

# Tabla de Contenido

<b>1</b>	<b>Introducción</b>	<b>1</b>
1.1	Antecedentes Generales . . . . .	1
1.1.1	Antecedentes Experimentales . . . . .	2
1.1.2	Antecedentes Numéricos . . . . .	3
1.1.3	Propuesta de Estudio . . . . .	6
1.2	Objetivos . . . . .	7
1.2.1	Objetivos Generales . . . . .	7
1.2.2	Objetivos Específicos . . . . .	7
1.3	Organización del Informe . . . . .	8
<b>2</b>	<b>Modelación Numérica</b>	<b>11</b>
2.1	SAFEToolbox . . . . .	11
2.2	Propiedades de los materiales . . . . .	12
2.2.1	Hormigón . . . . .	13
2.2.2	Acero Con Pandeo . . . . .	20
<b>3</b>	<b>Estudio Experimental</b>	<b>25</b>
3.1	Introducción . . . . .	25
3.2	Laboratorio de Estructuras y Su Equipamiento . . . . .	26
3.2.1	Marco de Acero . . . . .	27
3.2.2	Actuador . . . . .	29
3.2.3	Gatos Hidráulicos . . . . .	30
3.2.4	Celda de Carga . . . . .	31

3.2.5	Bombas Hidráulicas . . . . .	32
3.3	Diseño y Fabricación de Probetas . . . . .	33
3.3.1	Resistencia Materiales . . . . .	34
3.3.2	Armadura de Refuerzo de Probetas . . . . .	35
3.4	Instrumentación . . . . .	39
3.4.1	Strain Gages . . . . .	39
3.4.2	LVDT . . . . .	41
3.4.3	Fotogrametría . . . . .	44
3.5	Montaje . . . . .	44
3.5.1	Sistema de Carga Axial . . . . .	45
3.5.2	Sistema de Carga Lateral . . . . .	47
3.5.3	Sistema de Restricción Lateral . . . . .	49
3.5.4	Sistema de Postensado . . . . .	50
3.5.5	Grilla Para Fotogrametría . . . . .	51
<b>4</b>	<b>Resultados Experimentales</b>	<b>52</b>
4.1	Introducción . . . . .	52
4.2	Adquisición Y Corrección De Datos Obtenidos . . . . .	53
4.3	Resultados Experimentales . . . . .	55
4.4	Comparación Entre Ensayos . . . . .	66
4.4.1	Efecto De La Discontinuidad . . . . .	66
<b>5</b>	<b>Estudios Analíticos</b>	<b>69</b>
5.1	Introducción . . . . .	69
5.2	Estudio De Deformaciones . . . . .	70
5.2.1	Resultados Teóricos . . . . .	70
5.3	Modelamiento . . . . .	71
5.4	Resultados Analíticos . . . . .	80
5.5	Deformaciones De Tracción Máximas . . . . .	84
<b>6</b>	<b>Análisis Paramétrico</b>	<b>91</b>
6.1	Introducción . . . . .	91
6.2	Efecto Utilización Pedestal Elástico . . . . .	91

6.3	Muro Con Armadura Continua En Borde Discontinuo . . . . .	93
6.4	Muro 2 Con Carga Axial Excéntrica . . . . .	94
6.5	Modelo De Flexión Pura . . . . .	96
6.5.1	Comparación Modelo Flexión Más Corte Vs Flexión Pura . . . . .	97
6.5.2	Efecto De La Discontinuidad . . . . .	100
6.6	Muros Más Altos . . . . .	103
6.6.1	Comparación Modelo Flexión Más Corte Vs Flexión Pura . . . . .	104
6.6.2	Efecto De La Discontinuidad . . . . .	110
6.7	Comparación Resultados Con Modelo Analítico . . . . .	113
6.7.1	Deformaciones Elásticas . . . . .	113
6.7.2	Largo de rótula plástica . . . . .	121
<b>7</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>126</b>
7.1	Resumen . . . . .	126
7.2	Conclusiones y Recomendaciones . . . . .	127
	<b>Bibliografía</b>	<b>132</b>
	<b>Anexos</b>	<b>135</b>
<b>A</b>	<b>Capítulo 3</b>	<b>136</b>
A.1	Curvas Carga vs Deformación Acero . . . . .	136
A.2	Detalle Planos Probetas de Hormigón Armado . . . . .	139
A.3	Detalle Instalación Strain Gages . . . . .	141
A.4	Detalle Sistema Carga Axial . . . . .	142
<b>B</b>	<b>Capítulo 4</b>	<b>143</b>
B.1	Adquisición Y Corrección De Datos Obtenidos . . . . .	143
<b>C</b>	<b>Capítulo 5</b>	<b>145</b>
C.1	Resultados Analíticos . . . . .	145
<b>D</b>	<b>Capítulo 6</b>	<b>147</b>
D.1	Efecto De La Discontinuidad Para Muro 2 . . . . .	147

D.2	Determinación desplazamiento de fluencia a partir de los ensayos . . . . .	152
D.3	Determinación desplazamiento de fluencia a partir de los modelos . . . . .	154

# Índice de Tablas

3.1	Resumen dimensiones para cada muro de hormigón armado a ensayar. . . . .	34
3.2	Resistencia crítica del hormigón a compresión. . . . .	35
3.3	Resistencia y deformación unitaria para barras de acero a tracción (curvas Carga vs Deformación se encuentran en el Anexo A). . . . .	35
3.4	Resumen cuantías de refuerzo utilizadas en las probetas. . . . .	36
4.1	Resumen máxima diferencia entre LVDT de control vs desplazamiento corregido. Todos los resultados ocurrieron al 4% de drift. . . . .	54
4.2	Resumen degradación en cada Especimen. . . . .	68
5.1	Resumen Carga Axial $P_0$ , Momento y Corte Nominal. . . . .	71
5.2	Propiedades utilizadas en la modelación de cada Especimen. . . . .	73
5.3	Resumen Cuantías Utilizadas. . . . .	74
5.4	Resumen Mesh Elementos Finitos. . . . .	76
6.1	Resumen falla de muros para distintas configuraciones. . . . .	107
6.2	Resumen desplazamiento de fluencia utilizando los registros de LVDT unidos o por separado. . . . .	116
6.3	Parámetros utilizados en cálculo de desplazamiento de fluencia. . . . .	118
6.4	Resumen desplazamiento de fluencia de los distintos análisis realizados. . . . .	119
6.5	Parámetros utilizados en el cálculo de largo de rótula plástica. . . . .	123
6.6	Resumen largo de rótula plástica para un $Drift = 1.35\%$ . . . . .	123
6.7	Resumen largo de rótula plástica para un $Drift = 2\%$ . . . . .	124
6.8	Resumen largo de rótula plástica para un $Drift = 3\%$ . . . . .	124

# Índice de Ilustraciones

1.1.1	Registros fotográficos de daños en muros de hormigón armado tipo bandera después del terremoto de 2010. . . . .	2
1.1.2	Curvaturas muro rectangular vs bandera con aberturas de 20% del largo. . .	4
2.1.1	Sección Membrana Rectangular y Grados de libertad asociados. . . . .	12
2.2.2	Distribución de tensiones en la sección de hormigón armado. . . . .	13
2.2.3	Modelo para envoltente del hormigón a compresión. . . . .	14
2.2.4	Modelo para envoltente del hormigón a tracción. . . . .	15
2.2.5	Modelo para el comportamiento cíclico del hormigón. . . . .	16
2.2.6	Modelo de reducción o amplificación de la capacidad del hormigón. . . . .	17
2.2.7	Modelo hormigón confinado. . . . .	18
2.2.8	Modelo reducción de capacidad por daño. . . . .	19
2.2.9	Modelación del pandeo de las barras de refuerzo e imperfección inicial. . . . .	21
2.2.10	Curva monotónica del acero. . . . .	21
2.2.11	Modelo cíclico del acero. . . . .	22
2.2.12	Comparación modelo numérico del acero con pandeo vs la respuesta del material, para una relación de esbeltez de $L/d_b = 14$ . . . . .	23
3.2.1	Plano general Laboratorio de Estructuras. . . . .	26
3.2.2	Cuadrante del laboratorio de estructuras destinado para los ensayos. . . . .	27
3.2.3	Marco de Acero. . . . .	28
3.2.4	Actuador. . . . .	29
3.2.5	Gato Hidráulico. . . . .	30
3.2.6	Celda de Carga. . . . .	31

3.2.7	Bombas Hidráulicas utilizadas en los ensayos . . . . .	32
3.3.8	Esquema Muro 1 y 2 (Unidades en <i>mm</i> ). Detalle Pedestal y Viga en Anexo A	37
3.3.9	Esquema Muro 3 y 4 (Unidades en <i>mm</i> ). Detalle Pedestal y Viga en Anexo A	38
3.4.10	Instalación de un Strain Gages. . . . .	40
3.4.11	Esquema General instalación Strain Gages (Unidades en <i>mm</i> ). . . . .	40
3.4.12	Instalación final Strain Gages. . . . .	41
3.4.13	Instalación LVDT. . . . .	42
3.4.14	Esquema general disposición LVDT (Unidades en <i>mm</i> ) . . . . .	43
3.5.15	Montaje General Ensayo. . . . .	45
3.5.16	Sistema de Carga Axial. . . . .	46
3.5.17	Montaje del Sistema de Carga Lateral. . . . .	47
3.5.18	Drift de Carga Establecido. . . . .	48
3.5.19	Sistema de Restricción Lateral. . . . .	49
3.5.20	Sistema de Postensado. . . . .	50
3.5.21	Patrón de manchas generado para Ensayo 1. . . . .	51
4.2.1	Disposición LVDT externos. . . . .	53
4.2.2	Comparación Desplazamiento superior LVDT de control vs Desplazamiento Corregido para muro 2. . . . .	54
4.3.3	Resultados Experimentales Muro 1. . . . .	56
4.3.4	Agrietamiento Muro 1. . . . .	57
4.3.5	Falla Muro 1. . . . .	57
4.3.6	Resultados Experimentales Muro 2. . . . .	58
4.3.7	Agrietamiento Muro 2. . . . .	59
4.3.8	Falla Muro 2. . . . .	60
4.3.9	Resultados Experimentales Muro 3. . . . .	61
4.3.10	Agrietamiento Muro 3, lado discontinuo. . . . .	62
4.3.11	Falla Muro 3. . . . .	62
4.3.12	Resultados Experimentales Muro 4. . . . .	63
4.3.13	Agrietamiento Muro 4 al final de la barra de refuerzo discontinua. . . . .	64
4.3.14	Falla Muro 4. . . . .	65

4.4.15	Localización drift y carga cuando el muro comienza a degradar, además de su falla. . . . .	68
5.3.1	Curva analítica para el Hormigón. . . . .	72
5.3.2	Curva analítica para el Acero vs Curva Acero Ensayado. . . . .	72
5.3.3	Definición zonas de interés, Caso base y bandera. . . . .	74
5.3.4	Distribución de elementos finitos para cada modelo. . . . .	76
5.3.5	Distribución carga axial y lateral en nodos superiores. . . . .	77
5.3.6	Resultados obtenido para Muro 2 utilizando Acero sin Pandeo . . . . .	78
5.3.7	Resultados obtenido para Muro 2 utilizando Acero Con Pandeo . . . . .	78
5.3.8	Carga Axial aplicada a cada muro al inicio del ensayo. . . . .	79
5.4.9	Curva Carga vs Desplazamiento Muro 1. . . . .	80
5.4.10	Curva Carga vs Desplazamiento Muro 2. . . . .	81
5.4.11	Curva Carga vs Desplazamiento Muro 3. . . . .	82
5.4.12	Curva Carga vs Desplazamiento Muro 4. . . . .	83
5.5.13	Puntos de cuadratura seleccionados. . . . .	84
5.5.14	Deformaciones de tracción máximas Muro 2. . . . .	85
5.5.15	Deformaciones de tracción máximas Muro 1. . . . .	86
5.5.16	Deformaciones de tracción máximas Muro 2. . . . .	87
5.5.17	Deformaciones de tracción máximas Muro 3. . . . .	88
5.5.18	Deformaciones de tracción máximas Muro 4. . . . .	89
5.5.19	Deformaciones de tracción máximas Muro 4 para drift del 3% por fotogrametría. . . . .	90
6.2.1	Comparación curvas de deformación de tracción máxima para muro 3 con distinto módulo de elasticidad. . . . .	92
6.3.2	Comparación Curva Carga vs Desplazamiento con distinto largo de refuerzo. . . . .	93
6.3.3	Comparación deformación de tracción máxima con distinto largo de refuerzo. . . . .	94
6.4.4	Curva analítica para el Hormigón. . . . .	95
6.4.5	Resultados obtenidos para modelo muro 2 con carga excéntrica o centrada. . . . .	96
6.5.6	Comparación Curva Carga vs Desplazamiento Muro 1. . . . .	97
6.5.7	Comparación Curva Carga vs Desplazamiento Muro 2. . . . .	98
6.5.8	Comparación Curva Carga vs Desplazamiento Muro 3. . . . .	98



6.5.9	Comparación Curva Carga vs Desplazamiento Muro 4. . . . .	99
6.5.10	Comparación Curva Carga vs Desplazamiento Muro 1 y Muro 4 con largo de refuerzo: 2800mm. . . . .	99
6.5.11	Perfil de deformaciones, Sentido Positivo. . . . .	101
6.5.12	Perfil de deformaciones, Sentido Negativo. . . . .	101
6.5.13	Perfil de deformaciones, Sentido Positivo. . . . .	102
6.5.14	Perfil de deformaciones, Sentido Negativo. . . . .	102
6.6.15	Esquema Muro Modelado Ensayo, Muro Más Alto y Muro Más Angosto. Unidades en mm . . . . .	103
6.6.16	Comparación Curva Carga vs Desplazamiento Muro 1 Más Alto. . . . .	104
6.6.17	Comparación Curva Carga vs Desplazamiento Muro 1 Más Angosto. . . . .	105
6.6.18	Comparación Curva Carga vs Desplazamiento Muro 3 Más Alto. . . . .	106
6.6.19	Comparación Curva Carga vs Desplazamiento Muro 3 Más Angosto. . . . .	106
6.6.20	Comparación Curva Carga vs Desplazamiento Modelo Flexión Más Corte Muro Más Alto. . . . .	107
6.6.21	Comparación Curva Carga vs Desplazamiento Modelo Flexión Pura Muro Más Alto. . . . .	108
6.6.22	Comparación Curva Carga vs Desplazamiento Modelo Flexión Más Corte Muro Angosto. . . . .	108
6.6.23	Comparación Curva Carga vs Desplazamiento Modelo Flexión Pura Muro Angosto. . . . .	109
6.6.24	Perfil de deformaciones, Sentido Positivo. . . . .	110
6.6.25	Perfil de deformaciones, Sentido Negativo. . . . .	111
6.6.26	Perfil de deformaciones, Sentido Positivo. . . . .	111
6.6.27	Perfil de deformaciones, Sentido Negativo. . . . .	112
6.7.28	LVDT seleccionados para buscar en sus registros la primera fluencia. . . . .	114
6.7.29	Determinación desplazamiento de fluencia Muro 1. . . . .	115
6.7.30	Zona considerada para buscar la primera fluencia del refuerzo. . . . .	116
6.7.31	Elemento que fluye primero en modelo (f+c). . . . .	117
6.7.32	Disposición medidas utilizadas para expresiones de Ahumada [1]. . . . .	118
6.7.33	Resultados obtenido para las curvaturas de los muros modelados. . . . .	122

A.1.1	Curvas Carga vs Deformación Unitaria, Barra 8mm. . . . .	136
A.1.2	Curvas Carga vs Deformación Unitaria, Barra 10mm. . . . .	137
A.1.3	Curvas Carga vs Deformación Unitaria, Barra 12mm. . . . .	137
A.1.4	Curvas Carga vs Deformación Unitaria, Barra 16mm. . . . .	138
A.1.5	Curvas Carga vs Deformación Unitaria, Barra 18mm. . . . .	138
A.2.6	Detalle refuerzo Viga. . . . .	139
A.2.7	Detalle Refuerzo Pedestal. . . . .	140
A.3.8	Detalle refuerzo Viga. . . . .	141
A.4.9	Sistema de Carga Axial. . . . .	142
B.1.1	Comparación Desplazamiento superior LVDT de control vs Desplazamiento Corregido para muro 1. . . . .	143
B.1.2	Comparación Desplazamiento superior LVDT de control vs Desplazamiento Corregido para muro 3. . . . .	144
B.1.3	Comparación Desplazamiento superior LVDT de control vs Desplazamiento Corregido para muro 4. . . . .	144
D.1.1	Perfil de deformaciones, Sentido Positivo. . . . .	148
D.1.2	Perfil de deformaciones, Sentido Negativo. . . . .	149
D.1.3	Perfil de deformaciones, Sentido Positivo. . . . .	150
D.1.4	Perfil de deformaciones, Sentido Negativo. . . . .	151
D.2.5	Determinación desplazamiento de fluencia Muro 2. . . . .	152
D.2.6	Determinación desplazamiento de fluencia Muro 3. . . . .	153
D.2.7	Determinación desplazamiento de fluencia Muro 4. . . . .	153
D.3.8	Elemento que fluye primero en modelo (f). . . . .	154
D.3.9	Elemento que fluye primero en modelo (f+c) para casos de mayor esbeltez. . . . .	155
D.3.10	Elemento que fluye primero en modelo (f) para casos de mayor esbeltez. . . . .	156