

# TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	i
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
TABLA DE CONTENIDO .....	iv
ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	viii
<b>CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1. Motivación.....	1
1.2. Antecedentes.....	2
1.3. Objetivos.....	5
1.3.1. Objetivo Principal.....	5
1.3.2. Objetivos Específicos .....	5
1.4. Metodología y Alcance.....	5
<b>CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES.....</b>	<b>8</b>
2.1. Pórticos de Acero Resistentes a Momento .....	8
2.1.1. Conexiones Viga-Columna.....	9
2.1.2. Placas de Continuidad .....	10
2.1.3. Panel Nodal .....	10
2.1.4. Requerimientos para Vigas y Columnas. Relación ancho-espesor .....	11
2.1.5. Relación entre la Resistencia Flexional de Columnas y Vigas .....	11
2.1.6. Restricción Lateral en Conexiones.....	12
2.1.7. Restricción Lateral en Vigas.....	12
2.1.8. Columnas de Sección Tubular.....	13
2.2. Conexiones a momento con columnas tubulares y vigas de sección I.....	14
2.2.1. Conexiones con Diafragmas.....	14
2.2.1.1. Conexiones con Diafragma Pasante.....	15
2.2.1.2. Conexiones con Diafragma Interno.....	16
2.2.1.3. Conexiones con Diafragma Externo .....	17
2.2.2. Conexiones con Plancha Extrema mediante Pernos.....	17
2.2.3. Conexiones Patentadas .....	19

2.3.	Investigaciones Relevantes.....	20
2.3.1.	Núñez et. al. (2017) .....	21
2.3.2.	Rodrigues et. al. (2013) .....	23
2.3.3.	Wang et. al. (2011) .....	24
2.3.4.	Saneei Nia et. al. (2014) .....	26
2.3.5.	Yang et. al. (2016) .....	28
<b>CAPÍTULO 3: MARCO METODOLÓGICO.....</b>		<b>30</b>
3.1.	Edificio Prototipo .....	30
3.1.1.	Información General.....	30
3.1.2.	Combinaciones de Carga .....	32
3.1.3.	Definición de Cargas Gravitacionales .....	32
3.1.4.	Determinación de Cargas Sísmicas .....	32
3.1.5.	Análisis del Modelo Estructural .....	34
3.1.6.	Selección y Diseño de los Elementos Estructurales .....	35
3.1.7.	Diseño de las Conexiones.....	37
3.2.	Modelo en Elementos Finitos .....	39
3.2.1.	Generalidades .....	39
3.2.2.	Consideraciones del Modelo .....	40
3.2.3.	Definición de los Elementos y Mallado .....	42
3.2.4.	Materiales .....	44
3.2.5.	Contactos .....	47
3.2.6.	Condiciones de Borde.....	49
3.2.7.	Configuraciones de los Nudos.....	50
3.2.8.	Sistemas de Cargas .....	50
3.2.8.1.	Carga Axial (P).....	50
3.2.8.2.	Carga Cíclica (F) .....	51
<b>CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>		<b>55</b>
4.1.	Comportamiento Histerético.....	55
4.1.1.	Nudos - 1B.....	56
4.1.2.	Nudos - 2BC .....	56
4.1.3.	Nudos - 2BI .....	57
4.1.4.	Nudos - 3B.....	58

4.1.5.	Nudos - 4B.....	58
4.2.	Mecanismos de Falla .....	59
4.2.1.	Nudos - 1B.....	60
4.2.2.	Nudos - 2BC .....	61
4.2.3.	Nudos - 2BI .....	63
4.2.4.	Nudos - 3B.....	65
4.2.5.	Nudos - 4B.....	67
4.3.	Comparación del Desempeño Sísmico de los Nudos .....	70
4.3.1.	Relación Fuerza-Deformación Equivalente del sistema.....	70
4.3.1.1.	Nudos – 1B.....	71
4.3.1.2.	Nudos – 2BC .....	71
4.3.1.3.	Nudos – 2BI .....	72
4.3.1.4.	Nudos – 3B.....	73
4.3.1.5.	Nudos – 4B.....	73
4.3.2.	Comparación de la Relación Fuerza-Deformación Equivalente del sistema .....	74
4.3.2.1.	Fuerza equivalente vs. Rotación.....	74
4.3.2.2.	Rigidez Tangente ( $K_t/K_o$ ).....	79
4.3.2.3.	Rigidez Secante ( $K_s/K_o$ ).....	81
4.3.2.4.	Energía Disipada ( $E_d$ ).....	83
4.3.2.5.	Amortiguamiento Equivalente ( $\beta$ ) .....	86
4.3.2.6.	Energía Disipada Total.....	89
<b>CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>		<b>93</b>
5.1.	Conclusiones.....	94
5.2.	Recomendaciones .....	97
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>		<b>98</b>
<b>ANEXO A: DISEÑO DE LA CONEXIÓN .....</b>		<b>101</b>
<b>ANEXO B: CURVAS DE HISTÉRESIS .....</b>		<b>108</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1	Parámetros Sísmicos según NCh 433 .....	32
Tabla 3.2	Análisis Sísmico y Parámetros de Diseño .....	34
Tabla 3.3	Secciones Finales de los Elementos Estructurales .....	35
Tabla 3.4	Número de elementos y nodos por componente estructural .....	44
Tabla 3.5	Propiedades Mecánicas del Acero ASTM A36 (Salas, 2016) .....	44
Tabla 3.6	Propiedades Mecánicas del Acero ASTM A490 (Salas, 2016) .....	45
Tabla 3.7	Relación constitutiva para el acero ASTM A36 .....	46
Tabla 3.8	Relación constitutiva para el acero ASTM A490 .....	46
Tabla 3.9	Superficies de contacto para los componentes del modelo .....	48
Tabla 3.10	Matriz de simulación de modelos .....	53
Tabla 4.1	Elementos de la Conexión que Plastifican .....	69
Tabla 4.2	Resumen de la respuesta histerética de los nudos .....	90

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Centro de San Francisco, EE.UU. después del terremoto y los incendios de 1906 .....	2
Figura 1.2	El costo de los terremotos de los últimos años .....	3
Figura 2.1	Mecanismo de movimiento lateral idealizado para pórticos a momento .....	9
Figura 2.2	Detalle de conexión viga-columna .....	10
Figura 2.3	Diagrama de cuerpo libre en el panel nodal: M, N y V .....	11
Figura 2.4	Perfiles para columnas tubulares: circular, cuadrado, rectangular y cajón armado .....	14
Figura 2.5	Alternativas de conexiones viga-columna con diafragmas pasantes .....	15
Figura 2.6	Conexión viga-columna con diafragmas internos .....	16
Figura 2.7	Conexión viga-columna con diafragmas externos .....	17
Figura 2.8	Conexión viga-columna con plancha extrema usando pernos ciegos .....	18
Figura 2.9	Conexión viga-columna rellena con plancha extrema usando pernos largos.	19
Figura 2.10	Conexiones viga-columna patentadas: a) ConXL, b) SidePlate .....	20
Figura 2.11	Conexión viga-columna propuesta por Nuñez et. al. (2016) .....	21
Figura 2.12	Deformaciones plásticas en conexión diseñada según AISC 358 y ensayo experimental .....	22
Figura 2.13	Ensayos experimentales en columnas rectangulares RC, según la condición de carga .....	24
Figura 2.14	Detalles de las conexiones: a) interior 2D; b) interior 3D; c) exterior 3D ....	24
Figura 2.15	Configuraciones de los nudos y condiciones de carga: a) interior 2D; b) interior 3D; c) exterior 3D .....	25
Figura 2.16	Conexión exterior para pórticos de siete, doce y veinte pisos .....	27
Figura 2.17	Detalle de aplicación de carga al sistema. a) Vista 3D; b) Protocolo de carga AISC .....	27
Figura 2.18	Configuraciones de los nudos y condiciones de carga: a) interior 2D; b) esquina 3D; c) exterior 3D; c) interior 3D .....	28
Figura 2.19	Distribución de tensiones de Von-Mises para nudos: a) exterior 3D; b) interior 3D .....	29

Figura 3.1	Geometría del edificio prototipo, compuesto de pórticos a momento: a) Vista isométrica b) Planta tipo .....	31
Figura 3.2	Definición de propiedades geométricas: a) Columna; b) Viga .....	35
Figura 3.3	Deriva de Piso de los diafragmas para los distintos niveles del edificio: a) Deriva del centro masa; b) Deriva en un punto extremo de la planta .....	36
Figura 3.4	Respuesta del Análisis Sísmico del edificio: a) Corte por piso; b) Momento volcante .....	36
Figura 3.5	Geometría de la Conexión diseñada: a) Vista lateral, b) Vista frontal, c) Vista 3D .....	37
Figura 3.6	Geometría y discretización del modelo base en zona de conexión.....	40
Figura 3.7	Deformación del pórtico resistente a momento bajo carga sísmica y subensamblaje .....	41
Figura 3.8	Modelo del subensamblaje completo considerado .....	41
Figura 3.9	Tipos de elementos utilizados en el modelo. A) SOLID186; b) BEAM188 ...	43
Figura 3.10	Relación constitutiva para el acero ASTM A36 .....	46
Figura 3.11	Relación constitutiva para el acero ASTM A490 .....	47
Figura 3.12	Condiciones de borde del modelo .....	49
Figura 3.13	Configuraciones de nudos y aplicación de cargas .....	52
Figura 3.14	Protocolo de Carga AISC, aplicado a los modelos .....	54
Figura 4.1	Curvas de histéresis Momento normalizado-Rotación para Nudos-1B .....	56
Figura 4.2	Curvas de histéresis Momento normalizado-Rotación para Nudos-2BC .....	57
Figura 4.3	Curvas de histéresis Momento normalizado-Rotación para Nudos-2BI .....	57
Figura 4.4	Curvas de histéresis Momento normalizado-Rotación para Nudos-3B .....	58
Figura 4.5	Curvas de histéresis Momento normalizado-Rotación para Nudos-4B .....	59
Figura 4.6	Máximas tensiones y máximas deformaciones plásticas para el Nudo 1B-00	60
Figura 4.7	Máximas tensiones y máximas deformaciones plásticas para el Nudo 1B-25	60
Figura 4.8	Máximas tensiones y máximas deformaciones plásticas para el Nudo 1B-50	60
Figura 4.9	Máximas tensiones y máximas deformaciones plásticas para el Nudo 1B-75	61
Figura 4.10	Máximas tensiones y máximas deformaciones plásticas para el Nudo 2BC- 00 .....	61
Figura 4.11	Máximas tensiones y máximas deformaciones plásticas para el Nudo 2BC- 25 .....	62
Figura 4.12	Máximas tensiones y máximas deformaciones plásticas para el Nudo 2BC- 50 .....	62

Figura 4.13	Máximas tensiones y máximas deformaciones plásticas para el Nudo 2BC-75 .....	62
Figura 4.14	Máximas tensiones y máximas deformaciones plásticas para el Nudo 2BI-00 .....	63
Figura 4.15	Máximas tensiones y máximas deformaciones plásticas para el Nudo 2BI-25 .....	63
Figura 4.16	Máximas tensiones y máximas deformaciones plásticas para el Nudo 2BI-50 .....	64
Figura 4.17	Máximas tensiones y máximas deformaciones plásticas para el Nudo 2BI-75 .....	64
Figura 4.18	Máximas tensiones y máximas deformaciones plásticas para el Nudo 3B-00	65
Figura 4.19	Máximas tensiones y máximas deformaciones plásticas para el Nudo 3B-25	65
Figura 4.20	Máximas tensiones y máximas deformaciones plásticas para el Nudo 3B-50	65
Figura 4.21	Máximas tensiones y máximas deformaciones plásticas para el Nudo 3B-75	66
Figura 4.22	Máximas tensiones y máximas deformaciones plásticas para el Nudo 4B-00	67
Figura 4.23	Máximas tensiones y máximas deformaciones plásticas para el Nudo 4B-25	67
Figura 4.24	Máximas tensiones y máximas deformaciones plásticas para el Nudo 4B-50	67
Figura 4.25	Máximas tensiones y máximas deformaciones plásticas para el Nudo 4B-75	68
Figura 4.26	Conversión de la relación Fuerza equivalente vs. Desplazamiento de la columna .....	70
Figura 4.27	Conversión del sistema inicial al sistema equivalente para el Nudo-1B .....	71
Figura 4.28	Conversión del sistema inicial al sistema equivalente para el Nudo-2BC .....	72
Figura 4.29	Conversión del sistema inicial al sistema equivalente para el Nudo-2BI .....	72
Figura 4.30	Conversión del sistema inicial al sistema equivalente para el Nudo-3B .....	73
Figura 4.31	Conversión del sistema inicial al sistema equivalente para el Nudo-4B .....	74
Figura 4.32	Curvas de histéresis Fuerza equivalente en columna vs. Rotación para Nudos-1B .....	75
Figura 4.33	Curvas de histéresis Fuerza equivalente en columna vs. Rotación para Nudos-2BI .....	75
Figura 4.34	Curvas de histéresis Fuerza equivalente en columna vs. Rotación para Nudos-2BC .....	76
Figura 4.35	Curvas de histéresis Fuerza equivalente en columna vs. Rotación para Nudos-3B .....	76
Figura 4.36	Curvas de histéresis Fuerza equivalente en columna vs. Rotación para Nudos-4B .....	77
Figura 4.37	Definición de rigidez inicial ( $K_0$ ), tangente ( $K_t$ ) y secante ( $K_s$ ) del sistema.	78
Figura 4.38	Definición de energía de deformación elástica y energía disipada.	78

Figura 4.39	Rigidez tangente normalizada vs. Rotación para Nudos: a) 1B, b) 2BC, c) 2BI, c) 3B, d) 4B .....	79
Figura 4.40	Rigidez secante normalizada vs. Rotación para Nudos: a) 1B, b) 2BC, c) 2BI, c) 3B, d) 4B .....	81
Figura 4.41	Energía disipada vs. Rotación para Nudos: a) 1B, b) 2BC, c) 2BI, c) 3B, d) 4B .....	84
Figura 4.42	Amortiguamiento equivalente vs. Rotación para Nudos: a) 1B, b) 2BC, c) 2BI, c) 3B, d) 4B .....	86
Figura 4.43	Energía Disipada Total por cada configuración de nudo .....	89
Figura 4.44	Energía Disipada normalizada por cada configuración de nudo .....	89