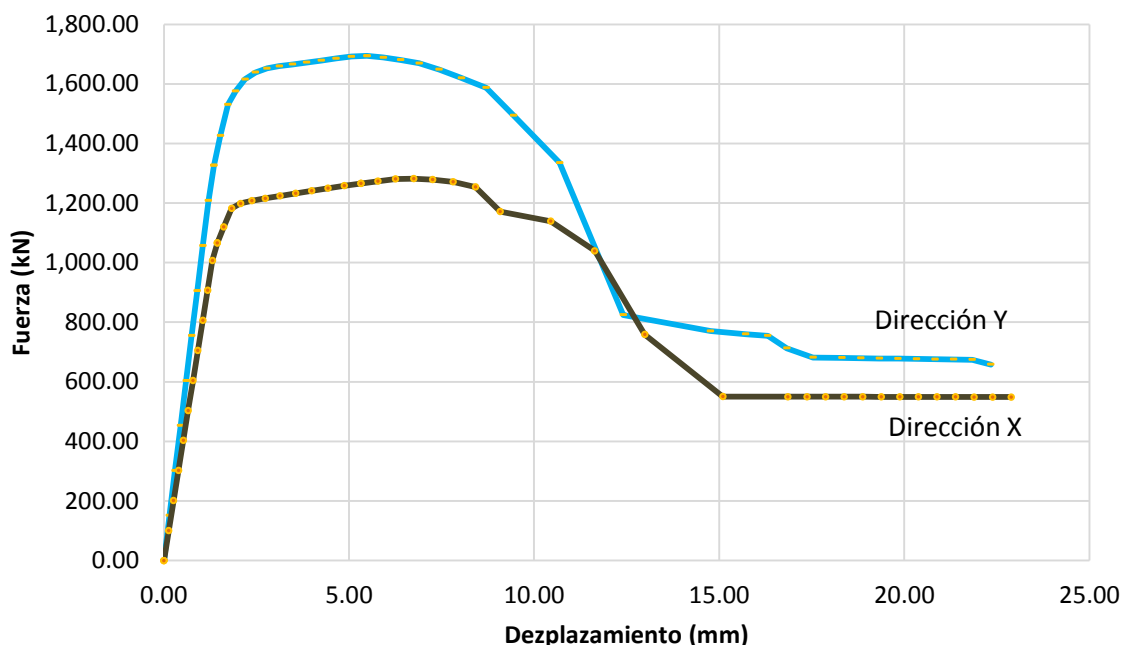


Figura 5.27. Envoltentes de resistencia lateral.

Tabla 5.24. Comparaci3n de valores de ductilidad del ejemplo 3hm.

Direcci3n	μ_1	μ_u	Q
X	7.54	2.96	2.22
Y	6.58	2.67	2.08

En la Figura 5.26 se observa el estado de los muros de los entrepisos, en el nivel 1 (muros de concreto reforzados con malla electrosoldada) varios muros se encuentran agrietados, en el nivel 2 la estructura llego a la falla, en el nivel 3 los muros se encuentran agrietados y varios alcanzan su resistencia lateral m\acute{a}xima, en el nivel 4 algunos est\acute{a}n agrietados y en el nivel 5 pocos se encuentran con agrietas.

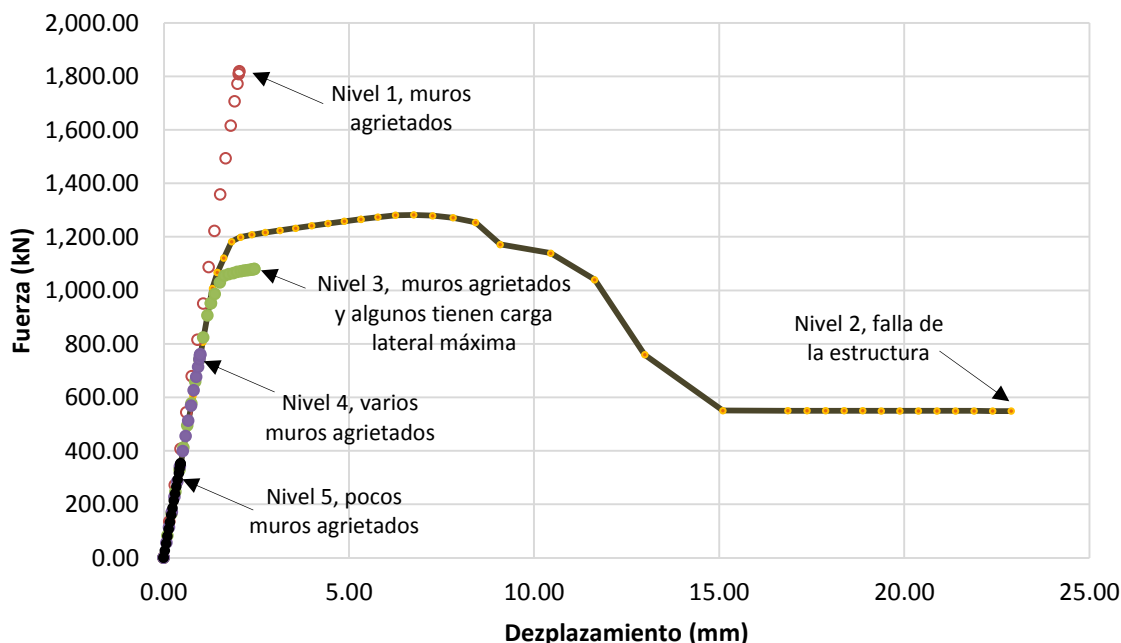


Figura 5.28. Envoltentes de resistencia lateral de los diferentes niveles.

Conclusiones.

Se analizó la estructura reforzando los muros de concreto del primer nivel con malla electrosoldada, los resultados son similares cuando se utiliza como refuerzo barras corrugadas, de acuerdo a la forma modal la falla ocurre en el segundo entrepiso, nivel donde inician los muros de mampostería confinada. Cuando la estructura llega a la falla varios muros del primer entrepiso se encuentran agrietados.

El factor de comportamiento sísmico en el eje débil, X, es mayor que el recomendado por las NTCM-RCDF (2004) de 2. EL coeficiente sísmico de desempeño $c_e = 0.50$ es mayor que $c = 0.32$ por lo que la estructura es apta para construirse en la zona sísmica B del estado de Michoacán, sin embargo, si ocurriera una falla por deslizamiento en el primer entrepiso sería del tipo frágil que en zonas sísmicas no se debe de presentar, es por ello que no se recomienda utilizar acero de refuerzo con malla electrosoldada.

5.4 CONCLUSIONES GENERALES.

Para las estructuras de los ejemplos analizados la falla que rige es por fuerza lateral y de acuerdo a la evolución de la forma modal la falla ocurre en el nivel donde inician los muros de mampostería confinada. Cuando la estructura llega a la falla los muros de concreto reforzado en el ejemplo 1hb apenas inician en el intervalo de resistencia máxima para el resto de los ejemplos no pasan el intervalo

de agrietamiento, es decir, no todos se encuentran agrietados. La rigidez de los muros de concreto reforzado influye en la rigidez de los muros superiores de mampostería, en los ejemplos incrementan su resistencia ante fuerza lateral. Los resultados son similares al colocar malla electrosoldada o barras corrugadas

En la Tabla 5.25 se indican los valores correspondientes al sentido del eje débil de resistencia a compresión del concreto $f'c$ y de la mampostería f^*m , porcentaje de acero p , resistencia máxima ante fuerza lateral $V_{máx}$, factor de comportamiento sísmico Q , y el coeficiente sísmico de desempeño c_e , obtenidos con el programa desarrollado en este capítulo. Los coeficientes sísmicos de desempeño son mayores en comparación con los coeficientes sísmicos c indicados por las NTCS-RCDF (2004) y por el RCEM (1990) para estructuras del grupo A, donde $c = 0.45$ y $c = 0.48$, respectivamente. Es decir, las estructuras analizadas son aptas para construirse en cualquier zona sísmica del DF y del Estado de Michoacán, sin embargo, no se recomienda utilizar malla electro soldada porque conduce al tipo de falla frágil que en zonas sísmicas no debe presentarse.

Tabla 5.25. Resultados de los ejemplos analizados en el capítulo 5.

Ej.	Niveles Total	Altura Total (m)	Eje débil	Tipo de falla	$f'c$ (Mpa)	f^*m (Mpa)	p	$V_{máx}$ (kN)	Q	c_e
1hb	4	10.00	X	Fza lateral	15	1.5	0.0025	729.708	2.33	0.63
2hb	5	12.50	Y	Fza lateral	15	1.5	0.0025	834.557	2.05	0.50
3hb	5	12.75	X	Fza lateral	25	2.5	0.0025	1282.240	2.22	0.50
1hm	4	10.00	X	Fza lateral	15	1.5	0.0025	729.708	2.33	0.63
2hm	5	12.50	Y	Fza lateral	15	1.5	0.0025	834.557	2.05	0.50
3hm	5	12.75	X	Fza lateral	25	2.5	0.0025	1282.240	2.22	0.50

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES GENERALES.

6.1 CAPÍTULO 1

En este trabajo se toman los modelos trilineales de cortante para mampostería confinada y concreto reforzado propuestos por Alcocer et al. (2011) y Carrillo et al. (2009), sucesivamente.

Basados en estos modelos se desarrollan 4 programas en lenguaje fortran para analizar estructuras de diferentes niveles y composiciones de materiales: ENRELA_MA_HHB para el análisis de estructuras de mampostería confinada, ENRELA_COB_JC para analizar estructuras de concreto reforzado con barras corrugadas, ENRELA_COM_JC para el análisis de estructuras de concreto reforzado con malla electrosoldada y ENRELA_COMA_JC para analizar estructuras híbridas, es decir estructuras con los primeros niveles de concreto reforzado y los superiores de mampostería confinada. En cada programa se calculan los efectos por torsión mediante la metodología descrita por Chipol (2001) y el primer modo de vibrar con la metodología iterativa del vector inverso descrito por Chopra (1995).

6.2 CAPÍTULO 2

En este capítulo se desarrolla el programa ENRELA_MA_HHB.f90 con el modelo trilineal de cortante para muros de mampostería propuesto por Alcocer et al. (2011), con el cual se analizan tres ejemplos: (1m) estructura analizada por Alcocer et al. (2011), (2m) estructura que se presenta en el libro “Guía de análisis de estructuras de mampostería” publicada por la Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural (Pérez, 2012) y (3m) dos estructuras presentadas por Araiza (2000).

Con el ejemplo 1m se calibro el programa desarrollado, al comparar los valores aquí obtenidos con los que reporta Alcocer et al. (2011) donde se observó que son similares y así queda sustentado el funcionamiento adecuado del programa desarrollado.

En las edificaciones de mampostería confinada al incrementar la altura se incrementa la resistencia ante fuerza lateral, sin embargo, la carga axial de cada muro también se incrementa de tal manera que puede fallar, es por ello que antes de realizar el análisis por fuerza lateral se debe analizar por carga vertical.

El parámetro de densidad de muros no determina el nivel de desempeño de una estructura es más recomendable determinarlo con el coeficiente sísmico de desempeño propuesto ce .

Las ventajas de utilizar esta metodología programada son que en el la primera etapa se realiza el análisis por cargas verticales e indica si existe esta falla y cual

muro es el que la presenta, de esta manera se puede aumentar la sección del muro o cambiar el tipo de material. Aun cuando indica la falla por carga axial se calcula la resistencia por fuerza lateral y se obtienen los valores de ductilidades, coeficiente sísmico de desempeño propuesto y cortantes de manera rápida, además, se puede conocer el estado de los muros que pertenecen a un entrepiso en particular, se puede saber el estado de un muro en particular y conocer su máxima fuerza lateral resistente, la resistencia por carga axial, la secuencia de falla por fuerza lateral de los muros y ahorro de tiempo considerable en los cálculos.

En los ejemplos 1m, 2m y 3m la evolución de la forma modal indica que fallan en el primer nivel, en la Tabla 6.1 se indica el eje débil de cada estructura, el tipo de falla, la resistencia ante fuerza lateral máxima, el factor de comportamiento sísmico y el coeficiente sísmico de desempeño, los valores presentados se obtuvieron con el programa desarrollado en este trabajo. Si se comparan los valores del coeficiente de desempeño sísmico ce con los coeficientes sísmicos reducidos c para el método simplificado correspondientes a estructuras del grupo B indicados en el RCEM (1990) se concluye que todas las edificaciones son aptas para todas las zonas sísmicas y tipos de terrenos debido a que los coeficientes sísmicos de desempeño indicados en la Tabla 6.1 son mayores que el coeficiente sísmico más grande indicado en el RCEM (1990) de $c = 0.32$, solo si las estructuras están clasificadas dentro del grupo B. Si están catalogadas en el grupo A la estructura del Ejemplo 3m “menos eficiente” no se debe construir en la zona D con terreno tipo III ya que no sería capaz de resistir las fuerzas laterales sísmicas debido a que $ce = 0.42$ es menor que $c = 0.48$.

Tabla 6.1. Resultados de los ejemplos analizados en el capítulo 2.

Ejemplo	Niveles Total	Altura Total (m)	Eje débil	Tipo de falla	$V_{m\acute{a}x}$ (kN)	Q	ce
1m	4	10	X	Fuerza lateral	775.680	2.33	0.66
2m	2	7	X	Fuerza lateral	849.601	3.31	1.56
	2	5	X	Fuerza lateral	819.918	3.25	1.60
	3	7.5	X	Fuerza lateral	918.139	2.75	1.00
	4	10	X	Fuerza lateral	1018.322	2.45	0.74
	5	12.5	X	Fuerza lateral	1117.782	2.29	0.61
	6	15	X	Carga axial	1118.44 ¹	2.16 ¹	0.48 ¹
3m "más eficiente"	5	13.15	X	Fuerza lateral	860.753	2.18	0.59
3m "menos eficiente"	5	13.15	X	Fuerza lateral	587.531	2.22	0.42

¹ Si el tipo de falla fuera por fuerza lateral.

6.3 CAPÍTULO 3

En este capítulo se desarrolla el programa ENRELA_COB_JC.f90 con el modelo trilineal de cortante para muros de concreto reforzado con barras corrugadas propuesto por Carrillo et al. (2009), con el cual se analizan tres ejemplos: (1cb) estructura analizada por Alcocer et al. (2011), (2cb) estructura similar a las que publico el Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto (IMCYC) en la revista Construcción y Tecnología en Concreto de Marzo 2011 y (3cb) estructuras que se construyen en la ciudad de Morelia Michoacán.

Comparando los valores reportados por Carrillo (2012) de pruebas experimentales, teóricos y los obtenidos en este trabajo se sustenta que el programa funciona adecuadamente, debido a que son valores similares.

La resistencia a compresión del concreto, $f'c$ y el porcentaje de acero, p , son parámetros que influyen en la ductilidad y en la resistencia ante fuerzas laterales. Con menor resistencia $f'c$ del concreto la ductilidad se incrementa. Con menor p de acero la ductilidad disminuye. Con menor resistencia $f'c$ del concreto menor resistencia ante fuerza lateral. Con menor p de acero menor resistencia ante fuerza lateral.

Se puede obtener una ductilidad $Q \geq 2$ utilizando resistencia a compresión del concreto bajo y porcentaje de acero en barras pequeño, siempre y cuando se cumpla el requerimiento indicado en las NTCC-RCDF (2004) del porcentaje de acero mínimo por temperatura $p_{min} = 0.0025$, para el cual se puede utilizar malla electrosoldada. Es decir, se propone utilizar acero de refuerzo en barras corrugadas para obtener la ductilidad indicada en las NTCS-RCDF (2004) y así tener una falla dúctil (porcentaje de acero por ductilidad, p_Q). El acero por temperatura que indican las NTCC-RCDF (2004) colocarlo con malla electrosoldada (porcentaje de acero por temperatura, p_T), ósea que, una vez garantizada la ductilidad de la estructura con el porcentaje de acero en barras, se puede complementar el porcentaje mínimo por temperatura con malla electrosoldada, de tal manera que

$$p_{min} = p_Q + p_T. \tag{1}$$

Este tipo de estructuras tienen mayor resistencia a cortante que las de mampostería confinada, esto se observa en la Tabla 6.2, en la cual se comparan los resultados de la estructura del ejemplo 1cb (muros de concreto reforzado con barras) de este capítulo y los del ejemplo 1m (muros de mampostería confinada) del capítulo 2; en ella se observa que la resistencia a compresión del concreto reforzado es el 666.67% de la mampostería confinada, el cortante máximo el 316.60%, el factor Q el 127% y el c_e el 394%, es por ello que en las estructuras de concreto reforzado con barras aun con valores de $f'c$ bajos se obtienen cortantes resistentes, y c_e altos.

Tabla 6.2. Comparación entre los ejemplo 1cb y 1m.

Muros	Niveles Total	Altura Total (m)	Eje débil	Tipo de falla	Resistencia a compresión (Mpa)	$V_{m\acute{a}x}$ (kN)	Q	c_e
Mampostería confinada	4	10	Y	Fuerza lateral	1.5	774.62	2.25	0.65
Concreto reforzado con barras	4	10	X	Fuerza lateral	10	2452.50	2.86	2.56

Para las estructuras de los ejemplos analizados la falla que rige es por fuerza lateral debido a que el concreto tiene mayor resistencia a compresión que la carga axial actuante en cada muro y de acuerdo a la forma modal la falla ocurre en el primer entrepiso. En la Tabla 6.3 se indican los valores correspondientes al sentido del eje débil de resistencia a compresión del concreto $f'c$, porcentaje de acero p , resistencia máxima ante fuerza lateral $V_{m\acute{a}x}$, factor de comportamiento

sísmico Q , y el coeficiente sísmico de desempeño c_e , obtenidos con el programa desarrollado en este capítulo. En ella se observa que el eje débil es el X. Los factores de comportamiento sísmico son mayores que el recomendado por las NTCS-RCDF (2004) de $Q = 2$. Los coeficientes sísmicos de desempeño son altos en comparación con los coeficientes sísmicos c presentados por las NTCS-RCDF (2004) y por el RCEM (1990) para estructuras del grupo A, donde $c = 0.45$ y $c = 0.48$, respectivamente. Es decir, las estructuras analizadas son aptas para construirse en cualquier zona sísmica del DF y del Estado de Michoacán.

Tabla 6.3. Resultados de los ejemplos analizados en el capítulo 3.

Ej.	Niveles Total	Altura Total (m)	Eje débil	Tipo de falla	$f'c$ (Mpa)	p	$V_{m\acute{a}x}$ (kN)	Q	c_e
1cb	4	10	X	Fza. lateral	1	0.0025	722.341	3.15	0.89
	4	10	X	Fza. lateral	5	0.0025	1735.598	2.86	1.81
	4	10	X	Fza. lateral	10	0.0025	2452.506	2.86	2.56
	4	10	X	Fza. lateral	15	0.0025	2915.821	2.81	2.99
	4	10	X	Fza. lateral	20	0.0025	3125.319	2.66	3.04
	4	10	X	Fza. lateral	25	0.0025	3255.375	3.31	3.94
	4	10	X	Fza. lateral	30	0.0025	3427.602	3.19	4.00
	4	10	X	Fza. lateral	35	0.0025	3586.482	3.11	4.08
	4	10	X	Fza. lateral	10	0.0020	2353.308	2.78	2.39
	4	10	X	Fza. lateral	10	0.0015	2047.832	2.51	1.88
	4	10	X	Fza. lateral	10	0.0010	1742.655	2.2	1.40
2cb	3	7.5	X	Fza. lateral	15	0.0025	2789.653	2.59	3.44
3cb	5	12.75	X	Fza. lateral	25	0.0025	5488.080	2.43	2.34

Las NTCC-RCDF (2004) indican que en muros de concreto reforzado para vivienda de interés social se admite utilizar concreto clase 2 con $f'c = 15$ Mpa, sin embargo, de acuerdo al análisis realizado en este trabajo, para las estructuras con las características indicadas es recomendable utilizar resistencias menores con lo cual se obtiene mejor comportamiento sísmico.

6.4 CAPÍTULO 4

En este capítulo se desarrolla el programa ENRELA_COM_JC.f90 con el modelo trilineal de cortante para muros de concreto reforzado con malla electro soldada propuesto por Carrillo et al. (2009), con el cual se analizan tres ejemplos: (1cm) estructura analizada por Alcocer et al. (2011), (2cm) estructura similar a las que publico el Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto (IMCYC) en la revista

Construcción y Tecnología en Concreto de Marzo 2011 y (3cm) estructuras que actualmente se construyen en la ciudad de Morelia Michoacán.

Comparando los valores reportados por Carrillo (2012) de pruebas experimentales, teóricos y los obtenidos en este trabajo se sustenta que el programa funciona adecuadamente, debido a que son valores similares.

Para las estructuras de los ejemplos analizados la falla que rige es por fuerza lateral debido a que el concreto tiene mayor resistencia a compresión que la carga axial actuante en cada muro y de acuerdo a la forma modal la falla ocurre en el primer entrepiso. En la Tabla 6.4 se indican los valores correspondientes al sentido del eje débil de resistencia a compresión del concreto f'_c , porcentaje de acero p , resistencia máxima ante fuerza lateral $V_{m\acute{a}x}$, factor de comportamiento sísmico Q , y el coeficiente sísmico de desempeño c_e , obtenidos con el programa desarrollado en este capítulo. Los coeficientes sísmicos de desempeño son altos en comparación con los coeficientes sísmicos c presentados por las NTCS-RCDF (2004) y por el RCEM (1990) para estructuras del grupo A, donde $c = 0.45$ y $c = 0.48$, respectivamente, sin embargo, los factores de comportamiento sísmico para los ejemplos 1cm y 2cm son menores que el recomendado por las NTCS-RCDF (2004) de $Q = 2$, para el ejemplo 2cm el factor Q es mayor, sin embargo, por el tipo de refuerzo la estructura presentaría falla tipo frágil que en zonas sísmicas deben evitarse, por lo que las estructuras no son aptas para construirse en zonas sísmicas.

Tabla 6.4. Resultados de los ejemplos analizados en el capítulo 4.

Ej.	Niveles Total	Altura Total (m)	Eje débil	Tipo de falla	f'_c (Mpa)	p	$V_{m\acute{a}x}$ (kN)	Q	c_e
1cm	4	10.00	X	Fza lateral	15	0.0025	2641.799	1.92	1.92
2cm	4	7.50	X	Fza lateral	15	0.0025	2098.051	2.39	2.39
3cm	5	12.75	Y	Fza lateral	25	0.0025	4814.034	1.65	1.39

Como se determinó en el capítulo 3, los parámetros de resistencia a compresión del concreto y porcentaje de acero influyen en el comportamiento sísmico. Para los ejemplos de este capítulo se podría utilizar una resistencia a compresión del concreto menor o incrementar el porcentaje de acero con la finalidad de obtener factores de comportamiento sísmico igual o mayor al indicado por las NTCS-RCDF (2004) de 2. Sin embargo, aun determinando dicho valor de $Q \geq 2$, por el tipo de

acero de refuerzo la estructura tendría falla frágil que en zonas sísmicas no debe presentar, por lo cual, la estructura no es apta para edificarse utilizando refuerzo en el alma con malla electrosoldada para obtener la ductilidad.

Es por ello que se propone utilizar acero de refuerzo en barras corrugadas para obtener la ductilidad indicada en las NTCS-RCDF (2004) de $Q \geq 2$ y así tener una falla dúctil (porcentaje de acero por ductilidad, p_Q) y utilizar acero por temperatura que indican las NTCC-RCDF (2004) con malla electrosoldada (porcentaje de acero por temperatura, p_T). Es decir, una vez garantizada la ductilidad de la estructura con el porcentaje de acero en barras, se puede complementar el porcentaje mínimo por temperatura con malla electrosoldada, de tal manera que se cumpla la ecuación 1.

6.5 CAPÍTULO 5

En este capítulo se desarrolla el programa ENRELA_COMA_JC.f90 con el modelo trilineal de cortante para muros de concreto reforzado con malla electro soldada propuesto por Carrillo et al. (2009) y el modelo para mampostería confinada propuesto por Alcocer et al. (2011), con el cual se analizan seis ejemplos: (1hb) estructura analizada por Alcocer et al. (2011), con el primer nivel de muros de concreto reforzado con barras corrugadas y tres superiores de muros de mampostería confinada, (2hb) estructura analizada por Alcocer et al. (2011), con el primer nivel de muros de concreto reforzado con barras corrugadas y cuatro superiores de muros de mampostería confinada, (3hb) estructuras que actualmente se construyen en la ciudad de Morelia Michoacán, con el primer nivel de muros de concreto reforzado con barras corrugadas y cuatro superiores de muros de mampostería confinada. Los ejemplos 1hm, 2hm y 3hm corresponden a los mismos que 1hb, 2hb y 3hb solo cambia el tipo de refuerzo de los muros por malla electro soldada.

Para las estructuras de los ejemplos analizados la falla que rige es por fuerza lateral y de acuerdo a la evolución de la forma modal la falla ocurre en el nivel donde inician los muros de mampostería confinada. Cuando la estructura llega a la falla los muros de concreto reforzado en el ejemplo 1hb apenas inician en el rango de resistencia máxima para el resto de los ejemplos no pasan el rango de agrietamiento, es decir, no todos se encuentran agrietados. La rigidez de los muros de concreto reforzado influye en la rigidez de los muros superiores de mampostería, en los ejemplos incrementan su resistencia ante fuerza lateral. Los resultados son similares al colocar malla electrosoldada o barras corrugadas

En la Tabla 6.5 se indican los valores correspondientes al sentido del eje débil de resistencia a compresión del concreto f'_c y de la mampostería f^*m , porcentaje de

acero p , resistencia máxima ante fuerza lateral $V_{m\acute{a}x}$, factor de comportamiento sísmico Q , y el coeficiente sísmico de desempeño c_e , obtenidos con el programa desarrollado en este capítulo. Los coeficientes sísmicos de desempeño son mayores en comparación con los coeficientes sísmicos c indicados por las NTCS-RCDF (2004) y por el RCEM (1990) para estructuras del grupo A, donde $c = 0.45$ y $c = 0.48$, respectivamente. Es decir, las estructuras analizadas son aptas para construirse en cualquier zona sísmica del DF y del Estado de Michoacán, sin embargo, no se recomienda utilizar malla electro soldada porque conduce al tipo de falla frágil que en zonas sísmicas no debe presentarse.

Tabla 6.5. Resultados de los ejemplos analizados en el capítulo 5.

Ej.	Niveles Total	Altura Total (m)	Eje débil	Tipo de falla	$f'c$ (Mpa)	f^*m (Mpa)	p	$V_{m\acute{a}x}$ (kN)	Q	c_e
1hb	4	10.00	X	Fza lateral	15	1.5	0.0025	729.708	2.33	0.63
2hb	5	12.50	Y	Fza lateral	15	1.5	0.0025	834.557	2.05	0.50
3hb	5	12.75	X	Fza lateral	25	2.5	0.0025	1282.240	2.22	0.50
1hm	4	10.00	X	Fza lateral	15	1.5	0.0025	729.708	2.33	0.63
2hm	5	12.50	Y	Fza lateral	15	1.5	0.0025	834.557	2.05	0.50
3hm	5	12.75	X	Fza lateral	25	2.5	0.0025	1282.240	2.22	0.50

LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN

Para complementar el presente trabajo se proponen las siguientes líneas de investigación:

- Determinar el efecto de iteración suelo-estructura en las gráficas envolventes.
- Incluir en el análisis las estructuras de mampostería reforzada interiormente.
- Analizar estructuras que tengan en un mismo nivel muros de mampostería y de concreto reforzado.
- Analizar este tipo de estructuras con disipadores de energía.
- Analizar estructuras con geometría particular, es decir, que en planta se tenga forma circular, elíptica, etcétera.

REFERENCIAS

Alcocer M., Sandoval R. y Hernández B. (2011), "**Envolvente de resistencia lateral de piso para estructuras de mampostería confinada**", XVIII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Aguascalientes, Aguascalientes, México.

Andrés Chipol Flores (2001), "**Estudio de la respuesta sísmica de modelos tridimensionales de edificios torsionalmente acoplados**", Tesis de Maestría en estructuras, Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM.

Ángel San Bartolomé, Alejandro Muñoz, Mariela Villagarcía y Claudia Acuña, "**Comportamiento sísmico de placas de concreto reforzadas con mallas electrosoldada**", Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú.

Ángel San Bartolomé, Alejandro Muñoz, Georgina Madueño y Rolando Cavero, "**Control de la falla por deslizamiento en placas de concreto reforzadas con mallas electrosoldadas**", Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú.

Ángel San Bartolomé, "**Comportamiento a carga lateral de muros delgados de concreto reforzados con malla electrosoldada y acero dúctil**", Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú.

Ángel San Bartolomé, Luis Ángel Rojas Ishikawa y José Iván Koo, "**Estudio experimental de los dos criterios del ACI empleados para confinar los bordes de los muros de concreto armado**", Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú.

Ángel San Bartolomé, Alejandro Muñoz y Fernando Madalengoitia "**Comportamiento a fuerza cortante de muretes de concreto reforzados con malla electrosoldada, acero dúctil y fibra metálica**", Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú.

Anil K.Chopra (1995). "**Dynamics of structures**". Editorial Prentice Hall. New Jersey.

Leonardo E. Flores, Sergio M. Alcocer Martínez de Castro, Julián Carrillo León, Alfredo Sánchez Alejandre, Roberto Uribe y Angel Ponce (2007), "**Ensayo de muros de concreto con diferente relación de aspecto y bajas cuantías de refuerzo, para uso en vivienda**", XVI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica Ixtapa Zihuatanejo, Guerrero, México.

Juan Carlos Vielma Pérez , Alex H. Barbat, Sergio Oller (2007), “**Curvas de fragilidad y matrices de probabilidad de daño de edificios de concreto armado con ductilidad limitada**”, Rev. Int. de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil. Vol. 7.

Juan José Pérez Gavilán E (2012), “**Guía de Análisis de Estructuras de Mampostería**”, SMIE, México.

Julián Carrillo León y Sergio M. Alcocer (2008), “**Ensayos dinámicos de muros de concreto con relación de aspecto igual a uno**”, XVI Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, Veracruz, Veracruz, México.

Julián Carrillo León, Sergio M. Alcocer y Roberto Uribe (2009), “**Comportamiento dinámico y cuasi-estático de sistemas estructurales de muros de concreto con aberturas**”, XVII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Puebla, Puebla, México.

Julián Carrillo León, Sergio M. Alcocer y Roberto Uribe (2009), “**Predicción del desempeño a cortante de muros de concreto para vivienda**”, XVII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Puebla, Puebla, México.

Julián Carrillo y Sergio M. Alcocer (2010), “**Efectos del protocolo de ensaye sobre la respuesta de muros de concreto con relación de aspecto igual a uno**”, XVII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural León, Guanajuato, México.

Julián Carrillo y Sergio M. Alcocer (2010), “**Recomendaciones para diseño sísmico de muros de concreto para vivienda**”, XVII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, León, Guanajuato, México.

Julián Carrillo y Sergio M. Alcocer (2012), “**Propiedades dinámicas de viviendas construidas con muros de concreto**”, serie investigación y desarrollo, instituto de ingeniería UNAM, México DF.

Julián Carrillo y Sergio M. Alcocer (2012), “**Ensayos en mesa vibradora de muros de concreto para vivienda de baja altura**”, serie investigación y desarrollo, instituto de ingeniería UNAM, México DF.

Julián Carrillo y Sergio M. Alcocer (2012), “**Correlación entre ensayos dinámicos y cuasiestáticos de muros de concreto**”, serie investigación y desarrollo, instituto de ingeniería UNAM, México DF.

Julián Carrillo y Sergio M. Alcocer (2012), “**Modelo de comportamiento a cortante de muros de concreto para vivienda**”, serie investigación y desarrollo, instituto de ingeniería UNAM, México DF.

Marcos Alberto Araiza Márquez (2000), “**Estudio paramétrico de la influencia de la densidad de muros en el comportamiento sísmico de estructuras de mampostería**”, Tesis de licenciatura en ingeniería civil, universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México DF.

NTCM-RCDF (2004) “**Normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de mampostería**”, Gaceta oficial de Distrito Federal, Octubre.

NTCC-RCDF (2004) “**Normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de concreto**”, Gaceta oficial de Distrito Federal, Octubre.

NTCS-RCDF (2004) “**Normas técnicas complementarias para diseño por sismo**”, Gaceta oficial de Distrito Federal, Octubre.

Raúl Javier Delgado Ehni, Catalina Peña Rodríguez-Larraín (2006), “**Edificios Peruanos con muros de concreto de ductilidad limitada**”, Pontificia universidad católica del Perú, tesis de ingeniería civil. Lima, Perú.

RCEM (1990), “**Reglamento de construcciones del estado de Michoacán**”, Secretaria de Comunicaciones y Obras Públicas del Gobierno del Estado de Michoacán, México.

APÉNDICE A1

MANUAL DE USUARIO PARA EL PROGRAMA:
ENRELA_MA_HHB.f90

El programa “*ENRELA_MA_HHB.f90*” evalúa la envolvente de resistencia lateral de piso para estructuras conformadas con muros de mampostería confinada de varios niveles, incluyendo las deformaciones por torsión y siguiendo el primer modo de vibrar, mediante un análisis paso a paso donde se incrementa el desplazamiento.

La metodología que utiliza para el cálculo de la resistencia y rigidez es la desarrollada por Alcocer et al. (2011) para un modelo trilineal de estructuras de mampostería confinada, donde se diferencian tres puntos clave: agrietamiento, máximo y último. Para el análisis del primer modo de vibrar se utiliza el método iterativo del vector inverso descrito por Chopra (1995) normalizado respecto al último nivel (azotea). Para la torsión sísmica se utiliza el procedimiento descrito por Chipol (2001).

En la Figura A1.1 se observa el diagrama de flujo. La Figura A1.1a se refiere al diagrama de flujo de la subrutina llamada “Resistencia y Rigidez” que calcula la resistencia y rigidez de cada muro. La Figura A1.1b corresponde al diagrama de flujo de la subrutina llamada “Primer modo de vibrar” y calcula el primer modo de vibrar de la estructura.

En las Figura A1.1, A1.1a y A1.1b cada valor inicial se refiere a la descripción siguiente, **nn**: número de niveles, **nm**: número de muros, **t**: espesor de muros, **Em**: módulo de elasticidad de la mampostería, **Gm**: módulo de cortante de la mampostería, **v*m**: resistencia a compresión diagonal de la mampostería, **dr**: diámetro de varilla de los castillos, **Es**: modulo elasticidad del acero, **f’c**: resistencia a compresión del concreto, **fy**: fluencia del acero del acero de los castillos, **hm**: altura de nivel, **masa**: masa de casa piso, **xm**: coordenada en eje x, **ym**: coordenada en eje y, **sa**: sentido del análisis, **l**: longitud de muro, **fc**: esfuerzo a compresión actuante en muro, **nb**: número de barras en castillos en sentido de análisis, **nb2**: número de barras en castillos en sentido opuesto de análisis, **b1**: ancho de castillo en sentido del análisis, **b2**: ancho de castillo en sentido opuesto al análisis, **hm2**: altura de muro.

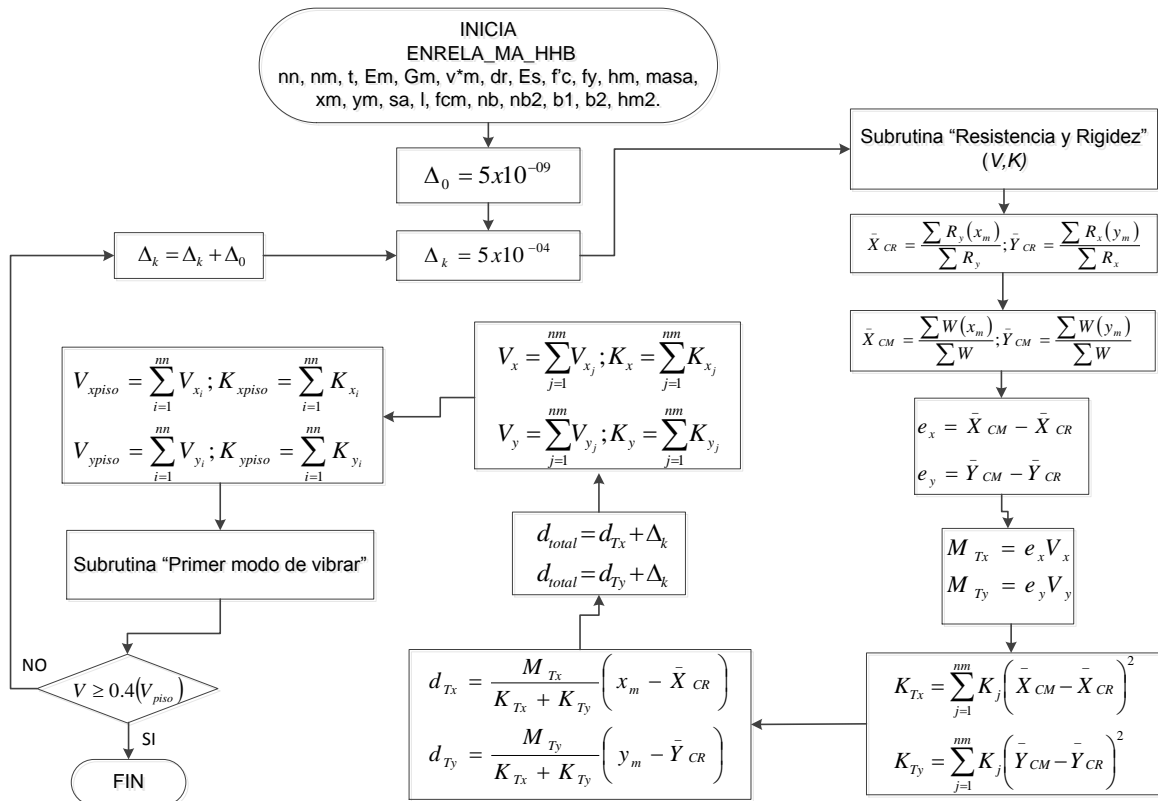


Figura A1.1. Diagrama de flujo de la metodología programada.

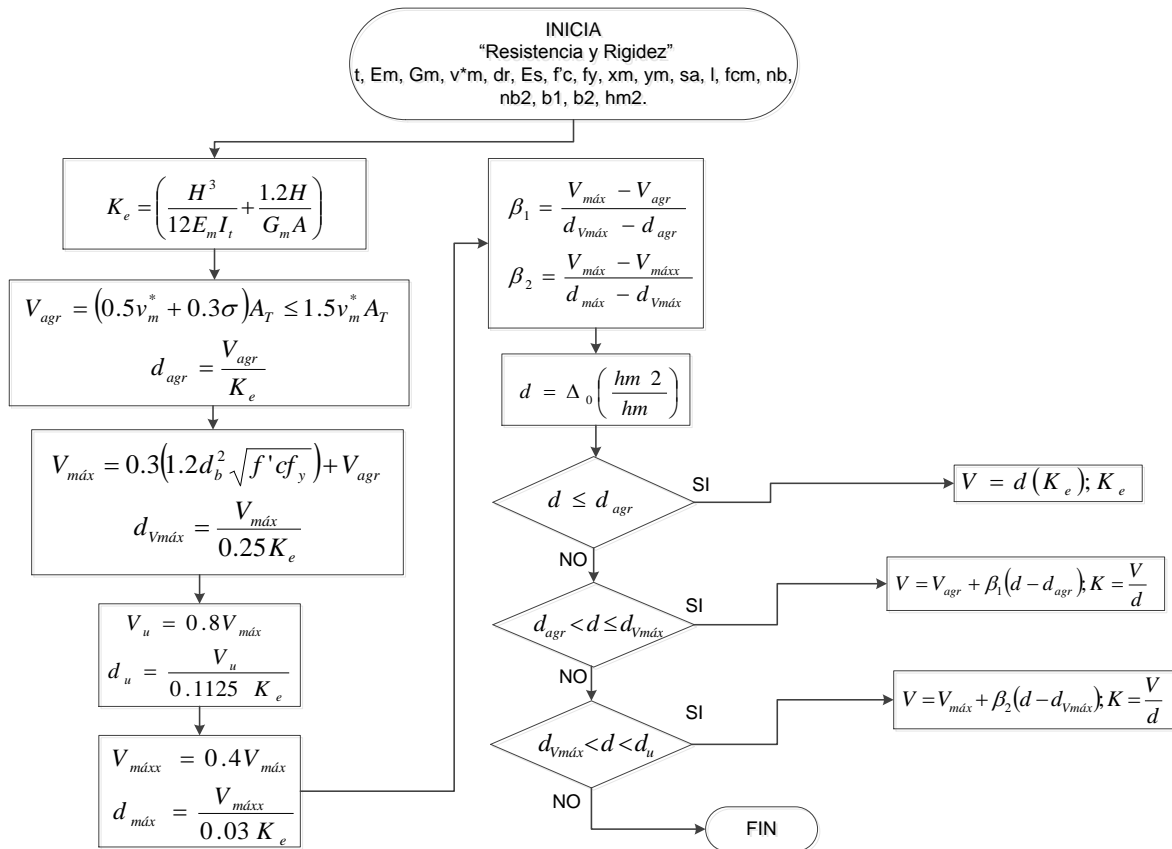


Figura A1. 1a. Diagrama de flujo de la subrutina "Resistencia y Rigidez".

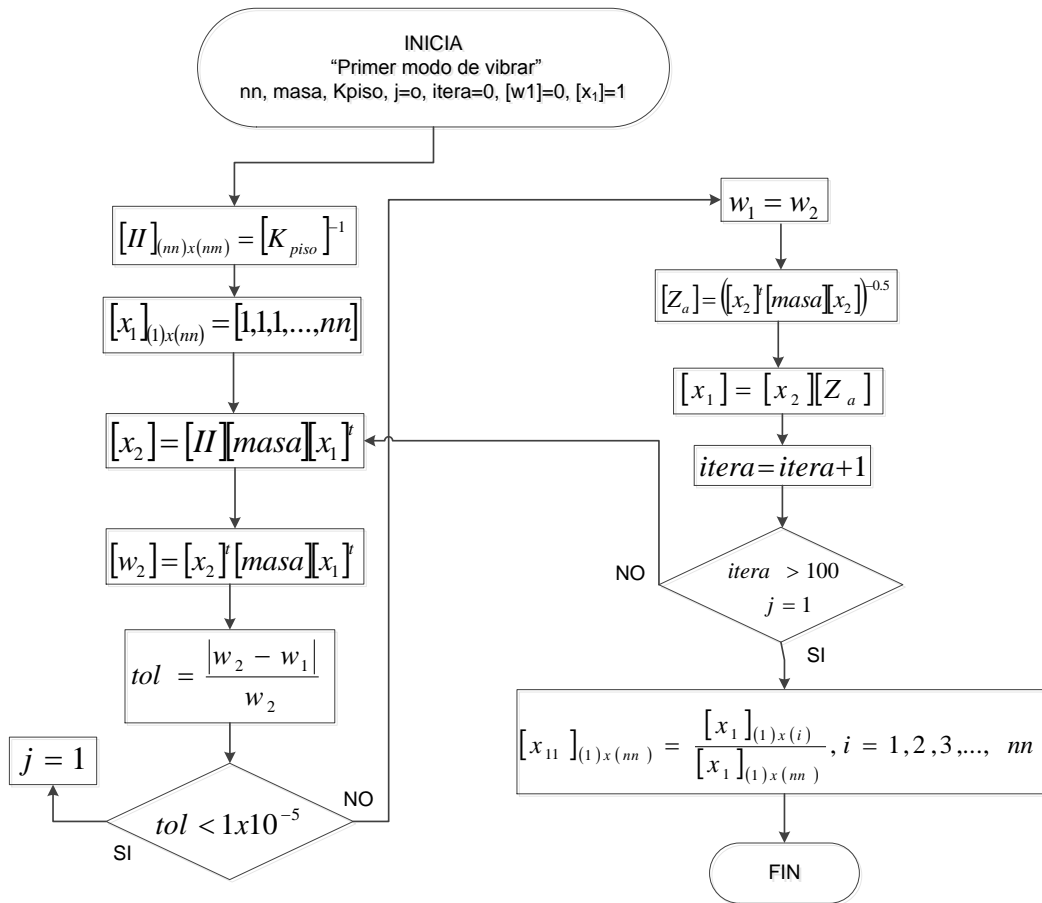


Figura A1. 1b. Diagrama de flujo de la subrutina "Primer modo de vibrar".

MANUAL DE USUARIO PARA EL PROGRAMA *ENRELA_MA_HHB*.

Para utilizar este programa se siguen los siguientes pasos: (1) se crea un archivo con los datos de la estructura, este archivo debe tener nombre con un máximo de 20 caracteres alfanuméricos con extensión .txt y se debe guardar dentro de la misma carpeta donde se encuentra el ejecutable. (2) Ejecutar el programa *ENRELA_MA_HHB.EXE* e ingresar el nombre del archivo de datos creado con extensión. (3) Una vez realizado los pasos anteriores dentro de la carpeta el programa proporciona archivos diferentes con la misma extensión que el archivo de datos, estos pueden abrirse directamente o a través de Excel para graficar los datos de interés. A continuación se indica como crear el archivo de datos y se describen los archivos de resultados.

ARCHIVO DE DATOS.

Para ejecutar el programa primero se debe crear un archivo con la denominación .txt (bloc de notas) con un máximo de 20 caracteres alfanuméricos, en el se incluyen todas las características de la estructura y se ingresan en 4 secciones como se muestra a continuación.

Sección 1.

Se ingresan las cargas de servicio en el siguiente orden:

Apta tlosa Waz Went Wmuro

donde:

Apta= área en planta (m^2)

tlosa= espesor de losa (m)

Waz=carga de servicio en azotea (kg/m^2)

Went= carga de servicio de entrepiso (kg/m^2)

Wmuro= peso volumétrico de muro (kg/m^3)

Sección 2.

Se ingresan las características y propiedades comunes de los muros en el siguiente orden:

nn, nm, t, f^*m , em, gm, v_m^* , dr, es, fcc, ec, fy, nnmm, mn

donde:

nn = número de niveles

nm = Número de muros por nivel

t = Espesor de los muros (m)

f^*m = Resistencia a compresión de la mampostería (Mpa)

e_m = Modulo de elasticidad de la mampostería (Mpa)

g_m = Modulo cortante de la mampostería (Mpa)

v_m^* = Resistencia a compresión diagonal (Mpa)

d_r = Diámetro de las barras longitudinales de los castillos (m).

e_s = Modulo de elasticidad del acero (Mpa).

f_{cc} = Resistencia a compresión (f^c) del concreto (Mpa).

e_c = Modulo de elasticidad del concreto (Mpa).

f_y = Fluencia (f_y) de acero de refuerzo (Mpa).

nm = número de muro del que se desea obtener la envolvente. Este debe estar en el sentido del análisis.

m_n = envolvente de resistencia del muro nm en el nivel m_n . Este debe estar en el sentido del análisis.

Sección 3.

Se ingresa la altura de cada nivel:

h_m

donde:

h_m = altura del nivel, incluyendo espesor de losa (m)

Sección 4.

Se ingresan las coordenadas de cada muro, así como los muros que se encuentran en la dirección del análisis en el siguiente orden:

$x_m, y_m, s_a, n_b, n_{b2}, b_1, b_2, l, a_{trib}, K$

donde

x_m = distancia en x (m)

y_m = distancia en y (m)

s_a = sentido del análisis:

1 si el muro esta en el sentido del análisis.

0 si el muro esta en sentido opuesto al análisis.

nb= número de barras en el sentido del análisis.

nb2=número de barras en el sentido opuesto al análisis.

b1= longitud del castillo en el sentido del análisis (m).

b2= longitud del castillo en el sentido puesto al análisis (m).

l= longitud de cada muro (m).

atrib= área tributaria de losa que le corresponde a cada muro (m²).

K= factor de altura efectiva del muro.

ARCHIVOS DE RESULTADOS.

El programa proporciona varios archivos de resultados, estos archivos se pueden consultar directamente o abrirlos através de Excel para poder manejar los datos o graficarlos. A continuación se describe cada uno de ellos.

1. “curvamamposteria.txt”, este archivo contiene los valores de resistencia y desplazamiento distribuidos en dos columnas, la de la derecha se refiere a la resistencia (kN) y la de la izquierda a los desplazamientos (mm). Los valores corresponden a los cálculos de toda la edificación.
2. “evolformodal.txt”, este archivo contiene la evolución de la forma moda y cuenta con dos columnas, del lado izquierdo corresponde a la evolución de la forma del primer modo de vibrar y del lado derecho representa el nivel de la estructura.
3. “matriz_rigidez.txt”, en este archivo se encuentran las matrices de rigidez de la estructura para cada incremento del desplazamiento hasta llegar a la falla.

4. “ductilidad.txt”, en este archivo se encuentran el valor de ductilidad de planta baja (μ_1), valor de ductilidad global (μ_u), factor de comportamiento sísmico (Q), el coeficiente sísmico de desempeño (ce), el nivel en el que falla la estructura, los valores de resistencia al agrietamiento, máximo y último y sus respectivos desplazamientos.
5. “curva_muro.txt”, este archivo contiene los valores de resistencia y desplazamiento distribuidos en dos columnas, del lado derecho se refiere a la resistencia (kN) y del izquierdo a los desplazamientos (mm) para el muro indicado en el archivo de datos.
6. “envolvente_niveles.txt “, este archivo contiene tres columnas de valores, de izquierda a derecha, la primera corresponde a los valores de desplazamiento, la segunda de resistencia y la tercera indica en que intervalo se encuentra el valor de resistencia, el número 1 corresponde al intervalo de agrietamiento, el 2 al de resistencia máxima y el 3 al de resistencia última.
7. “envolvente_muros.txt”, este archivo contiene cinco columnas de valores, de izquierda a derecha, la primera indica el número de ciclo en que se calculan los valores, la segunda el nivel de la estructura, la tercera el número de muro, la cuarta el desplazamiento y la quinta la resistencia. El orden que se sigue es con el ciclo y el archivo sirve para graficar la resistencia de los muros.
8. “Muros.txt”, este archivo contiene cuatro columnas de valores, de izquierda a derecha, la primera indica el nivel de la estructura, la segunda el número de muro, la tercera el desplazamiento y la cuarta la resistencia. El orden que se sigue es con relación al nivel de la estructura y al número de muro, el archivo para graficar algún muro de algún nivel.

9. “SecFaLat”, este archivo contiene los valores de resistencia máxima ante carga lateral de los muros, están distribuidos en dos columnas, de izquierda a derecha, la primera indica el nivel de la estructura, la segunda el número de muro y la tercera la resistencia máxima ante carga lateral.
10. “Compresion_Muros”, este archivo contiene los valores de la resistencia a compresión y carga axial de cada muro, también indica el número y nivel del muro que falla por carga axial. Los datos están distribuidos en tres columnas, de izquierda a derecha, la primera se refiere al nivel, la segunda al número de muro y la tercera a la resistencia a compresión o carga axial.
11. “Datos”, en este archivo están organizados una serie de datos que utiliza el programa durante su ejecución.

En pantalla se muestran los siguientes valores:

1. Resistencia a compresión de cada muro en cada nivel.
2. Carga axial de cada muro en cada nivel.
3. Las excentricidades de cada nivel.
4. El nivel en donde ocurre la falla.
5. La ductilidad de planta baja (m_1), global (μ) y el factor de comportamiento sísmico (Q).
6. El coeficiente sísmico de desempeño (ce)

Ejemplo 1.

Calcular la curva envolvente de resistencia lateral de piso del edificio de cuatro niveles con muros de mampostería confinada de piezas de barro sólidas mostrado en la Figura A1.2

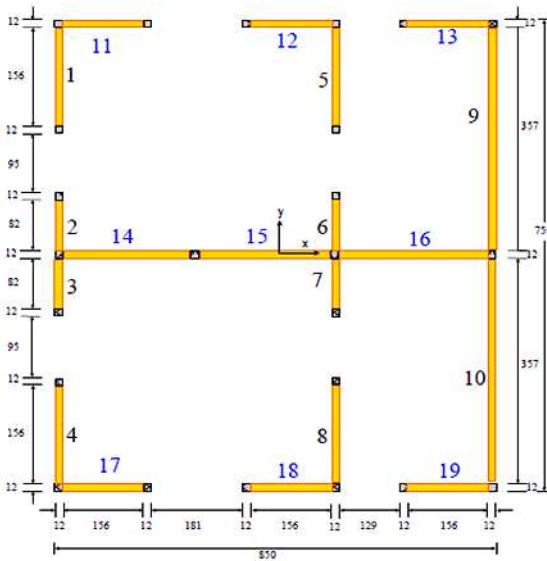
En la Tabla A1.1 se muestran las propiedades mecánicas de los materiales utilizados, el diámetro de las barras corrugadas de los castillos es de 7.939×10^{-3} m, 3 barras en cada castillo. Las propiedades generales se muestran en la tabla A1.2. En la Figura A1.2 se observa la distribución en planta de los muros y la elevación en la dirección X.

Tabla A1.1. Propiedades mecánicas de los materiales.

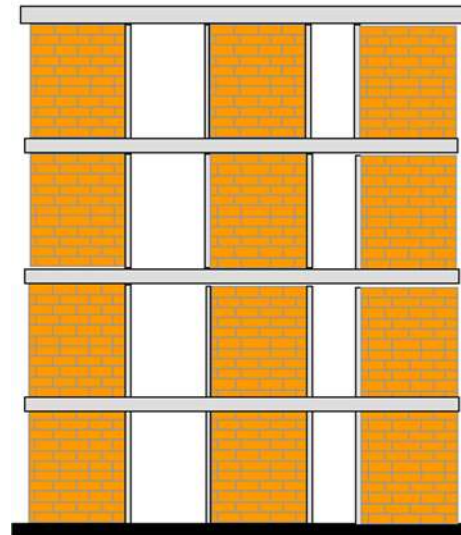
Material	Propiedad mecánica	Resistencia(Mpa)
Mampostería	f^*m	1.5
	Em	1200
	Gm	480
	v^*m	0.35
Concreto	$f'c$	15
	Ec	18203.02
Acero	fy	420
	Es	200000

Tabla A1.2. Características generales de la estructura.

Característica	Datos
Ubicación	Zona III, DF
Coefficiente sísmico (c)	0.19
Uso	Oficinas
Entrepiso	2.50 m
Espesor de losa	0.10 m
Espesor de muros	0.12 m



(c) Distribución en planta.



(d) Elevación en dirección X

Figura A1.2. Planta y elevación de estructura de mampostería confinada.

Las áreas tributarias se calcularon como se observa en la Figura A1.3. Se considera que el peso volumétrico de muro es de 1951.5 kg/m^3 , las cargas de servicio se observan en la Tabla A1.2'. Con estos datos el programa calcula los esfuerzos a compresión de cada muro utilizando la ecuación A1.1.

Tabla A1.2'. Cargas de servicio.

Nivel	Tipo	W	W_{tot}
		kg/m ²	
Azotea	Muerta	450.00	550.00
	Viva	100.00	
Entrepisos	Muerta	400.00	650.00
	Viva	250.00	

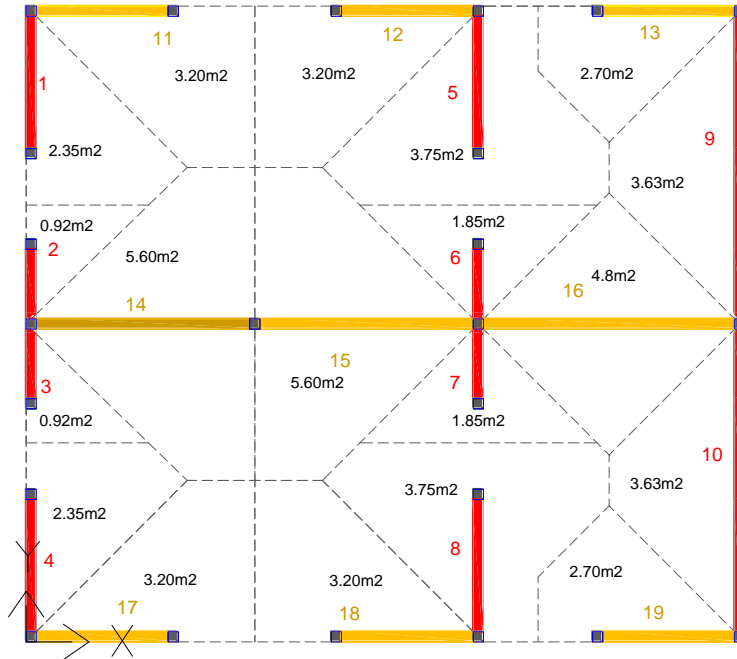


Figura A1.3. Áreas tributarias para la descarga de los muros.

$$f_{cm_{i,j}} = \frac{P_{i,j}}{A_{i,j}} \tag{A1.1}$$

Por ejemplo, para obtener el esfuerzo a compresión del muro 1 en el nivel 4, sustituyendo valores y tomando la igualdad de $1\text{kgf}/\text{m}^2 = 9.8067 \times 10^{-6} \text{Mpa}$ se tiene que

$$f_{cm_{4,1}} = \frac{2.35(530) + 1.56(0.12)2.4(1951.5)}{1.56(0.12)} = 11336.91 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} = 0.11 \text{Mpa}.$$

El esfuerzo a compresión del muro 1 en el nivel 4 es de 0.11 Mpa. De igual manera se calcula el resto de los muros y los resultados se concentran en la Tabla A1.3.

Tabla A1.3. Esfuerzos a compresión de cada muro.

Muro	Esfuerzo a compresión (Mpa)			
	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4
1	0.490	0.360	0.240	0.110
2	0.410	0.310	0.200	0.900
3	0.410	0.310	0.200	0.900
4	0.490	0.360	0.240	0.110
5	0.650	0.490	0.320	0.150
6	0.630	0.470	0.310	0.140
7	0.630	0.470	0.310	0.140
8	0.650	0.490	0.320	0.150
9	0.390	0.290	0.190	0.090
10	0.390	0.290	0.190	0.090
11	0.600	0.440	0.290	0.130
12	0.600	0.440	0.290	0.130
13	0.530	0.390	0.260	0.120
14	0.630	0.470	0.300	0.140
15	0.630	0.470	0.300	0.140
16	0.510	0.380	0.250	0.110
17	0.600	0.440	0.290	0.130
18	0.600	0.440	0.290	0.130
19	0.530	0.390	0.260	0.120

Para calcular las masas de los pisos de la estructura el programa utiliza la ecuación A1.2 y el criterio de altura media.

$$M_i = \frac{W_i}{g} \quad (\text{A1.2})$$

Como ejemplo se calcula la masa del nivel 4, se toma como $1kg = 9.8067 \times 10^{-3} kN$. Se tiene un área en planta de $63.75m^2$, longitud total de muros de 34.04 m y altura de muros de 2.4 m, tomando el criterio de altura media y sustituyendo valores en la ecuación A1.2 se tiene:

$$M_4 = \frac{63.75(530) + 34.04(0.12)2.4(1951.5)0.5}{9.81} = \frac{43353.28 kg}{9.81 \frac{m}{s^2}} = \frac{425.15 kN}{9810 \frac{mm}{s^2}} = 0.0433 kN * s^2 / mm.$$

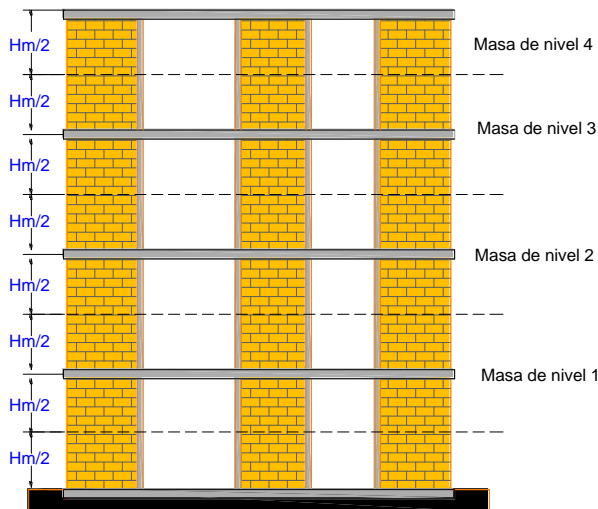


Figura A1.4. Criterio de alturas medias.

De igual manera se calculan las masas de los demás niveles, los resultados se concentran en la Tabla A1.4.

Tabla A1.4. Masa concentrada en cada nivel.

Nivel	$kN*s^2/mm$
4	0.0433
3	0.0605
2	0.0605
1	0.0605

Para analizar los muros de una dirección determinada, estos deben encontrarse en sentido vertical, es decir, si se desea calcular los muros en dirección X la planta de la Figura A1.1 debe girarse de tal manera que los muros en dicho sentido estén verticales y obtener las coordenadas. Si se desean calcular los muros en dirección Y, ya se encuentran en sentido vertical (Fig. A1.1). Girada la planta de la estructura para colocar los muros en sentido vertical se obtienen las coordenadas del centro de gravedad de cada muro.

Para determinar el factor de altura efectiva del muro, k , se toman los criterios de las NTCM-RCDF (2004) donde $k=2$ para muros sin restricción al desplazamiento lateral en su extremo superior, $k=1$ para muros extremos en que se apoyan losas; y $k=0.8$ para muros limitados por dos losas continuas a ambos lados del muro.

Envolvente de resistencia lateral de piso en dirección X.

Se inicia colocando los muros en dirección X en sentido vertical, esto se realiza girando la figura A1.1 90° en sentido anti horario (Fig. A1.5) y se obtiene el centro de gravedad de cada muro, se coloca el número 1 en los muros que trabajan en esta dirección (sa) que son del 11 al 19. En la Tabla A1.5 se indican estos datos además del factor de altura efectiva (k).

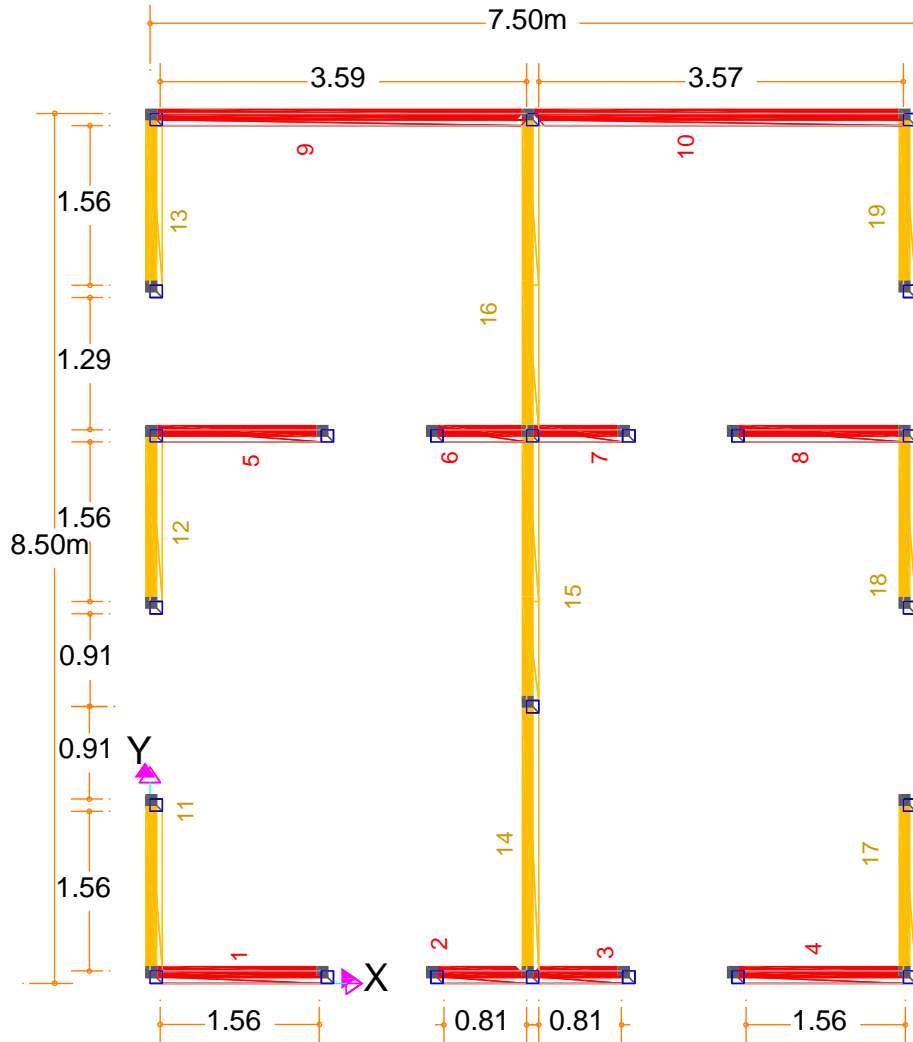


Figura A1.5. Muros 11 a 19 en sentido vertical.

Tabla A1.5. Centro de gravedad de cada muro, dirección de análisis y factor k.

Número de muro	Coordenada (m)		sa	k
	x	y		
1	0.90	0.06	0	1.0
2	3.28	0.06	0	1.0
3	4.22	0.06	0	1.0
4	6.60	0.06	0	1.0
5	0.90	5.35	0	0.8
6	3.28	5.35	0	0.8
7	4.22	5.35	0	0.8
8	6.60	5.35	0	0.8
9	1.91	8.44	0	1.0
10	5.60	8.44	0	1.0
11	0.06	0.90	1	1.0
12	0.06	4.51	1	1.0
13	0.06	7.60	1	1.0
14	3.75	1.38	1	0.8
15	3.75	4.03	1	0.8
16	3.75	6.90	1	0.8
17	7.44	0.90	1	1.0
18	7.44	4.51	1	1.0
19	7.44	7.60	1	1.0

Cada muro tiene castillos cuadrados de dimensiones del espesor de los muros, 0.12 m y cada uno cuenta con tres barras corrugadas. En la Tabla A1.6 se indican las dimensiones de los castillo, el número de barras de cada castillo y la longitud de los muros.

Los indicados se integran en un archivo que se llamará "1mX.txt", en el cual se distribuyen en las cuatro secciones mencionadas en el manual, en la Figura A1.6 se observa dicho archivo.

Tabla A1.6. Longitud de muros, área tributaria de losa, número de barras y ancho de castillos.

Número de muro	Longitud (m)	Área tributaria de losa (m ²)	Sentido del análisis		Sentido opuesto del análisis	
			Número de barras	Ancho de castillo (m)	Número de barras	Ancho de castillo (m)
1	1.560	2.35	3	0.12	3	0.12
2	0.820	0.92	3	0.12	3	0.12
3	0.820	0.92	3	0.12	3	0.12
4	1.560	2.35	3	0.12	3	0.12
5	1.560	3.75	3	0.12	3	0.12
6	0.820	1.85	3	0.12	3	0.12
7	0.820	1.85	3	0.12	3	0.12
8	1.560	3.75	3	0.12	3	0.12
9	3.570	3.63	3	0.12	3	0.12
10	3.570	3.63	3	0.12	3	0.12
11	1.560	3.20	3	0.12	3	0.12
12	1.560	3.20	3	0.12	3	0.12
13	1.560	2.70	3	0.12	3	0.12
14	2.525	5.60	3	0.12	3	0.12
15	2.525	5.60	3	0.12	3	0.12
16	2.970	4.80	3	0.12	3	0.12
17	1.560	3.20	3	0.12	3	0.12
18	1.560	3.20	3	0.12	3	0.12
19	1.560	2.70	3	0.12	3	0.12

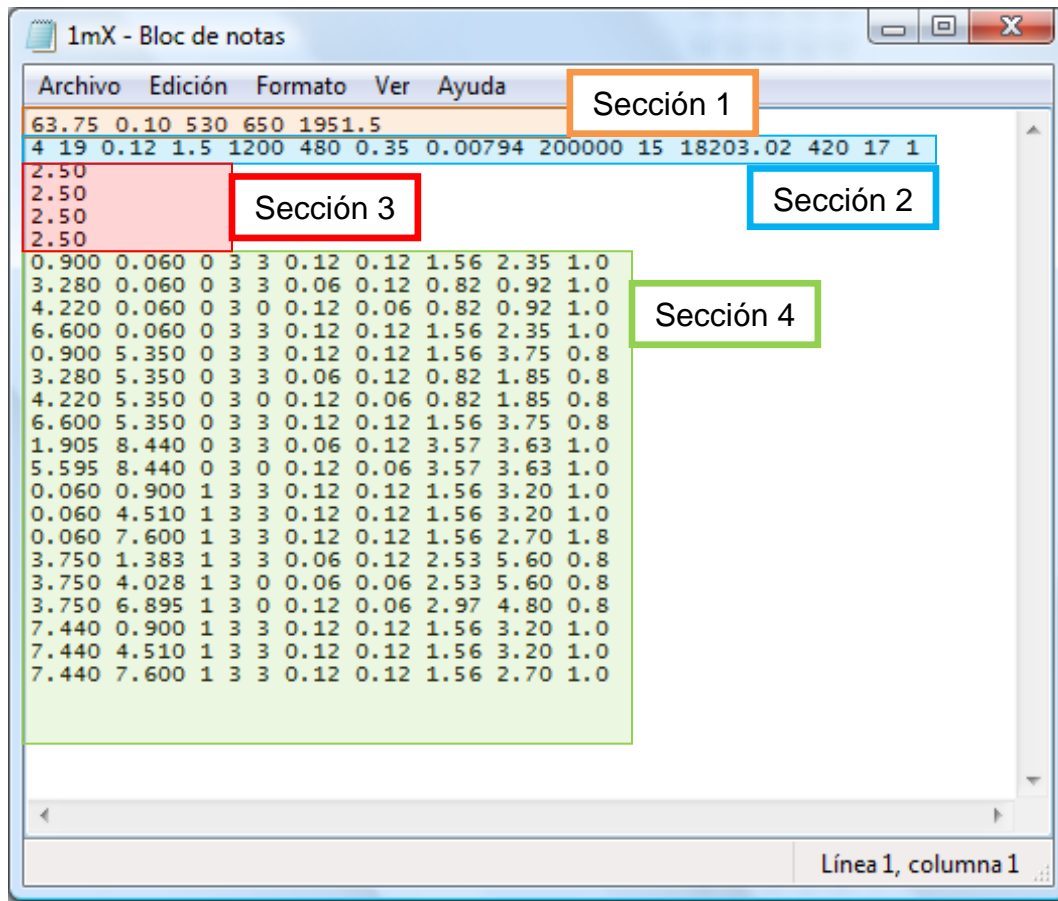


Figura A1.6. Archivo de datos para el análisis en dirección X

El archivo 1mX.txt se guarda dentro de la carpeta donde se encuentra el programa, posteriormente se inicia *ENRELA_MA_HHB*, se introduce el nombre y extensión del archivo (Fig. A1.7), en la primer etapa el programa realiza el análisis por cargas verticales e indica si existe falla de algún muro (Fig. A1.8), aun cuando exista falla por carga vertical en la segunda etapa se realiza el análisis por carga lateral.



Figura A1.7. Pantalla de inicio del programa ENRELA_MA_HHB

```

4      12      25.230259981685470
4      13      22.631497129565900
4      14      43.050624489985450
4      15      43.050624489985450
4      16      41.317730978115220
4      17      25.230259981685470
4      18      25.230259981685470
4      19      22.631497129565900

SE PUEDE CALCULAR LA RESISTENCIA ANTE FUERZA LATERAL

-----
ANALISIS POR CARGAS VERTICALES CONCLUIDO, PRESIONA <<enter>> PARA CONTINUAR
    
```

Figura A1.8. Primera etapa de análisis del programa ENRELA_MA_HHB

Cuando el programa finaliza con éxito se observa una pantalla similar a la de la Figura A1.9, en la cual se indica el tipo de falla de la estructura por fuerza lateral, ya sea por rigidez lateral o por rigidez torsional, también indica las excentricidades en cada nivel, el nivel de falla, la ductilidad de la estructura en el nivel de falla y finalmente el coeficiente sísmico de desempeño.

```

ANALISIS POR CARGAS VERTICALES CONCLUIDO, PRESIONA <<enter>> PARA CONTINUAR

FALLA POR FALTA RIGIDEZ LATERAL
PRESIONA <<ENTER>> PARA CONTINUAR

EXCENTRICIDADES (m)
Nivel  e
1      .0000
2      .0000
3      .0000
4      .0000

FALLA EN EL NIVEL:          1

PRESIONA <<ENTER>> PARA CONTINUAR

DUCTILIDADES EN EL NIVEL DE FALLA

de= 2.34
du=16.22

m1= 6.92
mu= 3.22
Q= 2.33

COEFICIENTE SISMICO DE DESEMPEÑO
ce= .66

EL PROGRAMA HA FINALIZADO CON EXITO

ELABORO: M.I. TEODULO IVAN CORNEJO VAZQUEZ
ivancornejo@hotmail.com
UMSNH 2013, POSGRADO EN ESTRUCTURAS

PRESIONA DOBLE <<ENTER>> PARA FINALIZAR
    
```

Figura A1.9. Segunda etapa de análisis y pantalla final del programa ENRELA_MA_HHB

Finalizado el programa se proporcionan los archivos de resultados descritos en el manual. A continuación se presenta cada uno de ellos.

En la Figura A1.10 se observan los valores de la envolvente de resistencia lateral de piso (Fig. A1.10a) y algunos correspondientes a la evolución de la forma modal (Fig. A1.10b).

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda
0.	0.00000000000000E+000	0.	0.00000000000000E+000	0.00000000000000E+000
1.	249999992403161E-006	4.	857461553190307E-003	4.857461553190307E-003
1.	828128897937693E-001	56.	934080605966620	56.934080605966620
3.	656239514770198E-001	113.	867591876851000	113.867591876851000
5.	484350131602703E-001	170.	801103147735500	170.801103147735500
7.	312460748435208E-001	227.	734614418619900	227.734614418619900
9.	140571365267712E-001	284.	668125689504300	284.668125689504300
1.	096868198210022	341.	601636960388700	341.601636960388700
1.	279679259893272	398.	535148231273200	398.535148231273200
1.	462490321576523	455.	468659502157700	455.468659502157700
1.	645301383259773	512.	402170773041900	512.402170773041900
1.	828112444943024	569.	335682043926300	569.335682043926300
2.	010923506626274	626.	269193314810800	626.269193314810800
2.	193734568309524	681.	237086227549800	681.237086227549800
2.	193734568309524	681.	237086227549800	681.237086227549800
2.	381401047645119	722.	635495925452400	722.635495925452400
2.	590010162404106	730.	436093201271700	730.436093201271700
2.	857897996451327	732.	207537240198000	732.207537240198000
3.	161134004005159	734.	212725791889500	734.212725791889500
3.	481080045551601	736.	328411672479200	736.328411672479200
3.	811274276377684	738.	511865071790800	738.511865071790800
4.	150336800936314	740.	753961246441200	740.753961246441200
4.	498573843023380	743.	056725142130500	743.056725142130500
4.	856619319048154	745.	424348615679800	745.424348615679800
5.	224997568134856	747.	860298929495500	747.860298929495500
5.	604020710937425	750.	366640023038000	750.366640023038000
5.	993786143513074	752.	944015940728600	752.944015940728600
6.	394193274290648	755.	591761507383800	755.591761507383800
6.	804960151946739	758.	308012282265500	758.308012282265500
7.	225644705337017	761.	089845010959500	761.089845010959500
7.	655662030335824	763.	933391936908500	763.933391936908500
8.	094309831130270	766.	834009035363000	766.834009035363000
8.	540781851743494	769.	786364831121800	769.786364831121800
8.	994197650015197	772.	784637282948400	772.784637282948400
9.	453618539278834	774.	068531885357900	774.068531885357900
9.	453618539278834	774.	068531885357900	774.068531885357900
9.	927775999273740	774.	627827676221700	774.627827676221700
10.	419063601865560	771.	802831205305300	771.802831205305300
10.	945884579410440	761.	255489788906300	761.255489788906300
11.	550675629937700	749.	147130464983700	749.147130464983700
12.	236049645926750	735.	425441214389900	735.425441214389900
13.	006779623567590	719.	994863161261700	719.994863161261700
13.	863636064857340	702.	839970291883700	702.839970291883700
14.	800454769408040	684.	084174408028700	684.084174408028700
15.	802123334380410	664.	030036871453600	664.030036871453600
16.	844194251519560	547.	761800876338300	547.761800876338300
18.	369560681182120	324.	729866435501700	324.729866435501700

(a) Desplazamiento y resistencia.

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda
.0000	0			
.3656	1			
.6809	2			
.9026	3			
1.0000	4			
.0000	0			
.3656	1			
.6809	2			
.9026	3			
1.0000	4			
.0000	0			
.3656	1			
.6809	2			
.9026	3			
1.0000	4			
.0000	0			
.3656	1			
.6809	2			
.9026	3			
1.0000	4			
.0000	0			
.3663	1			
.6813	2			
.9027	3			
1.0000	4			
.0000	0			
.3696	1			
.6840	2			
.9035	3			
1.0000	4			
.0000	0			
.3774	1			
.6906	2			
.9056	3			
1.0000	4			
.0000	0			
.3934	1			
.7039	2			
.9098	3			

(b) Evolución de la forma modal.

Figura A1.10. Archivos “CurvaMamposteria” y “EvolForModal”.

En la Figura A1.11a se observan algunos de los valores de las matrices de rigidez de toda la estructura y en la Figura A1.11b los valores de desplazamiento y resistencia de muro 17 en el primer nivel.

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda
648.820	-324.410	.000	.000	
-324.410	648.820	-324.410	.000	
.000	-324.410	648.820	-324.410	
.000	.000	-324.410	324.410	
648.820	-324.410	.000	.000	
-324.410	648.820	-324.410	.000	
.000	-324.410	648.820	-324.410	
.000	.000	-324.410	324.410	
648.820	-324.410	.000	.000	
-324.410	648.820	-324.410	.000	
.000	-324.410	648.820	-324.410	
.000	.000	-324.410	324.410	
648.820	-324.410	.000	.000	
-324.410	648.820	-324.410	.000	
.000	-324.410	648.820	-324.410	
.000	.000	-324.410	324.410	
648.820	-324.410	.000	.000	
-324.410	648.820	-324.410	.000	
.000	-324.410	648.820	-324.410	
.000	.000	-324.410	324.410	
648.820	-324.410	.000	.000	
-324.410	648.820	-324.410	.000	
.000	-324.410	648.820	-324.410	
.000	.000	-324.410	324.410	

(a) Matrices de rigidez.

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda
7.679999782794766E-006	2.221806894516592E-004			
1.755003742020185E-001	5.077186880471384			
3.509989934179390E-001	10.154322989584400			
5.264976126338594E-001	15.231459098697410			
7.019962318497799E-001	20.308595207810430			
8.774948510657002E-001	25.385731316923440			
1.052993470281621	30.462867426036460			
1.228492089497541	35.540003535149470			
1.403990708713462	40.617139644262490			
1.579489327929382	45.694275753375490			
1.754987947145303	50.771411862488510			
1.930486566361223	55.848547971601530			
2.105985185577143	60.925684080714540			
2.286145005739314	66.137667698838000			
2.466409755907942	66.595911426015960			
2.743582076593274	66.786024475908050			
3.034688643844953	67.001223208012450			
3.341836843729537	67.228280617975200			
3.658823305322576	67.462610902149490			
3.984323328898861	67.703234784444150			
4.318630889302444	67.950369583947210			
4.662354546286228	68.204465174697830			
5.015997665409461	68.465893666577130			
5.379859882499928	68.734876563520400			
5.754034697772553	69.011482984984110			
6.138425543319023	69.295641543738380			
6.532761745868868	69.587152146239580			
6.936618917123536	69.885701066058810			
7.349435549122391	70.190873211903820			
7.770537437885060	70.50210182645640			
8.199150577673755	70.819019799322500			
8.634429744014589	71.140797234961840			
9.075473797707680	71.466836327975100			
9.530664959302790	71.803333583139080			
10.002301057790930	72.076297194847140			
10.508049196234020	71.135721306148580			
11.088648604740190	70.055939171280660			
11.746607660089680	68.832285783019560			
12.486508438624890	67.456239527146220			
13.309090622263040	65.926424764436750			
14.208436578631720	64.253846937926110			
15.170038401005200	62.465487436618970			
16.170426481458780	60.604994364488800			
17.634778253934830	57.881634919204370			

(b) Desplazamiento y resistencia de muro seleccionado.

Figura A1.11. Archivos “Matrices de rigidez” y “Curva_Muro”.

En la Figura A1.12a se observan los valores de las envolventes de todos los muros en el ciclo de cálculo y en la Figura A1.12b los valores de las envolventes de todos los muros organizados por nivel y número de muro. En la Figura A1.13a corresponde a los valores de las envolventes de cada nivel de la estructura y la Figura A1.10b indica el nivel de falla, las ductilidades, coeficiente sísmico de desempeño y valores de resistencia.

Nivel	Muro	mm	kn
2	1 10	.7943E-05	.3672E-03
2	1 11	.7943E-05	.1554E-03
2	1 12	.7943E-05	.1137E-03
2	1 13	.7876E-05	.2378E-03
2	1 14	.7842E-05	.2786E-03
2	1 15	.7775E-05	.2347E-03
2	1 16	.7775E-05	.3595E-03
2	2 10	.7489E-05	.4972E-03
2	2 11	.7489E-05	.2154E-03
2	2 12	.7489E-05	.1594E-03
2	2 13	.7449E-05	.3262E-03
2	2 14	.7429E-05	.3813E-03
2	2 15	.7390E-05	.3236E-03
2	2 16	.7390E-05	.4907E-03
3	1 10	.3615E+00	.1671E+02
3	1 11	.3615E+00	.7073E+01
3	1 12	.3615E+00	.5173E+01
3	1 13	.3584E+00	.1082E+02
3	1 14	.3569E+00	.1268E+02
3	1 15	.3539E+00	.1068E+02
3	1 16	.3539E+00	.1636E+02
3	2 10	.1272E+00	.8448E+01
3	2 11	.1272E+00	.3660E+01
3	2 12	.1272E+00	.2790E+01
3	2 13	.1266E+00	.5543E+01
3	2 14	.1262E+00	.6478E+01
3	2 15	.1255E+00	.5498E+01
3	2 16	.1255E+00	.8335E+01
4	1 10	.7230E+00	.3343E+02
4	1 11	.7230E+00	.1413E+02
4	1 12	.7230E+00	.1035E+02
4	1 13	.7169E+00	.2164E+02
4	1 14	.7138E+00	.2536E+02
4	1 15	.7077E+00	.2137E+02
4	1 16	.7077E+00	.3272E+02
4	2 10	.2545E+00	.1690E+02
4	2 11	.2545E+00	.7320E+01
4	2 12	.2545E+00	.5417E+01
4	2 13	.2539E+00	.1109E+02
4	2 14	.2524E+00	.1296E+02
4	2 15	.2511E+00	.1100E+02
4	2 16	.2511E+00	.1667E+02
5	1 10	.1084E+01	.5014E+02
5	1 11	.1084E+01	.2122E+02
5	1 12	.1084E+01	.1552E+02
5	1 13	.1075E+01	.3247E+02
5	1 14	.1074E+01	.3804E+02
5	1 15	.1062E+01	.3205E+02
5	1 16	.1062E+01	.4908E+02

(a) Valores de envolventes de muros.

Nivel	Muro	mm	kn
1	1 11	.7680E-05	.2222E-03
1	1 11	.1755E+00	.5077E+01
1	1 11	.3510E+00	.1015E+02
1	1 11	.5265E+00	.1523E+02
1	1 11	.7020E+00	.2031E+02
1	1 11	.8775E+00	.2539E+02
1	1 11	.1053E+01	.3048E+02
1	1 11	.1228E+01	.3554E+02
1	1 11	.1404E+01	.4062E+02
1	1 11	.1579E+01	.4569E+02
1	1 11	.1755E+01	.5077E+02
1	1 11	.1930E+01	.5585E+02
1	1 11	.2106E+01	.6093E+02
1	1 11	.2286E+01	.6614E+02
1	1 11	.2486E+01	.6660E+02
1	1 11	.2744E+01	.6738E+02
1	1 11	.3035E+01	.6700E+02
1	1 11	.3342E+01	.6723E+02
1	1 11	.3659E+01	.6746E+02
1	1 11	.3984E+01	.6770E+02
1	1 11	.4319E+01	.6795E+02
1	1 11	.4662E+01	.6820E+02
1	1 11	.5016E+01	.6847E+02
1	1 11	.5380E+01	.6873E+02
1	1 11	.5744E+01	.6901E+02
1	1 11	.6138E+01	.6930E+02
1	1 11	.6533E+01	.6959E+02
1	1 11	.6937E+01	.6988E+02
1	1 11	.7349E+01	.7019E+02
1	1 11	.7771E+01	.7050E+02
1	1 11	.8199E+01	.7082E+02
1	1 11	.8634E+01	.7114E+02
1	1 11	.9075E+01	.7147E+02
1	1 11	.9531E+01	.7180E+02
1	1 11	.1000E+02	.7208E+02
1	1 11	.1051E+02	.7114E+02
1	1 11	.1109E+02	.7006E+02
1	1 11	.1175E+02	.6883E+02
1	1 11	.1249E+02	.6746E+02
1	1 11	.1321E+02	.6593E+02
1	1 11	.1421E+02	.6425E+02
1	1 11	.1517E+02	.6247E+02
1	1 11	.1617E+02	.6060E+02
1	1 11	.1763E+02	.5788E+02
2	1 12	.7680E-05	.2222E-03
2	1 12	.1755E+00	.5077E+01
2	1 12	.3510E+00	.1015E+02
2	1 12	.5265E+00	.1523E+02
2	1 12	.7020E+00	.2031E+02
2	1 12	.8775E+00	.2539E+02
2	1 12	.1053E+01	.3048E+02
2	1 12	.1228E+01	.3554E+02
2	1 12	.1404E+01	.4062E+02
2	1 12	.1579E+01	.4569E+02

(b) Valores ordenados de envolventes de muros.

Figura A1.12. Archivos "Envolvente_Muros" y "Muros".

nivel	0.000000000000000E+000	0.000000000000000E+000
1	1.249999992403161E-006	4.857461553190307E-003
1	1.82118897917693E-001	56.934080095966620
1	3.656239514770198E-001	113.867591876851000
1	5.484350131602703E-001	170.801103147735500
1	7.132460748418200E-001	227.734614418651900
1	9.140571365267712E-001	284.668125689504300
1	1.09866198210002E+001	341.601636960386700
1	1.27967925989327E+001	398.535348232273200
1	1.462490321576523E+001	455.468659502157700
1	1.64530138325973E+001	512.402170730041900
1	1.828112444943024E+001	569.335682043926300
1	2.010923506626274E+001	626.269192314810800
1	2.19273456309524E+001	681.237086227549800
1	2.193734568309524E+001	681.237086227549800
1	2.381401047645119E+001	722.635495325452400
1	2.590010162404106E+001	730.436093202271700
1	2.857897996451327E+001	732.207537240298000
1	3.145114000400519E+001	734.212757988895000
1	3.481090045551601E+001	736.328411672479200
1	3.812274271637684E+001	738.450365077980800
1	4.150336800936314E+001	740.573961246441200
1	4.498573843023390E+001	741.056725142130500
1	4.856619319048314E+001	745.445348615679800
1	5.224997568134856E+001	747.860298929495500
1	5.604020710917425E+001	750.346640023038000
1	5.993786141313074E+001	752.944059407286000
1	6.394193274290648E+001	755.591761507383800
1	6.804966151946719E+001	758.308012282265000
1	7.235644705337017E+001	761.089845010959500
1	7.655662030335824E+001	763.933919369085000
1	8.094309811100270E+001	766.814009013613000
1	8.540781851743494E+001	769.786364831218000
1	8.994197650015197E+001	772.784637282948400
1	9.453618539278834E+001	774.068511886357900
1	9.927759892737803E+001	774.068511886357900
1	10.419061801865560E+001	774.068511886357900
1	10.945884579410440E+001	776.255489789063000
1	11.550675629937700E+001	779.147130464983700
1	12.236049645926750E+001	735.425441214389900
1	13.006735623567590E+001	719.994663161261700
1	13.863636064857340E+001	702.839970291883700
1	14.800454769408040E+001	684.084744080257000
1	15.80212334380410E+001	664.020036674518600
1	16.844194251519560E+001	547.761800876338300
1	18.86956681182120E+001	324.729866435501700
2	0.000000000000000E+000	0.000000000000000E+000
2	1.249999992403161E-006	4.857461553190307E-003
2	1.576593065097700E-001	49.100409031487670
2	3.153703644411212E-001	98.200270638213500
2	4.729747663745803E-001	147.300245096155000
2	6.306324963070356E-001	196.400163128488600
2	7.88290262394905E-001	245.500081160822000

(a) Valores de envolvente de cada nivel

Nivel de falla	Ductilidad planta baja	Ductilidad global
1	6.92	3.22
Q1	2.33	
ce	.66	
Vagr	729.735 kN	
Vmax	775.682 kN	
Vu	620.546 kN	
dagr	2.54315 mm	
dmx	9.94486 mm	
du	16.22225 mm	

(b) Nivel de falla, ductilidades, ce y resistencias.

Figura A1.13. Archivos "envolvente_niveles" y "Ductilidad".

Nivel	Muro	kN
1	1	205.286403228950300
1	2	205.286403228950300
1	3	66.873601051855020
1	4	66.873601051855020
1	5	292.377604598808000
1	6	292.377604598808000
1	7	118.195201859092600
1	8	118.195201859092600
1	9	205.286403228950300
1	10	205.286403228950300
1	11	195.955203082179800
1	12	195.955203082179800
1	13	463.046162209067900
1	14	463.046162209067900
1	15	76.204801198625490
1	16	76.204801198625490
1	17	430.992925588792100
1	18	430.992925588792100
1	19	77.760001223087230
1	20	359.251205650663100
1	21	469.035087296180400
1	22	469.035087296180400
1	23	359.251205650663100
1	24	77.760001223087230
1	25	430.992925588792100
1	26	430.992925588792100
1	27	76.204801198625490
1	28	76.204801198625490
1	29	463.046162209067900
1	30	463.046162209067900
2	1	205.286403228950300
2	2	205.286403228950300
2	4	66.873601051855020
2	5	66.873601051855020
2	6	292.377604598808000
2	7	292.377604598808000
2	8	118.195201859092600
2	9	118.195201859092600
2	10	205.286403228950300
2	11	205.286403228950300
2	12	195.955203082179800
2	13	195.955203082179800
2	14	469.972614794515600
2	15	469.972614794515600
2	16	76.204801198625490
2	17	438.566406898212100
2	18	438.566406898212100
2	19	77.760001223087230
2	20	359.251205650663100
2	21	476.354083367461900
2	22	476.354083367461900

(a) Resultados a compresión y carga axial de cada muro.

Nivel	Muro	Resistencia
1	11	.7201E+02
1	12	.7201E+02
1	13	.6830E+02
1	14	.1162E+03
1	15	.1163E+03
1	16	.1227E+03
1	17	.7201E+02
1	18	.7201E+02
1	19	.6830E+02
2	11	.5975E+02
2	12	.5975E+02
2	13	.5722E+02
2	14	.9793E+02
2	15	.9784E+02
2	16	.1054E+03
2	17	.5975E+02
2	18	.5975E+02
2	19	.5722E+02
3	11	.4318E+02
3	12	.4318E+02
3	13	.4318E+02
3	14	.7128E+02
3	15	.6960E+02
3	16	.8427E+02
3	17	.4318E+02
3	18	.4318E+02
3	19	.4318E+02
4	11	.1903E+02
4	12	.1903E+02
4	13	.1903E+02
4	14	.3141E+02
4	15	.3067E+02
4	16	.3713E+02
4	17	.1903E+02
4	18	.1903E+02
4	19	.1903E+02

(b) Resistencia máxima ante carga lateral de cada muro en cada nivel.

Figura A1.14. Archivos “Compresion_Muros” y “SecFaLat”.

Con los valores de los archivos obtenidos del análisis se realizan las gráficas correspondientes. En la Figura A1.15 se observa la gráfica de la envolvente de resistencia lateral de piso de la estructura y en la A1.16 la evolución de la forma modal, la cual indica que la falla ocurre en el primer nivel. En la Figura A1.17 se observa la envolvente de resistencia lateral del muro indicado en el archivo 1mX.txt, 17 en el primer nivel. El archivo de ductilidades indica que el factor de comportamiento sísmico es $Q = 2.33$.

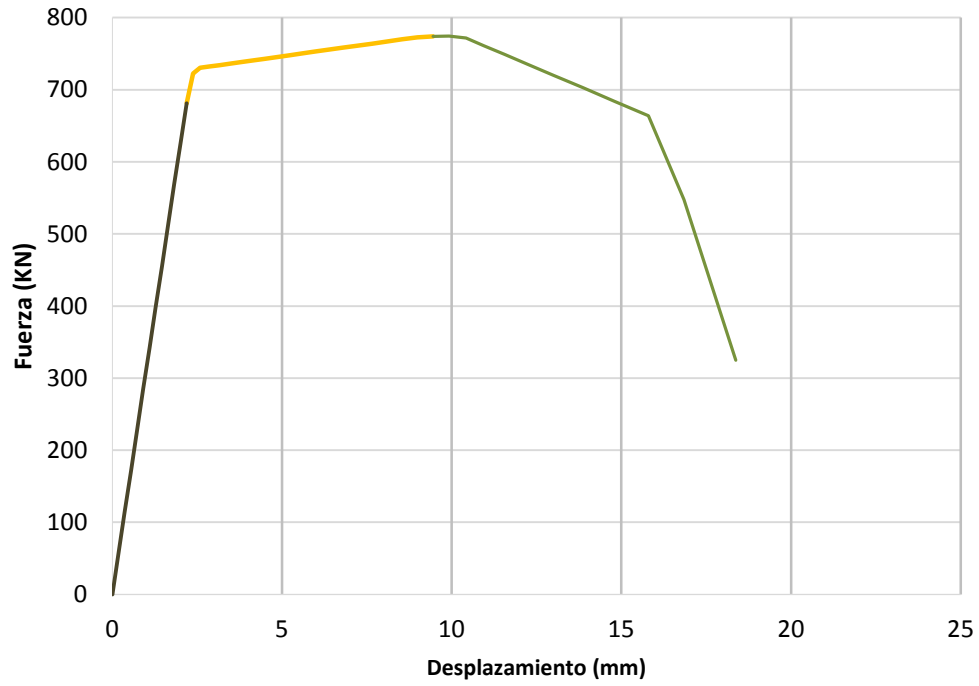


Figura A1.15. Envolvente de resistencia en la dirección X.

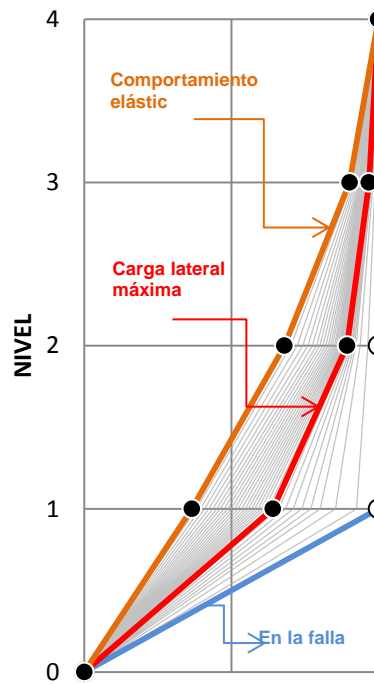


Figura A1.16. Evolución de la forma modal.

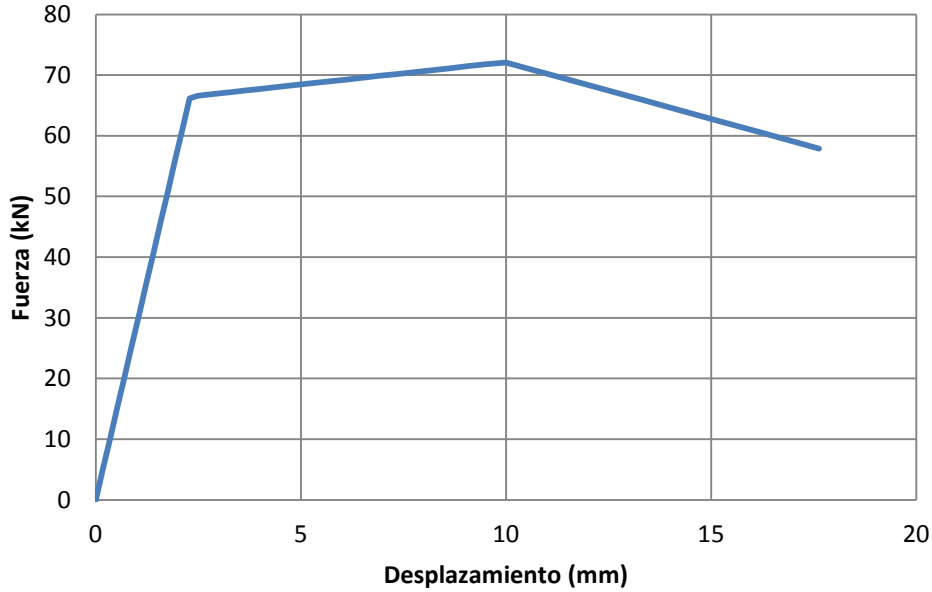


Figura A1.17. Envolvente de resistencia lateral de muro 17 en el nivel 1.

En la Figura A1.18 se observa la secuencia de falla ante carga lateral de los muros en el nivel de falla, en ella se grafica en el eje de las ordenadas la resistencia máxima ante carga lateral y en el de las abscisas en la parte superior el número de muro y en la inferior la secuencia. El primer muro en llegar a la falla es el que tiene menor resistencia ante fuerza lateral y el último en fallar el que tiene mayor resistencia. Los primeros en fallar simultáneamente son el 13 y 19, el último en fallar es el 19.

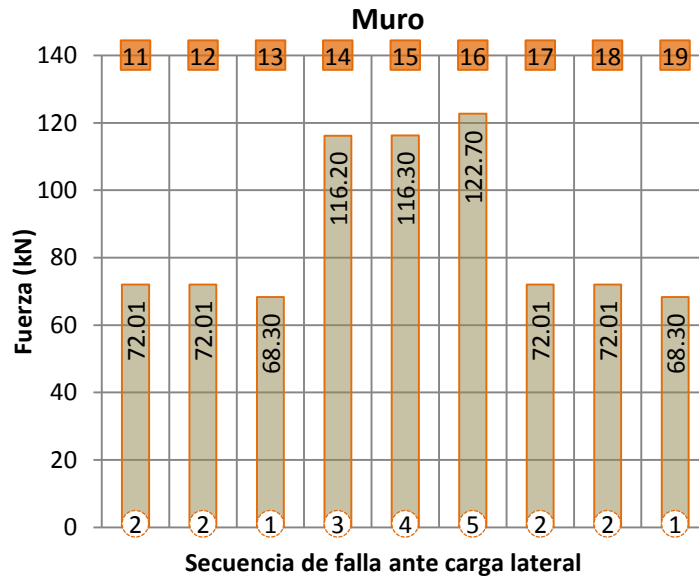


Figura A1.18. Secuencia de falla en muros ante carga lateral.

Envolvente de resistencia lateral de piso en dirección Y.

En esta dirección de análisis solo cambian los datos de centro de gravedad de cada muro y los muros que se encuentran en dirección de análisis el resto de los datos son los mismos utilizados en sentido X.

Se obtienen las coordenadas de centro de gravedad de todos los muros de la Figura A1.19 y se indican los muros 1 a 10 en este sentido de análisis colocando un 1, para el resto se coloca 0, en la Tabla A1.7 se indican estos datos.

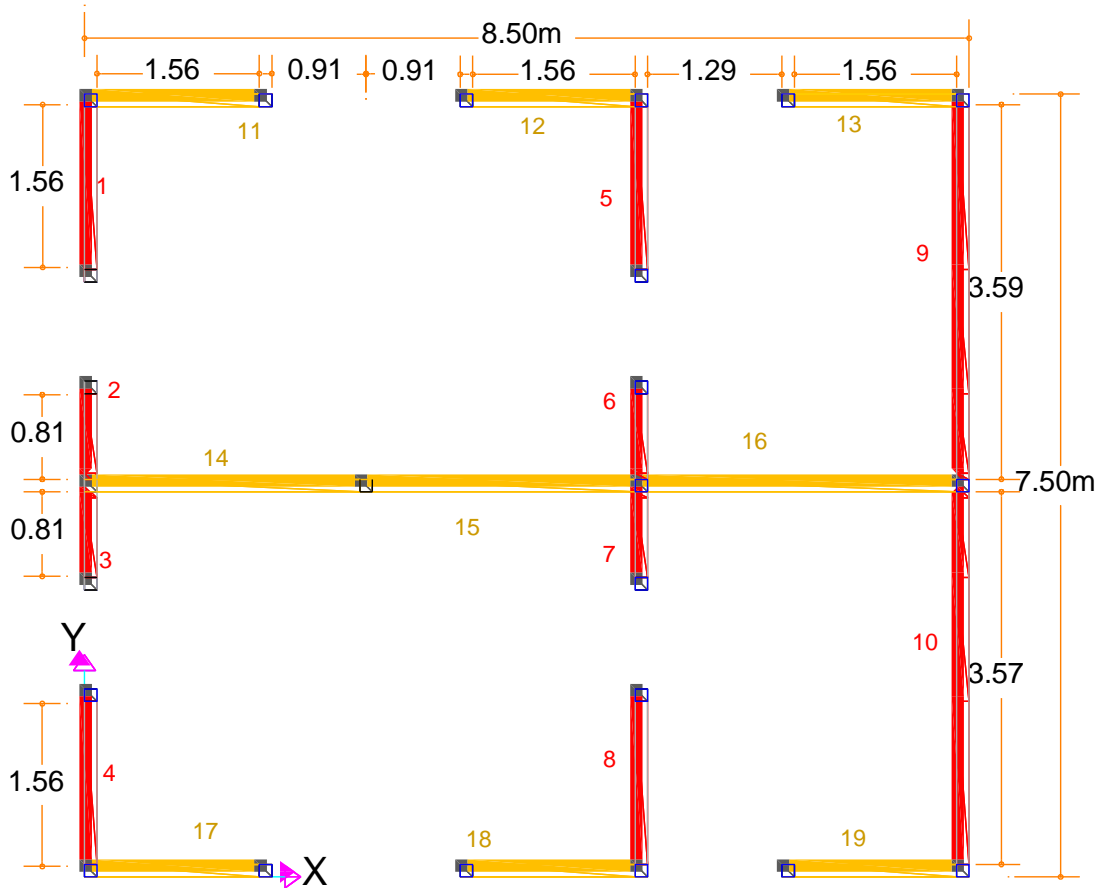


Figura A1.19. Muros 1 a 10 en sentido vertical.

Tabla A1.7. Centro de gravedad de cada muro y dirección de análisis.

Número de muro	Coordenada (m)		Sa
	x	y	
1	0.060	6.600	1
2	0.060	4.220	1
3	0.060	3.280	1
4	0.060	0.900	1
5	5.350	6.600	1
6	5.350	4.220	1
7	5.350	3.280	1
8	5.350	0.900	1
9	8.440	5.595	1
10	8.440	1.905	1
11	0.900	7.440	0
12	4.510	7.440	0
13	7.600	7.440	0
14	1.383	3.750	0
15	4.028	3.750	0
16	6.895	3.750	0
17	0.900	0.060	0
18	4.510	0.060	0
19	7.600	0.060	0

En la Figura A1.20 se observa el archivo de datos para análisis en sentido Y llamado 1mY.txt, este archivo se guarda dentro de la carpeta donde se encuentra el programa, posteriormente se inicia *ENRELA_MA_HHB* y se introduce el nombre del archivo con extensión. Al finalizar el análisis el programa proporciona los mismos archivos a los indicados en el análisis en dirección X pero con los valores correspondientes a este sentido.

Sección 1															
63.75	0.10	530	650	1951.5											
4	19	0.12	1.5	1200	480	0.35	0.00794	200000	15	18203.02	420	1	1		
Sección 2															
2.50															
2.50															
2.50															
2.50															
Sección 3															
0.060	6.600	1	3	3	0.12	0.12	1.56	2.35	1.0						
0.060	4.220	1	3	0	0.12	0.06	0.82	0.92	1.0						
0.060	3.280	1	3	3	0.06	0.12	0.82	0.92	1.0						
0.060	0.900	1	3	3	0.12	0.12	1.56	2.35	1.0						
5.350	6.600	1	3	3	0.12	0.12	1.56	3.75	0.8						
5.350	4.220	1	3	0	0.12	0.06	0.82	1.85	0.8						
5.350	3.280	1	3	3	0.06	0.12	0.82	1.85	0.8						
5.350	0.900	1	3	3	0.12	0.12	1.56	3.75	0.8						
8.440	5.595	1	3	0	0.12	0.06	3.57	3.63	1.0						
8.440	1.905	1	3	3	0.06	0.12	3.57	3.63	1.0						
0.900	7.440	0	3	3	0.12	0.12	1.56	3.20	1.0						
4.510	7.440	0	3	3	0.12	0.12	1.56	3.20	1.0						
7.600	7.440	0	3	3	0.12	0.12	1.56	2.70	1.8						
1.383	3.750	0	3	3	0.06	0.12	2.53	5.60	0.8						
4.028	3.750	0	3	0	0.06	0.06	2.53	5.60	0.8						
6.895	3.750	0	3	0	0.12	0.06	2.97	4.80	0.8						
0.900	0.060	0	3	3	0.12	0.12	1.56	3.20	1.0						
4.510	0.060	0	3	3	0.12	0.12	1.56	3.20	1.0						
7.600	0.060	0	3	3	0.12	0.12	1.56	2.70	1.0						

Figura A1.20. Archivo de datos para el análisis en dirección Y.

La Figura A1.21 corresponde a la envolvente de resistencia lateral de piso en dirección Y, la A1.22 es la envolvente del muro indicado en el archivo de datos que corresponde al número 1 en el primer nivel. En el archivo “Ductilidad” se tiene el valor de $Q = 2.25$.

En la Figuras A1.23a a A1.23c, se muestra la curva envolvente de resistencia lateral del Nivel 1, y el estado del comportamiento de los muros de los niveles 2, 3 y 4 respectivamente. Estas Figuras se obtienen del archivo “envolvente_niveles”.

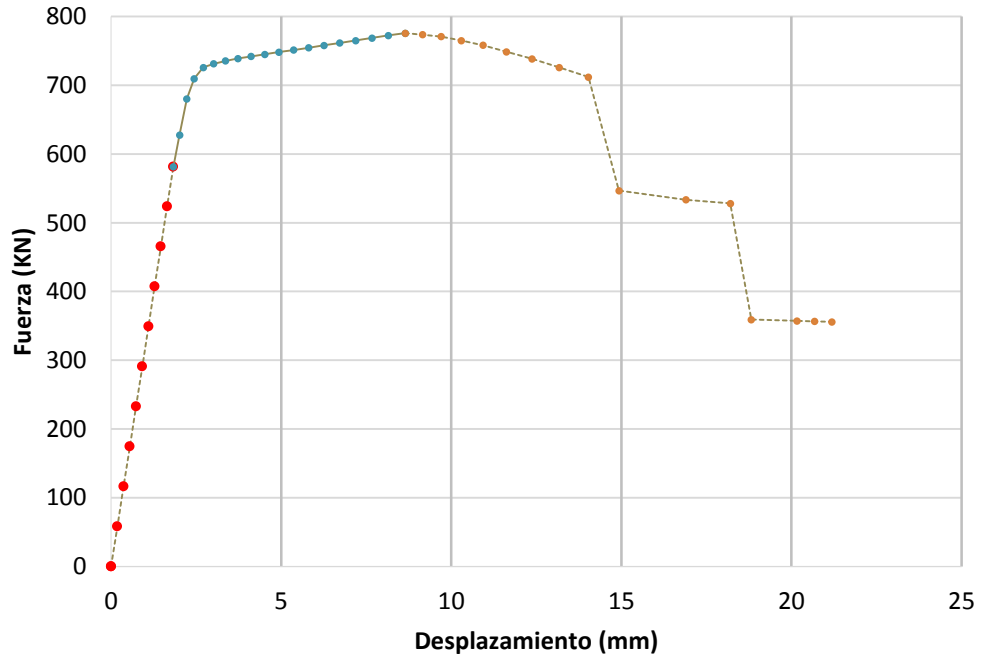


Figura A1.21. Envoltura de resistencia en la dirección Y.

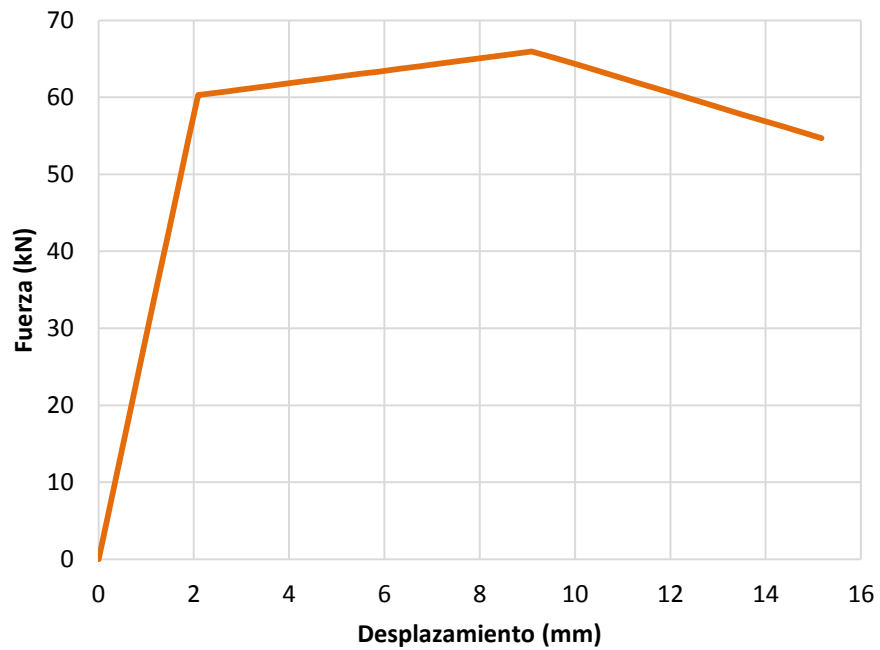
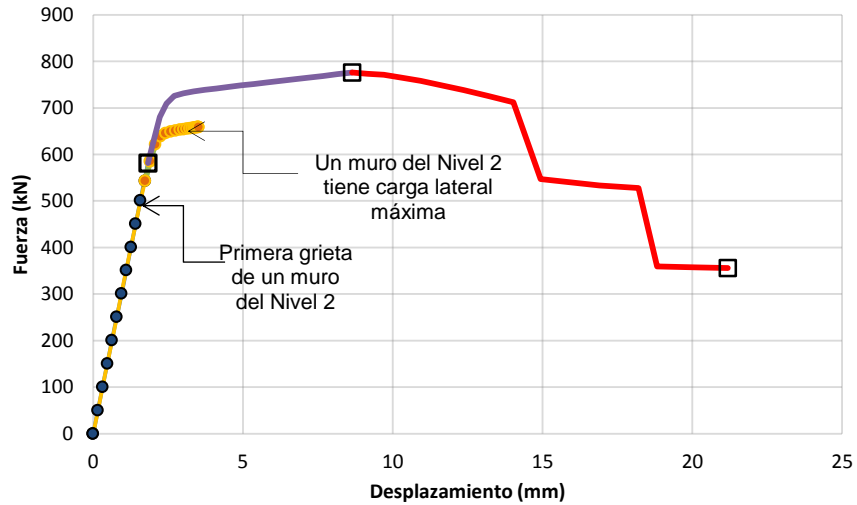
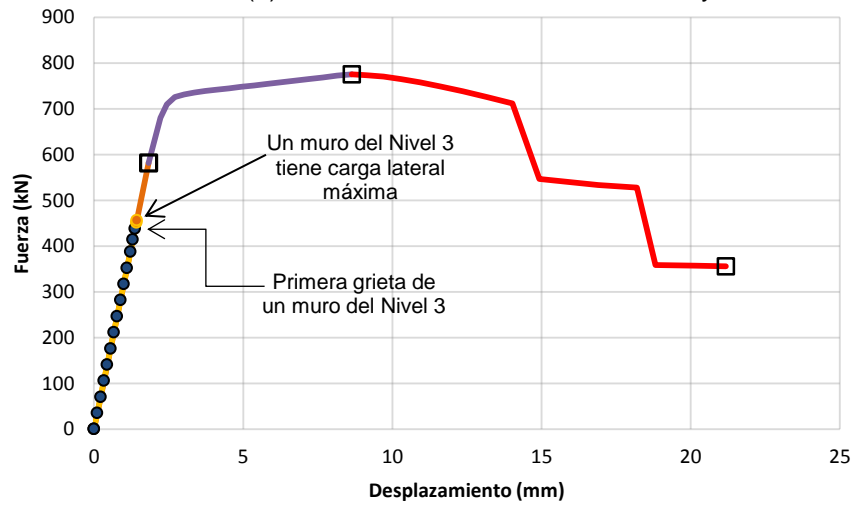


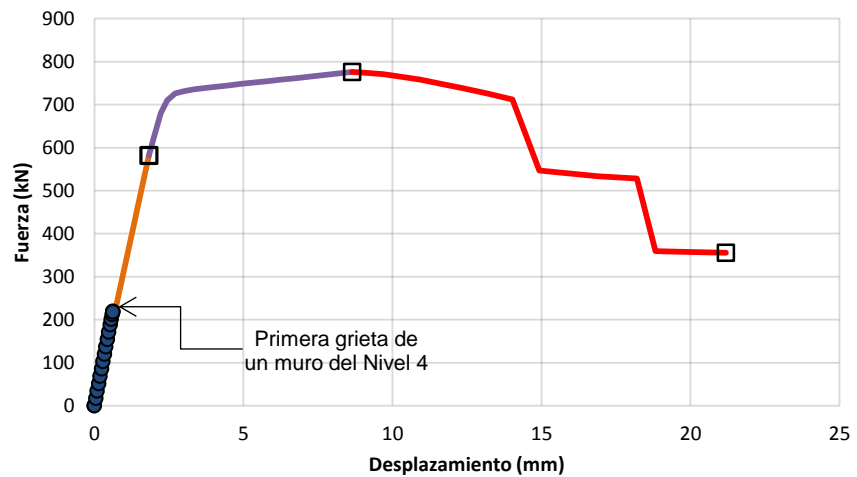
Figura A1.22. Envoltura de resistencia lateral del muro 1 en el nivel 1.



(a) Envolvente de resistencia, Nivel 1 y 2.



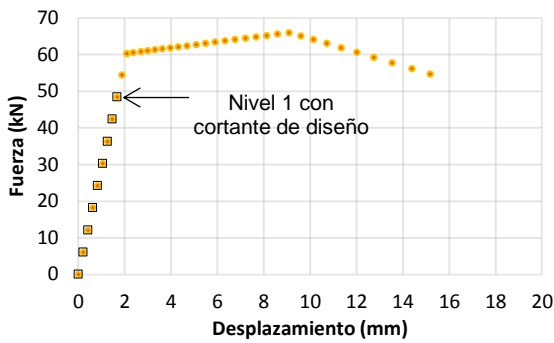
(b) Envolvente de resistencia, Nivel 1 y 3.



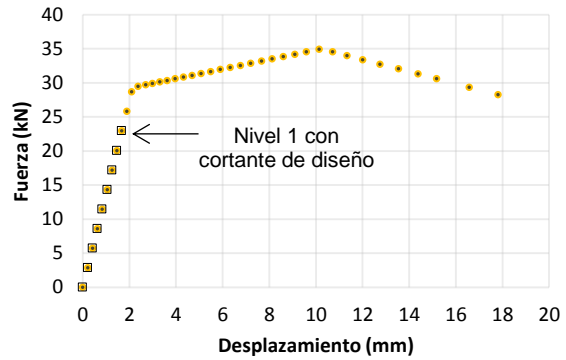
(c) Envolvente de resistencia, Nivel 1 y 4.

Figura A1.23. Envolventes de resistencia lateral de los diferentes niveles.

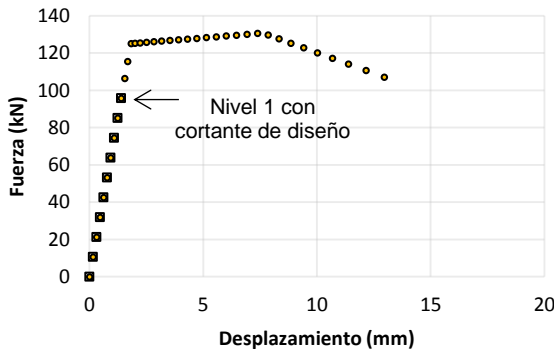
En las Figuras A1.24a a A1.24d, se observan las curvas envolventes de resistencia lateral de los muros 1, 2 y 10 de la planta baja del edificio, además se indica el punto en el que el nivel 1 de la estructura alcanza el cortante de diseño según las NTCM-RCDF (2004) es el 70% del valor de agrietamiento. Para el muro 1 el cortante de diseño es $1.1(0.7(60.28))=46.42$ kN, para el muro 2 es $11(0.7(29.48))=22.70$ kN y del muro 10 es $1.1(0.7(125.10))=96.33$ kN. En la Figura A1.24d se muestran las envolventes de resistencia lateral del muro No. 1 ubicado en los diferentes niveles de la estructura. Así se pueden determinar el estado límite de comportamiento que tiene cada muro en particular, la rotación y el estado de daño asociado. Estas graficas se obtienen de los valores del archivo “Muros”



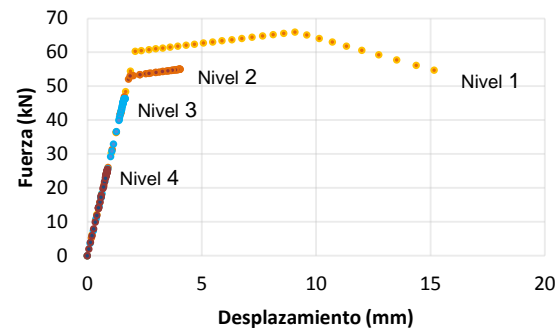
(a) Envolvente de resistencia muro No 1.



(b) Envolvente de resistencia muro No 2.



(c) Envolvente de resistencia muro No 10.



(d) Estado del muro No 1, en cada nivel.

Figura A1.24. Comparación de envolventes de resistencia lateral.

En la Figura A1.25 se observa la secuencia de falla ante carga lateral de los muros en el nivel de falla, en ella se grafica en el eje de las ordenadas la resistencia máxima ante carga lateral y en el de las abscisas en la parte superior el número de muro y en la inferior la secuencia. El primer muro en llegar a la falla es el que tiene menor resistencia ante fuerza lateral y el último en fallar el que tiene mayor resistencia. El primer muro en fallar es el 2 y los últimos el 9 y 10.

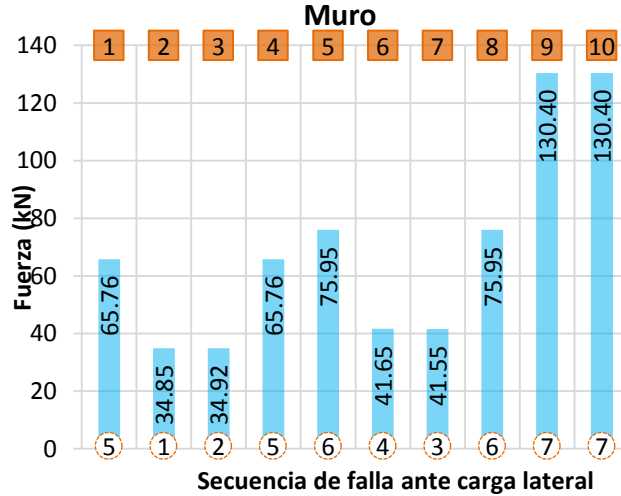


Figura A1.25. Secuencia de falla en muros ante carga lateral en dirección Y.

Envolvente de resistencia lateral de piso en direcciones X y Y.

En la Figura A1.26 se observan las gráficas superpuestas de los análisis en sentido X y Y, en ella se observa que las resistencias máximas son similares. En la Tabla A1.8 se indican los valores de ductilidades que proporciona el archivo “Ductilidades”. El cortante de diseño según las NTCS (2004) es $V_u = F_c c W_s$, $1.1(0.19(2164.50))=452.38$ kN.

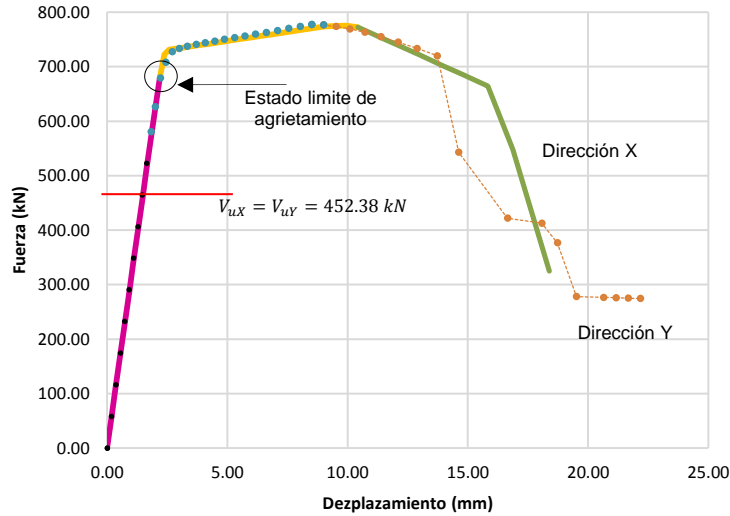


Figura A1.26. Envoltura de resistencia en las direcciones X y Y.

Tabla A1.8. Comparación de valores de ductilidad.

Dirección	μ_1	μ_u	Q
X	8.37	3.77	2.56
Y	11.59	4.97	2.99

APÉNDICE B1

MANUAL DE USUARIO PARA EL PROGRAMA:
ENRELA_COB_JC.f90

El programa “*ENRELA_COB_JC.f90*” evalúa la envolvente de resistencia lateral de piso para estructuras conformadas con muros de concreto reforzado con barras corrugadas de varios niveles, incluyendo las deformaciones por torsión y siguiendo el primer modo de vibrar, mediante un análisis paso a paso donde se incrementa el desplazamiento.

La metodología que utiliza para el cálculo de la resistencia y rigidez es la desarrollada por Carrillo et al, (2009) para un modelo trilineal de estructuras de concreto reforzado, donde se diferencian tres puntos clave: agrietamiento, máximo y último. Para el análisis del primer modo de vibrar se utiliza el método iterativo del vector inverso descrito por Chopra (1995) normalizado respecto al último nivel (azotea). Para la torsión sísmica se utiliza el procedimiento descrito por Chipol (2001).

En la Figura B1 se observa el diagrama de flujo. La Figura B1a se refiere al diagrama de flujo de la subrutina llamada “Resistencia y rigidez” que calcula la resistencia y rigidez de cada muro. La Figura B1b corresponde al diagrama de flujo de la subrutina llamada “Primer modo de vibrar” que calcula el primer modo de vibrar de la estructura.

En las Figura B1, B1a y B1b cada valor inicial se refiere a la descripción siguiente, **nn**: número de niveles, **nm**: número de muros, **t**: espesor de muros, **Ec**: módulo de elasticidad del concreto, **Gc**: módulo de cortante del concreto, **Es**: modulo elasticidad del acero, **f’c**: resistencia a compresión del concreto, **fyh**: fluencia del acero horizontal, **hm**: altura de nivel, **masa**: masa de casa piso, **xm**: coordenada en eje x, **ym**: coordenada en eje y, **sa**: sentido del análisis, **l**: longitud de muro, **fcm**: esfuerzo a compresión actuante en muro, **hm2**: altura de muro, **ph**: porcentaje de acero horizontal y **nh**: factor de eficiencia igual a 0.8.

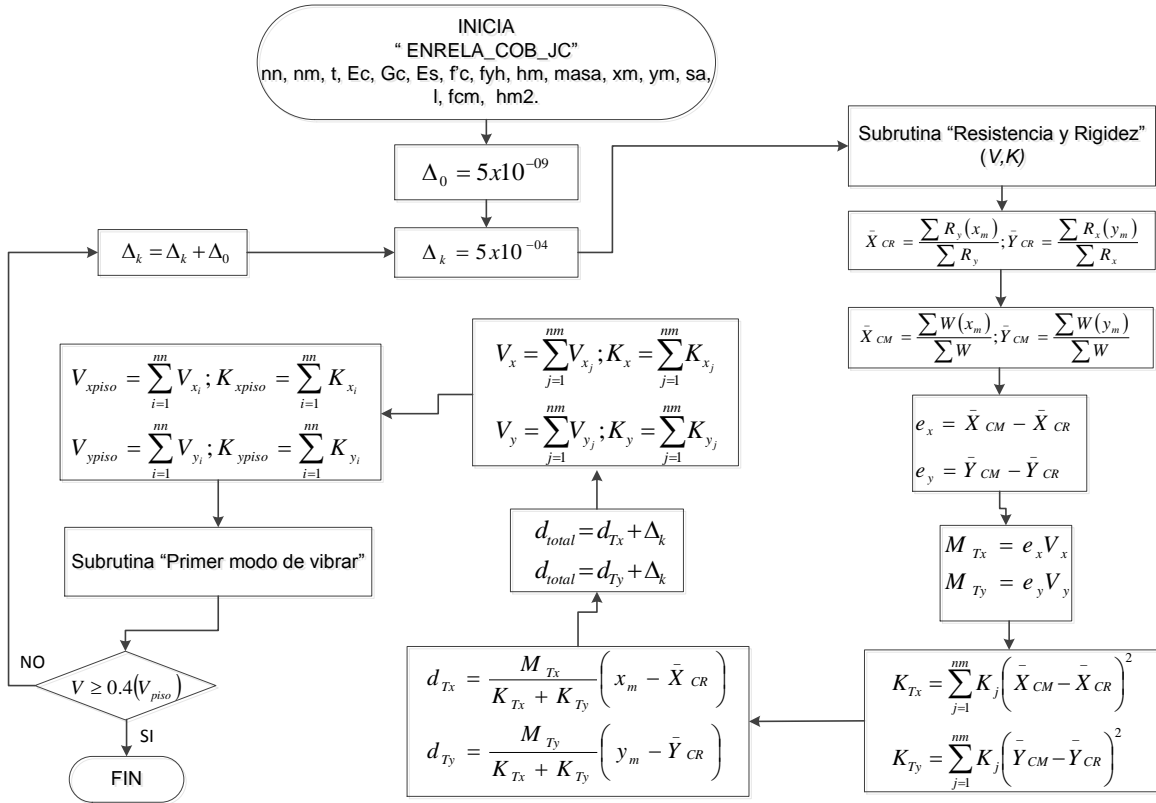


Figura B1. Diagrama de flujo de la metodología programada.

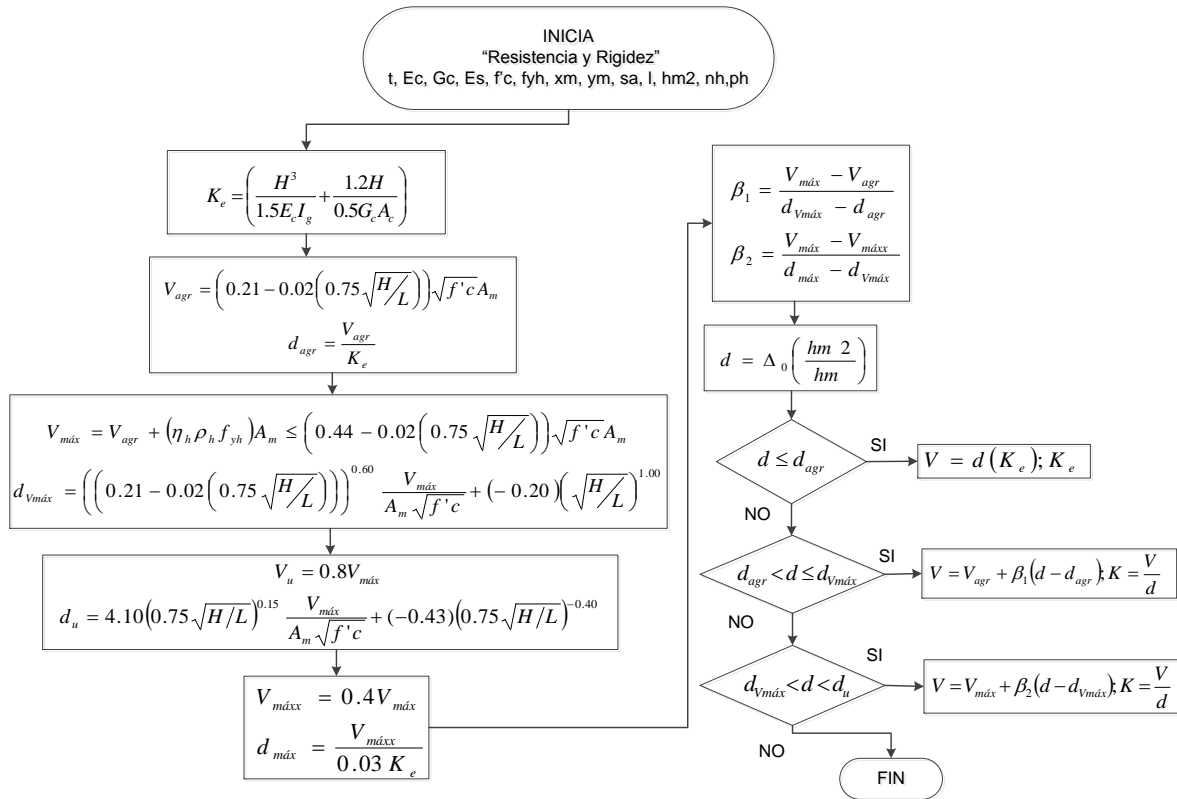


Figura B1a. Diagrama de flujo de la subrutina "Resistencia y Rigidez".

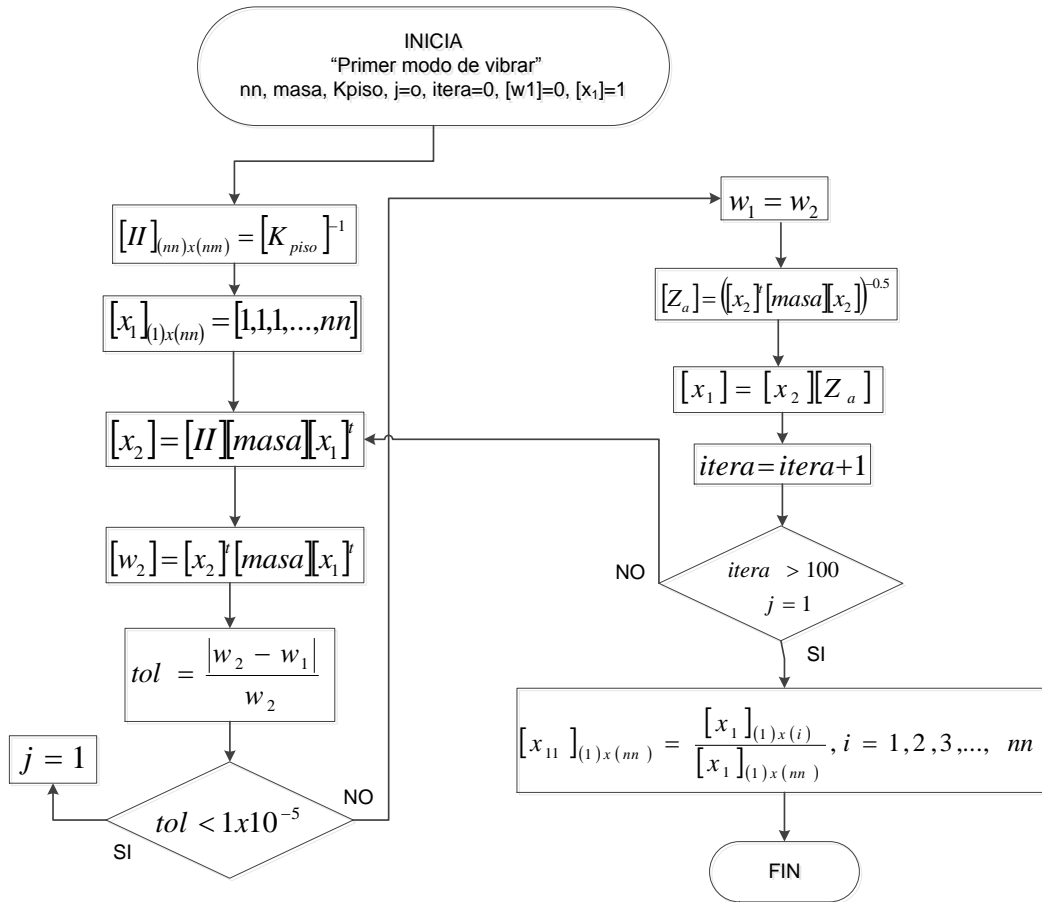


Figura B1b. Diagrama de flujo de la subrutina "Primer modo de vibrar".

MANUAL DE USUARIO PARA EL PROGRAMA *ENRELA_COB_JC*.

Para utilizar este programa se siguen los siguientes pasos: (1) se crea un archivo con los datos de la estructura, este archivo debe tener un nombre con un máximo de 20 caracteres alfanuméricos con extensión .txt y se debe guardar dentro de la misma carpeta donde se encuentra el ejecutable. (2) Ejecutar el programa *ENRELA_COB_JC.EXE* e ingresar el nombre del archivo de datos creado con extensión. (3) Una vez realizado los pasos anteriores dentro de la carpeta el programa proporciona archivos diferentes con la misma extensión que el archivo de datos, estos pueden abrirse directamente o a través de Excel para graficar los datos de interés. A continuación se indica cómo crear el archivo de datos y se describen los archivos de resultados.

ARCHIVO DE DATOS.

Para ejecutar el programa primero se debe crear un archivo con la denominación .txt (bloc de notas) con un máximo de 20 caracteres alfanuméricos, en el se incluyen todas las características de la estructura y se ingresan en 4 secciones como se muestra a continuación.

Sección 1.

Se ingresan las cargas de servicio en el siguiente orden:

Apta tlosa Waz Went Wmuro

donde:

Apta= área en planta (m^2)

tlosa= espesor de losa (m)

Waz=carga de servicio en azotea (kg/m^2)

Went= carga de servicio de entrepiso (kg/m^2)

Wmuro=peso volumétrico de muro (kg/m^3)

Sección 2.

Ingresa características y propiedades comunes de los muros en el siguiente orden:

nn nm t fcc ec fyh es ph nh nnmm mn

donde:

nn = número de niveles

nm = Número de muros por nivel

t = Espesor de los muros (m).

f_{cc} = Resistencia a compresión ($f'c$) del concreto (Mpa).

e_c = Modulo de elasticidad del concreto (Mpa).

f_{yh} = Fluencia (f_y) de acero de refuerzo horizontal (Mpa).

e_s = Modulo de elasticidad del acero (Mpa).

p_h = porcentaje de acero horizontal.

n_h = tipo de refuerzo horizontal:

n_{nmm} = número de muro del que se desea obtener la envolvente. Este debe estar en el sentido del análisis.

m_n = envolvente de resistencia del muro n_{nmm} en el nivel m_n . Este debe estar en el sentido del análisis.

Sección 3.

Se ingresa la altura de cada nivel:

h_m

donde:

h_m = altura del nivel, incluyendo espesor de losa (m)

Sección 4.

Se ingresan las coordenadas de cada muro, así como los muros que se encuentran en la dirección del análisis en el siguiente orden:

$x_m, y_m, s_a, l, atrib, K$

donde

x_m = distancia en x (m)

y_m = distancia en y (m)

s_a = sentido del análisis:

1 si el muro está en el sentido del análisis.

0 si el muro esta en sentido opuesto al análisis.

l = longitud de cada muro (m).

$atrib$ = área tributaria de losa que le corresponde a cada muro (m^2).

K = factor de altura efectiva del muro.

ARCHIVOS DE RESULTADOS.

El programa proporciona varios archivos de resultados, estos archivos se pueden consultar directamente o abrirlos através de Excel para poder manejar los datos o graficarlos. A continuación se describe cada uno de ellos.

12. “curva_estructura.txt”, este archivo contiene los valores de resistencia y desplazamiento distribuidos en dos columnas, la de la derecha se refiere a la resistencia (kN) y la de la izquierda a los desplazamientos (mm). Los valores corresponden a los cálculos de toda la edificación.
13. “evolformodal.txt”, este archivo contiene la evolución de la forma moda y cuenta con dos columnas, del lado izquierdo corresponde a la evolución de la forma del primer modo de vibrar y del lado derecho representa el nivel de la estructura.
14. “matriz_rigidez.txt”, en este archivo se encuentran las matrices de rigidez de la estructura para cada incremento del desplazamiento hasta llegar a la falla.
15. “ductilidad.txt”, en este archivo se encuentran el valor de ductilidad de planta baja (μ_1), el valor de ductilidad global (μ_u), factor de comportamiento sísmico (Q), el coeficiente sísmico de desempeño (ce), el nivel en el que falla la estructura, los valores de resistencia al agrietamiento, máximo y último y sus respectivos desplazamientos.
16. “curva_muro.txt”, este archivo contiene los valores de resistencia y desplazamiento distribuidos en dos columnas, del lado derecho se refiere a la resistencia (kN) y del izquierdo a los desplazamientos (mm) para el muro indicado en el archivo de datos.

17. “envolvente_niveles.txt”, este archivo contiene tres columnas de valores, de izquierda a derecha, la primera corresponde a los valores de desplazamiento, la segunda de resistencia y la tercera indica en que intervalo se encuentra el valor de resistencia, el número 1 corresponde al intervalo de agrietamiento, el 2 al de resistencia máxima y el 3 al de resistencia última.
18. “envolvente_muros.txt”, este archivo contiene cinco columnas de valores, de izquierda a derecha, la primera indica el número de ciclo en que se calculan los valores, la segunda el nivel de la estructura, la tercera el número de muro, la cuarta el desplazamiento y la quinta la resistencia. El orden que se sigue es con el ciclo.
19. “Muros.txt”, este archivo contiene cuatro columnas de valores, de izquierda a derecha, la primera indica el nivel de la estructura, la segunda el número de muro, la tercera el desplazamiento y la cuarta la resistencia. El orden que se sigue es con relación al nivel de la estructura y al número de muro, el archivo para graficar algún muro de algún nivel.
20. “SecFaLat”, este archivo contiene los valores de resistencia máxima ante carga lateral de los muros, están distribuidos en dos columnas, de izquierda a derecha, la primera indica el nivel de la estructura, la segunda el número de muro y la tercera la resistencia máxima ante carga lateral.
21. “Compresion_Muros”, este archivo contiene los valores de la resistencia a compresión y carga axial de cada muro, también indica el número y nivel del muro que falla por carga axial. Los datos están distribuidos en tres columnas, de izquierda a derecha, la primera se refiere al nivel, la segunda el número de muro y a la tercera la resistencia a compresión o carga axial.

22. “Datos”, en este archivo están organizados una serie de datos que utiliza el programa durante su ejecución.

En pantalla se muestran los siguientes valores:

7. Resistencia a compresión de cada muro en cada nivel.
8. Carga axial de cada muro en cada nivel.
9. Las excentricidades de cada nivel.
10. El nivel en donde ocurre la falla.
11. La ductilidad de planta baja (m_1), global (μ) y el factor de comportamiento sísmico (Q).
12. El coeficiente sísmico de desempeño (ce).

Ejemplo 1.

Analizar la estructura de cuatro niveles mostrada en la Figura B2 con muros de concreto reforzado con barras corrugadas. El espesor de cada muro es de 10 cm y el porcentaje de acero en el alma es el mínimo estipulado en las NTCC-RCDF (2004), $p_{min} = 0.0025$. En la Tabla B1 se indican las propiedades de los materiales y en la B2 las características generales.

Tabla B1. Propiedades mecánicas de los materiales.

Material	Propiedad mecánica	Resistencia(Mpa)
Concreto	$f'c$	15
	Ec	9682.46
Acero	Fy	420
	Es	200000
	p_h	0.0025
	n_h	0.8

Tabla B2. Características generales de la estructura.

Característica	Datos
Ubicación	Zona III, DF
Coefficiente sísmico (c)	0.19
Uso	Oficinas
Entrepiso	2.50 m
Espesor de losa	0.10 m
Espesor de muros	0.10 m

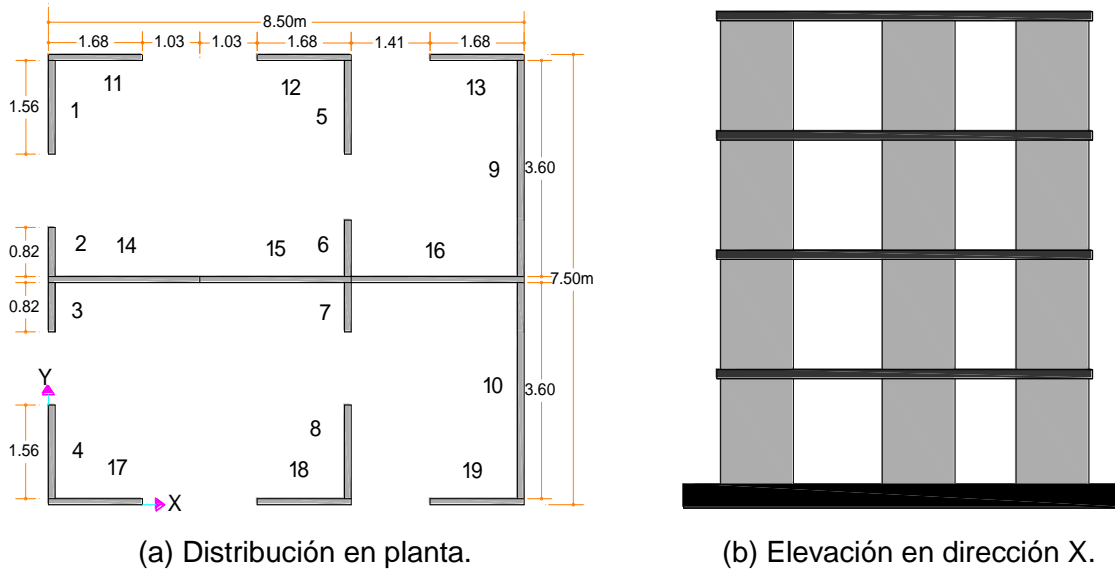


Figura B2. Planta y elevación de estructura de concreto reforzado.

Las áreas tributarias se calcularon como se observa en la Figura B3. Las cargas de servicio como se observa en la Tabla B3, el peso volumétrico de muro se toma como 2200 kg/m^3 .

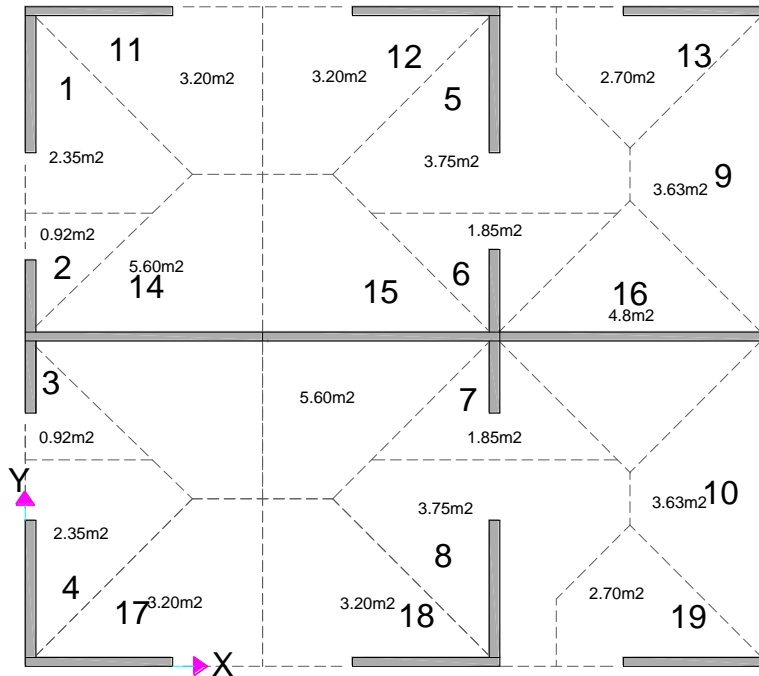


Figura B3. Áreas tributarias para la descarga de los muros.

Tabla B3. Cargas de servicio.

Nivel	Tipo	W	W_{tot}
		kg/m ²	
Azotea	Muerta	450.00	550.00
	Viva	100.00	
Entrepisos	Muerta	400.00	650.00
	Viva	250.00	

Envolvente de resistencia lateral de piso en dirección X.

Se gira 90° en sentido anti horario la Figura B2, de tal manera que los muros 11 al 19 se encuentren en sentido vertical como se observa en la Figura B4, posteriormente se obtienen las coordenadas del centro de gravedad de todos los muros y se indica que los muros 11 al 19 se encuentran en sentido del análisis (sa) colocando el número 1, para los muros que no están en sentido de análisis se coloca el número 0, como se observa en la Tabla B4.

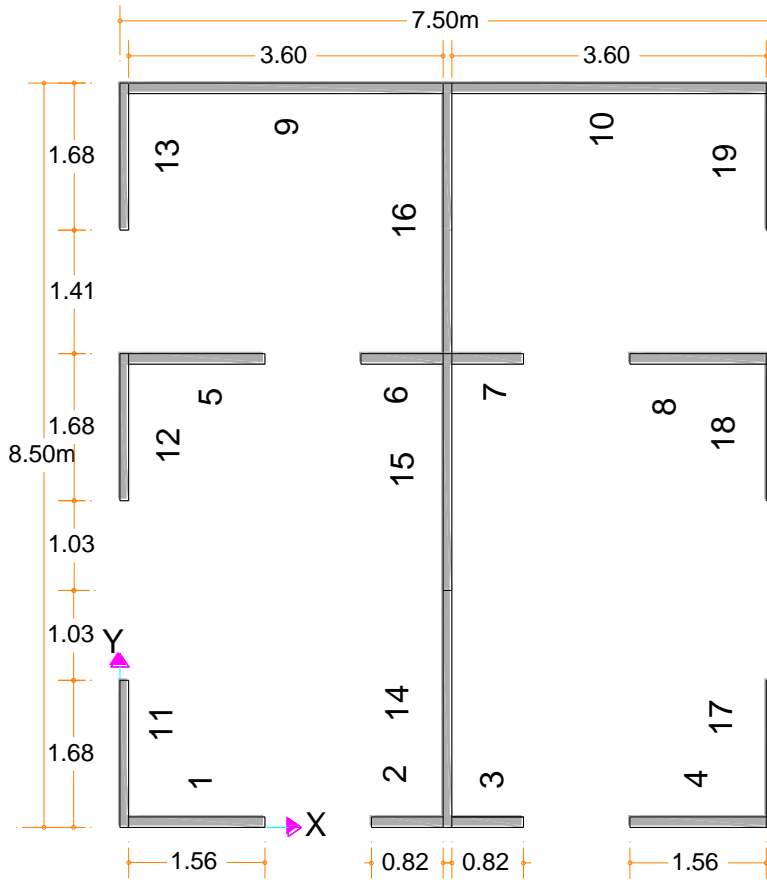


Figura B4. Muros 11 a 19 en sentido vertical.

En la Tabla B4 también se observan las longitudes de los muros, l , que se tomaron de la Figura B4, el área tributaria de losa, $atrib$, que se observa en la Figura B3 y el factor de altura efectiva k del muro. Para determinar el factor de altura efectiva del muro, se toman los criterios de las NTCM-RCDF (2004) donde $k=2$ para muros sin restricción al desplazamiento lateral en su extremo superior, $k=1$ para muros extremos en que se apoyan losas; y $k=0.8$ para muros limitados por dos losas continuas a ambos lados del muro.

Tabla B4. Datos de cada muro.

Muro	X (m)	Y (m)	sa	l (m)	atrib (m ²)	k
1	0.90	0.06	0	1.56	2.35	1.0
2	3.28	0.06	0	0.82	0.92	1.0
3	4.22	0.06	0	0.82	0.92	1.0
4	6.60	0.06	0	1.56	2.35	1.0
5	0.90	5.35	0	1.56	3.75	0.8
6	3.28	5.35	0	0.82	1.85	0.8
7	4.22	5.35	0	0.82	1.85	0.8
8	6.60	5.35	0	1.56	3.75	0.8
9	1.91	8.44	0	3.57	3.63	1.0
10	5.60	8.44	0	3.57	3.63	1.0
11	0.06	0.90	1	1.68	3.20	1.0
12	0.06	4.51	1	1.68	3.20	1.0
13	0.06	7.60	1	1.68	2.70	1.8
14	3.75	1.38	1	2.71	5.60	0.8
15	3.75	4.03	1	2.71	5.60	0.8
16	3.75	6.90	1	3.09	4.80	0.8
17	7.44	0.90	1	1.68	3.20	1.0
18	7.44	4.51	1	1.68	3.20	1.0
19	7.44	7.60	1	1.68	2.70	1.0

Finalmente con los datos de las Tablas B1 a B4 se elabora el archivo de datos llamado 1cbX.txt con las cuatro secciones indicadas en el manual de usuario, en la Figura B5 se observa este archivo que se guarda dentro de la carpeta donde se encuentra el programa, posteriormente se inicia *ENRELA_COB_JC*, se introduce el nombre y extensión del archivo (Fig. B6), en la primer etapa el programa realiza el análisis por cargas verticales e indica si existe falla de algún muro (Fig. B7), aun cuando exista falla por carga vertical en la segunda etapa se realiza el análisis por carga lateral.

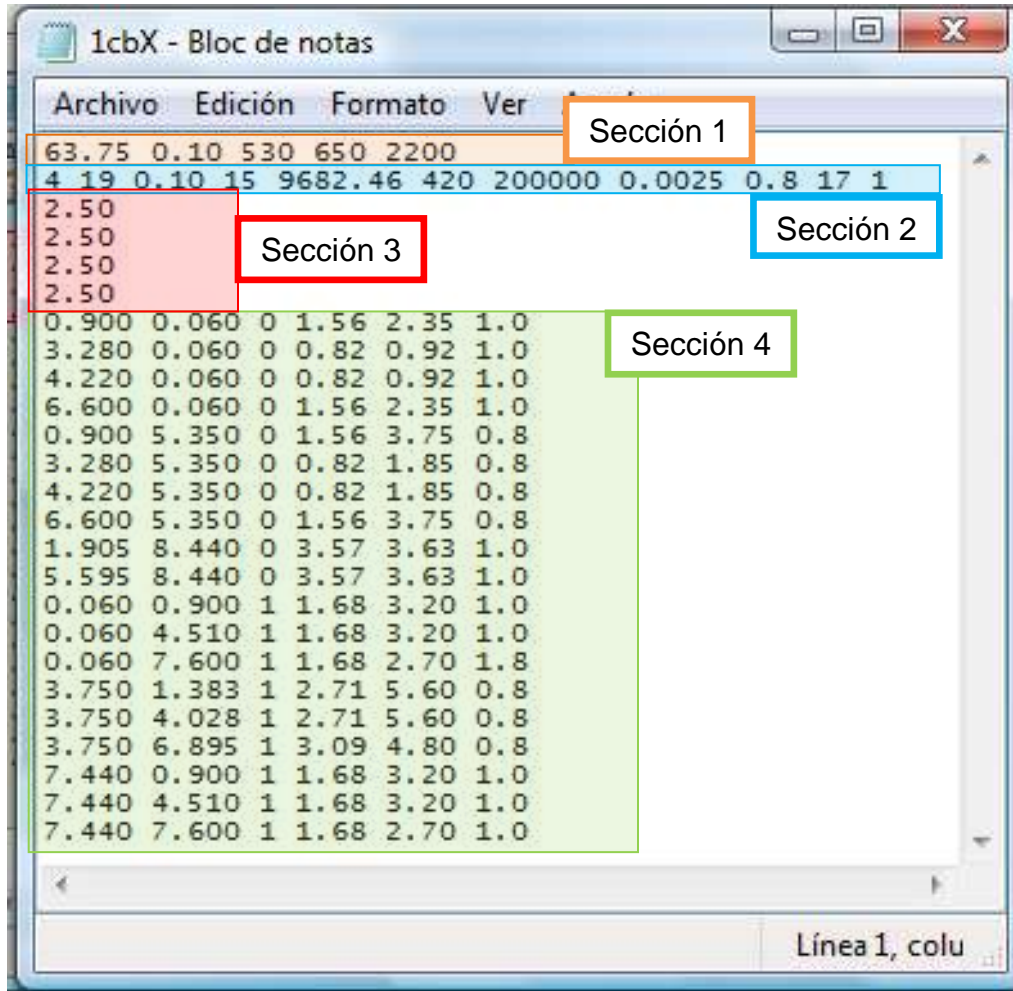


Figura B5. Archivo de datos para el análisis en dirección X

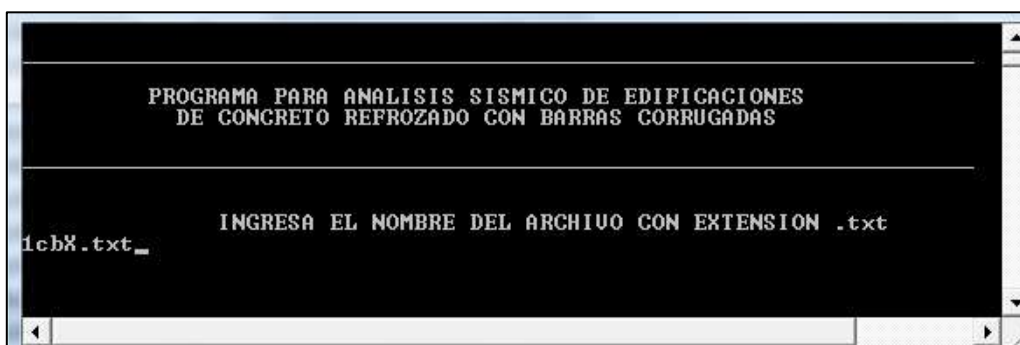


Figura B6. Pantalla de inicio del programa ENRELA_COB_JC


```

4      12      25.230259981685470
4      13      22.631497129565900
4      14      43.050624489985450
4      15      43.050624489985450
4      16      41.317730978115220
4      17      25.230259981685470
4      18      25.230259981685470
4      19      22.631497129565900

SE PUEDE CALCULAR LA RESISTENCIA ANTE FUERZA LATERAL

-----
ANALISIS POR CARGAS VERTICALES CONCLUIDO, PRESIONA <<enter>> PARA CONTINUAR
    
```

Figura B7. Primera etapa de análisis del programa ENRELA_COB_JC

Al finalizar con éxito el programa se observa una pantalla similar a la de la Figura B8, en la cual se indica el tipo de falla de la estructura por fuerza lateral, ya sea por rigidez lateral o por rigidez torsional, también indica las excentricidades en cada nivel, el nivel de falla, la ductilidad de la estructura en el nivel de falla y finalmente el coeficiente sísmico de desempeño.

```

ANALISIS POR CARGAS VERTICALES CONCLUIDO, PRESIONA <<enter>> PARA CONTINUAR

FALLA POR FALTA RIGIDEZ LATERAL
PRESIONA <<ENTER>> PARA CONTINUAR

EXCENTRICIDADES <m>
Nivel  e
1      .0000
2      .0000
3      .0000
4      .0000

FALLA EN EL NIVEL:          1

PRESIONA <<ENTER>> PARA CONTINUAR

DUCTILIDADES EN EL NIVEL DE FALLA

de= 2.71
du=27.49

m1=10.16
mu= 4.44
Q= 2.81

COEFICIENTE SISMICO DE DESEMPEÑO
ce= 2.99

EL PROGRAMA HA FINALIZADO CON EXITO

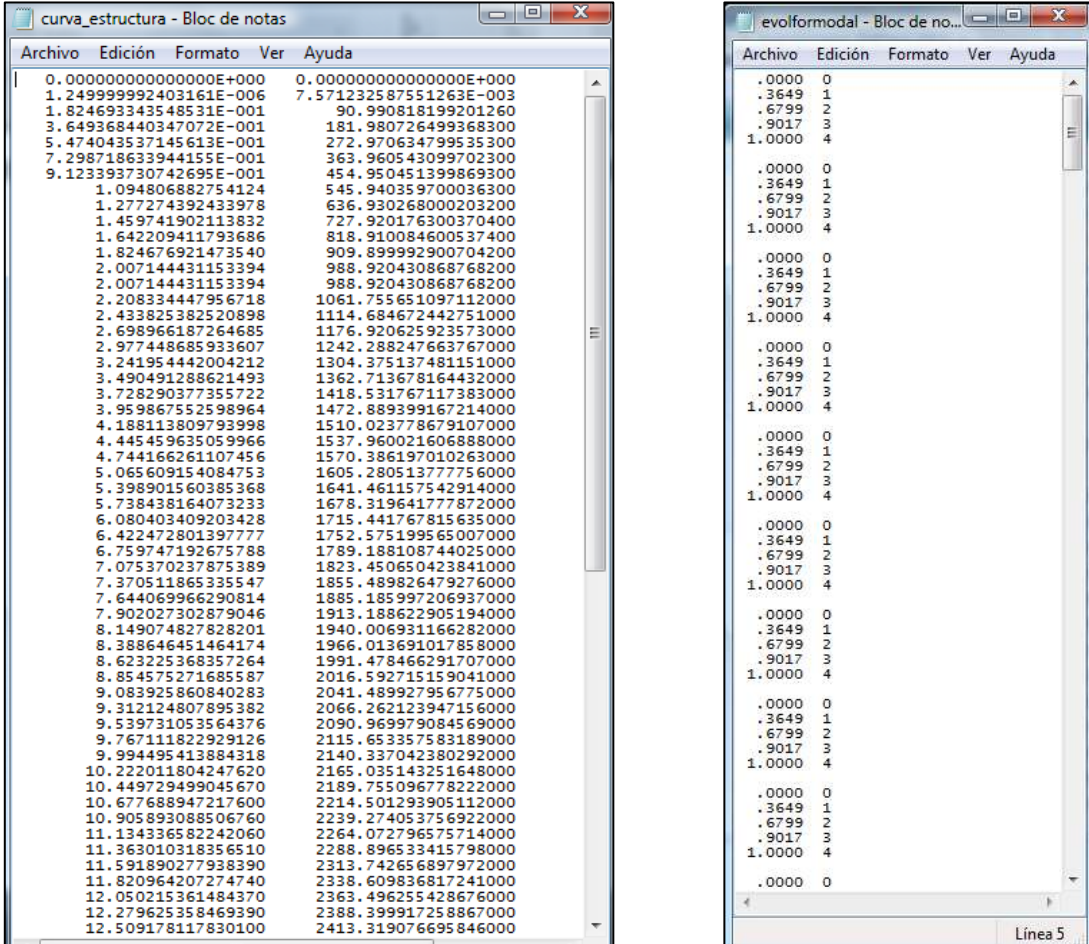
-----
ELABORO: M.I. TEODULO IVAN CORNEJO VAZQUEZ
ivancornejo@hotmail.com
UMSMH 2013, POSGRADO EN ESTRUCTURAS

PRESIONA DOBLE <<ENTER>> PARA FINALIZAR
    
```

Figura B8. Segunda etapa de análisis y pantalla final del programa ENRELA_COB_JC.

Finalizado el programa se proporcionan los archivos de resultados descritos en el manual. A continuación se presenta cada uno de ellos.

En la Figura B9 se observan los valores de la envolvente de resistencia lateral de piso (Fig. B9a) y algunos correspondientes a la evolución de la forma modal (Fig.B9b).



(a) Desplazamiento y resistencia.

(b) Evolución de la forma modal.

Figura B9. Archivos “Curva_estructura” y “EvolForModal”.

En la Figura B10a se observan algunos de los valores de las matrices de rigidez de la estructura y en la Figura B10b los valores de desplazamiento y resistencia de muro 17 en el primer nivel.

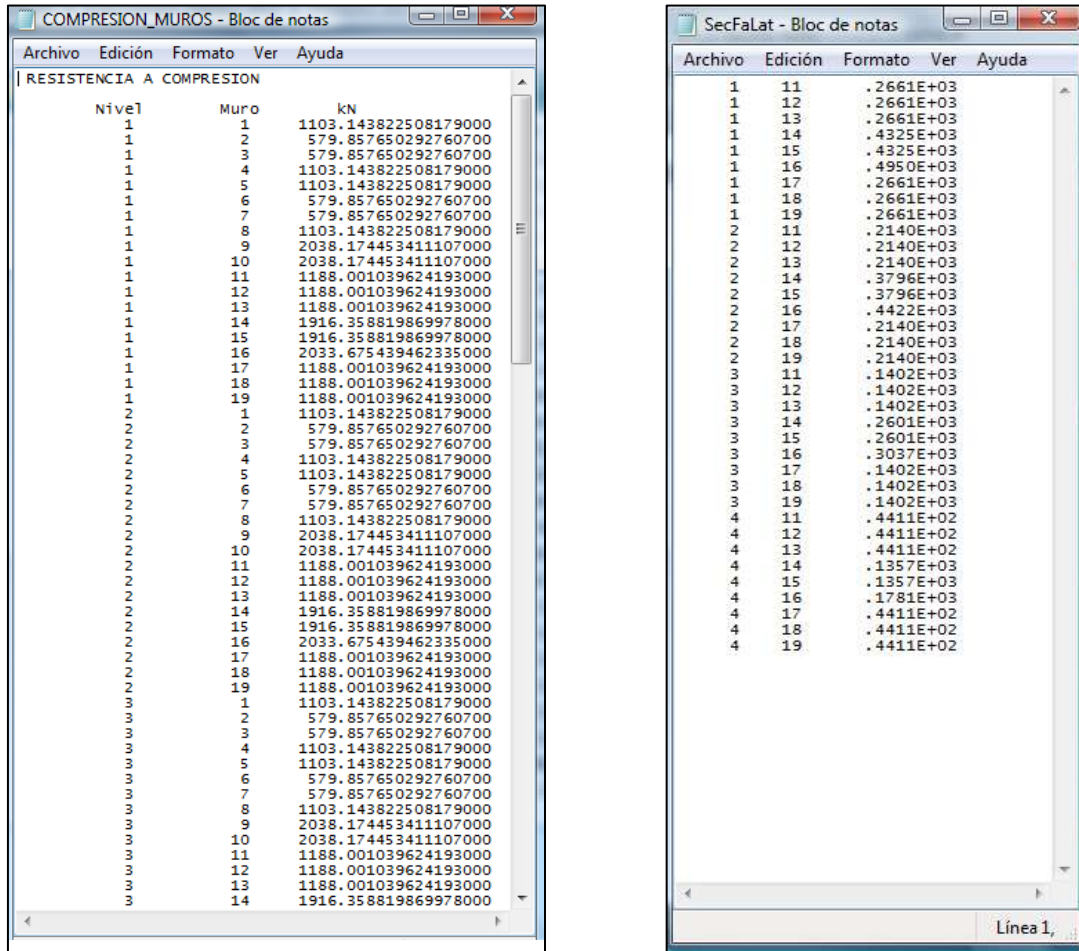
matriz_rigidez - Bloc de notas

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda
1038.883	-519.441	.000	.000	
-519.441	1038.883	-519.441	.000	
.000	-519.441	1038.883	-519.441	
.000	.000	-519.441	519.441	
1038.883	-519.441	.000	.000	
-519.441	1038.883	-519.441	.000	
.000	-519.441	1038.883	-519.441	
.000	.000	-519.441	519.441	
1038.883	-519.441	.000	.000	
-519.441	1038.883	-519.441	.000	
.000	-519.441	1038.883	-519.441	
.000	.000	-519.441	519.441	
1038.883	-519.441	.000	.000	
-519.441	1038.883	-519.441	.000	
.000	-519.441	1038.883	-519.441	
.000	.000	-519.441	519.441	
1038.883	-519.441	.000	.000	
-519.441	1038.883	-519.441	.000	
.000	-519.441	1038.883	-519.441	
.000	.000	-519.441	519.441	
1038.883	-519.441	.000	.000	
-519.441	1038.883	-519.441	.000	
.000	-519.441	1038.883	-519.441	
.000	.000	-519.441	519.441	
1038.883	-519.441	.000	.000	
-519.441	1038.883	-519.441	.000	
.000	-519.441	1038.883	-519.441	
.000	.000	-519.441	519.441	
1038.883	-519.441	.000	.000	
-519.441	1038.883	-519.441	.000	
.000	-519.441	1038.883	-519.441	
.000	.000	-519.441	519.441	
1032.671	-519.441	.000	.000	
-519.441	1038.883	-519.441	.000	
.000	-519.441	1038.883	-519.441	
.000	.000	-519.441	519.441	

(a) Matrices de rigidez.

curva_muro - Bloc de notas

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda
7.679999782794765E-006	2.463864227083680E-004			
1.751705609806590E-001	5.619745977145944			
3.50339370273189E-001	11.239435757397100			
5.255081795659788E-001	16.85912537648250			
7.00676988585386E-001	22.478815317899400			
8.758457981512985E-001	28.098505098150550			
1.051014607443958	33.718194878401700			
1.226183416736618	39.337884658652850			
1.40135226029278	44.9575438904000			
1.576521035321938	50.577264219155160			
1.751689844614598	56.196953998406320			
1.92685853907258	61.816643779657450			
2.102001070038448	67.4363336000000			
2.27715475974096	73.0560234200000			
2.45230844849348	78.6757132400000			
2.62746213819600	84.2954030600000			
2.80261582789852	89.9150928800000			
2.97776951740104	95.5347827000000			
3.15292320690356	101.1544725200000			
3.32807689640608	106.7741623400000			
3.50323058590860	112.3938521600000			
3.67838427541112	118.0135419800000			
3.85353796491364	123.6332318000000			
4.02869165441616	129.2529216200000			
4.20384534391868	134.8726114400000			
4.37899903342120	140.4923012600000			
4.55415272292372	146.1119910800000			
4.72930641242624	151.7316809000000			
4.90446010192876	157.3513707200000			
5.07961379143128	162.9710605400000			
5.25476748093380	168.5907503600000			
5.42992117043632	174.2104401800000			
5.60507486093884	179.8301300000000			
5.78022855044136	185.4498198200000			
5.95538224094388	191.0695096400000			
6.13053593044640	196.6891994600000			
6.30568962094892	202.3088892800000			
6.48084331045144	207.9285791000000			
6.65599700095396	213.5482689200000			
6.83115069045648	219.1679587400000			
7.00630438095900	224.7876485600000			
7.18145807046152	230.4073383800000			
7.35661176096404	236.0270282000000			
7.53176545046656	241.6467180200000			
7.70691914096908	247.2664078400000			
7.88207283047160	252.8860976600000			
8.05722652097412	258.5057874800000			
8.23238021047664	264.1254773000000			
8.40753390097916	269.7451671200000			
8.58268759048168	275.3648569400000			
8.75784128098420	280.9845467600000			
8.93299497048672	286.6042365800000			
9.10814866098924	292.2239264000000			
9.28330235049176	297.8436162200000			
9.45845604099428	303.4633060400000			
9.63360973049680	309.0829958600000			
9.80876342099932	314.7026856800000			
9.98391711050184	320.3223755000000			
10.15907080000436	325.9420653200000			
10.33422449050688	331.5617551400000			
10.50937818000940	337.1814449600000			
10.68453187051192	342.8011347800000			
10.85968556001444	348.4208246000000			
11.03483925051696	354.0405144200000			
11.20999294001948	359.6602042400000			
11.38514663052200	365.2798940600000			
11.56030032002452	370.8995838800000			
11.73545401052704	376.5192737000000			
11.91060770002956	382.1389635200000			
12.08576139053208	387.7586533400000			
12.26091508003460	393.3783431600000			
12.43606877053712	398.9980329800000			
12.61122246003964	404.6177228000000			
12.78637615054216	410.2374126200000			
12.96152984004468	415.8571024400000			
13.13668353054720	421.4767922600000			
13.31183722004972	427.0964820800000			
13.48699091055224	432.7161719000000			
13.66214460005476	438.3358617200000			
13.83729829055728	443.9555515400000			
14.01245198006000	449.5752413600000			
14.18760567056252	455.1949311800000			
14.36275936006504	460.8146210000000			
14.53791305056756	466.4343108200000			
14.71306674007008	472.0540006400000			
14.88822043057260	477.6736904600000			
15.06337412007512	483.2933802800000			
15.23852781057764	488.9130701000000			
15.41368150008016	494.5327600000000			
15.58883519058268	500.1524498200000			
15.76398888008520	505.7721396400000			
15.93914257058772	511.3918294600000			
16.11429626009024	517.0115192800000			
16.28944995059276	522.6312091000000			
16.46460364009528	528.2508989200000			
16.63975733059780	533.8705887400000			
16.81491102009532	539.4902785600000			
16.99006471059784	545.1099683800000			
17.16521840009536	550.7296582000000			
17.34037209059788	556.3493480200000			
17.51552578009540	561.9690378400000			
17.69067947059792	567.5887276600000			
17.86583316009544	573.2084174800000			
18.04098685059796	578.8281073000000			
18.21614054009548	584.4477971200000			
18.39129423059800	590.0674869400000			
18.56644792009552	595.6871767600000			
18.74160161059804	601.3068665800000			
18.91675530009556	606.9265564000000			
19.09190899059808	612.5462462200000			
19.26706268009560	618.1659360400000			
19.44221637059812	623.7856258600000			
19.61737006009564	629.4053156800000			
19.79252375059816	635.0250055000000			
19.96767744009568	640.6446953200000			
20.14283113059820	646.2643851400000			
20.31798482009572	651.8840749600000			
20.49313851059824	657.5037647800000			
20.66829220009576	663.1234546000000			
20.84344589059828	668.7431444200000			
21.01859958009580	674.3628342400000			
21.19375327059832	680.0000000000000			
21.36890696009584	685.6376900000000			
21.54406065059836	691.2753800000000			
21.71921434009588	696.9130700000000			
21.89436803059840	702.5507600000000			
22.06952172009592	708.1884500000000			
22.24467541059844	713.8261400000000			
22.41982910009596	719.4638300000000			
22.59498279059848	725.1015200000000			
22.77013648009600	730.7392100000000			
22.94529017059852	736.3769000000000			
23.12044386009604	742.0145900000000			
23.29559755059856	747.6522800000000			
23.47075124009608	753.2899700000000			
23.64590493059860	758.9276600000000			
23.82105862009612	764.5653500000000			
23.99621231059864	770.2030400000000			
24.17136600009616	775.8407300000000			
24.34651969059868	781.4784200000000			
24.52167338009620	787.1161100000000			
24.69682707059872	792.7538000000000			
24.87198076009624	798.3914900000000			
25.04713445059876	804.0291800000000			
25.22228814009628	809.6668700000000			
25.39744183059880	815.3045600000000			
25.57259552009632	820.9422500000000			
25.74774921059884	826.5799400000000			
25.92290290009636	832.2176300000000			
26.09805659059888	837.8553200000000			
26.27321028009640	843.4930100000000			
26.44836397059892	849.1307000000000			
26.62351766009644	854.7683900000000			
26.79867135059896	860.4060800000000			
26.97382504009648	866.0437700000000			
27.14897873059900	871.6814600000000			
27.32413242009652	877.3191500000000			
27.49928611059904	882.9568400000000			
27.67443980009656	888.5945300000000			
27.84959349059908	894.2322200000000			
28.02474718009660	899.8699100000000			
28.19990087059912	905.5076000000000			
28.37505456009664	911.1452900000000			
28.55020825059916	916.7829800000000			
28.72536194009668	922.4206700000000			
28.9005156305992				



(a) Resultados a compresión y carga axial de cada muro.

(b) Resistencia máxima ante carga lateral de cada muro en cada nivel.

Figura B13. Archivos “Compresion_Muros” y “SecFaLat”.

Con los valores de los archivos obtenidos del análisis se realizan las gráficas correspondientes. Con los valores del archivo “Curva_estructura” se obtiene la gráfica de la envolvente de resistencia lateral de piso de la estructura, Figura B14. Del archivo “Evolformodal” se obtiene los valores para graficar la evolución de la forma modal, Figura B14. En la Figura B16 se observa la envolvente de resistencia lateral del muro 17 obtenida con los valores del archivo “Curva_muro”.

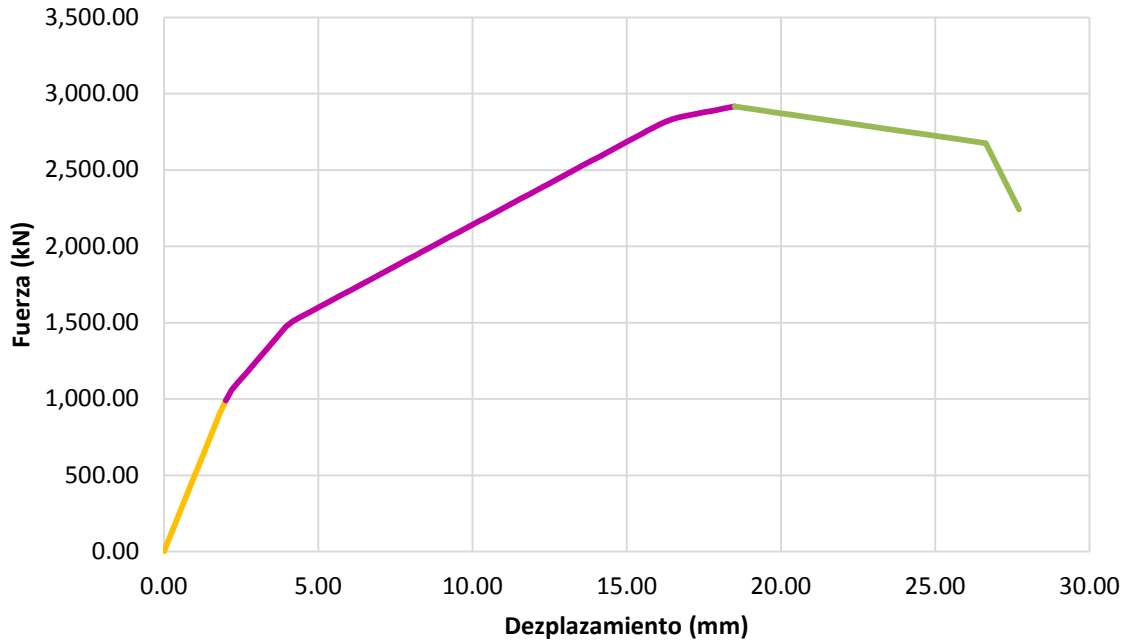


Figura B14. Envolvente de resistencia lateral en dirección X.

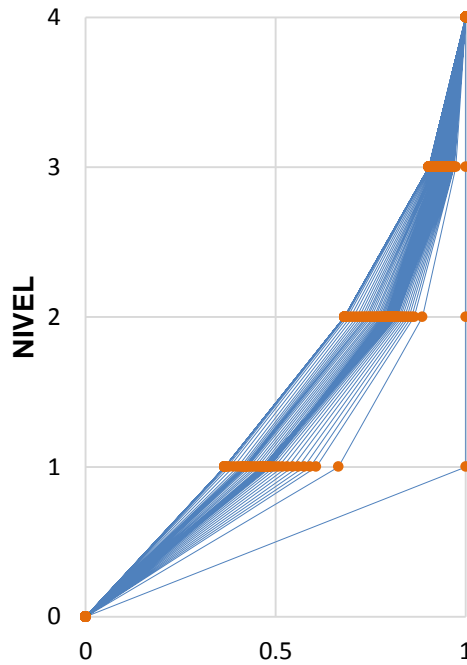


Figura B15. Evolución de la forma modal.

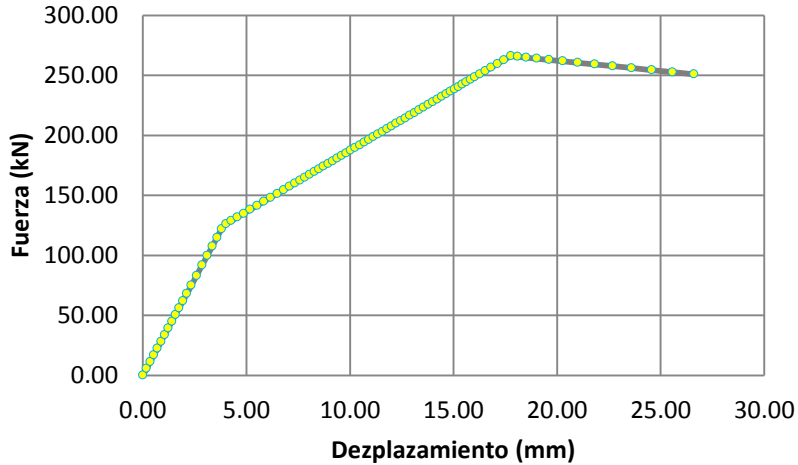


Figura B16. Envolvente de resistencia lateral de muro 17.

En la Figura B17 se observa la secuencia de falla de los muros por carga lateral, se grafica en el eje de las ordenadas la resistencia máxima ante carga lateral y en el de las abscisas el número de muro en la parte superior y la secuencia en la inferior, datos que se obtienen del archivo “SecFaLat”. Los primeros en fallar son 11, 12, 13, 17, 18 y 19.

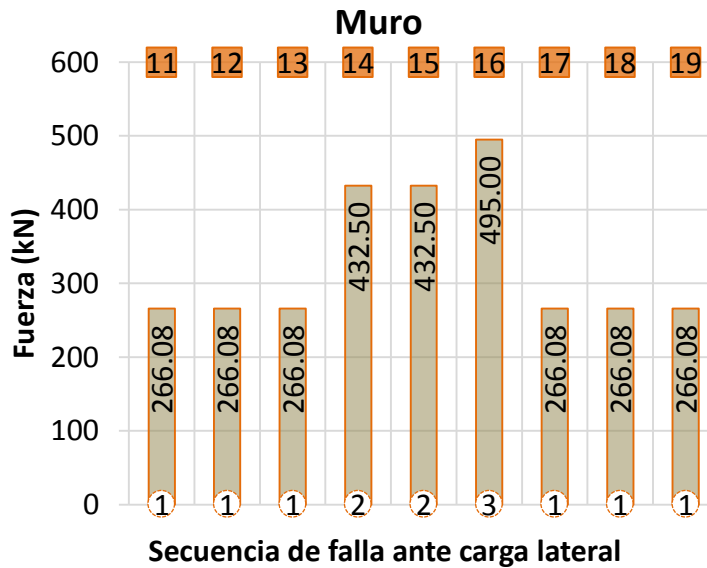
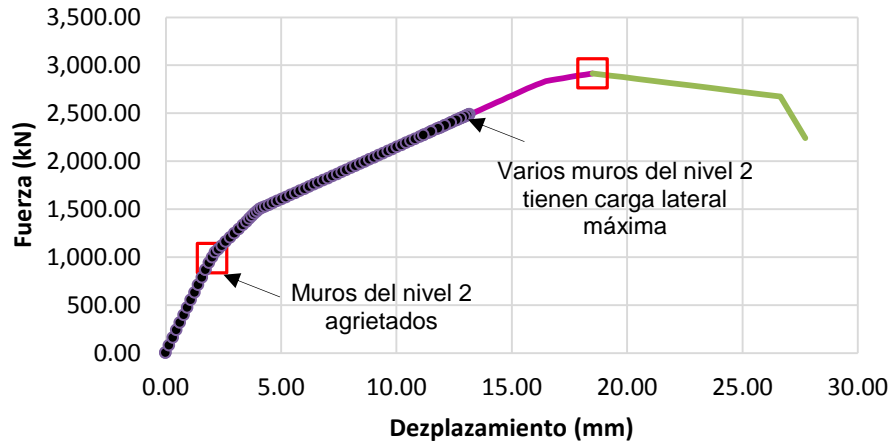
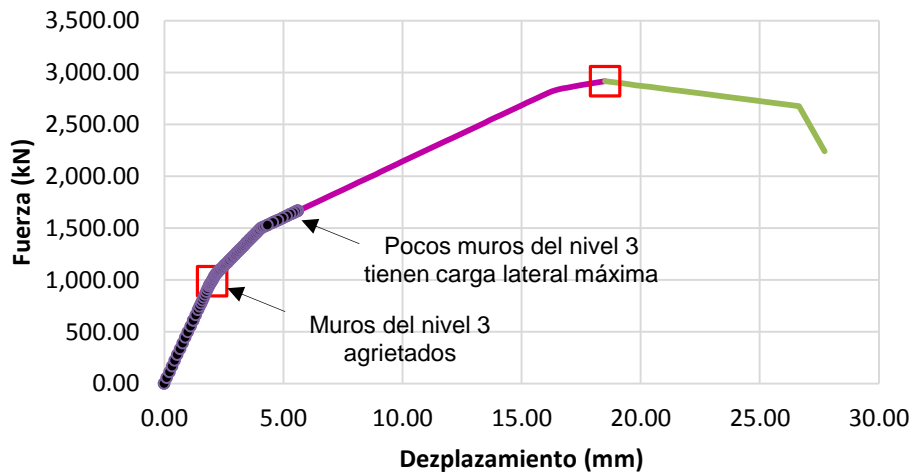


Figura B17. Secuencia de falla en muros ante carga lateral.

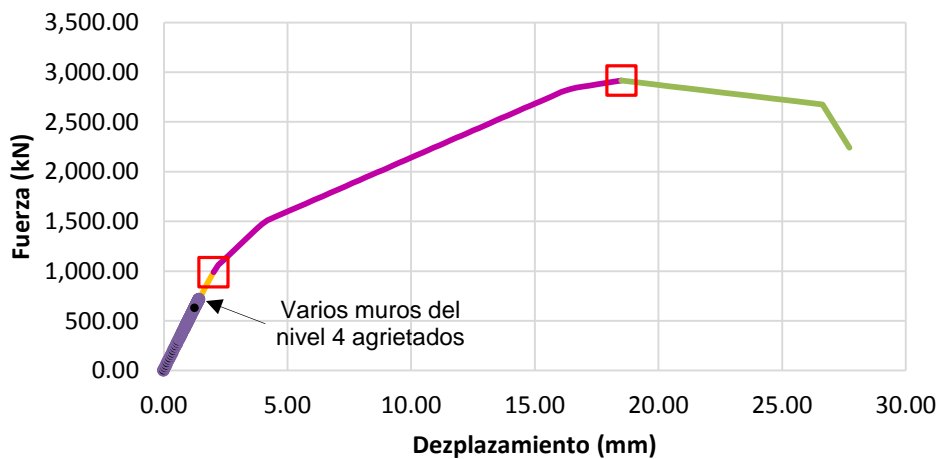
En la Figuras B18a a B18c, se observa la curva envolvente de resistencia lateral del Nivel 1, y el estado del comportamiento de los muros de los niveles 2, 3 y 4 respectivamente. Estas Figuras se obtienen del archivo “envolvente_niveles”.



(a) Envolvente de resistencia, Nivel 1 y 2.



(b) Envolvente de resistencia, Nivel 1 y 3.



(c) Envolvente de resistencia, Nivel 1 y 4.

Figura B18. Envoltentes de resistencia lateral de los diferentes niveles.

Envolvente de resistencia lateral de piso en dirección Y.

Para el análisis en esta dirección solo cambia la sección 4 del archivo de datos en dirección X (Fig. B5).

Los muros que trabajan en esta dirección son del 1 al 10, en la Figura B19 estos muros se encuentran en sentido vertical, de esta Figura se obtienen las coordenadas del centro de gravedad de todos los muros y se indica que los muros del 1 al 10 se encuentran en sentido del análisis (sa) colocando el número 1, para los muros que no están en sentido del análisis se coloca el número 0, como se observa en la Tabla B5. La longitud de los muros, l, el área tributaria de losa, atrib, y el factor k son los mismos valores que se indicaron en el análisis en sentido X.

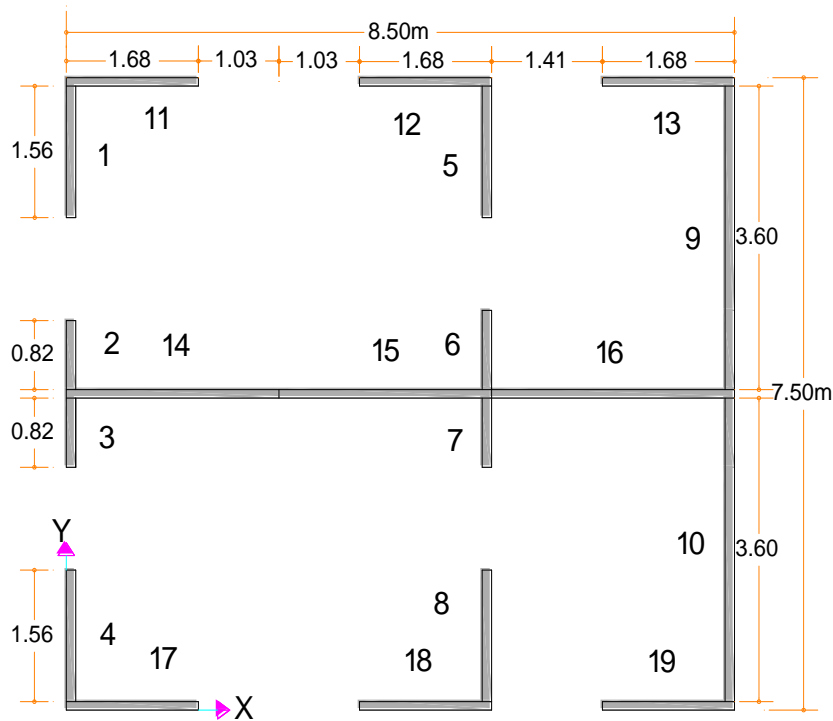


Figura B19. Muros 1 a 10 en sentido vertical.

Con las secciones 1, 2 y 3 del archivo de datos del análisis en dirección X (Fig. B5) y los datos de la Tabla B5, correspondientes a la sección 4, se elabora el nuevo archivo de datos para el análisis en dirección Y llamado 1cbY.txt que se observa en la Figura B20. Guardado el archivo dentro de la carpeta donde se encuentra el programa se inicia *ENRELA_COB_JC*, se introduce el nombre y extensión del archivo 1cbY.txt y se inicia el análisis de manera similar como se menciona en la envolvente de resistencia lateral en sentido X.

Tabla B5. Datos de cada muro.

Muro	X (m)	Y (m)	sa	l (m)	atrib (m2)	k
1	0.06	6.60	1	1.56	2.35	1.0
2	0.06	4.22	1	0.82	0.92	1.0
3	0.06	3.28	1	0.82	0.92	1.0
4	0.06	0.90	1	1.56	2.35	1.0
5	5.35	6.60	1	1.56	3.75	0.8
6	5.35	4.22	1	0.82	1.85	0.8
7	5.35	3.28	1	0.82	1.85	0.8
8	5.35	0.90	1	1.56	3.75	0.8
9	8.44	5.59	1	3.57	3.63	1.0
10	8.44	1.90	1	3.57	3.63	1.0
11	0.90	7.44	0	1.68	3.20	1.0
12	4.51	7.44	0	1.68	3.20	1.0
13	7.60	7.44	0	1.68	2.70	1.8
14	1.38	3.75	0	2.71	5.60	0.8
15	4.02	3.75	0	2.71	5.60	0.8
16	6.89	3.75	0	3.09	4.80	0.8
17	0.90	0.06	0	1.68	3.20	1.0
18	4.51	0.06	0	1.68	3.20	1.0
19	7.60	0.06	0	1.68	2.70	1.0

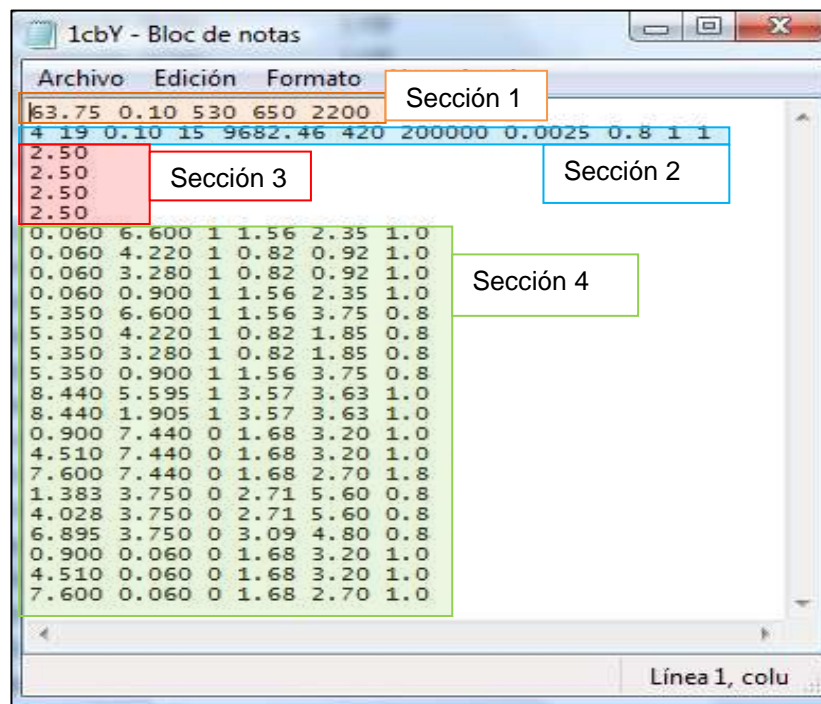


Figura B20. Archivo de datos para el análisis en dirección Y

De los archivos de resultados, la Figura B21 corresponde a la envolvente de resistencia lateral de piso en dirección Y, la B22 es la envolvente del muro indicado en el archivo de datos que corresponde al número 1 en el primer nivel. En el archivo “Ductilidad” se tiene el valor de $Q = 2.93$.

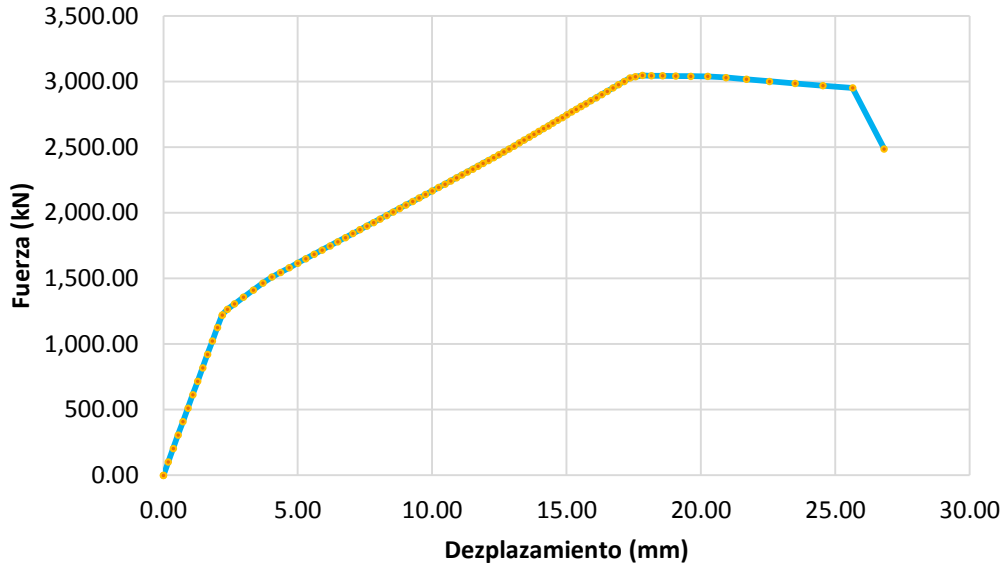


Figura B21. Envolvente de resistencia lateral en dirección Y

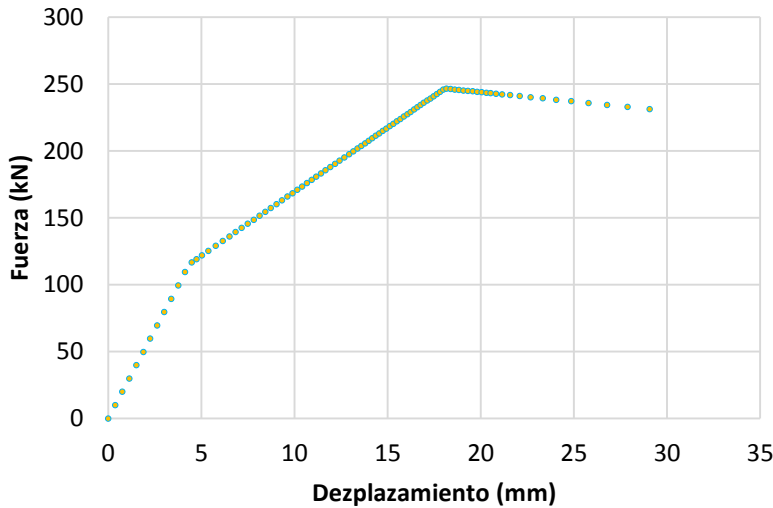
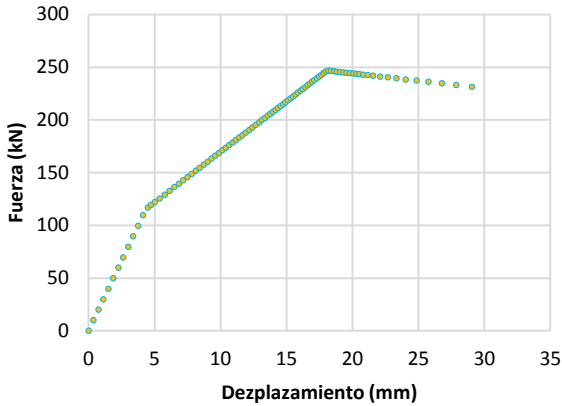
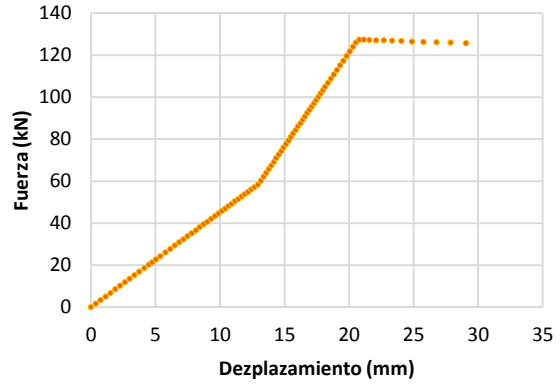


Figura B22. Envolvente de resistencia lateral de muro 1.

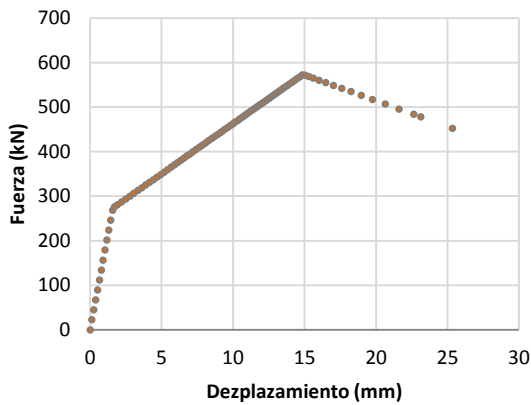
En las Figuras B23a a B23d, se observan las curvas envolventes de resistencia lateral de los muros 1, 2 y 10 de la planta baja del edificio. En la Figura B23d se muestran las envolventes de resistencia lateral del muro No. 1 ubicado en los diferentes niveles de la estructura. Estas graficas se obtienen de los valores del archivo “Muros”.



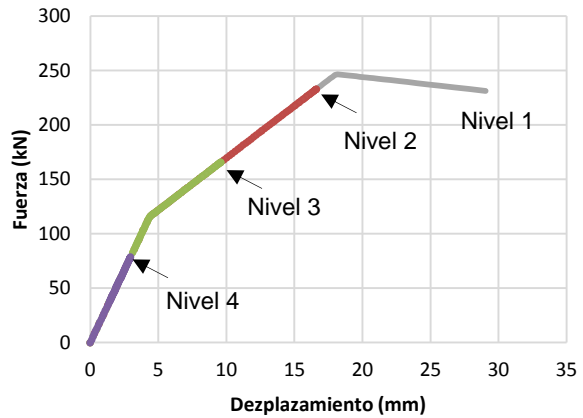
(a) Envolvente de resistencia muro No 1.



(b) Envolvente de resistencia muro No 2.



(c) Envolvente de resistencia muro No 10.



(d) Estado del muro No 1, en cada nivel.

Figura B23. Comparación de envolventes de resistencia lateral.

En la Figura B24 se observa la secuencia de falla de los muros por carga lateral, donde los primeros en fallar son 6 y 7. Grafica obtenida a partir de los valores del archivo “SecFaLat”.

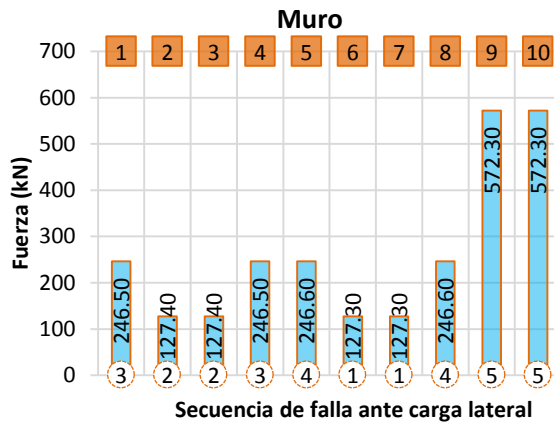


Figura B24. Secuencia de falla en muros ante carga lateral.

APÉNDICE C1

MANUAL DE USUARIO PARA EL PROGRAMA:
ENRELA_COM_JC.f90

El programa “*ENRELA_COM_JC.f90*” evalúa la envolvente de resistencia lateral de piso para estructuras conformadas con muros de concreto reforzado con malla electrosoldada de varios niveles, incluyendo las deformaciones por torsión y siguiendo el primer modo de vibrar, mediante un análisis paso a paso donde se incrementa el desplazamiento.

La metodología que utiliza para el cálculo de la resistencia y rigidez es la desarrollada por Carrillo et al, (2009) para un modelo trilineal de estructuras de concreto reforzado, donde se diferencian tres puntos clave: agrietamiento, máximo y último. Para el análisis del primer modo de vibrar se utiliza el método iterativo del vector inverso descrito por Chopra (1995) normalizado respecto al último nivel (azotea). Para la torsión sísmica se utiliza el procedimiento descrito por Chipol (2001).

En la Figura C1 se observa el diagrama de flujo. La Figura C1a se refiere al diagrama de flujo de la subrutina llamada “Resistencia y rigidez” que calcula la resistencia y rigidez de cada muro. La Figura C1b corresponde al diagrama de flujo de la subrutina llamada “Primer modo de vibrar” que calcula el primer modo de vibrar de la estructura.

En las Figura C1, C1a y C1b cada valor inicial se refiere a la descripción siguiente, **nn**: número de niveles, **nm**: número de muros, **t**: espesor de muros, **Ec**: módulo de elasticidad del concreto, **Gc**: módulo de cortante del concreto, **Es**: modulo elasticidad del acero, **f’c**: resistencia a compresión del concreto, **fyh**: fluencia del acero horizontal, **hm**: altura de nivel, **masa**: masa de casa piso, **xm**: coordenada en eje x, **ym**: coordenada en eje y, **sa**: sentido del análisis, **l**: longitud de muro, **fcm**: esfuerzo a compresión actuante en muro, **hm2**: altura de muro, **ph**: porcentaje de acero horizontal y **nh**: factor de eficiencia igual a 0.7.

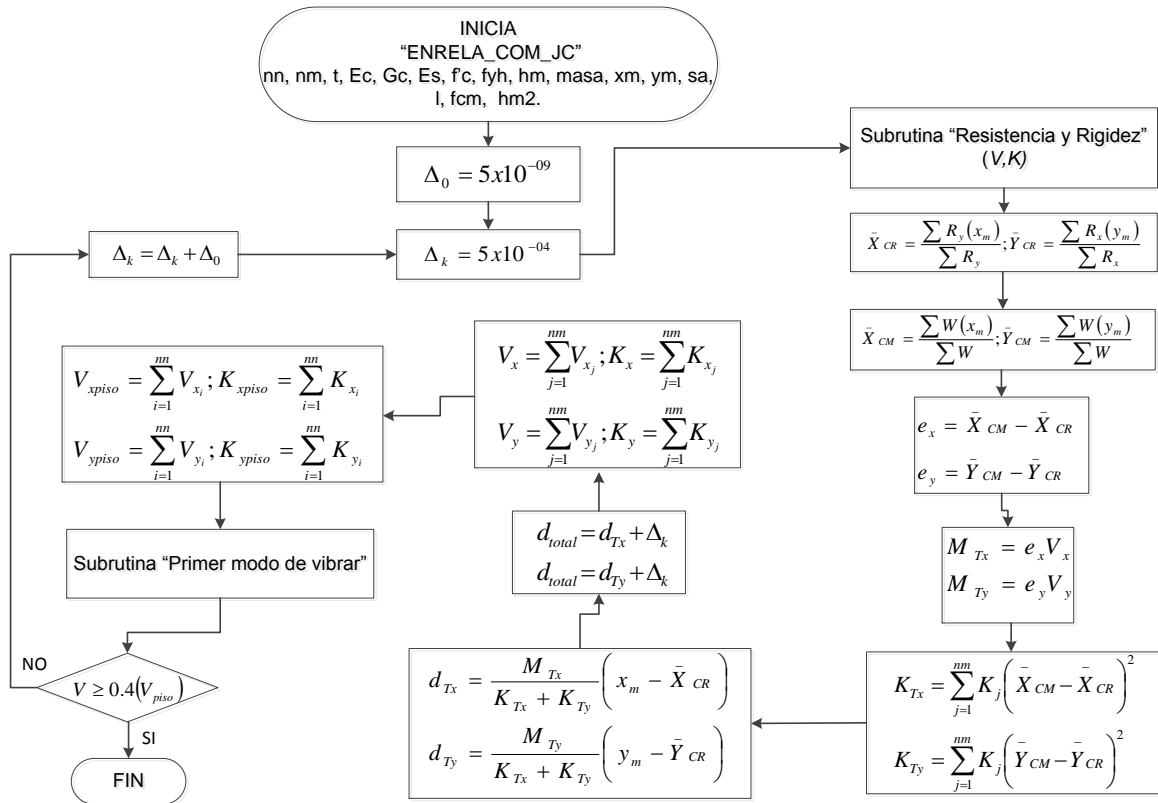


Figura C1. Diagrama de flujo de la metodología programada.

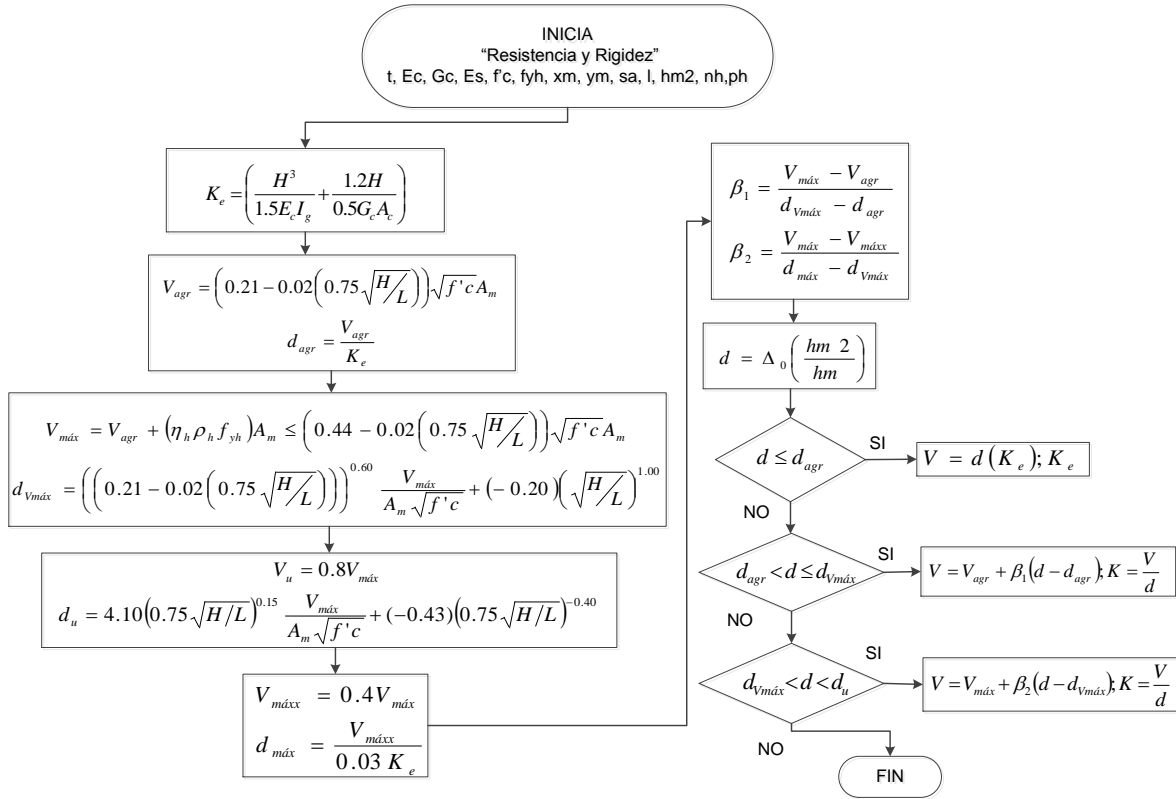


Figura C1a. Diagrama de flujo de la subrutina "Resistencia y Rigidez".

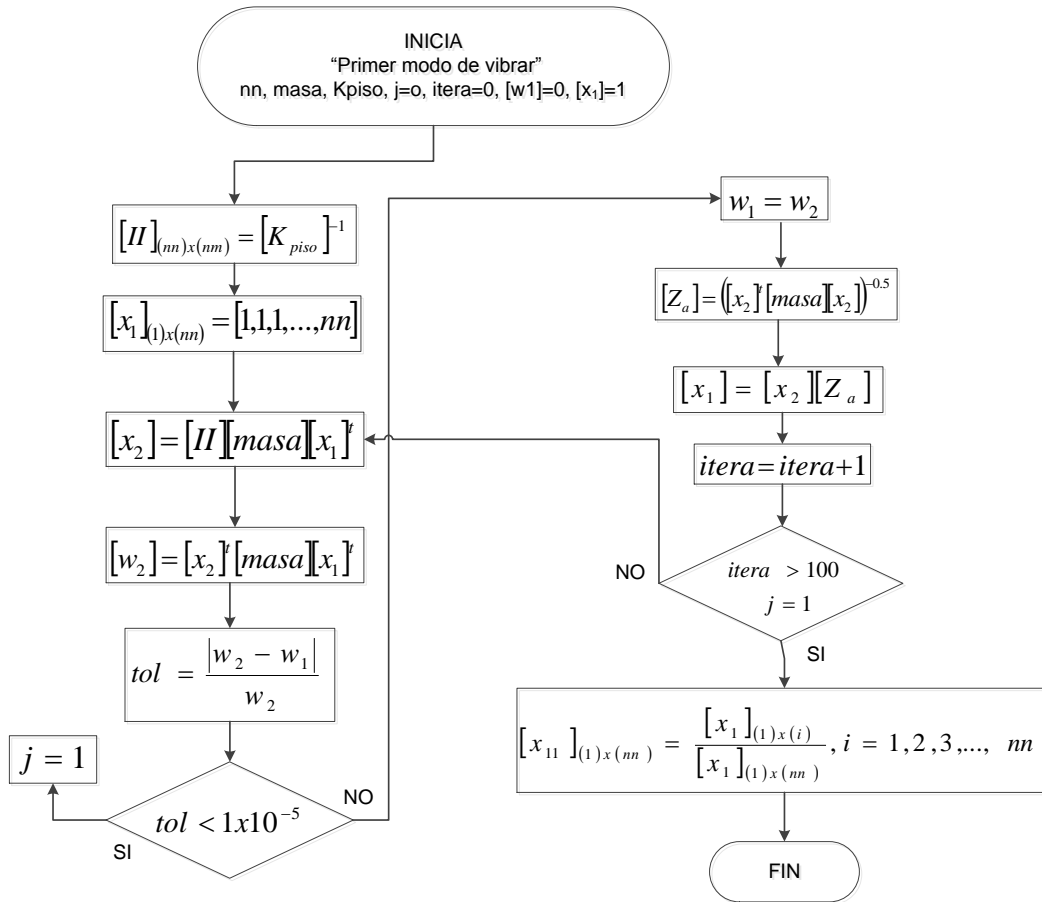


Figura C1b. Diagrama de flujo de la subrutina "Primer modo de vibrar"

MANUAL DE USUARIO PARA EL PROGRAMA *ENRELA_COM_JC*.

Para utilizar este programa se siguen los siguientes pasos: (1) se crea un archivo con los datos de la estructura, este archivo debe tener nombre con un máximo de 20 caracteres alfanuméricos con extensión .txt y se debe guardar dentro de la misma carpeta donde se encuentra el ejecutable. (2) Ejecutar el programa *ENRELA_COM_JC.EXE* e ingresar el nombre del archivo de datos creado con extensión. (3) Una vez realizado los pasos anteriores, dentro de la carpeta, el programa proporciona archivos diferentes con la misma extensión que el archivo de datos, estos pueden abrirse directamente o a través de Excel para graficar los datos de interés. A continuación se indica cómo crear el archivo de datos y se describen los archivos de resultados.

ARCHIVO DE DATOS.

Para ejecutar el programa primero se debe crear un archivo con la denominación .txt (bloc de notas) con un máximo de 20 caracteres alfanuméricos, en el se incluyen todas las características de la estructura y se ingresan en 4 secciones como se muestra a continuación.

Sección 1.

Se ingresan las cargas de servicio en el siguiente orden:

Apta tlosa Waz Went Wmuro

donde:

Apta= área en planta (m^2)

tlosa= espesor de losa (m)

Waz=carga de servicio en azotea (kg/m^2)

Went= carga de servicio de entrepiso (kg/m^2)

Wmuro=peso volumétrico de muro (kg/m^3)

Sección 2.

Ingresa características y propiedades comunes de los muros el siguiente orden:

nn nm t fcc ec fyh es ph nh nmmm mn

donde:

nn = número de niveles

nm = Número de muros por nivel

t = Espesor de los muros (m).

f_{cc} = Resistencia a compresión (f'_c) del concreto (Mpa).

E_c = Modulo de elasticidad del concreto (Mpa).

f_{yh} = Fluencia (f_y) de acero de refuerzo horizontal (Mpa).

E_s = Modulo de elasticidad del acero (Mpa).

p_h = porcentaje de acero horizontal.

n_h = tipo de refuerzo horizontal:

n_{mm} = número de muro del que se desea obtener la envolvente. Este debe estar en el sentido del análisis.

m_n = envolvente de resistencia del muro n_{mm} en el nivel m_n . Este debe estar en el sentido del análisis.

Sección 3.

Se ingresa la altura de cada nivel:

h_m

donde:

h_m = altura del nivel, incluyendo espesor de losa (m)

Sección 4.

Se ingresan las coordenadas de cada muro, así como los muros que se encuentran en la dirección del análisis en el siguiente orden:

$x_m, y_m, s_a, l, a_{trib}, K$

donde

x_m = distancia en x (m)

y_m = distancia en y (m)

s_a = sentido del análisis:

1 si el muro está en el sentido del análisis.

0 si el muro esta en sentido opuesto al análisis.

l = longitud de cada muro (m).

a_{trib} = área tributaria de losa que le corresponde a cada muro (m^2).

K = factor de altura efectiva del muro.

ARCHIVOS DE RESULTADOS.

El programa proporciona varios archivos de resultados, estos archivos se pueden consultar directamente o abrirlos a través de Excel para poder manejar los datos o graficarlos. A continuación se describe cada uno de ellos.

23. "curva_estructura.txt", este archivo contiene los valores de resistencia y desplazamiento distribuidos en dos columnas, la de la derecha se refiere a la resistencia (kN) y la de la izquierda a los desplazamientos (mm). Los valores corresponden a los cálculos de toda la edificación.
24. "evolformodal.txt", este archivo contiene la evolución de la forma moda y cuenta con dos columnas, del lado izquierdo corresponde a la evolución de la forma del primer modo de vibrar y del lado derecho representa el nivel de la estructura.
25. "matriz_rigidez.txt", en este archivo se encuentran las matrices de rigidez de la estructura para cada incremento del desplazamiento hasta llegar a la falla.
26. "ductilidad.txt", en este archivo se encuentran el valor de ductilidad de planta baja (μ_1), el valor de ductilidad global (μ_u), factor de comportamiento sísmico (Q), el coeficiente sísmico de desempeño (ce), el nivel en el que falla la estructura, los valores de resistencia al agrietamiento, máximo y último y sus respectivos desplazamientos.
27. "curva_muro.txt", este archivo contiene los valores de resistencia y desplazamiento distribuidos en dos columnas, del lado derecho se refiere a la resistencia (kN) y del izquierdo a los desplazamientos (mm) para el muro indicado en el archivo de datos.

28. “envolvente_niveles.txt”, este archivo contiene tres columnas de valores, de izquierda a derecha, la primera corresponde a los valores de desplazamiento, la segunda a la resistencia y la tercera indica en que intervalo se encuentra el valor de resistencia, el número 1 corresponde al intervalo de agrietamiento, el 2 al de resistencia máxima y el 3 al de resistencia última.
29. “envolvente_muros.txt”, este archivo contiene cinco columnas de valores, de izquierda a derecha, la primera indica el número de ciclo en que se calculan los valores, la segunda el nivel de la estructura, la tercera el número de muro, la cuarta el desplazamiento y la quinta la resistencia. El orden que se sigue es con el ciclo y el archivo sirve para graficar la resistencia de los muros.
30. “Muros.txt”, este archivo contiene cuatro columnas de valores, de izquierda a derecha, la primera indica el nivel de la estructura, la segunda el número de muro, la tercera el desplazamiento y la cuarta la resistencia. El orden que se sigue es con relación al nivel de la estructura y al número de muro, el archivo para graficar algún muro de algún nivel.
31. “SecFaLat”, este archivo contiene los valores de resistencia máxima ante carga lateral de los muros, están distribuidos en dos columnas, de izquierda a derecha, la primera indica el nivel de la estructura, la segunda el número de muro y la tercera la resistencia máxima ante carga lateral.
32. “Compresion_Muros”, este archivo contiene los valores de la resistencia a compresión y carga axial de cada muro, también indica el número y nivel del muro que falla por carga axial. Los datos están distribuidos en tres columnas, de izquierda a derecha, la primera se refiere al nivel, la segunda al número de muro y la tercera a la resistencia a compresión o carga axial.

33. “Datos”, en este archivo están organizados una serie de datos que utiliza el programa durante su ejecución.

En pantalla se muestran los siguientes valores:

- 13. Resistencia a compresión de cada muro en cada nivel.
- 14. Carga axial de cada muro en cada nivel.
- 15. Las excentricidades de cada nivel.
- 16. El nivel en donde ocurre la falla.
- 17. La ductilidad de planta baja (m_1), global (μ) y el factor de comportamiento sísmico (Q).
- 18. El coeficiente sísmico de desempeño (ce).

Ejemplo 1.

Analizar la estructura de cuatro niveles mostrada en la Figura C2 con muros de concreto reforzado con malla electrosoldada. El espesor de cada muro es de 10 cm y el porcentaje de acero en el alma es el mínimo estipulado en las NTCC-RCDF (2004), $p_{min} = 0.0025$. En la Tabla C1 se indican las propiedades de los materiales y en la C2 las características generales.

Tabla C1. Propiedades mecánicas de los materiales.

Material	Propiedad mecánica	Resistencia(Mpa)
Concreto	$f'c$	15
	Ec	9682.46
Acero	Fy	420
	Es	200000
	p_h	0.0025
	n_h	0.7

Tabla C2. Características generales de la estructura.

Característica	Datos
Ubicación	Zona III, DF
Coficiente sísmico (c)	0.19
Uso	Oficinas
Entrepiso	2.50 m
Espesor de losa	0.10 m
Espesor de muros	0.10 m

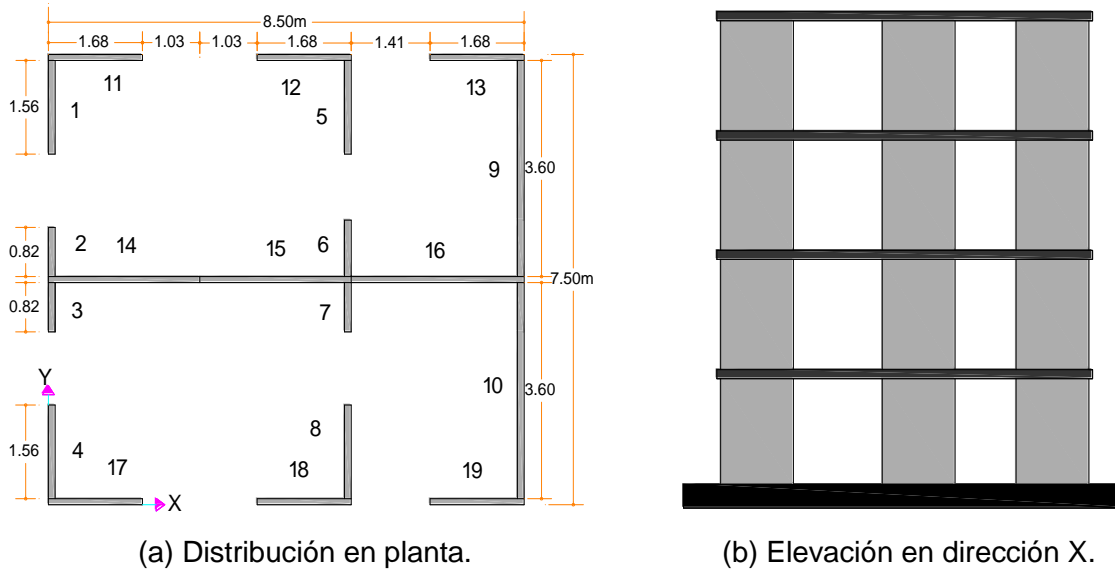


Figura C2. Planta y elevación de estructura de concreto reforzado.

Las áreas tributarias se calcularon como se observa en la Figura C3. Las cargas de servicio como se observa en la Tabla C3, el peso volumétrico de muro se toma como 2200 kg/m^3 .

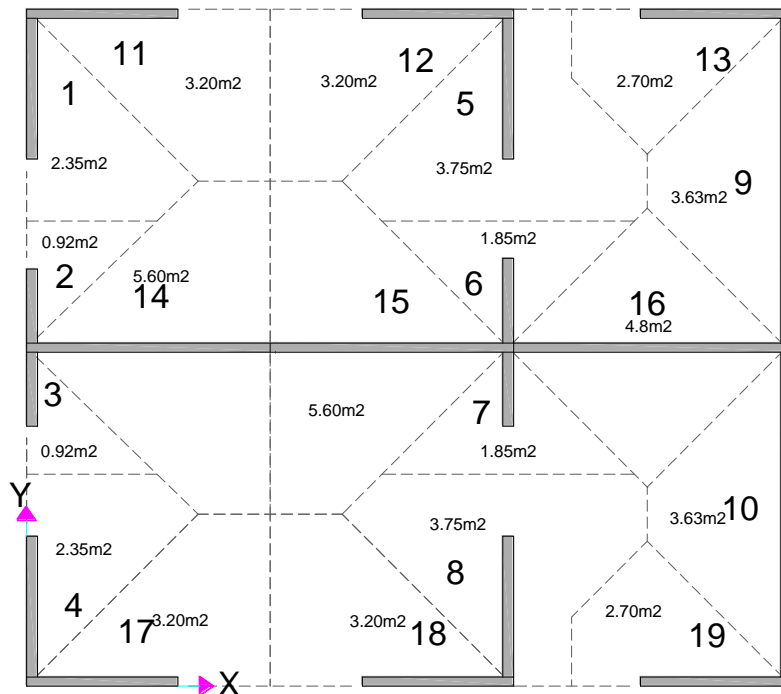


Figura C3. Áreas tributarias para la descarga de los muros.

Tabla C3. Cargas de servicio.

Nivel	Tipo	W	W_{tot}
		kg/m ²	
Azotea	Muerta	450.00	550.00
	Viva	100.00	
Entrepisos	Muerta	400.00	650.00
	Viva	250.00	

Envolvente de resistencia lateral de piso en dirección X.

Se gira 90° en sentido anti horario la Figura C2, de tal manera que los muros 11 al 19 se encuentren en sentido vertical como se observa en la Figura C4, posteriormente se obtienen las coordenadas del centro de gravedad de todos los muros y se indica que los muros del 11 al 19 se encuentran en el sentido del análisis (sa) colocando el número 1, para los muros que no están en sentido de análisis se coloca el número 0, como se observa en la Tabla C4.

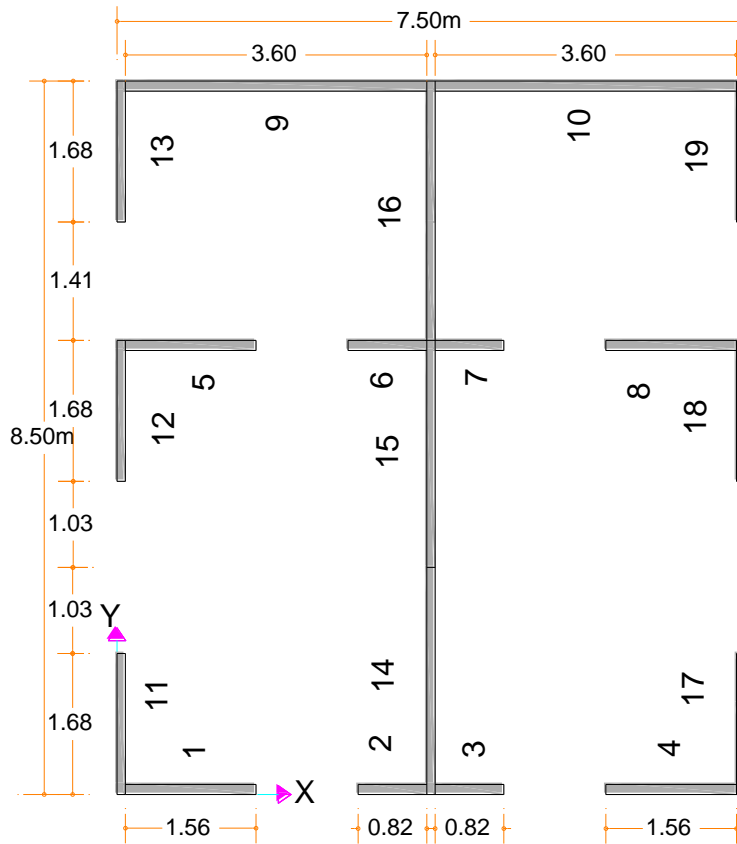


Figura C4. Muros 11 a 19 en sentido vertical.

En la Tabla C4 también se observan las longitudes de los muros, l , que se tomaron de la Figura C4, el área tributaria de losa, $atrib$, que se observa en la Figura C3 y el factor de altura efectiva k del muro. Para determinar el factor de altura efectiva del muro, se toman los criterios de las NTCM-RCDF (2004) donde $k=2$ para muros sin restricción al desplazamiento lateral en su extremo superior, $k=1$ para muros extremos en que se apoyan losas; y $k=0.8$ para muros limitados por dos losas continuas a ambos lados del muro.

Tabla C4. Datos de cada muro.

Muro	X (m)	Y (m)	sa	l (m)	atrib (m ²)	k
1	0.90	0.06	0	1.56	2.35	1.0
2	3.28	0.06	0	0.82	0.92	1.0
3	4.22	0.06	0	0.82	0.92	1.0
4	6.60	0.06	0	1.56	2.35	1.0
5	0.90	5.35	0	1.56	3.75	0.8
6	3.28	5.35	0	0.82	1.85	0.8
7	4.22	5.35	0	0.82	1.85	0.8
8	6.60	5.35	0	1.56	3.75	0.8
9	1.91	8.44	0	3.57	3.63	1.0
10	5.60	8.44	0	3.57	3.63	1.0
11	0.06	0.90	1	1.68	3.20	1.0
12	0.06	4.51	1	1.68	3.20	1.0
13	0.06	7.60	1	1.68	2.70	1.8
14	3.75	1.38	1	2.71	5.60	0.8
15	3.75	4.03	1	2.71	5.60	0.8
16	3.75	6.90	1	3.09	4.80	0.8
17	7.44	0.90	1	1.68	3.20	1.0
18	7.44	4.51	1	1.68	3.20	1.0
19	7.44	7.60	1	1.68	2.70	1.0

Finalmente con los datos de las Tablas C1 a C4 se elabora el archivo de datos llamado 1cmX.txt con las cuatro secciones indicadas en el manual de usuario, en la Figura C5 se observa este archivo que se guarda dentro de la carpeta donde se encuentra el programa, posteriormente se inicia *ENRELA_COM_JC*, se introduce el nombre y extensión del archivo (Fig. C6), en la primer etapa el programa realiza el análisis por cargas verticales e indica si existe falla de algún muro (Fig. C7), aun cuando exista falla por carga vertical en la segunda etapa se realiza el análisis por carga lateral.

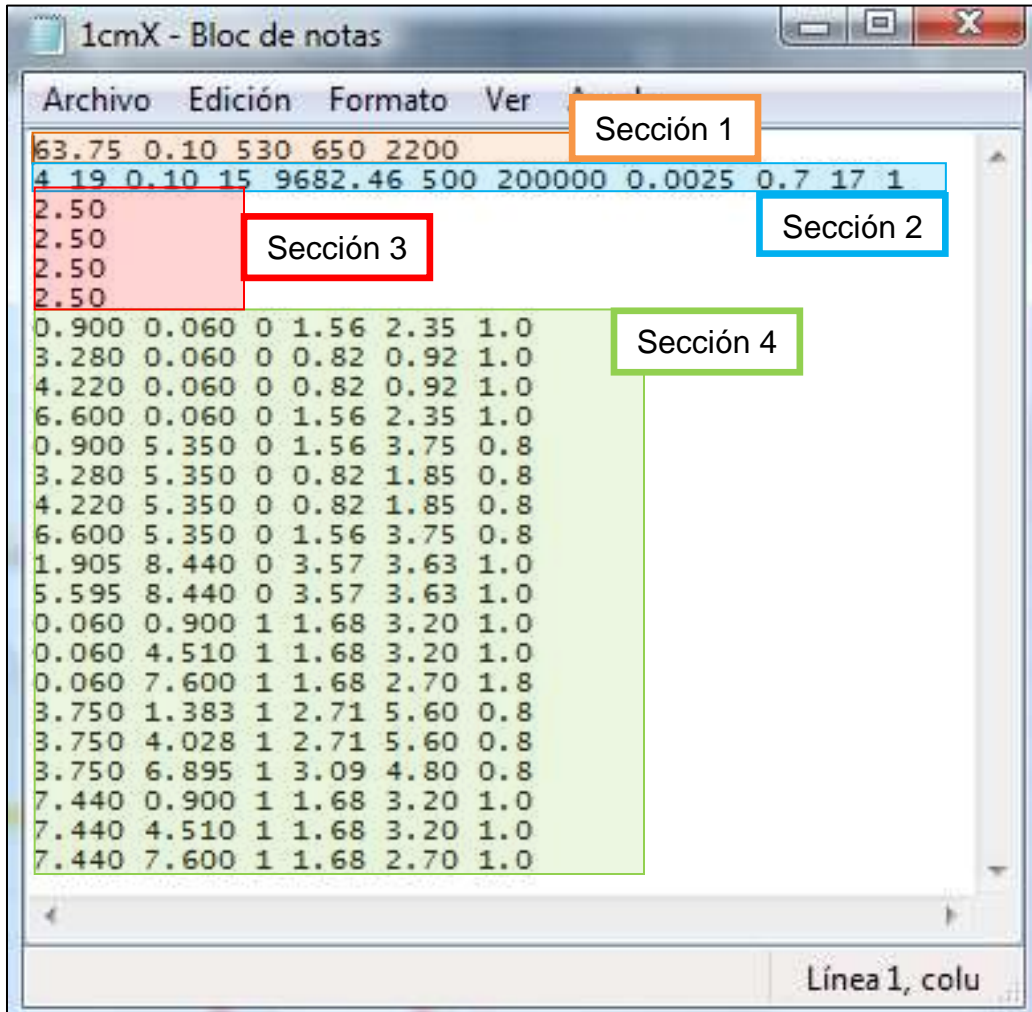


Figura C5. Archivo de datos para el análisis en dirección X

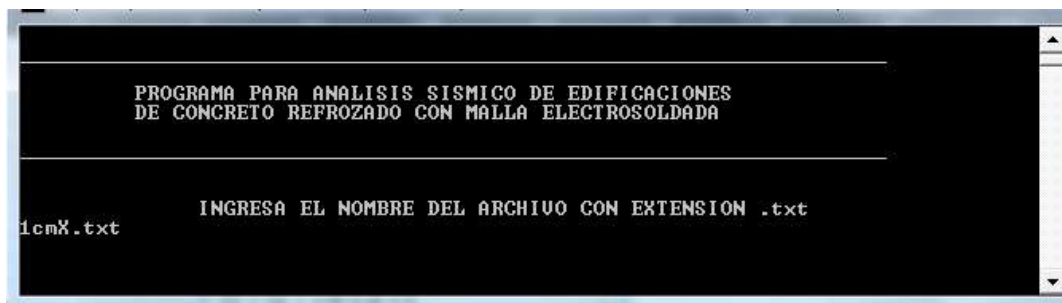


Figura C6. Pantalla de inicio del programa ENRELA_COM_JC

```

4      12      25.230259981685470
4      13      22.631497129565900
4      14      43.050624489985450
4      15      43.050624489985450
4      16      41.317730978115220
4      17      25.230259981685470
4      18      25.230259981685470
4      19      22.631497129565900

SE PUEDE CALCULAR LA RESISTENCIA ANTE FUERZA LATERAL

-----
ANALISIS POR CARGAS VERTICALES CONCLUIDO, PRESIONA <<enter>> PARA CONTINUAR
    
```

Figura C7. Primera etapa de análisis del programa ENRELA_COM_JC

Al finalizar con éxito el programa se observa una pantalla similar a la de la Figura C8, en la cual se indica el tipo de falla de la estructura por fuerza lateral, ya sea por rigidez lateral o por rigidez torsional, también indica las excentricidades en cada nivel, el nivel de falla, la ductilidad de la estructura en el nivel de falla y finalmente el coeficiente sísmico de desempeño.

```

ANALISIS POR CARGAS VERTICALES CONCLUIDO, PRESIONA <<enter>> PARA CONTINUAR

FALLA POR FALTA RIGIDEZ LATERAL
PRESIONA <<ENTER>> PARA CONTINUAR

EXCENTRICIDADES (m)
Nivel  e
1      .0000
2      .0000
3      .0000
4      .0000

FALLA EN EL NIVEL:          1

PRESIONA <<ENTER>> PARA CONTINUAR

DUCTILIDADES EN EL NIVEL DE FALLA

de= 2.72
du=13.39

m1= 4.92
mu= 2.47
Q= 1.98

COEFICIENTE SISMICO DE DESEMPEÑO
ce= 1.92

EL PROGRAMA HA FINALIZADO CON EXITO

-----
ELABORO: M.I. TEODULO IVAN CORNEJO VAZQUEZ
ivancornejo@hotmail.com
UMSNH 2013, POSGRADO EN ESTRUCTURAS
    
```

Figura C8. Segunda etapa de análisis y pantalla final del programa ENRELA_COM_JC.

Finalizado el programa se proporcionan los archivos de resultados descritos en el manual. A continuación se presenta cada uno de ellos.

En la Figura C9 se observan los valores de la envolvente de resistencia lateral de piso (Fig. C9a) y algunos correspondientes a la evolución de la forma modal (Fig.C9b).

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda
0.0000000000000000E+000	0.0000000000000000E+000		1	1
1.249999992403161E-006	7.571232587551263E-003		1	2
1.824693343548531E-001	90.990818199201260		1	3
3.649368440347072E-001	181.980726499368300		1	4
5.474043537145613E-001	272.970634799535300		1	5
7.298718633944155E-001	363.960543099702300		1	6
9.123393730742695E-001	454.950451399869300		1	7
1.094806882754124	545.940359700036300		1	8
1.277274392433978	636.930268000203200		1	9
1.459741902113832	727.920176300370400		1	10
1.642209411793686	818.910084600537400		1	11
1.824676921473540	909.899992900704200		1	12
2.007144431153394	989.468674611486000		1	13
2.007144431153394	989.468674611486000		2	1
2.207470251643665	1063.321577848190000		2	2
2.43065293298906	1118.241993428088000		2	3
2.691068433377956	1182.324597784825000		2	4
2.963308332946498	1249.316930302947000		2	5
3.220943715026898	1312.715407940198000		2	6
3.463682300539401	1372.448107156603000		2	7
3.696990476602174	1429.860187218213000		2	8
3.925114707468020	1485.996610842473000		2	9
4.150596323605999	1529.817725743766000		2	10
4.396338336264740	1559.396641125443000		2	11
4.684404070762755	1594.069881947759000		2	12
4.993708213949807	1631.299499218114000		2	13
5.315394668304792	1670.019522342573000		2	14
5.643348233765126	1709.493890835441000		2	15
5.973665157410072	1749.252726648338000		2	16
6.304105452276898	1789.026412127732000		2	17
6.623181516392367	1827.432233739912000		2	18
6.916066028704894	1862.685490244840000		2	19
7.187272720241886	1895.330027811651000		2	20
7.443033065555803	1926.114259397111000		2	21
7.688067285669121	1955.607980816297000		2	22
7.925832400195875	1984.226751075446000		2	23
8.158800906955207	2012.268174165763000		2	24
8.388707546904092	2039.941053439269000		2	25
8.616744849088173	2067.388928518471000		2	26
8.843714343308230	2094.708276118508000		2	27
9.070134260734246	2121.961473509589000		2	28
9.296334779076226	2149.188262770976000		2	29
9.522517510351749	2176.413911079224000		2	30
9.748794748101391	2203.648934727695000		2	31
9.975223099045712	2230.903147225316000		2	32
10.201829273493040	2258.178763577702000		2	33
10.428620382877020	2285.476639757714000		2	34
10.655587510338540	2312.795702481145000		2	35
10.882719770579370	2340.134641531189000		2	36
11.110008289271400	2367.492388742913000		2	37
11.337434850923390	2394.866751595517000		2	38
11.564990455206230	2422.256646757870000		2	39

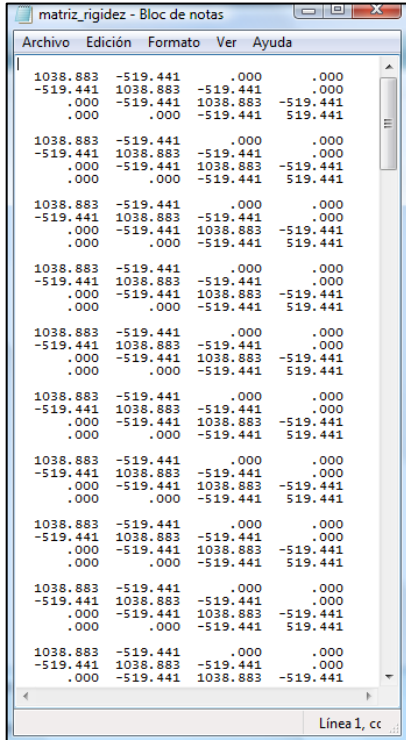
(a) Desplazamiento y resistencia.

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda
.0000	0		0	0
.3649	1		1	1
.6799	2		2	2
.9017	3		3	3
1.0000	4		4	4
.0000	0		0	0
.3649	1		1	1
.6799	2		2	2
.9017	3		3	3
1.0000	4		4	4
.0000	0		0	0
.3649	1		1	1
.6799	2		2	2
.9017	3		3	3
1.0000	4		4	4
.0000	0		0	0
.3649	1		1	1
.6799	2		2	2
.9017	3		3	3
1.0000	4		4	4
.0000	0		0	0
.3649	1		1	1
.6799	2		2	2
.9017	3		3	3
1.0000	4		4	4
.0000	0		0	0
.3649	1		1	1
.6799	2		2	2
.9017	3		3	3
1.0000	4		4	4
.0000	0		0	0

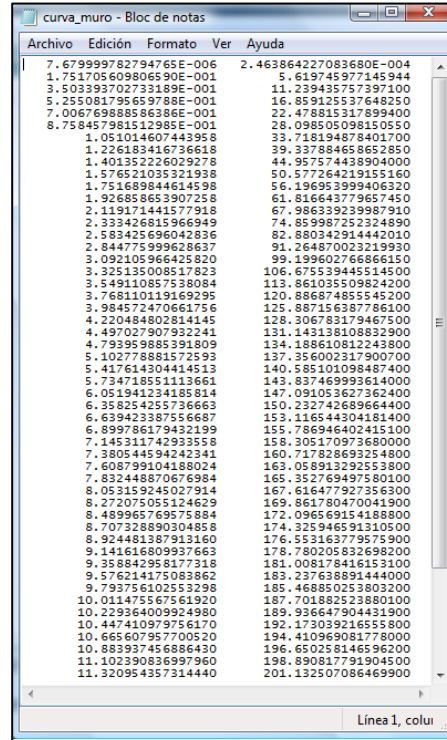
(b) Evolución de la forma modal.

Figura C9. Archivos “Curva_estructura” y “EvolForModal”.

En la Figura C10a se observan algunos de los valores de las matrices de rigidez de la estructura y en la Figura C10b los valores de desplazamiento y resistencia de muro 17 en el primer nivel.



(a) Matrices de rigidez.



(b) Desplazamiento y resistencia de muro seleccionado.

Figura C10. Archivos “Matrices de rigidez” y “Curva_Muro”.

En la Figura C11a se observan los valores de las envolventes de todos los muros en el ciclo de cálculo y en la Figura C11b los valores de las envolventes de todos los muros organizados por nivel y número de muro. La Figura C12a corresponde a los valores de las envolventes de cada nivel de la estructura y la Figura C12b indica el nivel de falla, las ductilidades, coeficiente sísmico de desempeño y valores de resistencia.

En la Figura C13a se observan los resultados del análisis por cargas verticales, la resistencia a compresión y carga axial de cada muro, en la Figura C13b los valores de resistencia máxima ante carga lateral de cada muro.

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda
2	1	11	.7680E-05	.2464E-03
2	1	12	.7680E-05	.2464E-03
2	1	13	.7680E-05	.2464E-03
2	1	14	.7680E-05	.7582E-03
2	1	15	.7680E-05	.7582E-03
2	1	16	.7680E-05	.9946E-03
2	1	17	.7680E-05	.2464E-03
2	1	18	.7680E-05	.2464E-03
2	1	19	.7680E-05	.2464E-03
2	2	11	.7680E-05	.2464E-03
2	2	12	.7680E-05	.2464E-03
2	2	13	.7680E-05	.2464E-03
2	2	14	.7680E-05	.7582E-03
2	2	15	.7680E-05	.7582E-03
2	2	16	.7680E-05	.9946E-03
2	2	17	.7680E-05	.2464E-03
2	2	18	.7680E-05	.2464E-03
2	2	19	.7680E-05	.2464E-03
2	4	11	.7680E-05	.2464E-03
2	4	12	.7680E-05	.2464E-03
2	4	13	.7680E-05	.2464E-03
2	4	14	.7680E-05	.7582E-03
2	4	15	.7680E-05	.7582E-03
2	4	16	.7680E-05	.9946E-03
2	4	17	.7680E-05	.2464E-03
2	4	18	.7680E-05	.2464E-03
2	4	19	.7680E-05	.2464E-03
3	1	11	.1752E+00	.5620E+01
3	1	12	.1752E+00	.5620E+01
3	1	13	.1752E+00	.5620E+01
3	1	14	.1752E+00	.1729E+02
3	1	15	.1752E+00	.1729E+02
3	1	16	.1752E+00	.2269E+02
3	1	17	.1752E+00	.5620E+01
3	1	18	.1752E+00	.5620E+01
3	1	19	.1752E+00	.5620E+01
3	2	11	.1512E+00	.4850E+01
3	2	12	.1512E+00	.4850E+01

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda
1	11	.7680E-05	.2464E-03	
1	11	.1752E+00	.5620E+01	
1	11	.3503E+00	.1124E+02	
1	11	.5255E+00	.1688E+02	
1	11	.7007E+00	.2248E+02	
1	11	.8758E+00	.2810E+02	
1	11	.1051E+01	.3372E+02	
1	11	.1226E+01	.3934E+02	
1	11	.1401E+01	.4496E+02	
1	11	.1577E+01	.5058E+02	
1	11	.1753E+01	.5620E+02	
1	11	.1927E+01	.6182E+02	
1	11	.2119E+01	.6799E+02	
1	11	.2312E+01	.7486E+02	
1	11	.2583E+01	.8288E+02	
1	11	.2845E+01	.9126E+02	
1	11	.3092E+01	.9920E+02	
1	11	.3325E+01	.1067E+03	
1	11	.3549E+01	.1139E+03	
1	11	.3768E+01	.1209E+03	
1	11	.3985E+01	.1259E+03	
1	11	.4220E+01	.1283E+03	
1	11	.4497E+01	.1311E+03	
1	11	.4794E+01	.1342E+03	
1	11	.5103E+01	.1374E+03	
1	11	.5418E+01	.1406E+03	
1	11	.5735E+01	.1438E+03	
1	11	.6052E+01	.1471E+03	
1	11	.6358E+01	.1502E+03	
1	11	.6639E+01	.1531E+03	
1	11	.6900E+01	.1558E+03	
1	11	.7145E+01	.1583E+03	
1	11	.7381E+01	.1607E+03	
1	11	.7609E+01	.1631E+03	
1	11	.7832E+01	.1654E+03	
1	11	.8052E+01	.1676E+03	
1	11	.8272E+01	.1699E+03	
1	11	.8490E+01	.1721E+03	
1	11	.8707E+01	.1743E+03	
1	11	.8924E+01	.1766E+03	
1	11	.9142E+01	.1788E+03	
1	11	.9359E+01	.1810E+03	
1	11	.9576E+01	.1832E+03	
1	11	.9794E+01	.1855E+03	
1	11	.1001E+02	.1877E+03	
1	11	.1023E+02	.1899E+03	
1	11	.1045E+02	.1922E+03	
1	11	.1067E+02	.1944E+03	
1	11	.1088E+02	.1967E+03	
1	11	.1110E+02	.1989E+03	
1	11	.1132E+02	.2011E+03	

(a) Valores de envoltentes de muros. (b) Valores ordenados de envoltentes de muros.

Figura C11. Archivos “Envolvente_Muros” y “Muros”.

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda
0.00000000000000E+000	0.00000000000000E+000	1		
1.249999992403161E-006	7.571232587551263E-003	1		
1.824693343548531E-001	90.990818199201260	1		
3.649368440347072E-001	181.980726499368300	1		
5.474043537145613E-001	272.970634799535300	1		
7.298718639844155E-001	363.860543087023000	1		
9.123393730742695E-001	454.950451399869300	1		
1.094806882754124	545.940259700036300	1		
1.277274932433975	636.930268000020300	1		
1.459741902113832	727.920176300370400	1		
1.642209411793686	818.910084600374000	1		
1.824676921473540	909.899929007042000	1		
2.007144431153394	989.468674611486000	1		
2.007144431153394	989.468674611486000	1		
2.207470251643665	1063.321577848190000	1		
2.430652933298906	1118.241993428088000	1		
2.691068433779566	1182.324597848250000	1		
2.96330832946498	1249.316930302947000	1		
3.220943715026898	1312.715407940198000	1		
3.463682300539401	1372.448207156605000	1		
3.696990476602174	1429.860187218213000	1		
3.925114707468020	1485.996610842473000	1		
4.15059633605999	1529.817725743766000	1		
4.396338336264740	1559.396641125443000	1		
4.684404070762755	1594.069881947759000	1		
4.993708213949807	1631.394992181140000	1		
5.315394668304792	1670.019522342573000	1		
5.643348233765126	1709.493890835441000	1		
5.973665157410072	1749.252766483380000	1		
6.304105452276898	1789.026412127320000	1		
6.623181516392367	1827.432233739912000	1		
6.916066028704894	1862.685490244840000	1		
7.187277270241886	1895.330027811651000	1		
7.443033069555803	1926.114259397111000	1		
7.688067285669121	1955.607980816297000	1		
7.925832400195875	1984.226751075446000	1		
8.15880906955207	2012.268143165763000	1		
8.388707546904092	2039.941053439269000	1		
8.616744849088173	2067.388928518471000	1		
8.84171434308330	2094.708276118508000	1		
9.070134260734246	2121.961473509589000	1		
9.296334779076226	2149.188262770976000	1		
9.525175103517459	2176.412810782400000	1		
9.748794748101391	2203.648934727695000	1		
9.975223099048112	2230.903147235316000	1		
10.201829273493040	2258.178763577020000	1		
10.428620362877020	2285.476639757140000	1		
10.655875103385440	2312.795702481450000	1		
10.882719770579370	2340.134641531189000	1		
11.110008289271400	2367.492388742913000	1		

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda
NIVEL DE FALLA	:	1		
Ductilidad planta baja	:	4.92		
Ductilidad global	:	2.47		
Q:	1.98			
Ce:	1.92			
vagr:	1358.023 kN			
Vmax:	2641.779 kN			
Vu:	2113.423 kN			
dagr:	2.72333 mm			
dmax:	11.38878 mm			
du:	13.38878 mm			

(a) Valores de envoltente de cada nivel (b) ductilidades, ce y resistencias.

Figura C12. Archivos “envolvente_niveles” y “Ductilidad”.

COMPRESION_MUROS - Bloc de notas

RESISTENCIA A COMPRESION

Nivel	Muro	kN
1	1	1122.799821652733000
1	2	590.189649843103300
1	3	590.189649843103300
1	4	1122.799821652733000
1	5	1122.799821652733000
1	6	590.189649843103300
1	7	590.189649843103300
1	8	1122.799821652733000
1	9	2074.490983037872000
1	10	2074.490983037872000
1	11	1209.169038702944000
1	12	1209.169038702944000
1	13	1209.169038702944000
1	14	1950.504818383915000
1	15	1950.504818383915000
1	16	2069.911804914199000
1	17	1209.169038702944000
1	18	1209.169038702944000
1	19	1209.169038702944000
2	1	1122.799821652733000
2	2	590.189649843103300
2	3	590.189649843103300
2	4	1122.799821652733000
2	5	1122.799821652733000
2	6	590.189649843103300
2	7	590.189649843103300
2	8	1122.799821652733000
2	9	2074.490983037872000
2	10	2074.490983037872000
2	11	1209.169038702944000
2	12	1209.169038702944000
2	13	1209.169038702944000
2	14	1950.504818383915000
2	15	1950.504818383915000
2	16	2069.911804914199000
2	17	1209.169038702944000
2	18	1209.169038702944000
2	19	1209.169038702944000
3	1	1122.799821652733000
3	2	590.189649843103300
3	3	590.189649843103300
3	4	1122.799821652733000
3	5	1122.799821652733000
3	6	590.189649843103300
3	7	590.189649843103300
3	8	1122.799821652733000
3	9	2074.490983037872000
3	10	2074.490983037872000

Línea 1, colu

SecFaLat - Bloc de notas

1	11	.2381E+03
1	12	.2381E+03
1	13	.2381E+03
1	14	.4237E+03
1	15	.4237E+03
1	16	.5019E+03
1	17	.2381E+03
1	18	.2381E+03
1	19	.2381E+03
2	11	.1840E+03
2	12	.1840E+03
2	13	.1840E+03
2	14	.3558E+03
2	15	.3558E+03
2	16	.4245E+03
2	17	.1840E+03
2	18	.1840E+03
2	19	.1840E+03
3	11	.1240E+03
3	12	.1240E+03
3	13	.1240E+03
3	14	.2410E+03
3	15	.2410E+03
3	16	.2849E+03
3	17	.1240E+03
3	18	.1240E+03
3	19	.1240E+03
4	11	.4026E+02
4	12	.4026E+02
4	13	.4026E+02
4	14	.1239E+03
4	15	.1239E+03
4	16	.1625E+03
4	17	.4026E+02
4	18	.4026E+02
4	19	.4026E+02

Línea 1

(a) Resultados a compresión y carga axial de cada muro.

(b) Resistencia máxima ante carga lateral de cada muro en cada nivel.

Figura C13. Archivos “Compresion_Muros” y “SecFaLat”.

Con los valores de los archivos obtenidos del análisis se realizan las gráficas correspondientes. Con los valores del archivo “Curva_estructura” se obtiene la gráfica de la envolvente de resistencia lateral de piso de la estructura, Figura C14. Del archivo “Evolformodal” se obtiene los valores para graficar la evolución de la forma modal, Figura C14. En la Figura C16 se observa la envolvente de resistencia lateral del muro 17 obtenida con los valores del archivo “Curva_muro”.

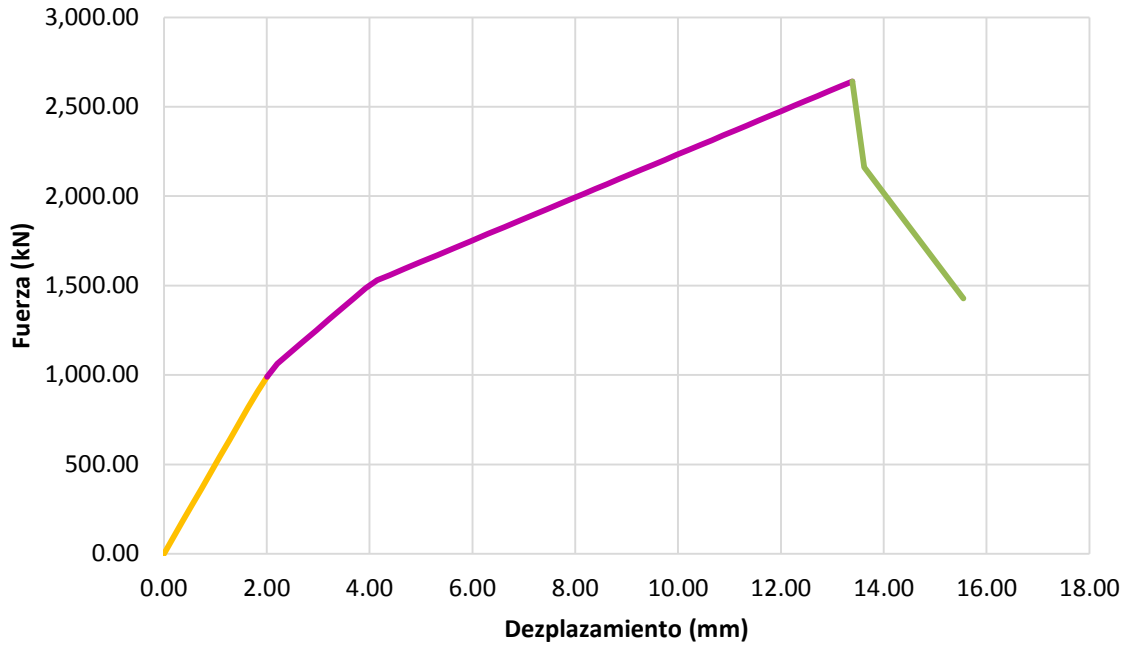


Figura C14. Envolvente de resistencia lateral en dirección X.

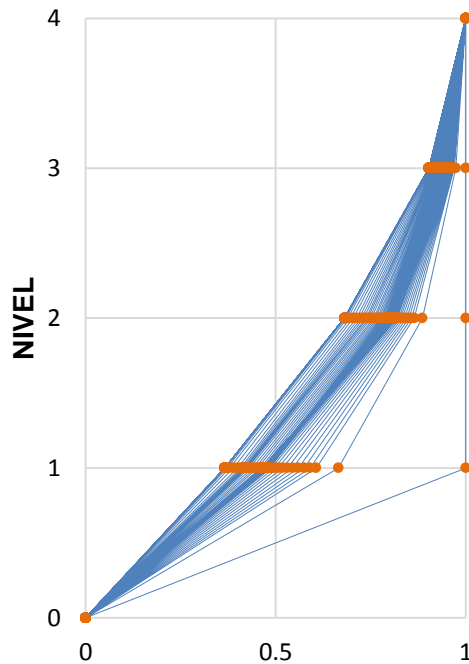


Figura C15. Evolución de la forma modal.

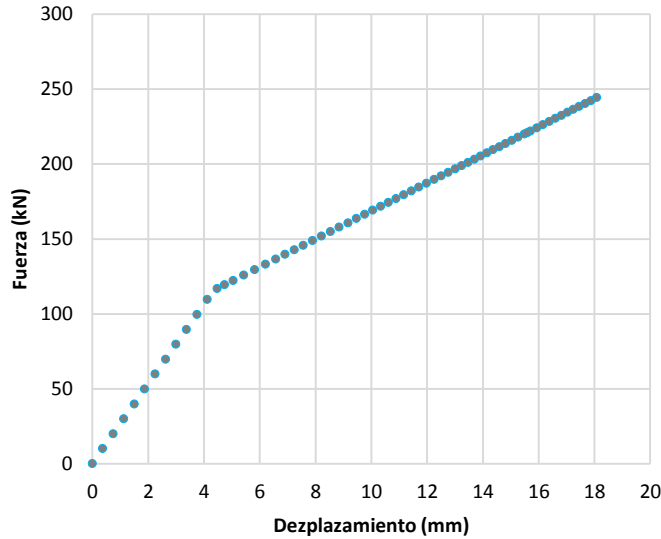


Figura C16. Envoltente de resistencia lateral de muro 17.

En la Figura C17 se observa la secuencia de falla de los muros por carga lateral, se grafica en el eje de las ordenadas la resistencia máxima ante carga lateral y en el de las abscisas el número de muro en la parte superior y la secuencia en la inferior, datos que se obtienen del archivo “SecFaLat”. Los primeros en fallar son 11, 12, 13, 17, 18 y 19.

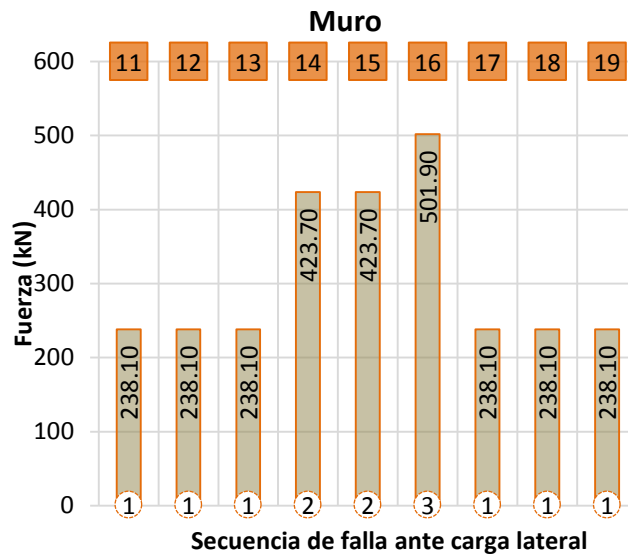
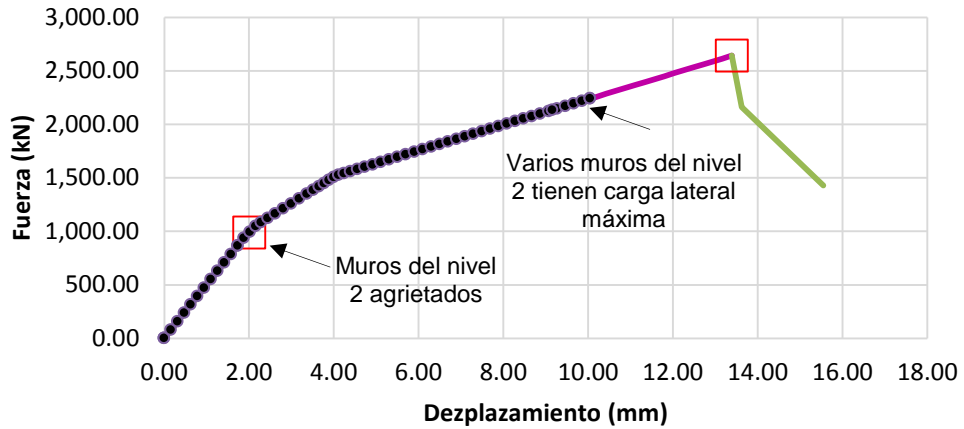
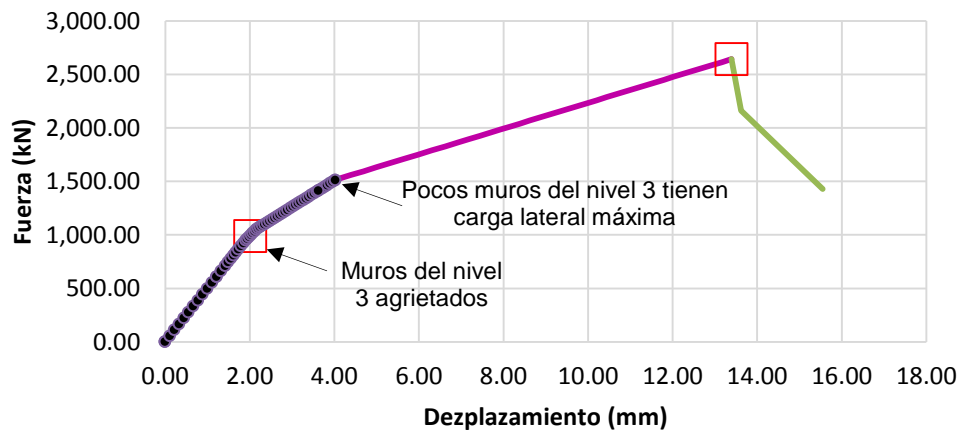


Figura C16. Secuencia de falla en muros ante carga lateral.

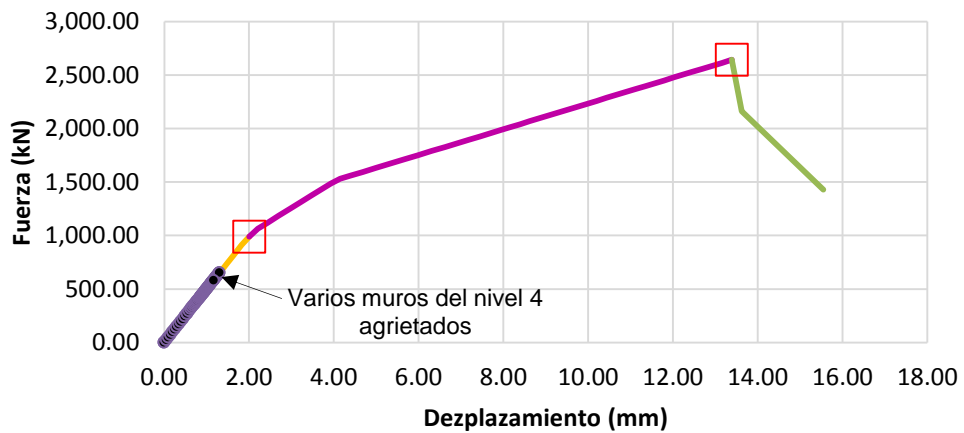
En la Figuras C18a a C18c, se observa la curva envolvente de resistencia lateral del Nivel 1, y el estado del comportamiento de los muros de los niveles 2, 3 y 4 respectivamente. Estas Figuras se obtienen del archivo “envolvente_niveles”.



(a) Envolvente de resistencia, Nivel 1 y 2.



(b) Envolvente de resistencia, Nivel 1 y 3.



(c) Envolvente de resistencia, Nivel 1 y 4.

Figura C17. Envoltentes de resistencia lateral de los diferentes niveles.

Envolvente de resistencia lateral de piso en dirección Y.

Para el análisis en esta dirección solo cambia la sección 4 del archivo de datos en dirección X (Fig. C5).

Los muros que trabajan en esta dirección son del 1 al 10, en la Figura C19 estos muros se encuentran en sentido vertical, de esta Figura se obtienen las coordenadas del centro de gravedad de todos los muros y se indica que los muros 1 al 10 se encuentran en el sentido del análisis (sa) colocando el número 1, para los muros que no están en sentido del análisis se coloca el número 0, como se observa en la Tabla C5. La longitud de los muros, l, el área tributaria de losa, atrib, y el factor k son los mismos valores que se indicaron en el análisis en sentido X.

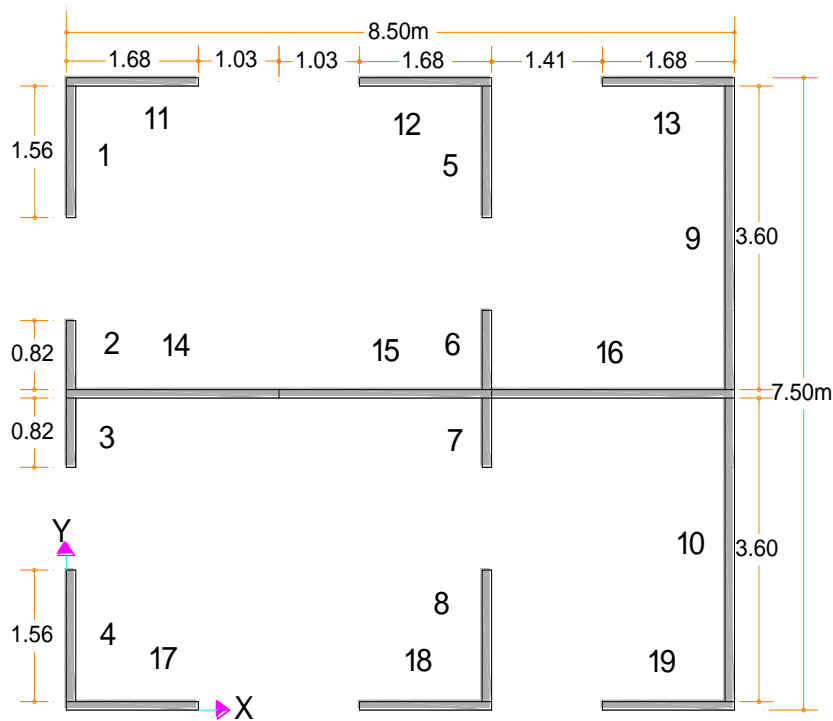


Figura C19. Muros 1 a 10 en sentido vertical.

Con las secciones 1, 2 y 3 del archivo de datos del análisis en dirección X (Fig. C5) y los datos de la Tabla C5, correspondientes a la sección 4, se elabora el nuevo archivo de datos para el análisis en dirección Y llamado 1cmY.txt que se observa en la Figura C20. Guardado el archivo dentro de la carpeta donde se encuentra el programa se inicia *ENRELA_COM_JC*, se introduce el nombre y extensión del archivo 1cmY.txt y se inicia el análisis de manera similar como se menciona en la envolvente de resistencia lateral en sentido X.

Tabla C5. Datos de cada muro.

Muro	X (m)	Y (m)	sa	l (m)	atrib (m2)	k
1	0.06	6.60	1	1.56	2.35	1.0
2	0.06	4.22	1	0.82	0.92	1.0
3	0.06	3.28	1	0.82	0.92	1.0
4	0.06	0.90	1	1.56	2.35	1.0
5	5.35	6.60	1	1.56	3.75	0.8
6	5.35	4.22	1	0.82	1.85	0.8
7	5.35	3.28	1	0.82	1.85	0.8
8	5.35	0.90	1	1.56	3.75	0.8
9	8.44	5.59	1	3.57	3.63	1.0
10	8.44	1.90	1	3.57	3.63	1.0
11	0.90	7.44	0	1.68	3.20	1.0
12	4.51	7.44	0	1.68	3.20	1.0
13	7.60	7.44	0	1.68	2.70	1.8
14	1.38	3.75	0	2.71	5.60	0.8
15	4.02	3.75	0	2.71	5.60	0.8
16	6.89	3.75	0	3.09	4.80	0.8
17	0.90	0.06	0	1.68	3.20	1.0
18	4.51	0.06	0	1.68	3.20	1.0
19	7.60	0.06	0	1.68	2.70	1.0

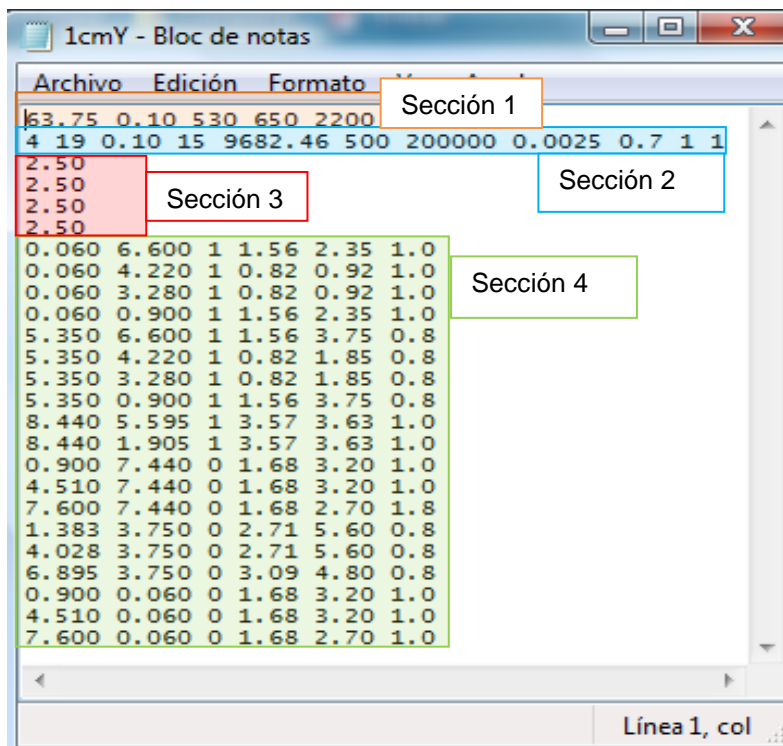


Figura C20. Archivo de datos para el análisis en dirección Y

De los archivos de resultados, la Figura C21 corresponde a la envolvente de resistencia lateral de piso en dirección Y, la C22 es la envolvente del muro indicado en el archivo de datos que corresponde al número 1 en el primer nivel. En el archivo “Ductilidad” se tiene el valor de $Q = 2.18$.

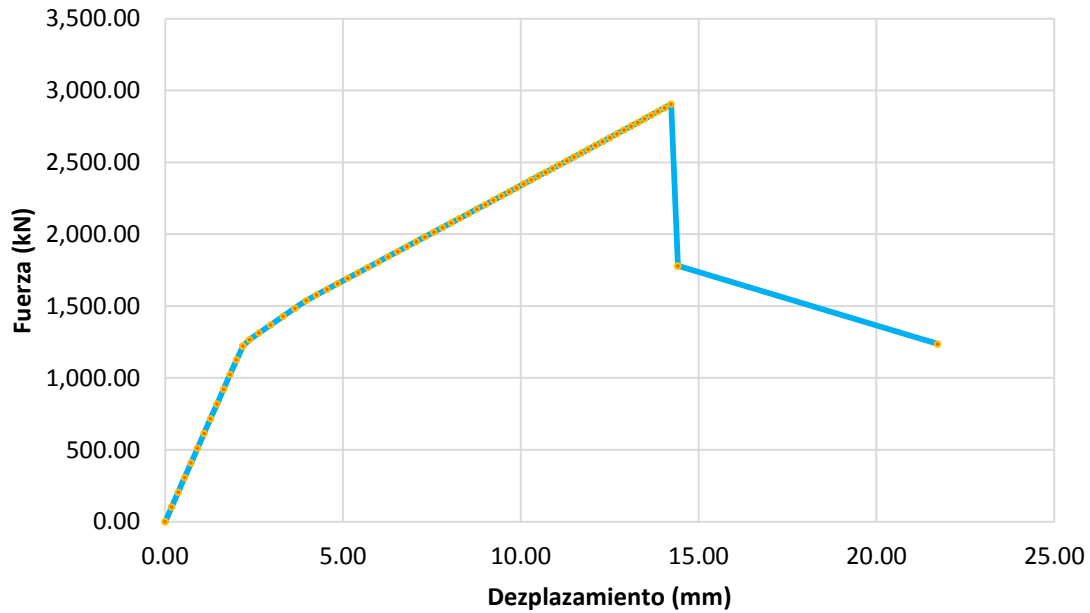


Figura C21. Envolvente de resistencia lateral en dirección Y.

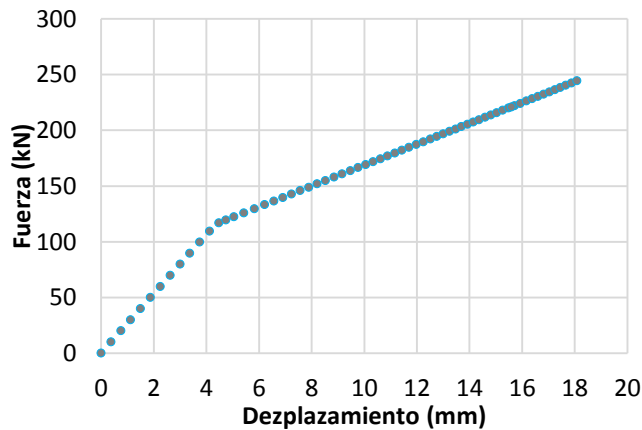
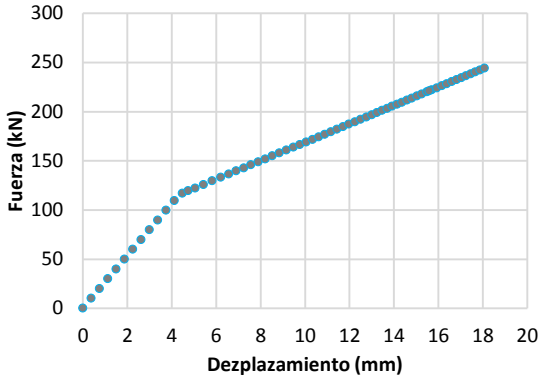
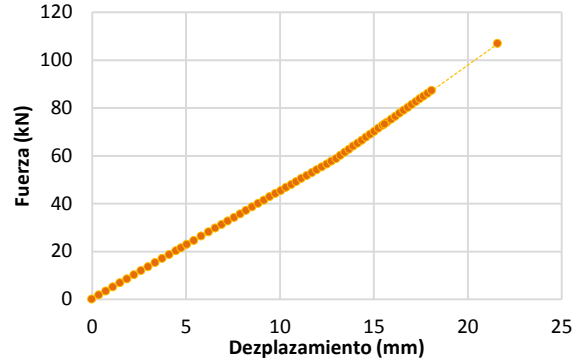


Figura C22. Envolvente de resistencia lateral de muro 1.

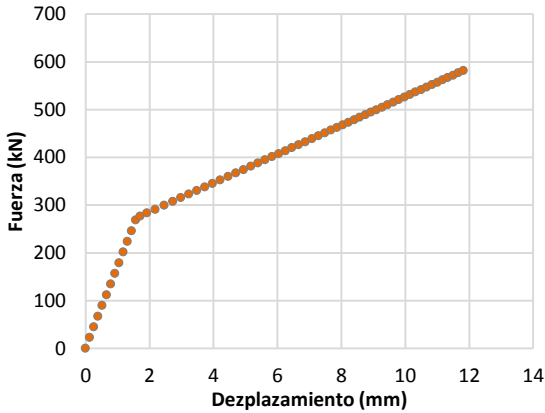
En las Figuras C23a a C23d, se observan las curvas envolventes de resistencia lateral de los muros 1, 2 y 10 de la planta baja del edificio. En la Figura C23d se muestran las envolventes de resistencia lateral del muro No. 1 ubicado en los diferentes niveles de la estructura. Estas graficas se obtienen de los valores del archivo “Muros”.



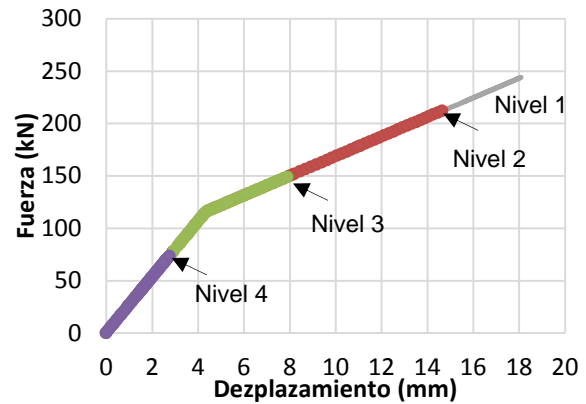
(a) Envolvente de resistencia muro No 1.



(b) Envolvente de resistencia muro No 2.



(c) Envolvente de resistencia muro No 10.



(d) Estado del muro No 1, en cada nivel.

Figura C23. Comparación de envolventes de resistencia lateral.

En la Figura C24 se observa la secuencia de falla de los muros por carga lateral, donde los primeros en fallar son 2 y 3. Grafica obtenida a partir de los valores del archivo “SecFaLat”.

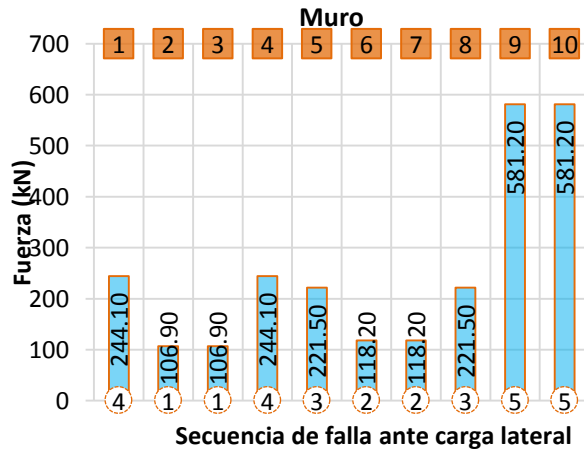


Figura C24. Secuencia de falla en muros ante carga lateral.

APÉNDICE D1

MANUAL DE USUARIO PARA EL PROGRAMA:
ENRELA_COMA_JC.f90

El programa “*ENRELA_COMA_JC.f90*” evalúa la envolvente de resistencia lateral de piso para estructuras conformadas con muros de concreto reforzado con malla electrosoldada o barras corrugadas y mampostería confinada de varios niveles, incluyendo las deformaciones por torsión y siguiendo el primer modo de vibrar, mediante un análisis paso a paso donde se incrementa el desplazamiento.

La metodología que utiliza para el cálculo de la resistencia y rigidez es la desarrollada por Carrillo et al, (2009) para un modelo trilineal de estructuras de concreto reforzado, donde se diferencian tres puntos clave: agrietamiento, máximo y último. Para el análisis del primer modo de vibrar se utiliza el método iterativo del vector inverso descrito por Chopra (1995) normalizado respecto al último nivel (azotea). Para la torsión sísmica se utiliza el procedimiento descrito por Chipol (2001).

En la Figura D1 se observa el diagrama de flujo. La Figura D1a se refiere al diagrama de flujo de la subrutina llamada “Resistencia y rigidez” que calcula la resistencia y rigidez de cada muro de mampostería confinada, la Figura D2b es el diagrama de flujo de la subrutina “Resistencia y rigidez” para muros de concreto reforzado. La Figura D1c corresponde al diagrama de flujo de la subrutina llamada “Primer modo de vibrar” que calcula el primer modo de vibrar de la estructura.

En las Figura D1, D1a y D1b cada valor inicial se refiere a la descripción siguiente, **nn**: número de niveles, **nm**: número de muros, **t**: espesor de muros de mampostería, **Em**: módulo de elasticidad de la mampostería, **Gm**: módulo de cortante de la mampostería, **v*m**: resistencia a compresión diagonal de la mampostería, **dr**: diámetro de varilla de los castillos, **Es**: modulo elasticidad del acero, **f’c**: resistencia a compresión del concreto, **fy**: fluencia del acero del acero de los castillos, **hm**: altura de nivel, **masa**: masa de casa piso, **xm**: coordenada en eje x, **ym**: coordenada en eje y, **sa**: sentido del análisis, **l**: longitud de muro, **fcm**: esfuerzo a compresión actuante en muro, **nb**: número de barras en castillos en sentido de análisis, **nb2**: número de barras en castillos en sentido opuesto de análisis, **b1**: ancho de castillo en sentido del análisis, **b2**: ancho de castillo en sentido opuesto al análisis, **hm2**: altura de muro, **tc**: espesor de muros de concreto, **Ec**: módulo de elasticidad del concreto, **Gc**: módulo de cortante del concreto, **Es**: modulo elasticidad del acero, **f’c**: resistencia a compresión del concreto, **fyh**: fluencia del acero horizontal, **ph**: porcentaje de acero horizontal y **nh**: factor de eficiencia igual a 0.7 para malla electro soldada y 0.8 para barras corrugadas.

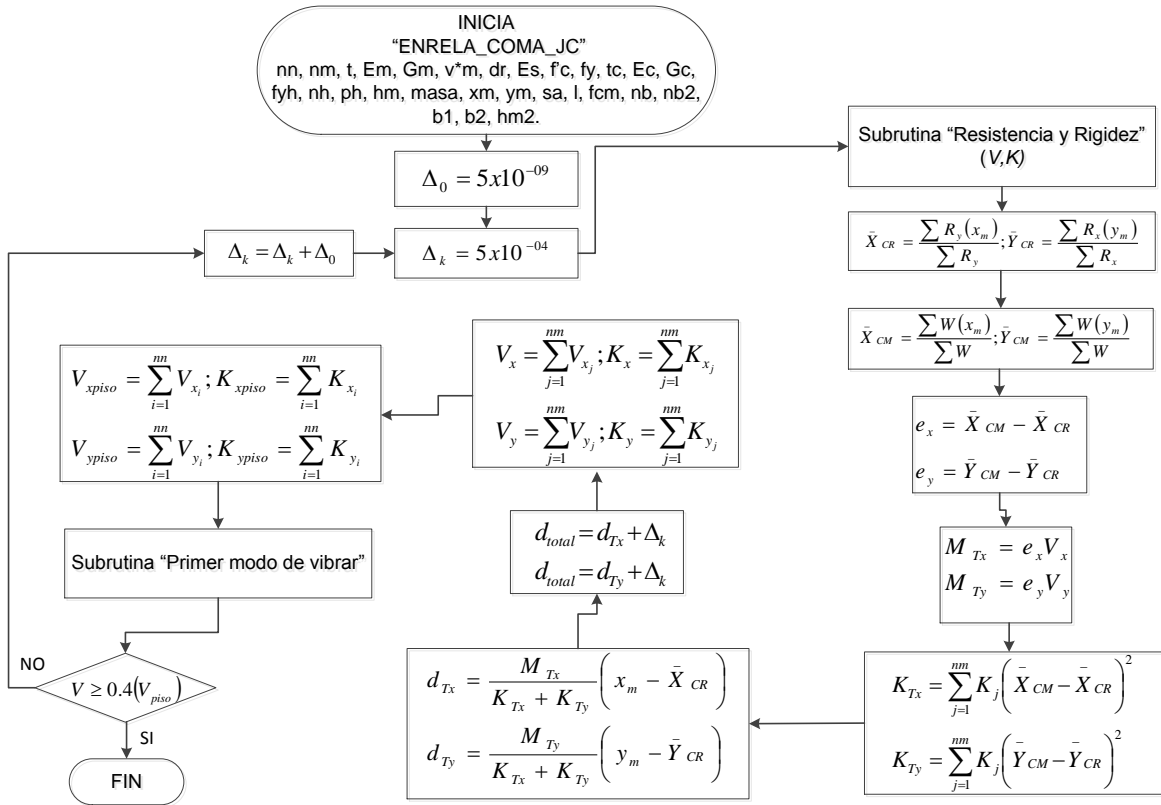


Figura D1. Diagrama de flujo de la metodología programada.

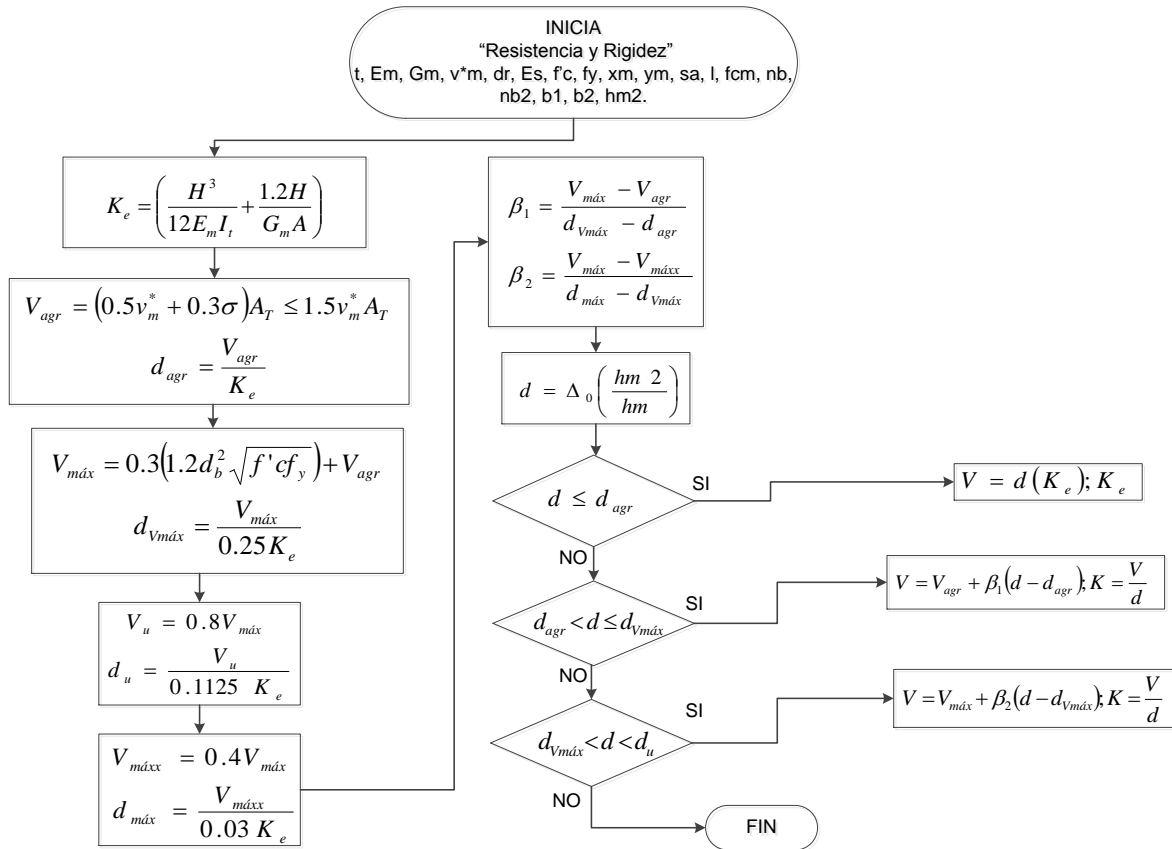


Figura D1a. Diagrama de flujo de la subrutina "Resistencia y Rigidez" para muros de mampostería confinada.

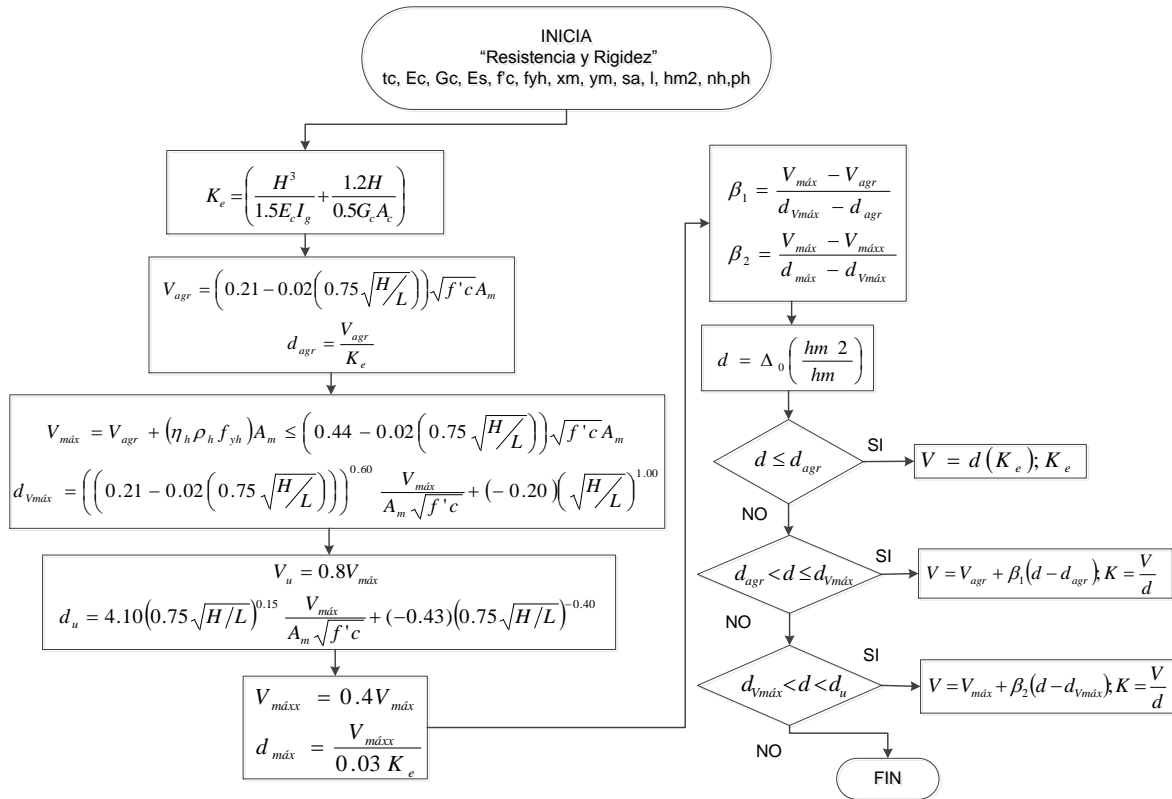


Figura D1b. Diagrama de flujo de la subrutina "Resistencia y Rigidez" para muros de concreto reforzado.

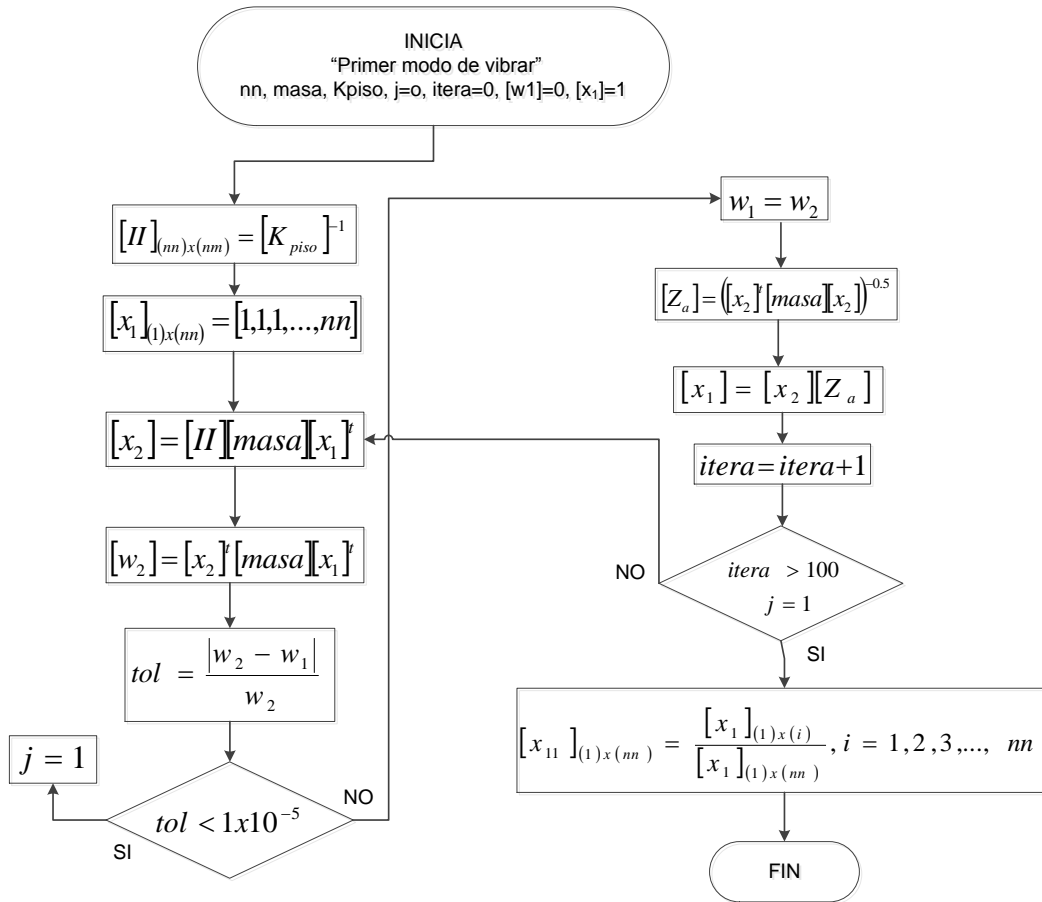


Figura D1c. Diagrama de flujo de la subrutina “Primer modo de vibrar”

MANUAL DE USUARIO PARA EL PROGRAMA *ENRELA_COMA_JC*.

Para utilizar este programa se siguen los siguientes pasos: (1) se crea un archivo con los datos de la estructura, este archivo debe tener nombre con un máximo de 20 caracteres alfanuméricos con extensión .txt y se debe guardar dentro de la misma carpeta donde se encuentra el ejecutable. (2) Ejecutar el programa *ENRELA_COMA_JC.EXE* e ingresar el nombre del archivo de datos creado con extensión. (3) Una vez realizado los pasos anteriores, dentro de la carpeta, el programa proporciona archivos diferentes con la misma extensión que el archivo de datos, estos pueden abrirse directamente o a través de Excel para graficar los datos de interés. A continuación se indica cómo crear el archivo de datos y se describen los archivos de resultados.

ARCHIVO DE DATOS.

Para ejecutar el programa primero se debe crear un archivo con la denominación .txt (bloc de notas) con un máximo de 20 caracteres alfanuméricos, en el se incluyen todas las características de la estructura y se ingresan en 4 secciones como se muestra a continuación.

Sección 1.

Se ingresan las cargas de servicio en el siguiente orden:

Apta tlosa Waz Went Wmuro

donde:

Apta= área en planta (m^2)

tlosa= espesor de losa (m)

Waz=carga de servicio en azotea (kg/m^2)

Went= carga de servicio de entrepiso (kg/m^2)

Wmuro=peso volumétrico de muro (kg/m^3)

Sección 2.

Ingresa características y propiedades comunes de los muros en el siguiente orden:

nn nm tm f*m em gm v_m^* dr es fcc ec fy nnmm mn

tc fccc ecc fyh esc ph nh

donde:

n_n = número de niveles.

n_m = Número de muros por nivel.

n_{nm} = número de muro del que se desea obtener la envolvente. Este debe estar en el sentido del análisis.

m_n = envolvente de resistencia del muro n_{nm} en el nivel m_n . Este debe estar en el sentido del análisis.

Para muros de mampostería confinada:

t_m = Espesor de los muros (m).

f^*_m = Resistencia a compresión de la mampostería (Mpa)

e_m = Modulo de elasticidad (Mpa).

g_m = Modulo cortante (Mpa).

v^*_m = Resistencia a compresión diagonal (Mpa)

d_r = Diámetro de las barras longitudinales de los castillos (m).

e_s = Modulo de elasticidad del acero de los castillos (Mpa).

f_{cc} = Resistencia a compresión (f'_c) del concreto de los castillos (Mpa).

e_c = Modulo de elasticidad del concreto de los castillos (Mpa).

f_y = Fluencia (f_y) de acero de refuerzo de los castillos (Mpa).

Para muros de concreto:

t_c = Espesor de los muros (m).

f_{ccc} = Resistencia a compresión (f'_c) de concreto en muros (Mpa).

e_{cc} = Modulo de elasticidad del concreto de muros (Mpa).

f_{yh} = Esfuerzo de fluencia del acero horizontal en los muros (Mpa).

e_{sc} = Modulo de elasticidad del acero en muros (Mpa).

ph = porcentaje de acero de refuerzo horizontal en los muros.

nh = tipo de acero de refuerzo en muros, se debe colocar:

$nh=0.7$ para refuerzo malla electrosoldada.

$nh=0.8$ para refuerzo con barras corrugadas.

Sección 3.

Se ingresa la altura de cada nivel:

hm material

donde:

hm= altura del nivel, incluyendo espesor de losa (m)

material= tipo de material de los muros:

1 para concreto reforzado

0 para mampostería confinada.

Sección 4.

Se ingresan las coordenadas de cada muro, así como los muros que se encuentran en la dirección del análisis en el siguiente orden:

$x_m, y_m, s_a, n_b, n_{b2}, b_1, b_2, l, a_{trib}, K$

donde

x_m = distancia en x (m)

y_m = distancia en y (m)

s_a = sentido del análisis:

1 si el muro está en el sentido del análisis.

0 si el muro está en sentido opuesto al análisis.

n_b = número de barras en el sentido del análisis.

n_{b2} = número de barras en el sentido opuesto al análisis.

b_1 = longitud del castillo en el sentido del análisis (m).

b_2 = longitud del castillo en el sentido opuesto al análisis (m).

l = longitud de cada muro (m).

a_{trib} = área tributaria de losa que le corresponde a cada muro (m^2).

K = factor de altura efectiva del muro.

ARCHIVOS DE RESULTADOS.

El programa proporciona varios archivos de resultados, estos archivos se pueden consultar directamente o abrirlos através de Excel para poder manejar los datos o graficarlos. A continuación se describe cada uno de ellos.

34. “curva_estructura.txt”, este archivo contiene los valores de resistencia y desplazamiento distribuidos en dos columnas, la de la derecha se refiere a la resistencia (kN) y la de la izquierda a los desplazamientos (mm). Los valores corresponden a los cálculos de toda la edificación.
35. “evolformodal.txt”, este archivo contiene la evolución de la forma modal y cuenta con dos columnas, la del lado izquierdo corresponde a la evolución de la forma del primer modo de vibrar y la del lado derecho representa el nivel de la estructura.
36. “matriz_rigidez.txt”, en este archivo se encuentran las matrices de rigidez de la estructura para cada incremento del desplazamiento hasta llegar a la falla.
37. “ductilidad.txt”, en este archivo se encuentran el valor de ductilidad de planta baja (μ_1), el valor de ductilidad global (μ_u), factor de comportamiento sísmico (Q), el coeficiente sísmico de desempeño (ce), el nivel en el que falla la estructura, los valores de resistencia al agrietamiento, máximo y último y sus respectivos desplazamientos.
38. “curva_muro.txt”, este archivo contiene los valores de resistencia y desplazamiento distribuidos en dos columnas, del lado derecho se refiere a la resistencia (kN) y del izquierdo a los desplazamientos (mm) para el muro indicado en el archivo de datos.

39. “envolvente_niveles.txt”, este archivo contiene tres columnas de valores, de izquierda a derecha, la primera corresponde a los valores de desplazamiento, la segunda de resistencia y la tercera indica en que intervalo se encuentra el valor de resistencia, el número 1 corresponde al intervalo de agrietamiento, el 2 al de resistencia máxima y el 3 al de resistencia última.
40. “envolvente_muros.txt”, este archivo contiene cinco columnas de valores, de izquierda a derecha, la primera indica el número de ciclo en que se calculan los valores, la segunda el nivel de la estructura, la tercera el número de muro, la cuarta el desplazamiento y la quinta la resistencia. El orden que se sigue es con el ciclo y el archivo sirve para graficar la resistencia de los muros.
41. “Muros.txt”, este archivo contiene cuatro columnas de valores, de izquierda a derecha, la primera indica el nivel de la estructura, la segunda el número de muro, la tercera el desplazamiento y la cuarta la resistencia. El orden que se sigue es con relación al nivel de la estructura y al número de muro, el archivo para graficar algún muro de algún nivel.
42. “SecFaLat”, este archivo contiene los valores de resistencia máxima ante carga lateral de los muros, están distribuidos en dos columnas, de izquierda a derecha, la primera indica el nivel de la estructura, la segunda el número de muro y la tercera la resistencia máxima ante carga lateral.
43. “Compresion_Muros”, este archivo contiene los valores de la resistencia a compresión y carga axial de cada muro, también indica el número y nivel del muro que falla por carga axial. Los datos están distribuidos en tres columnas, de izquierda a derecha, la primera se refiere al nivel, la segunda al número de muro y la tercera a la resistencia a compresión o carga axial.

44. “Datos”, en este archivo están organizados una serie de datos que utiliza el programa durante su ejecución.

En pantalla se muestran los siguientes valores:

- 19. Resistencia a compresión de cada muro en cada nivel.
- 20. Carga axial de cada muro en cada nivel.
- 21. Las excentricidades de cada nivel.
- 22. El nivel en donde ocurre la falla.
- 23. La ductilidad de planta baja (m_1), global (μ) y el factor de comportamiento sísmico (Q).
- 24. El coeficiente sísmico de desempeño (ce).

Ejemplo 1.

Analizar la estructura de cuatro niveles mostrada en la Figura D2, indicando el primer nivel con muros de concreto de 10 cm de espesor reforzados con barras corrugadas, el porcentaje de acero en el alma mínimo estipulado en las NTCC-RCDF (2004), $p_{min} = 0.0025$. Los 3 niveles superiores con muros de mampostería confinada de 12 cm. La Figura D2 corresponde a la planta y elevación. En la Tabla D1 se indican las propiedades de los materiales y en la D2 las características generales.

Tabla D1. Propiedades mecánicas de los materiales.

Muro	Material	Propiedad mecánica	Resistencia(Mpa)
Concreto refozado	Concreto	$f'c$	15
		Ec	9682.46
	Acero	Fy	420
		Es	200000
		ph	0.0025
		nh	0.8
Mampostería	Mamposteria	f^*m	1.5
		Em	1200
		Gm	480
		v^*m	0.35
	Concreto	$f'c$	15
		Ec	18203.02
	Acero	Fy	420
		Es	200000

Tabla D2. Características generales de la estructura.

Característica	Datos
Ubicación	Zona III, DF
Coefficiente sísmico (c)	0.19
Uso	Oficinas
Entrepiso	2.50 m
Espesor de losa	0.10 m
Espesor de muros concreto reforzado	0.10 m
Espesor de muros mamposteria	0.12 m

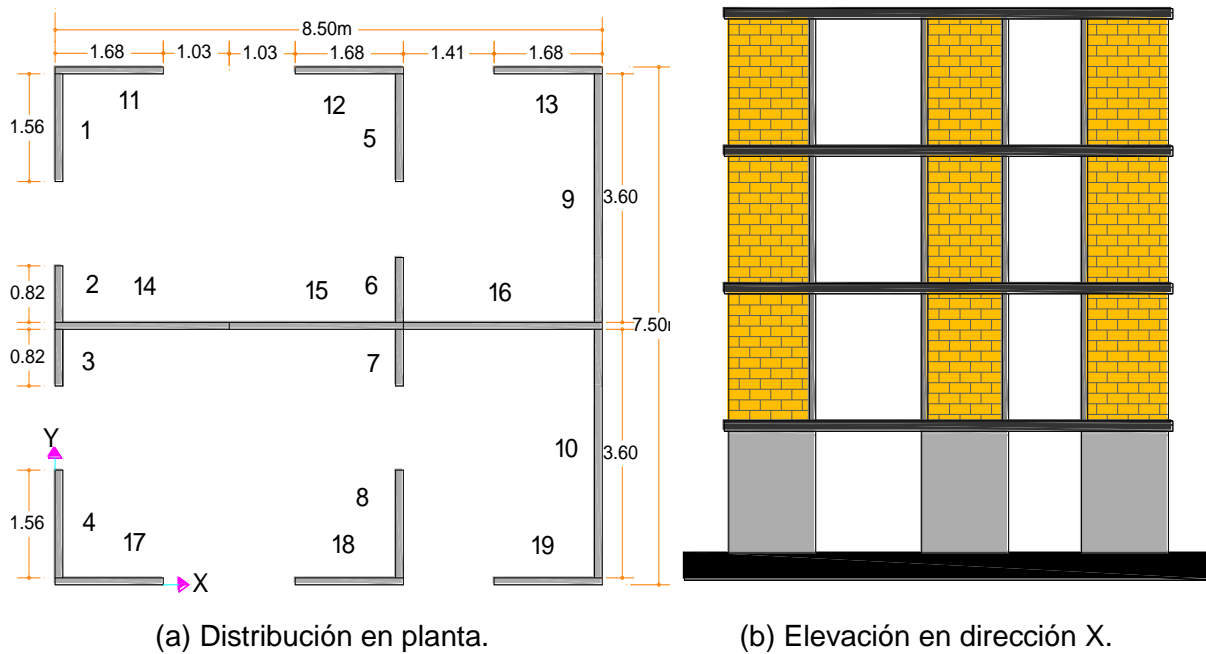


Figura D2. Planta y elevación de estructura de concreto reforzado.

Las áreas tributarias se calcularon como se observa en la Figura D3. Las cargas de servicio como se observa en la Tabla D3, el peso volumétrico de muro se toma como 2200 kg/m^3 .

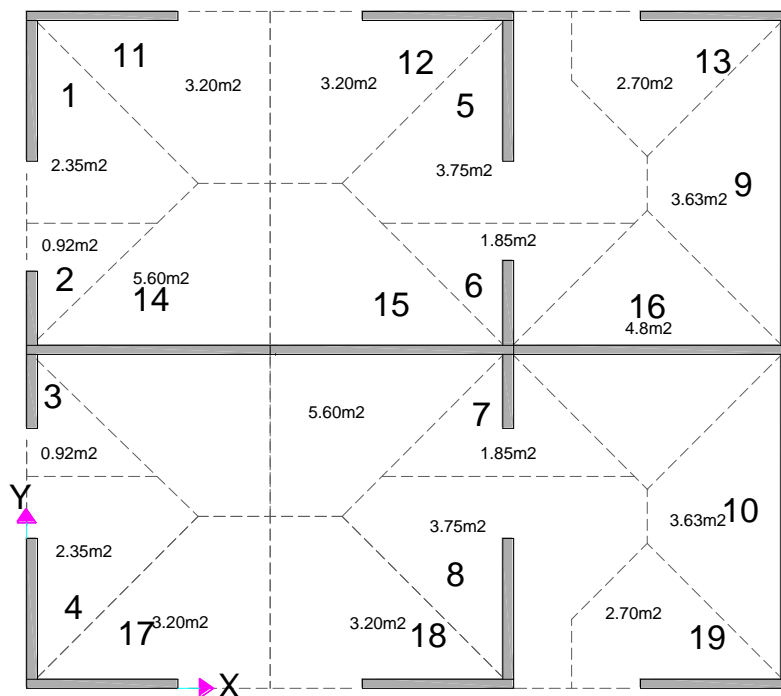


Figura D3. Áreas tributarias para la descarga de los muros.

Tabla D3. Cargas de servicio.

Nivel	Tipo	W	W_{tot}
		kg/m ²	
Azotea	Muerta	450.00	550.00
	Viva	100.00	
Entrepisos	Muerta	400.00	650.00
	Viva	250.00	

Envolvente de resistencia lateral de piso en dirección X.

Se gira 90° en sentido anti horario la Figura D2, de tal manera que los muros 11 al 19 se encuentren en sentido vertical como se observa en la Figura D4, posteriormente se obtienen las coordenadas del centro de gravedad de todos los muros y se indica que los muros 11 al 19 se encuentran en sentido del análisis (sa) colocando el número 1, para los muros que no están en sentido del análisis se coloca el número 0, como se observa en la Tabla D4.

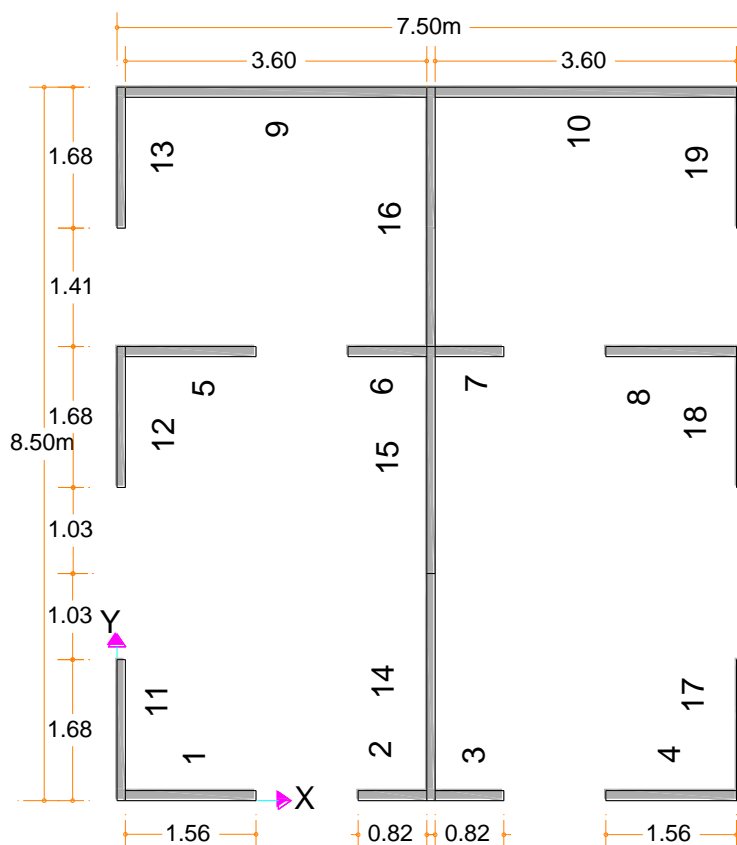


Figura D4. Muros 11 a 19 en sentido vertical.

En la Tabla D4 también se observan las longitudes de los muros, l , que se tomaron de la Figura D4, el área tributaria de losa, $atrib$, que se observa en la Figura D3 y el factor de altura efectiva k del muro. Para determinar el factor de altura efectiva del muro, se toman los criterios de las NTCM-RCDF (2004) donde $k=2$ para muros sin restricción al desplazamiento lateral en su extremo superior, $k=1$ para muros extremos en que se apoyan losas; y $k=0.8$ para muros limitados por dos losas continuas a ambos lados del muro.

Tabla D4. Datos de cada muro.

Muro	X (m)	Y (m)	sa	l (m)	atrib (m2)	k
1	0.90	0.06	0	1.56	2.35	1.0
2	3.28	0.06	0	0.82	0.92	1.0
3	4.22	0.06	0	0.82	0.92	1.0
4	6.60	0.06	0	1.56	2.35	1.0
5	0.90	5.35	0	1.56	3.75	0.8
6	3.28	5.35	0	0.82	1.85	0.8
7	4.22	5.35	0	0.82	1.85	0.8
8	6.60	5.35	0	1.56	3.75	0.8
9	1.91	8.44	0	3.57	3.63	1.0
10	5.60	8.44	0	3.57	3.63	1.0
11	0.06	0.90	1	1.68	3.20	1.0
12	0.06	4.51	1	1.68	3.20	1.0
13	0.06	7.60	1	1.68	2.70	1.8
14	3.75	1.38	1	2.71	5.60	0.8
15	3.75	4.03	1	2.71	5.60	0.8
16	3.75	6.90	1	3.09	4.80	0.8
17	7.44	0.90	1	1.68	3.20	1.0
18	7.44	4.51	1	1.68	3.20	1.0
19	7.44	7.60	1	1.68	2.70	1.0

Finalmente con los datos de las Tablas D1 a D4 se elabora el archivo de datos llamado 1hbX.txt con las cuatro secciones indicadas en el manual de usuario, en la Figura D5 se observa este archivo y se guarda dentro de la carpeta donde se encuentra el programa, posteriormente se inicia *ENRELA_COMA_JC*, se introduce el nombre y extensión del archivo (Fig. D6), en la primer etapa el programa realiza el análisis por cargas verticales e indica si existe falla de algún muro (Fig. D7), aun cuando exista falla por carga vertical en la segunda etapa se realiza el análisis por carga lateral.

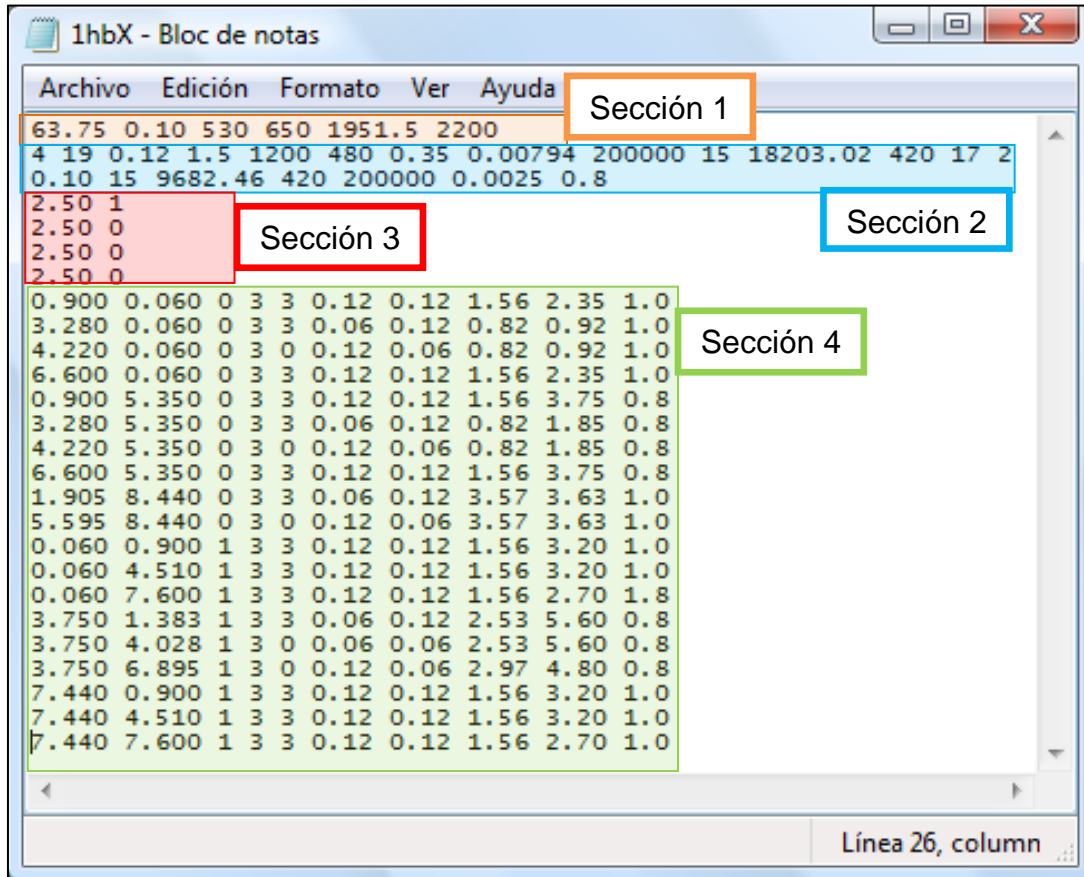


Figura D5. Archivo de datos para el análisis en dirección X

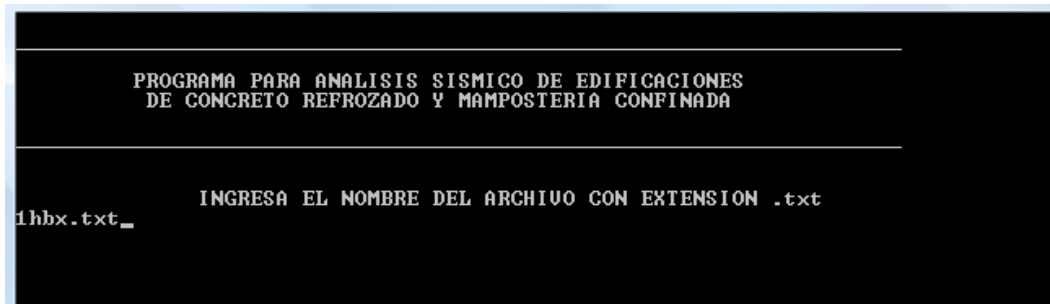


Figura D6. Pantalla de inicio del programa ENRELA_COMA_JC

```

4      12      25.230259981685470
4      13      22.631497129565900
4      14      43.050624489985450
4      15      43.050624489985450
4      16      41.317730978115220
4      17      25.230259981685470
4      18      25.230259981685470
4      19      22.631497129565900

SE PUEDE CALCULAR LA RESISTENCIA ANTE FUERZA LATERAL

-----
ANALISIS POR CARGAS VERTICALES CONCLUIDO, PRESIONA <<enter>> PARA CONTINUAR
    
```

Figura D7. Primera etapa de análisis del programa ENRELA_COMA_JC

Al finalizar con éxito el programa se observa una pantalla similar a la de la Figura D8, en la cual se indica el tipo de falla de la estructura por fuerza lateral, ya sea por rigidez lateral o por rigidez torsional, también indica las excentricidades en cada nivel, el nivel de falla, la ductilidad de la estructura en el nivel de falla y finalmente el coeficiente sísmico de desempeño.

```

-----
ANALISIS POR CARGAS VERTICALES CONCLUIDO, PRESIONA <<enter>> PARA CONTINUAR

FALLA POR FALTA RIGIDEZ LATERAL
PRESIONA <<ENTER>> PARA CONTINUAR

EXCENTRICIDADES (m)
Nivel  e
  1    .0000
  2    .0000
  3    .0000
  4    .0000

FALLA EN EL NIVEL:           2

PRESIONA <<ENTER>> PARA CONTINUAR

DUCTILIDADES EN EL NIVEL DE FALA

de= 2.19
du=15.16

m1= 6.91
mu= 3.22
Q= 2.33

COEFICIENTE SISMICO DE DESEMPEÑO

ce= .63

EL PROGRAMA HA FINALIZADO CON EXITO

-----
ELABORO: M.I. TEODULO IVAN CORNEJO UAZQUEZ
ivancornejo@hotmail.com
UMSNH 2013, POSGRADO EN ESTRUCTURAS
    
```

Figura D8. Segunda etapa de análisis y pantalla final del programa ENRELA_COMA_JC.

Finalizado el programa se proporcionan los archivos de resultados descritos en el manual. A continuación se presenta cada uno de ellos.

En la Figura D9 se observan los valores de la envolvente de resistencia lateral de piso (Fig. D9a) y algunos correspondientes a la evolución de la forma modal (Fig.D9b).

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda
0.000000000000000E+000	0.000000000000000E+000	1	1	
1.249999992403161E-006	4.857461553190307E-003	1	2	
1.753058216942424E-001	54.596127189360670	1	3	
3.506098903478922E-001	109.191708422938300	1	4	
5.259139590015419E-001	163.787289656515900	1	5	
7.012180276551917E-001	218.382870890993500	1	6	
8.765220963088415E-001	272.978452123671100	1	7	
1.051826164962491	327.574033357248600	1	8	
1.227130233616141	382.169614590826300	1	9	
1.402434302269791	436.765195824403900	1	10	
1.577738370923441	491.360777057981400	1	11	
1.753042439577090	545.956358291559000	1	12	
1.928346508230740	600.551939525136600	1	13	
2.103650576884390	651.191565521336000	1	14	
2.103650576884390	651.191565521336000	2	1	
2.288434645690905	683.038627171360600	2	2	
2.526319805942137	685.717908216878100	2	3	
2.882366926356504	688.213528753514300	2	4	
3.324782226062785	691.314524785680200	2	5	
3.831724183566875	694.867803797057700	2	6	
4.381613220752964	698.722109295935800	2	7	
4.953550685722065	702.730957567443700	2	8	
5.527870608923028	706.756505065964800	2	9	
6.0942873898485500	710.726657525327000	2	10	
6.644422994647378	714.582691276377100	2	11	
7.178756829402835	718.327966592417900	2	12	
7.702129084600345	721.996409541363600	2	13	
8.217939648057701	725.611850760716600	2	14	
8.728401515066972	728.354545783095600	2	15	
8.728401515066972	728.354545783095600	3	1	
9.238420676371783	729.707668803208300	3	2	
9.752424634118004	727.907125255273700	3	3	
10.279775978968070	717.528639165878400	3	4	
10.847377177349120	706.164847891693500	3	5	
11.430495122464930	694.490399995128100	3	6	
12.017708606811510	682.733956406681600	3	7	
12.604521034856120	670.985542258831400	3	8	
13.189419278897070	659.275451475237900	3	9	
13.772076633671400	647.610224934297400	3	10	
14.352584420201580	635.988034322325800	3	11	
14.931155666517180	624.404614662310300	3	12	
15.508014941408740	521.477958092611400	3	13	
16.525861671292930	504.646233539347800	3	14	
17.196209745637540	306.019351039295800	3	15	

(a) Desplazamiento y resistencia.

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda
.0000	0			
.3649	1			
.6799	2			
.9017	3			
1.0000	4			
.0000	0			
.3649	1			
.6799	2			
.9017	3			
1.0000	4			
.0000	0			
.3649	1			
.6799	2			
.9017	3			
1.0000	4			
.0000	0			
.3649	1			
.6799	2			
.9017	3			
1.0000	4			
.0000	0			
.3649	1			
.6799	2			
.9017	3			
1.0000	4			
.0000	0			
.3649	1			
.6799	2			
.9017	3			
1.0000	4			
.0000	0			
.3649	1			
.6799	2			
.9017	3			
1.0000	4			

(b) Evolución de la forma modal.

Figura D9. Archivos “Curva_estructura” y “EvolForModal”.

En la Figura D10a se observan algunos de los valores de las matrices de rigidez de la estructura y en la Figura D10b los valores de desplazamiento y resistencia de muro 17 en el segundo nivel.

matriz_rigidez - Bloc de notas

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda
773.171	-324.410	.000	.000	
-324.410	648.820	-324.410	.000	
.000	-324.410	648.820	-324.410	
.000	.000	-324.410	324.410	
773.171	-324.410	.000	.000	
-324.410	648.820	-324.410	.000	
.000	-324.410	648.820	-324.410	
.000	.000	-324.410	324.410	
773.171	-324.410	.000	.000	
-324.410	648.820	-324.410	.000	
.000	-324.410	648.820	-324.410	
.000	.000	-324.410	324.410	
773.171	-324.410	.000	.000	
-324.410	648.820	-324.410	.000	
.000	-324.410	648.820	-324.410	
.000	.000	-324.410	324.410	
773.171	-324.410	.000	.000	
-324.410	648.820	-324.410	.000	
.000	-324.410	648.820	-324.410	
.000	.000	-324.410	324.410	
773.171	-324.410	.000	.000	
-324.410	648.820	-324.410	.000	
.000	-324.410	648.820	-324.410	
.000	.000	-324.410	324.410	
773.171	-324.410	.000	.000	
-324.410	648.820	-324.410	.000	
.000	-324.410	648.820	-324.410	
.000	.000	-324.410	324.410	
773.171	-324.410	.000	.000	
-324.410	648.820	-324.410	.000	
.000	-324.410	648.820	-324.410	
.000	.000	-324.410	324.410	
773.171	-324.410	.000	.000	
-324.410	648.820	-324.410	.000	
.000	-324.410	648.820	-324.410	
.000	.000	-324.410	324.410	

Línea 1, cr

(a) Matrices de rigidez.

curva_muro - Bloc de notas

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda
7.679999782794766E-006	2.221806894516592E-004			
1.682935888264727E-001	4.868696178810683			
3.365854947339765E-001	9.737343671149052			
5.048774006414802E-001	14.605991163487420			
6.731693065489841E-001	19.474638655825790			
8.414612124564876E-001	24.343286148164150			
1.009751118363992	29.211933640502530			
1.178045024271495	34.080581132840900			
1.346336930178999	38.949228625179270			
1.514628836086503	43.817876117517630			
1.682920741994006	48.686523609856000			
1.851212647901510	53.55517102194360			
2.019504553809014	58.423818594532730			
2.196897259863269	62.197630896887430			
2.425267013704451	62.37683948784520			
2.767072249302244	62.645100406329150			
3.191790937020273	62.978416785272580			
3.678455216224198	63.360247649150800			
4.206348691922844	63.774634310050780			
4.755408658293180	64.205533490936660			
5.306755784566104	64.638227019581490			
5.850515894251679	65.064966308469610			
6.378646074861480	65.47943933797080			
6.89160658626720	65.882007280850200			
7.394043921216327	66.276316756715320			
7.889222062135392	66.664929242193400			
8.379265454464290	67.049512011399600			
8.86883849316910	67.433761244535480			
9.362327648753281	67.821012631344390			
9.868584939809340	68.223991024171210			
10.413482090255160	68.631060825305560			
10.973275117566330	69.048619529736420			
11.537000262539050	69.4721120038377860			
12.100340193461870	69.9013436585111410			
12.661842507741190	70.336170678596360			
13.221193568324540	70.7768905612031260			
13.778481043393520	71.2234278342645320			
14.333909439856480	71.675908534353340			
14.887694343752390	72.1348995246420690			
15.464827204441210	72.6001563110440			
16.0508361355812030	73.071525199924600			

Línea 1, colu

(b) Desplazamiento y resistencia de muro seleccionado.

Figura D10. Archivos “Matrices de rigidez” y “Curva_Muro”.

En la Figura D11a se observan los valores de las envolventes de todos los muros en el ciclo de cálculo y en la Figura D11b los valores de las envolventes de todos los muros organizados por nivel y número de muro. La Figura D12a corresponde a los valores de las envolventes de cada nivel de la estructura y la Figura D12b indica el nivel de falla, las ductilidades, coeficiente sísmico de desempeño y valores de resistencia.

En la Figura D13a se observan los resultados del análisis por cargas verticales, la resistencia a compresión y carga axial de cada muro, en la Figura D13b los valores de resistencia máxima ante carga lateral de cada muro.

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda
2	1	11	.7680E-05	.2036E-03
2	1	12	.7680E-05	.2036E-03
2	1	13	.7680E-05	.2036E-03
2	1	14	.7680E-05	.6513E-03
2	1	15	.7680E-05	.6513E-03
2	1	16	.7680E-05	.5180E-03
2	1	17	.7680E-05	.2036E-03
2	1	18	.7680E-05	.2036E-03
2	1	19	.7680E-05	.2036E-03
2	2	11	.7680E-05	.2222E-03
2	2	12	.7680E-05	.2222E-03
2	2	13	.7680E-05	.2222E-03
2	2	14	.7680E-05	.3667E-03
2	2	15	.7680E-05	.3667E-03
2	2	16	.7680E-05	.4336E-03
2	2	17	.7680E-05	.2222E-03
2	2	18	.7680E-05	.2222E-03
2	2	19	.7680E-05	.2222E-03
2	3	11	.7680E-05	.2222E-03
2	3	12	.7680E-05	.2222E-03
2	3	13	.7680E-05	.2222E-03
2	3	14	.7680E-05	.3667E-03
2	3	15	.7680E-05	.3667E-03
2	3	16	.7680E-05	.4336E-03
2	3	17	.7680E-05	.2222E-03
2	3	18	.7680E-05	.2222E-03
2	3	19	.7680E-05	.2222E-03
2	4	11	.7680E-05	.2222E-03
2	4	12	.7680E-05	.2222E-03
2	4	13	.7680E-05	.2222E-03
2	4	14	.7680E-05	.3667E-03
2	4	15	.7680E-05	.3667E-03
2	4	16	.7680E-05	.4336E-03
2	4	17	.7680E-05	.2222E-03
2	4	18	.7680E-05	.2222E-03
2	4	19	.7680E-05	.2222E-03
3	1	11	.1372E+00	.3637E+01
3	1	12	.1372E+00	.3637E+01
3	1	13	.1372E+00	.3637E+01
3	1	14	.1372E+00	.1167E+02
3	1	15	.1372E+00	.1167E+02
3	1	16	.1372E+00	.1839E+02
3	1	17	.1372E+00	.3637E+01
3	1	18	.1372E+00	.3637E+01
3	1	19	.1372E+00	.3637E+01
3	2	11	.1683E+00	.4869E+01
3	2	12	.1683E+00	.4869E+01
3	2	13	.1683E+00	.4869E+01
3	2	14	.1683E+00	.8036E+02

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda
1	11	.7680E-05	.2036E-03	kN
1	11	.1372E+00	.3637E+01	
1	11	.2743E+00	.7274E+01	
1	11	.4115E+00	.1091E+02	
1	11	.5486E+00	.1455E+02	
1	11	.6858E+00	.1818E+02	
1	11	.8229E+00	.2182E+02	
1	11	.9601E+00	.2546E+02	
1	11	.1097E+01	.2909E+02	
1	11	.1234E+01	.3273E+02	
1	11	.1372E+01	.3637E+02	
1	11	.1509E+01	.4000E+02	
1	11	.1646E+01	.4364E+02	
1	11	.1779E+01	.4727E+02	
1	11	.1890E+01	.5092E+02	
1	11	.1952E+01	.5175E+02	
1	11	.1981E+01	.5233E+02	
1	11	.1981E+01	.5233E+02	
1	11	.1981E+01	.5200E+02	
1	11	.1932E+01	.5124E+02	
1	11	.1901E+01	.5040E+02	
1	11	.1872E+01	.4963E+02	
1	11	.1853E+01	.4909E+02	
1	11	.1837E+01	.4872E+02	
1	11	.1828E+01	.4848E+02	
1	11	.1828E+01	.4831E+02	
1	11	.1818E+01	.4821E+02	
1	11	.1818E+01	.4812E+02	
1	11	.1809E+01	.4797E+02	
1	11	.1798E+01	.4767E+02	
1	11	.1769E+01	.4692E+02	
1	11	.1735E+01	.4599E+02	
1	11	.1698E+01	.4502E+02	
1	11	.1661E+01	.4405E+02	
1	11	.1625E+01	.4310E+02	
1	11	.1591E+01	.4218E+02	
1	11	.1557E+01	.4127E+02	
1	11	.1523E+01	.4039E+02	
1	11	.1491E+01	.3951E+02	
1	11	.1271E+01	.3369E+02	
1	11	.1198E+01	.3177E+02	
1	11	.7538E+00	.1999E+02	
Nivel	Muro	mm	kN	
1	12	.7680E-05	.2036E-03	
1	12	.1372E+00	.3637E+01	
1	12	.2743E+00	.7274E+01	
1	12	.4115E+00	.1091E+02	
1	12	.5486E+00	.1455E+02	
1	12	.6858E+00	.1818E+02	
1	12	.8229E+00	.2182E+02	
1	12	.9601E+00	.2546E+02	
1	12	.1097E+01	.2909E+02	

(a) Valores de envolventes de muros. (b) Valores ordenados de envolventes de muros.

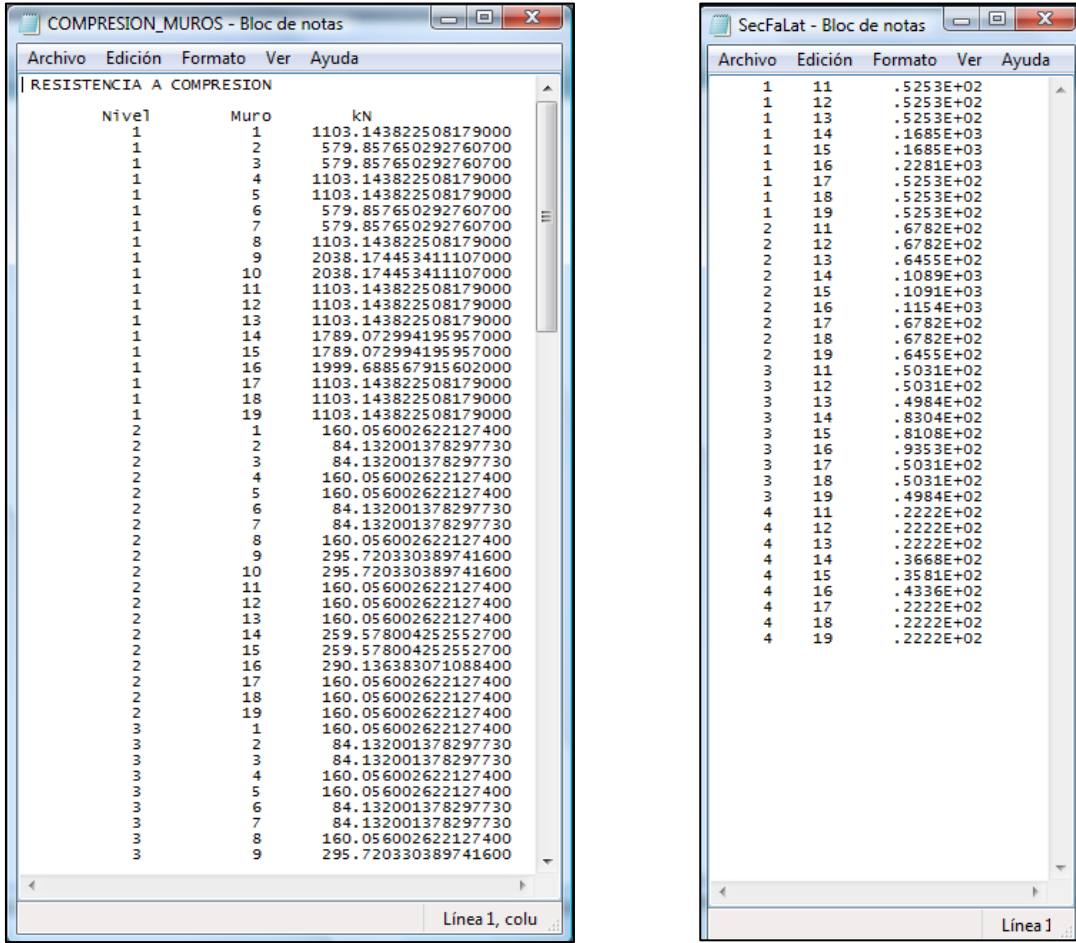
Figura D11. Archivos “Envolvente_Muros” y “Muros”.

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda
1	1	1	0.000000000000000E+000	0.000000000000000E+000
1	2	1	1.249999992403161E-006	7.028409145132918E-003
1	3	1	1.428674306757382E-001	61.54861559822270
1	4	1	2.85734829815327E-001	121.0397015705376400
1	5	1	4.28599434703272E-001	184.6452151816930600
1	6	1	5.714654367232128E-001	246.193415926584700
1	7	1	7.14313187389148E-001	307.74163640238800
1	8	1	8.571974407547108E-001	369.289816151892900
1	1	2	1.000063442770506	430.83301626547100
1	1	3	1.142929444786300	492.386216375201200
1	1	4	1.285795446802095	553.934416486855400
1	1	5	1.428661448817889	615.482161598509600
1	1	6	1.571527450833684	677.030816710163700
1	1	7	1.71439452849478	738.579016821817900
1	1	8	1.853158157057207	798.380764828370600
1	1	9	1.96890535780835	848.244927948567000
1	1	10	2.032967287107003	869.967820557157300
1	1	11	2.032967287107003	869.967820557157300
1	1	12	2.063751548174272	880.372960182670300
1	1	13	0.000000000000000E+000	0.000000000000000E+000
1	1	14	1.249999992403161E-006	4.857461551190307E-003
1	1	15	1.75305821494324E-001	54.59612718930600
1	1	16	3.50609890347892E-001	109.191708422983300
1	1	17	5.25913959001549E-001	163.78789865515900
1	1	18	7.012180276551917E-001	218.382870890093500
1	1	19	8.765230963088415E-001	272.97845213671100
1	1	20	1.051826164962491	327.57403357248600
1	1	21	1.22713023316141	382.169614590826300
1	1	22	1.402434302269791	436.765195824403900
1	1	23	1.577738370923441	491.38077007981400
1	1	24	1.753042439577090	545.95638291559000
1	1	25	1.928146508230740	600.551899525138600
1	1	26	2.103650576884390	651.19156521336000
1	1	27	2.103650576884390	651.19156521336000
1	1	28	2.188434645690905	683.0386271360600
1	1	29	2.526319805942137	685.717908216878100
1	1	30	2.882366926356504	688.213528753514300
1	1	31	3.2478226060785	691.314524765680000
1	1	32	3.831724183566875	694.867803797057700
1	1	33	4.381613220752964	698.722109295935800
1	1	34	4.95350887230665	702.7309574463700
1	1	35	5.527870608923028	706.756505065964800
1	1	36	6.094873898455500	710.72665753337000
1	1	37	6.644422994647378	714.582691276377100
1	1	38	7.178756829402835	718.327966592417900
1	1	39	7.702129084600345	721.896409541363600
1	1	40	8.217939648057701	725.611850760716600
1	1	41	8.72840151066972	728.354545783095600
1	1	42	9.238420676371783	728.354545783095600
1	1	43	9.752424634118004	729.707668801208300
1	1	44	10.279775979968070	727.90712525237300
1	1	45		717.528639165878400

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda
NIVEL DE FALLA	:	2		
Ductilidad planta baja	:	6.91		
Ductilidad global	:	3.22		
Q1	:	2.33		
CE:	:	63		
Vagr:	:	683.391 kN		
Vmax:	:	729.708 kN		
Vu:	:	583.766 kN		
dagr:	:	2.19434 mm		
dmax:	:	9.23842 mm		
du:	:	15.15692 mm		

(a) Valores de envolvente de cada nivel (b) ductilidades, ce y resistencias.

Figura D12. Archivos “envolvente_niveles” y “Ductilidad”.



(a) Resultados a compresión y carga axial de cada muro.

(b) Resistencia máxima ante carga lateral de cada muro en cada nivel.

Figura D13. Archivos “Compresion_Muros” y “SecFaLat”.

Con los valores de los archivos obtenidos del análisis se realizan las gráficas correspondientes. Con los valores del archivo “Curva_estructura” se obtiene la gráfica de la envolvente de resistencia lateral de piso de la estructura, Figura D14. Del archivo “Evolformodal” se obtiene los valores para graficar la evolución de la forma modal, Figura D14. En la Figura D16 se observa la envolvente de resistencia lateral del muro 17 obtenida con los valores del archivo “Curva_muro”.

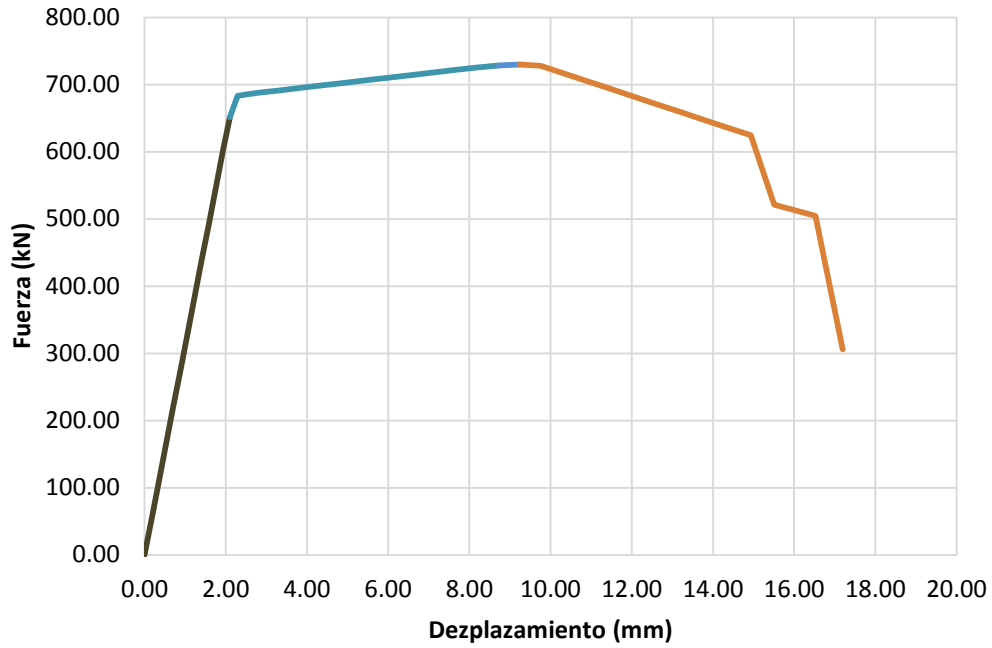


Figura D14. Envolvente de resistencia lateral en dirección X.

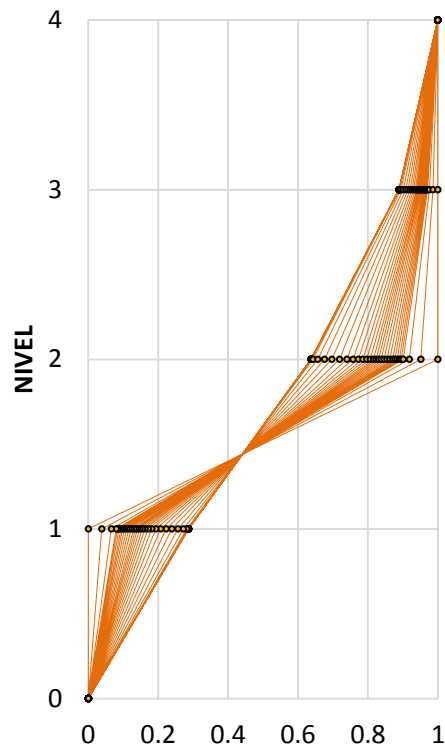


Figura D15. Evolución de la forma modal.

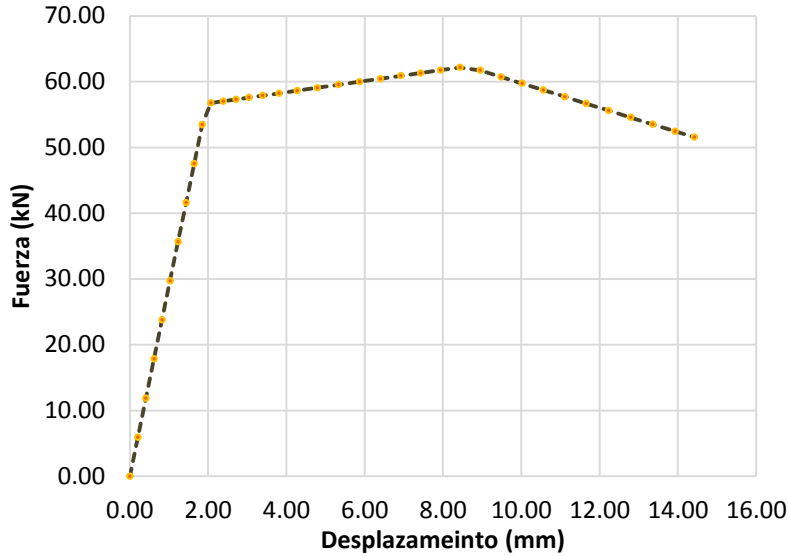


Figura D16. Envoltente de resistencia lateral de muro 17.

En la Figura D17 se observa la secuencia de falla de los muros por carga lateral, se grafica en el eje de las ordenadas la resistencia máxima ante carga lateral y en el de las abscisas el número de muro en la parte superior y la secuencia en la inferior, datos que se obtienen del archivo “SecFaLat”. Los primeros en fallar son 13 y 19.

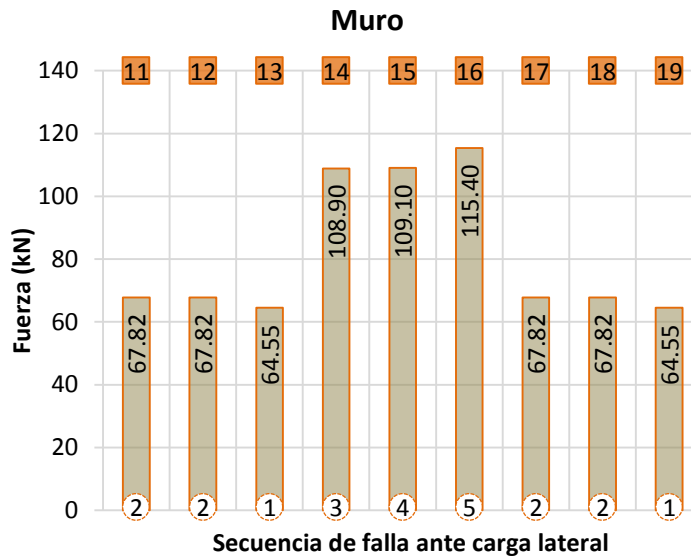
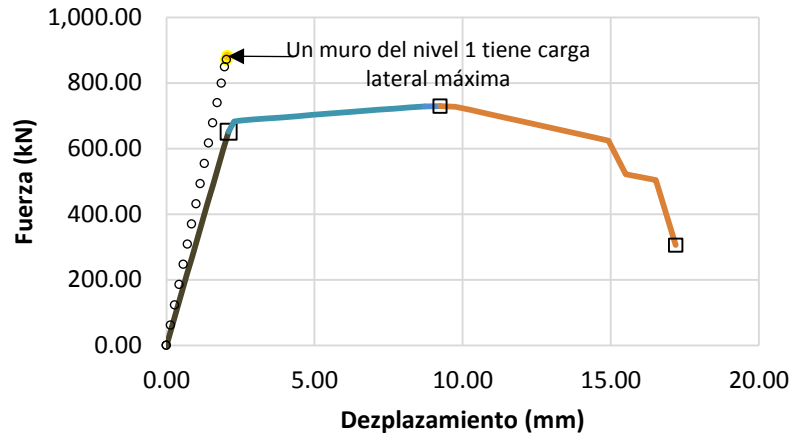
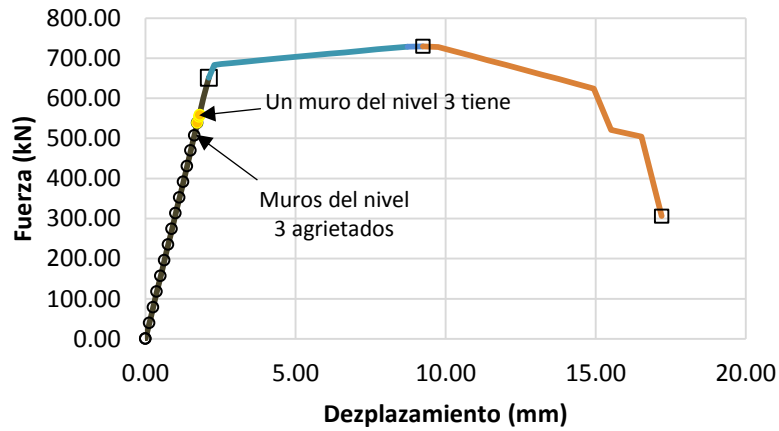


Figura D17. Secuencia de falla en muros ante carga lateral.

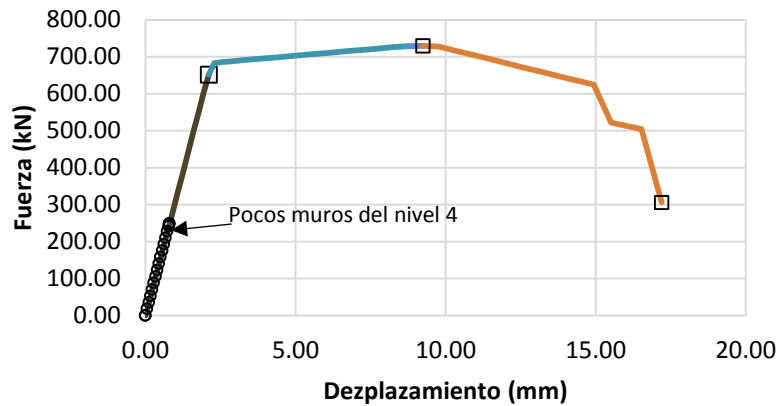
En la Figuras D18a a D18c, se observa la curva envoltente de resistencia lateral del Nivel 2, y el estado del comportamiento de los muros de los niveles 1, 3 y 4 respectivamente. Estas Figuras se obtienen del archivo “envoltente_niveles”.



(b) Envoltente de resistencia, Nivel 2 y 1.



(b) Envoltente de resistencia, Nivel 2 y 3.



(c) Envoltente de resistencia, Nivel 2 y 4.

Figura D18. Envoltentes de resistencia lateral de los diferentes niveles.

Envolvente de resistencia lateral de piso en dirección Y.

Para el análisis en esta dirección solo cambia la sección 4 del archivo de datos en dirección X (Fig. D5).

Los muros que trabajan en esta dirección son del 1 al 10, en la Figura D19 estos muros se encuentran en sentido vertical, de esta Figura se obtienen las coordenadas del centro de gravedad de todos los muros y se indica que los muros 1 a 10 se encuentran en sentido del análisis (sa) colocando el número 1, para los muros que no están en sentido de análisis se coloca el número 0, como se observa en la Tabla D5. La longitud de los muros, l, el área tributaria de losa, atrib, y el factor k son los mismos valores que se indicaron en el análisis en sentido X.

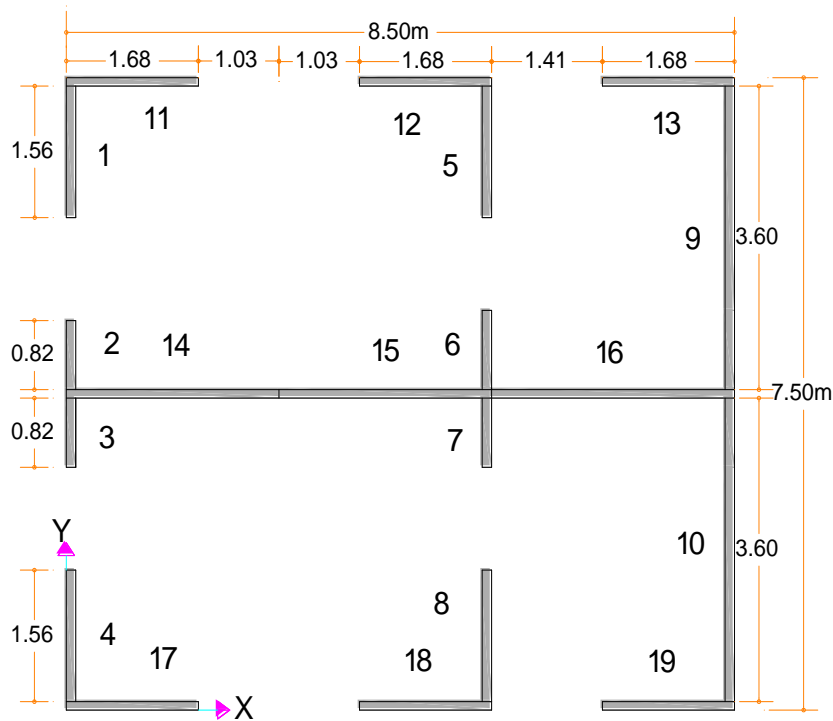


Figura D19. Muros 1 a 10 en sentido vertical.

Con las secciones 1, 2 y 3 del archivo de datos del análisis en dirección X (Fig. D5) y los datos de la Tabla D5, correspondientes a la sección 4, se elabora el nuevo archivo de datos para el análisis en dirección Y llamado 1hbY.txt que se observa en la Figura D20. Guardado el archivo dentro de la carpeta donde se encuentra el programa se inicia *ENRELA_COMA_JC*, se introduce el nombre y extensión del archivo 1hbY.txt y se inicia el análisis de manera similar como se menciona en la envolvente de resistencia lateral en sentido X.

Tabla D5. Datos de cada muro.

Muro	X (m)	Y (m)	sa	l (m)	atrib (m2)	k
1	0.06	6.60	1	1.56	2.35	1.0
2	0.06	4.22	1	0.82	0.92	1.0
3	0.06	3.28	1	0.82	0.92	1.0
4	0.06	0.90	1	1.56	2.35	1.0
5	5.35	6.60	1	1.56	3.75	0.8
6	5.35	4.22	1	0.82	1.85	0.8
7	5.35	3.28	1	0.82	1.85	0.8
8	5.35	0.90	1	1.56	3.75	0.8
9	8.44	5.59	1	3.57	3.63	1.0
10	8.44	1.90	1	3.57	3.63	1.0
11	0.90	7.44	0	1.68	3.20	1.0
12	4.51	7.44	0	1.68	3.20	1.0
13	7.60	7.44	0	1.68	2.70	1.8
14	1.38	3.75	0	2.71	5.60	0.8
15	4.02	3.75	0	2.71	5.60	0.8
16	6.89	3.75	0	3.09	4.80	0.8
17	0.90	0.06	0	1.68	3.20	1.0
18	4.51	0.06	0	1.68	3.20	1.0
19	7.60	0.06	0	1.68	2.70	1.0

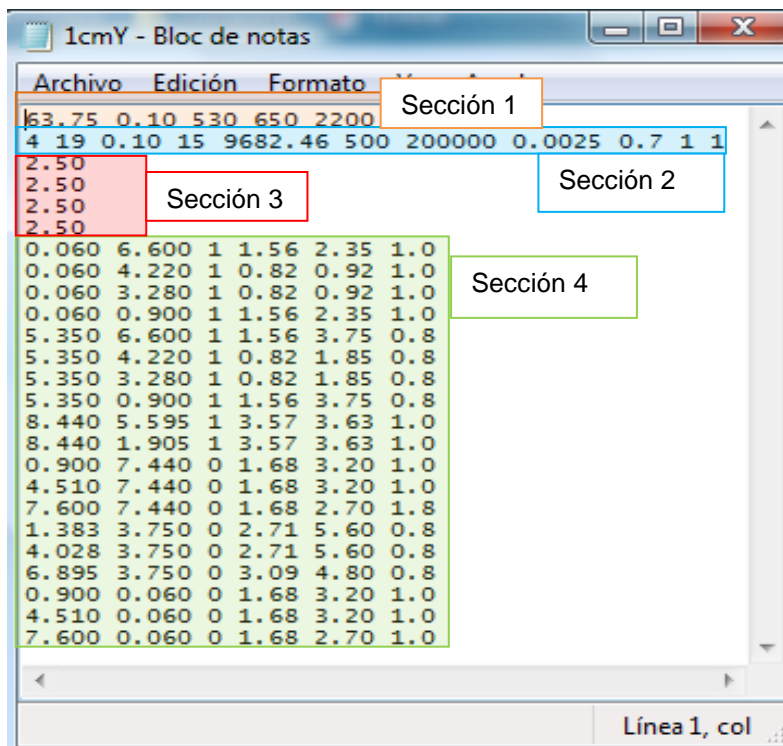


Figura D20. Archivo de datos para el análisis en dirección Y

De los archivos de resultados, la Figura D21 corresponde a la envolvente de resistencia lateral de piso en dirección Y, la D22 es la envolvente del muro indicado en el archivo de datos que corresponde al número 1 en el segundo nivel. En el archivo “Ductilidad” se tiene el valor de $Q = 2.18$.

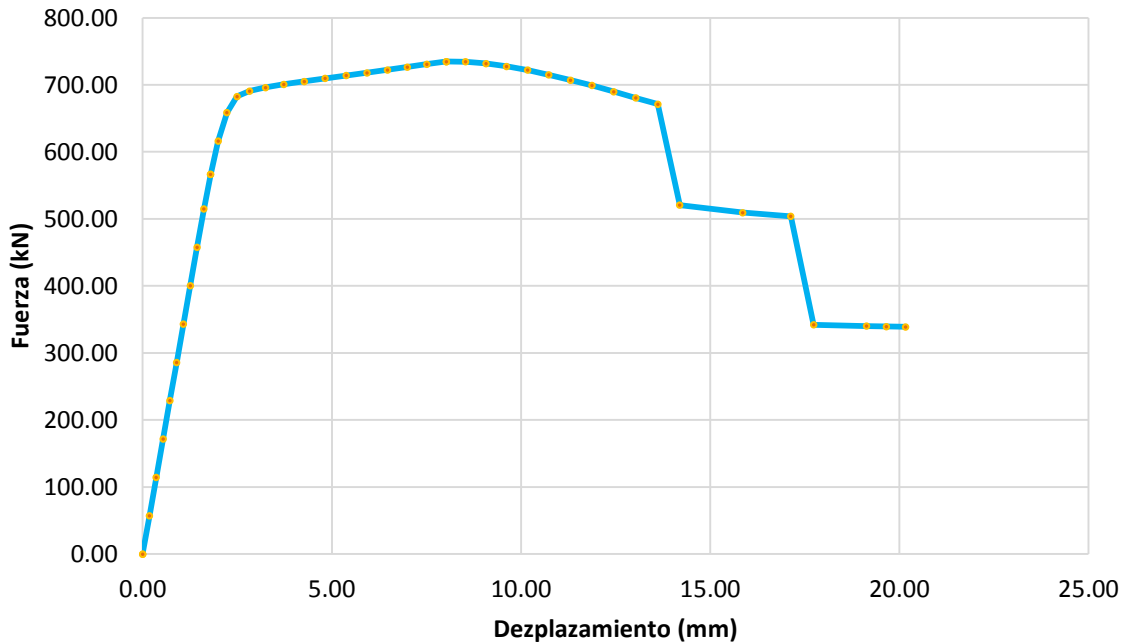


Figura D21. Envolvente de resistencia lateral en dirección Y.

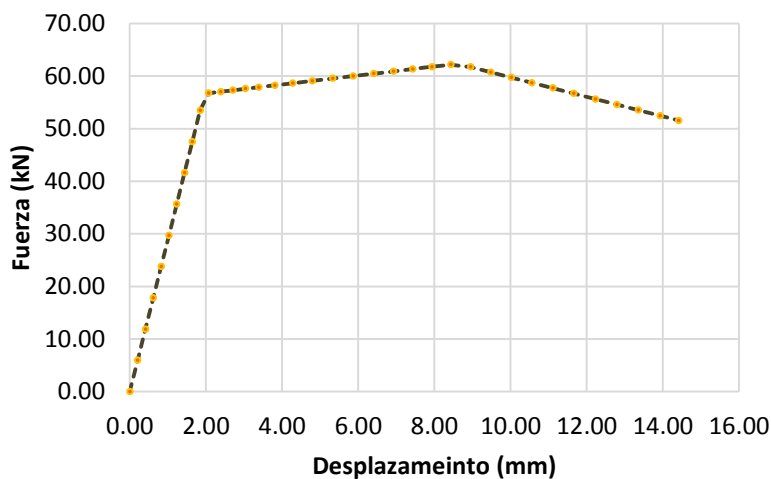


Figura D22. Envolvente de resistencia lateral de muro 1.

En las Figuras D23a a D23d, se observan las curvas envolventes de resistencia lateral de los muros 1, 2 y 10 del nivel de falla. En la Figura D23d se muestran las envolventes de resistencia lateral del muro No. 1 ubicado en los diferentes niveles de la estructura. Estas graficas se obtienen de los valores del archivo “Muros”.

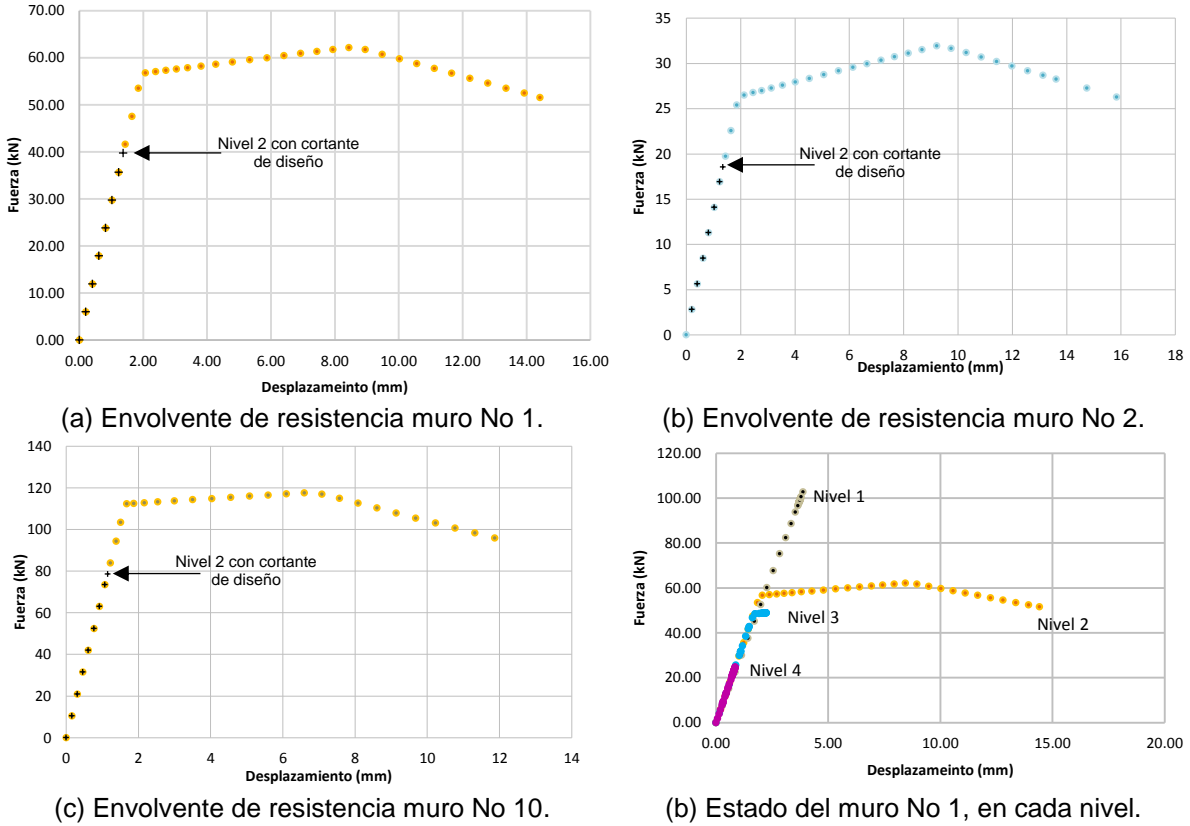


Figura D23. Comparación de envolventes de resistencia lateral.

En la Figura D24 se observa la secuencia de falla de los muros por carga lateral, donde los primeros en fallar son 2 y 3. Grafica obtenida a partir de los valores del archivo “SecFaLat”.

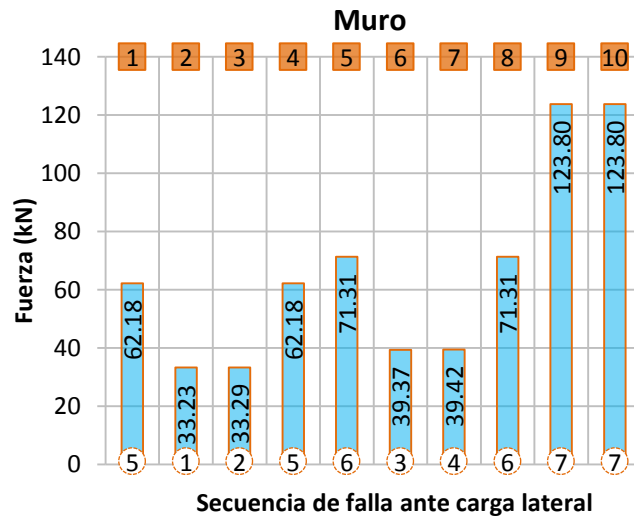


Figura D24. Secuencia de falla en muros ante carga lateral.