

# Tabla de Contenido

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Motivación . . . . .	1
1.2. Antecedentes Generales . . . . .	2
1.3. Antecedentes Específicos . . . . .	5
1.4. Objetivos . . . . .	7
1.4.1. Objetivo General . . . . .	7
1.4.2. Objetivos Específicos . . . . .	7
1.5. Organización de la Memoria de Título . . . . .	7
<b>2. Marco teórico y antecedentes</b>	<b>8</b>
2.1. Sistema estructural . . . . .	8
2.2. Clasificación de conexiones en marcos de acero . . . . .	9
2.2.1. Resistencia de conexiones . . . . .	11
2.2.2. Rigidez de conexiones . . . . .	11
2.2.3. Ductilidad de conexiones . . . . .	13
2.3. Conexión Double Split Tee (DST) . . . . .	14
2.4. Swanson and Leon (2000) . . . . .	16
2.5. Smallidge (1999) . . . . .	18
2.6. Experiencias realizadas en Chile . . . . .	19
2.6.1. Desjouis (2006) . . . . .	19
2.6.2. Bravo (2013) . . . . .	20
2.6.3. Alarcón (2017) . . . . .	21
2.6.4. Salas (2016) . . . . .	22
<b>3. Modelación de elementos finitos</b>	<b>27</b>
3.1. Geometría 3D . . . . .	27
3.2. Mallado y elementos . . . . .	30
3.3. Sistemas de carga y condiciones de borde . . . . .	34
3.4. Materiales y leyes constitutivas . . . . .	36
3.5. Criterio de fluencia . . . . .	38
3.6. Contactos . . . . .	39
3.7. Proceso de resolución . . . . .	40
<b>4. Presentación y análisis de resultados</b>	<b>42</b>
4.1. Ecuaciones de obtención de datos . . . . .	42
4.1.1. Rotación entre piso . . . . .	42

4.1.2. Rotación total en la viga . . . . .	42
4.1.3. Rotación total en la conexión . . . . .	43
4.1.4. Deformación angular de la zona panel . . . . .	43
4.1.5. Momento . . . . .	44
4.1.6. Corte en la zona panel . . . . .	44
4.2. Pre-tensión de pernos . . . . .	44
4.3. Espécimen SE-01 . . . . .	46
4.4. Espécimen SE-02 . . . . .	52
<b>5. Comparación con resultados experimentales</b>	<b>59</b>
5.1. Espécimen SE-01 . . . . .	59
5.2. Espécimen SE-02 . . . . .	63
5.3. Discusión de resultados . . . . .	67
<b>6. Conclusiones</b>	<b>71</b>
6.1. Conclusiones . . . . .	71
6.2. Limitaciones del modelo . . . . .	72
6.3. Futuras investigaciones . . . . .	73
<b>Bibliografía</b>	<b>74</b>
<b>A. Cálculo de deslizamiento</b>	<b>76</b>

# Índice de Tablas

2.1. Modos de falla de un perfil T-stub. Fuente: Bravo (2013). . . . .	20
2.2. Características de cada espécimen. Fuente: Salas (2016) . . . . .	23
2.3. Dimensiones de vigas y columnas para cada espécimen. Fuente: Salas (2016)	23
2.4. Parámetros de cada T-stub . . . . .	23
2.5. Valores teóricos de reacciones para alcanzar la falla. Fuente: Salas (2016) . .	23
3.1. Número de nodos, elementos y calidad de elementos en cada modelo. . . . .	34
3.2. Amplitudes de protocolo de carga y número de ciclos . . . . .	35
3.3. Propiedades mecánicas promedio de probetas ensayadas. Fuente: Salas (2016)	36
5.1. Comparación de valores teóricos, numéricos y experimentales . . . . .	65

# Índice de Figuras

1.1.	Conexión a momento pre-Northridge. Fuente: Engelhardt and Sabol (1997) .	2
1.2.	Tipos de fallas detectadas en terremoto de Northridge. Fuente: Bravo (2013)	3
1.3.	Componentes de una conexión DST. Fuente: Salas (2016) . . . . .	4
1.4.	Mecanismo de falla criterio Columna Fuerte - Viga Débil. Fuente: Salas (2016)	6
2.1.	Momento y giro relativo de conexión DST. . . . .	10
2.2.	Clasificación de conexiones bajo carga monotónica. Fuente: AISC 360 (2016)	12
2.3.	Curva momento - rotación bajo carga monotónica. Fuente: Swanson and Leon (2000) . . . . .	13
2.4.	Detalle de conexión DST típica. Fuente: AISC 358 (2016) . . . . .	14
2.5.	Componentes de un T-stub aislado. Fuente: Salas (2016) . . . . .	15
2.6.	Efecto de apalancamiento de perfil T-stub. Fuente: Swanson (2002) . . . . .	15
2.7.	Comparación curva monotónica y cíclica. Fuente: Swanson and Leon (2000) .	16
2.8.	Modos de falla predominantes. Fuente: Swanson and Leon (2000) . . . . .	17
2.9.	Formación de rótula plástica y pandeo local del ala de espécimen FS-08. Fuente: Smallidge (1999) . . . . .	18
2.10.	Curva de momento - rotación de espécimen FS-08. Fuente: Smallidge (1999)	19
2.11.	Geometría de modelo. Fuente: Desjouis (2006) . . . . .	20
2.12.	Geometría de modelos. Fuente: Alarcón (2017) . . . . .	21
2.13.	Montaje experimental. Fuente: Salas (2016) . . . . .	22
2.14.	Dimensiones de un T-stub. Fuente: Salas (2016) . . . . .	24
2.15.	Detalle de conexión SE-01 (DBT2). Fuente: Salas (2016) . . . . .	25
2.16.	Detalle de conexión SE-02 (DBT1). Fuente: Salas (2016) . . . . .	25
2.17.	Detalle de conexión SE-03 (DBT1). Fuente: Salas (2016) . . . . .	26
2.18.	Detalle de conexión SE-04 (DBT1). Fuente: Salas (2016) . . . . .	26
3.1.	Geometría modelos 3D . . . . .	28
3.2.	Dimensiones de elementos viga y columna en el modelo . . . . .	29
3.3.	Perspectiva oblicua del centro de la conexión. . . . .	30
3.4.	Geometría de elemento SOLID285. Fuente: ANSYS (2016). . . . .	31
3.5.	Geometría de elemento SOLID185. Fuente: ANSYS (2016). . . . .	31
3.6.	Esquema de ecuaciones de <i>constraint</i> entre elementos sólidos y de línea. . . .	32
3.7.	Mallado de elementos finitos - Pernos y tuercas . . . . .	32
3.8.	Mallado de elementos finitos - Tramos de viga . . . . .	33
3.9.	Mallado de elementos finitos - Perfiles T-stub y Zona Panel . . . . .	33
3.10.	Protocolo de carga cíclica según (AISC 341, 2016, Sección K) . . . . .	35

3.11. Curva bi-lineal de acero ASTM A36 . . . . .	37
3.12. Curva bi-lineal de acero ASTM A490 . . . . .	37
3.13. Estado tensional hidrostático y deviatorico de un sólido. Fuente: Nuñez (2016)	38
3.14. Superficie de fluencia según criterio de von Mises. . . . .	39
3.15. Método iterativo de Newton Raphson. Fuente: ANSYS (2016). . . . .	41
4.1. Diagrama de deformación angular en zona panel. . . . .	43
4.2. Tensiones en ala del T-stub debido a pre tensión de pernos. . . . .	45
4.3. Tensiones en alma del T-stub debido a pre tensión de pernos. . . . .	45
4.4. Tensiones en perno debido a pre tensión. . . . .	46
4.5. Curva de fuerza - desplazamiento SE-01. . . . .	46
4.6. Curva de momento - rotación del espécimen SE-01. . . . .	47
4.7. Curva de momento - rotación de la conexión SE-01. . . . .	48
4.8. Rigidez secante del espécimen SE-01. . . . .	49
4.9. Rigidez secante de la conexión SE-01. . . . .	50
4.10. Primera plastificación en ala de T-stub (SE-01) para $\theta = 0,01$ [rad]. . . . .	50
4.11. Segunda plastificación en ala y alma de viga (SE-01) . . . . .	51
4.12. Curva de fuerza - desplazamiento SE-02. . . . .	52
4.13. Curva de momento - rotación SE-02. . . . .	53
4.14. Curva de momento - rotación de la conexión SE-02. . . . .	53
4.15. Rigidez secante del espécimen SE-02. . . . .	54
4.16. Rigidez secante de la conexión SE-02. . . . .	54
4.17. Primera plastificación en ala de viga (SE-02) para $\theta = 0,0075$ [rad]. . . . .	55
4.18. Clasificación de la rigidez de conexión DBT . . . . .	56
4.19. Pandeo en ala de viga y alma (SE-02) para $\theta = 0,04$ [rad]. . . . .	57
4.20. Segunda plastificación en ala y alma de viga (SE-02) . . . . .	58
5.1. Comparación de fuerza - desplazamiento del actuador SE-01. . . . .	59
5.2. Comparación de momento - rotación del sistema SE-01 con límites de FEMA 350 (2000). . . . .	60
5.3. Comparación de momento - rotación de la conexión SE-01 . . . . .	61
5.4. Comparación de rigidez secante del espécimen SE-01. . . . .	61
5.5. Comparación efecto de apalancamiento en conexión SE-01. . . . .	62
5.6. Comparación de deformaciones plásticas al final del ensayo en rótula SE-01..	62
5.7. Comparación de fuerza - desplazamiento del actuador SE-02. . . . .	63
5.8. Comparación de momento - rotación de la conexión SE-02. . . . .	64
5.9. Comparación de momento - rotación de la conexión SE-02 con límites de FE-MA 350 (2000). . . . .	64
5.10. Comparación de momento - rotación de la viga SE-02. . . . .	66
5.11. Comparación de rigidez secante de la conexión SE-02. . . . .	66
5.12. Comparación de modelos con/sin deslizamiento SE-01. . . . .	67
5.13. Comparación de modelos con/sin deslizamiento SE-02. . . . .	68
5.14. Evolución de deformaciones plásticas y pandeo local del ala de la viga . . . .	69
5.15. Comparación de tensiones máximas en pernos a tracción (T-stub superior) .	69
5.16. Tensiones de von Mises de pernos a tracción (T-stub superior) . . . . .	70