

## TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	Objetivos.....	3
1.2	Alcance de cada capítulo.....	3
2	ANTECEDENTES.....	5
2.1	Ensayos de BRB.....	5
2.2	Protocolo de carga.....	11
2.3	Sistema de ensayo.....	12
2.3.1	Apoyos fijos.....	12
2.3.2	Apoyo deslizante.....	14
2.3.3	Conexión Gusset.....	15
2.4	Sistema de control y adquisición.....	16
2.4.1	Sistema de control.....	16
2.4.2	Sistema de adquisición.....	17
3	PROPIEDADES DE LOS MATERIALES.....	19
3.1	Propiedades del material confinante.....	19
3.1.1	Ensayo de tracción del elastómero.....	19
3.1.2	Ensayo de corte directo.....	24
3.2	Propiedades del núcleo acero.....	30
3.2.1	Ensayo de tracción del acero.....	30
4	DISEÑO Y FABRICACIÓN DE LOS ARRIOSTRAMIENTOS CON PANDEO RESTRINGIDO.....	37
4.1	Componentes.....	37
4.1.1	Núcleo del arriostramiento.....	37
4.1.2	Material confinante.....	38
4.1.3	Camisa exterior.....	39
4.1.4	Interfaz núcleo de acero y material confinante.....	40
4.2	Fabricación.....	41
4.3	Prototipos a ensayar.....	47
5	METODOLOGÍA DE MONTAJE, INSTRUMENTACIÓN Y ENSAYO DE LOS PROTOTIPOS.....	48
5.1	Metodología de montaje.....	48
5.2	Metodología de instrumentación.....	50
5.2.1	Instalación de strain gages.....	50
5.2.2	Instalación de LVDTs.....	52

5.3	Metodología de ensayo.....	56
5.4	Metodología de desmontaje.....	58
6	PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	59
6.1	Ensayo prototipo A (BRB1).....	59
6.2	Ensayo prototipo B (BRB2).....	60
6.3	Ensayo prototipo C (BRB3).....	62
6.4	Ensayo prototipo D (BRB4).....	63
6.5	Análisis de resultados.....	64
6.5.1	Ciclos de histéresis.....	65
6.5.2	Curva de energía disipada en función del desplazamiento.....	66
6.5.3	Historial de desplazamientos de sensores (LVDT).....	66
6.5.4	Historial de deformaciones de sensores (strain gage).....	67
6.5.5	Desplazamientos fuera del plano.....	67
6.6	Comparación con arriostramientos con material tradicional.....	78
7	CONCLUSIONES.....	79
7.1	Limitaciones y recomendaciones.....	80
	BIBLIOGRAFÍA.....	82

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Comportamiento riostra típica y de pandeo restringido (Santelices, 2014). ...	1
Figura 1.2: Componentes de un arriostramiento de pandeo restringido. ....	2
Figura 2.1: Ensayo BRB realizado por Black (Black et al. 2000). ....	6
Figura 2.2: Montaje experimental realizado por Black (Black et al. 2000). ....	6
Figura 2.3: Historial de desplazamiento y curva de histéresis (Black et al. 2000). ....	7
Figura 2.4: Sección transversal BRBs (Newell et al. 2006). ....	8
Figura 2.5: Montaje experimental (Newell et al. 2006). ....	9
Figura 2.6: Ubicación de potenciómetros (Newell et al. 2006). ....	9
Figura 2.7: Ciclos de histéresis prototipo 1G y 2G (Newell et al. 2006). ....	10
Figura 2.8: Ciclos de histéresis prototipo 3G y 4G (Newell et al. 2006). ....	10
Figura 2.9: Historial de desplazamiento aplicado al BRB (Espinoza 2016). ....	11
Figura 2.10: Vista en planta y elevación del sistema de ensayo (Espinoza 2016). ....	12
Figura 2.11: Apoyo fijo conectado al extremo del arriostramiento. ....	13
Figura 2.12: Apoyo fijo conectado al extremo del actuador. ....	13
Figura 2.13: Apoyo deslizante. ....	14
Figura 2.14: Conexión placa Gusset con extremo del BRB. ....	15
Figura 2.15: Servo válvula de control MOOG (Espinoza 2016). ....	17
Figura 2.16: Esquema instrumentación (Espinoza, 2016). ....	18
Figura 3.1: Probetas de elastómero – Ensayo de tracción. ....	19
Figura 3.2: Pieza estándar para cortar probetas de elastómero (ASTM D412-06a). ....	20
Figura 3.3: Curva tensión – elongación probetas Serie 1. ....	22
Figura 3.4: Curva tensión – elongación probetas Serie 2. ....	22
Figura 3.5: Curva tensión – elongación probetas Serie 3. ....	23
Figura 3.6: Resumen curva tensión – elongación. ....	23
Figura 3.7: Máquina de ensayo de corte directo. ....	24
Figura 3.8: Dimensiones probetas de corte directo. ....	25
Figura 3.9: Probetas de elastómero para ensayo de corte directo. ....	25
Figura 3.10: Posición inicial probeta de corte directo. ....	26
Figura 3.11: Posición deformada probeta de corte directo. ....	26
Figura 3.12: Módulo de corte en función de la deformación. ....	29
Figura 3.13: Amortiguamiento en función de la deformación. ....	29
Figura 3.14: Dimensiones probeta para ensayo de tracción (ASTM E8/E8M–15a). ....	30
Figura 3.15: Probetas para ensayo de tracción. ....	31
Figura 3.16: Máquina universal INSTRON y extensómetro (Izquierda), instante previo a la fractura sin extensómetro (Derecha). ....	32
Figura 3.17: Comparación máquina universal (MU) y extensómetro (Ext) – Probeta 1. ....	33
Figura 3.18: Comparación máquina universal (MU) y extensómetro (Ext) – Probeta 2. ....	33
Figura 3.19: Comparación máquina universal (MU) y extensómetro (Ext) – Probeta 3. ....	34
Figura 3.20: Comparación máquina universal (MU) y extensómetro (Ext) – Probeta 4. ....	34
Figura 3.21: Curva tensión deformación de probeta plana de acero. ....	35
Figura 3.22: Fractura probetas planas de acero. ....	36
Figura 4.1: Dimensiones núcleo y atiesador de acero. ....	37
Figura 4.2: Formas de uso del elastómero. ....	38
Figura 4.3: Dimensiones tubo de acero. ....	39
Figura 4.4: Superficie arenada – interfaz bonded. ....	40
Figura 4.5: Núcleo de acero sin atiesador. ....	41

Figura 4.6: Atiesador para núcleo de acero. ....	41
Figura 4.7: Perforado y soldadura núcleo de acero y atiesador. ....	41
Figura 4.8: Soldadura núcleo de acero y tope central. ....	42
Figura 4.9: Perforaciones camisa exterior. ....	42
Figura 4.10: Relleno con planchas de elastómero zona extrema. ....	43
Figura 4.11: Relleno con planchas de elastómero zona central. ....	43
Figura 4.12: Gancho guía en extremo del núcleo. ....	44
Figura 4.13: Incorporación núcleo-elastómero a la camisa exterior. ....	44
Figura 4.14: Matriz del arriostramiento. ....	45
Figura 4.15: Fijación en el extremo del núcleo. ....	45
Figura 4.16: Inyección elastómero por perforaciones. ....	46
Figura 4.17: Matriz de pivotes para prensado. ....	46
Figura 4.18: Prensado de elastómero. ....	46
Figura 4.19: Tapas extremas. ....	47
Figura 5.1: Instalación actuador hidráulico. ....	48
Figura 5.2: Unión apernada actuador hidráulico y apoyo fijo. ....	49
Figura 5.3: Unión actuador hidráulico y sistema móvil con pasador. ....	49
Figura 5.4: Unión apernada arriostramiento y placa Gusset. ....	50
Figura 5.5: Instalación de strain gages. ....	51
Figura 5.6: Conexión strain gages al sistema de adquisición. ....	51
Figura 5.7: Instalación sensores de desplazamiento longitudinal. ....	52
Figura 5.8: Instalación sensores de desplazamiento fuera del plano. ....	53
Figura 5.9: Incorporación sensor de desplazamiento fuera del plano. ....	53
Figura 5.10: Instalación sensores de desplazamiento fuera del plano cara superior. ....	54
Figura 5.11: Conexión LVDTs al sistema de adquisición. ....	54
Figura 5.12: Instrumentación arriostramiento. ....	55
Figura 5.13: Historial de desplazamiento – Prototipo A. ....	56
Figura 5.14: Historial de desplazamiento – Prototipos B. ....	57
Figura 5.15: Historial de desplazamiento – Prototipo C y D. ....	57
Figura 6.1: Fractura núcleo de acero prototipo A. ....	60
Figura 6.2: Configuración final prototipo B. ....	61
Figura 6.3: Fractura núcleo de acero prototipo C. ....	64
Figura 6.4: Curva carga en función del desplazamiento del actuador. ....	68
Figura 6.5: Curva carga en función del desplazamiento del núcleo. ....	69
Figura 6.6: Energía disipada en función del desplazamiento. ....	70
Figura 6.7: Degradación de la rigidez en función del desplazamiento. ....	71
Figura 6.8: Historial de desplazamiento del núcleo de acero. ....	72
Figura 6.9: Historial de desplazamiento relativo entre núcleo y camisa exterior. ....	73
Figura 6.10: Historial de deformación longitudinal zona central. ....	74
Figura 6.11: Historial de deformación longitudinal cara inferior. ....	75
Figura 6.12: Historial de deformación longitudinal cara superior. ....	76
Figura 6.13: Historial de deformación transversal. ....	77

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1: Dimensiones pieza C (ASTM D412-06a).....	20
Tabla 3.2: Resultados tensión-elongación probetas - Serie 1.....	21
Tabla 3.3: Resultados tensión-elongación probetas - Serie 2.....	21
Tabla 3.4: Resultados tensión-elongación probetas - Serie 3.....	21
Tabla 3.5: Módulo de corte y amortiguamiento – Deformación 50% .....	27
Tabla 3.6: Módulo de corte y amortiguamiento – Deformación 75% .....	27
Tabla 3.7: Módulo de corte y amortiguamiento – Deformación 100%.....	28
Tabla 3.8: Módulo de corte y amortiguamiento – Deformación 115%.....	28
Tabla 3.9: Resumen de módulo de corte y amortiguamiento.....	28
Tabla 3.10: Dimensiones probetas planas de acero ASTM A36 .....	31
Tabla 3.11: Comparación módulo de Young entre máquina universal y extensómetro. ....	32
Tabla 3.12: Resumen propiedades de las probetas de acero.....	35
Tabla 5.1: Numeración de strain gages. ....	51
Tabla 5.2: Notación de LVDTs. ....	55
Tabla 6.1: Carga máxima en ciclos para el prototipo A.....	59
Tabla 6.2: Carga máxima en ciclos para el prototipo B.....	61
Tabla 6.3: Carga máxima en ciclos para el prototipo C. ....	62
Tabla 6.4: Carga máxima en ciclos para el prototipo D. ....	63
Tabla 6.5: Desplazamientos máximos fuera del plano.....	67
Tabla 6.6: Peso arriostamiento con relleno de elastómero. ....	78
Tabla 6.7: Peso arriostamiento con relleno de mortero. ....	78