

# Tabla de Contenido

---

Índice de Tablas .....	vi
Índice de Figuras .....	viii
1 Introducción .....	1
1.1 Motivación .....	1
1.2 Objetivos .....	2
1.2.1 Objetivo General .....	2
1.2.2 Objetivos Específicos .....	2
1.3 Organización del Informe.....	3
2 Antecedentes .....	4
2.1 Normativa.....	4
2.2 Marco Teórico.....	5
2.2.1 Disposiciones de la Norma NCh2369. Of 2003 .....	5
2.2.2 Evaluación del Desempeño Sísmico según FEMA P695 .....	10
2.3 Estudios Analíticos y Experimentales Previos .....	24
3 Estructura y Modelación .....	26
3.1 Descripción de Modelos Estructurales Realizados .....	26
3.1.1 Configuración de Arquetipos .....	26
3.1.2 Adaptación de Modelos a Macro-modelos.....	28
3.2 Información Requerida del Sistema .....	30
3.2.1 Materiales.....	30
3.2.2 Estados de Carga .....	30
3.2.3 Combinaciones de Carga.....	32
3.2.4 Criterios de Diseño.....	33
3.2.5 Calidad de los Criterios de Diseño .....	33
3.2.6 Calidad de los Datos Experimentales .....	33
3.3 Calibración de Macro-Modelos.....	34
3.3.1 Determinación de Pesos por Piso .....	34
3.3.2 Determinación de Periodos Modales.....	34
3.3.3 Verificación de Derivas.....	36
3.4 Relación Factor de Sobrerresistencia y Ductilidad .....	36

3.5	Desarrollo de Modelos No-lineales .....	38
3.5.1	Bases de Modelación.....	38
3.5.2	Modelación No-lineal en Elementos Verticales.....	38
3.5.3	Calidad de Modelos Analíticos .....	40
3.6	Análisis No-lineales .....	41
3.6.1	Utilización de Análisis No-lineales.....	41
3.6.2	Análisis No-lineal Dinámico Incremental (Análisis IDA) .....	41
3.6.3	Incertidumbre Registro a Registro .....	45
3.6.4	Incertidumbre Total.....	45
3.6.5	Límite de la Razón del Margen de Colapso .....	45
3.6.6	Método de Análisis en SAP2000.....	46
4	Análisis Estructural .....	47
4.1	Diseño Según NCh2369. Of 2003.....	47
4.2	Distribución de Corte por Piso .....	50
4.3	Resumen de Macro-Modelos en SAP2000 .....	53
4.3.1	Cargas de Diseño.....	53
4.3.2	Resumen de Parámetros de Diseño Relevantes.....	54
4.4	Análisis Sísmico.....	55
4.4.1	Desarrollo de Curvas IDA.....	55
4.5	Tiempo de Ejecución de los Análisis Computacionales en SAP2000 .....	63
5	Análisis de Resultados .....	64
5.1	Análisis No-lineal Dinámico.....	64
5.1.1	Curvas de Fragilidad de Colapso.....	77
6	Conclusiones .....	81
6.1	Resumen .....	81
6.2	Comentarios y Conclusiones .....	82
6.3	Limitaciones .....	84
6.4	Investigación Futura Sugerida.....	85
	Bibliografía .....	86
	ANEXO A: Calibración de Macro-Modelos.....	89
	ANEXO B: Curvas Momento – Rotación en Rótulas Plásticas de Elementos Verticales .....	94

# Índice de Tablas

---

Tabla 2-1. Índice de calidad de los requerimientos de diseño. (Acosta, 2010) .....	16
Tabla 2-2. Índice de calidad de los datos experimentales. (Acosta, 2010) .....	17
Tabla 2-3. Índice de calidad de los modelos realizados para los arquetipos índices. (Acosta, 2010).18	
Tabla 3-1. Datos generales de los arquetipos desarrollados.....	27
Tabla 3-2. Relación factor de sobrerresistencia y ductilidad .....	37
Tabla 3-3. Registros sísmicos utilizados en análisis IDA .....	42
Tabla 3-4. Factores de normalización de los registros sísmicos .....	44
Tabla 4-1. Resumen de cargas de diseño en modelos .....	53
Tabla 4-2. Resumen de parámetros de diseño relevantes.....	54
Tabla 4-3. Aceleración espectral de registros sísmicos utilizados para cada arquetipo .....	56
Tabla 5-1. Resumen del análisis no-lineal IDA para Arquetipo MM-2 FSR2 .....	65
Tabla 5-2. Resumen del análisis no-lineal IDA para Arquetipo MM-2 FSR3 .....	66
Tabla 5-3. Resumen del análisis no-lineal IDA para Arquetipo MM-2 FSR5 .....	67
Tabla 5-4. Resumen del análisis no-lineal IDA para Arquetipo MM-2 FSR10.7 .....	68
Tabla 5-5. Resumen del análisis no-lineal IDA para Arquetipo MM-4 FSR2 .....	69
Tabla 5-6. Resumen del análisis no-lineal IDA para Arquetipo MM-4 FSR3 .....	70
Tabla 5-7. Resumen del análisis no-lineal IDA para Arquetipo MM-4 FSR5 .....	71
Tabla 5-8. Resumen del análisis no-lineal IDA para Arquetipo MM-4 FSR10.7 .....	72
Tabla 5-9. Resumen del análisis no-lineal IDA para Arquetipo MM-6 FSR2 .....	73
Tabla 5-10. Resumen del análisis no-lineal IDA para Arquetipo MM-6 FSR3 .....	74
Tabla 5-11. Resumen del análisis no-lineal IDA para Arquetipo MM-6 FSR5 .....	75
Tabla 5-12. Resumen del análisis no-lineal IDA para Arquetipo MM-6 FSR10.7 .....	76
Tabla 5-13. Resumen análisis IDA y evaluación de aceptabilidad según FEMA P695. Grupo de Arquetipos MM-2 .....	79
Tabla 5-14. Resumen análisis IDA y evaluación de aceptabilidad según FEMA P695. Grupo de Arquetipos MM-4 .....	80
Tabla 5-15. Resumen análisis IDA y evaluación de aceptabilidad según FEMA P695. Grupo de Arquetipos MM-6 .....	80
Tabla A-1. Resultados de análisis modales realizados para la calibración de los macro-modelos. Grupo de Arquetipos MM-2.....	89
Tabla A-2. Resultados de análisis modales realizados para la calibración de los macro-modelos. Grupo de Arquetipos MM-4.....	90
Tabla A-3. Resultados de análisis modales realizados para la calibración de los macro-modelos. Grupo de Arquetipos MM-6.....	90
Tabla A-4. Comparación de reacciones basales para la calibración de los macro-modelos. Grupo de Arquetipos MM-2.....	91
Tabla A-5. Comparación de reacciones basales para la calibración de los macro-modelos. Grupo de Arquetipos MM-4.....	91
Tabla A-6. Comparación de reacciones basales para la calibración de los macro-modelos. Grupo de Arquetipos MM-6.....	92

Tabla A-7. Verificación de derivas a partir de análisis tiempo-historia para la calibración de los macro-modelos. Grupo de Arquetipos MM-2. ....	92
Tabla A-8. Verificación de derivas a partir de análisis tiempo-historia para la calibración de los macro-modelos. Grupo de Arquetipos MM-4. ....	93
Tabla A-9. Verificación de derivas a partir de análisis tiempo-historia para la calibración de los macro-modelos. Grupo de Arquetipos MM-6. ....	93

# Índice de Figuras

---

Figura 2-1. Proceso para determinar y documentar cuantitativamente los factores de desempeño sísmico (FEMA P695, 2009).....	12
Figura 2-2. Ilustración de los factores de desempeño sísmico ( $R$ , $\Omega_0$ y $Cd$ ) según comentarios del NEHRP Recommended Provisions (FEMA, 2004b). ....	14
Figura 2-3. Ilustración de los factores de desempeño sísmico ( $R$ , $\Omega_0$ , $Cd$ ) y su relación con MCE (FEMA, 2009b). ....	15
Figura 2-4. Curvas esquemáticas de IDA. (Acosta, 2010).....	20
Figura 2-5. Curva de fragilidad de colapso. (FEMA, 2009b). ....	20
Figura 2-6. Espectro del MCE según norma NCh2745.....	21
Figura 2-7. Linked Column Frame system (LCF) (Malakoutian et al., 2016).....	24
Figura 2-8. Ilustración marco de acero DIAGRID (Lee et al., 2016).....	25
Figura 3-1. Estructuras en estudio.....	27
Figura 3-2. Macro-modelos generados para la representación de los modelos de alta fidelidad .....	29
Figura 3-3. Espectro elástico de aceleraciones para el diseño de arquetipos. ....	32
Figura 3-4. Relación factor de sobrerresistencia y ductilidad según Astica y Urzúa.....	37
Figura 3-5. Ejemplificación del sistema de rótulas plásticas en elementos verticales .....	39
Figura 3-6. Ejemplificación de una curva momento - rotación de un elemento vertical .....	39
Figura 4-1. Distribución de corte de diseño en altura para grupo de arquetipos MM-2 .....	51
Figura 4-2. Distribución de corte de diseño en altura para grupo de arquetipos MM-4 .....	52
Figura 4-3. Distribución de corte de diseño en altura para grupo de arquetipos MM-6 .....	52
Figura 4-4. Espectros de aceleración del set de registros sísmicos utilizados para un 5% de amortiguamiento - Espectro de diseño según NCh2369 .....	55
Figura 4-5. Curvas IDA. Arquetipo MM-2 FSR2.....	57
Figura 4-6. Curvas IDA. Arquetipo MM-2 FSR3.....	57
Figura 4-7. Curvas IDA. Arquetipo MM-2 FSR5.....	58
Figura 4-8. Curvas IDA. Arquetipo MM-2 FSR10.7.....	58
Figura 4-9. Curvas IDA. Arquetipo MM-4 FSR2.....	59
Figura 4-10. Curvas IDA. Arquetipo MM-4 FSR3.....	59
Figura 4-11. Curvas IDA. Arquetipo MM-4 FSR5.....	60
Figura 4-12. Curvas IDA. Arquetipo MM-4 FSR10.7.....	60
Figura 4-13. Curvas IDA. Arquetipo MM-6 FSR2.....	61
Figura 4-14. Curvas IDA. Arquetipo MM-6 FSR3.....	61
Figura 4-15. Curvas IDA. Arquetipo MM-6 FSR5.....	62
Figura 4-16. Curvas IDA. Arquetipo MM-6 FSR10.7.....	62
Figura 4-17. Tiempo total de ejecución de los análisis IDA según grupo de arquetipos .....	63
Figura 5-1. Curvas de fragilidad de colapso. Grupo de Arquetipos MM-2 .....	77
Figura 5-2. Curvas de fragilidad de colapso. Grupo de Arquetipos MM-4 .....	78
Figura 5-3. Curvas de fragilidad de colapso. Grupo de Arquetipos MM-6 .....	78
Figura B-1. Curva momento-rotación de rótulas plásticas por piso. Arquetipo MM-2 FSR2 .....	94
Figura B-2. Curva momento-rotación de rótulas plásticas por piso. Arquetipo MM-2 FSR3 .....	95
Figura B-3. Curva momento-rotación de rótulas plásticas por piso. Arquetipo MM-2 FSR5 .....	95
Figura B-4. Curva momento-rotación de rótulas plásticas por piso. Arquetipo MM-2 FSR10.7 .....	96

Figura B-5. Curva momento-rotación de rótulas plásticas por piso. Arquetipo MM-4 FSR2 .....	96
Figura B-6. Curva momento-rotación de rótulas plásticas por piso. Arquetipo MM-4 FSR3 .....	97
Figura B-7. Curva momento-rotación de rótulas plásticas por piso. Arquetipo MM-4 FSR5 .....	97
Figura B-8. Curva momento-rotación de rótulas plásticas por piso. Arquetipo MM-4 FSR10.7 .....	98
Figura B-9. Curva momento-rotación de rótulas plásticas por piso. Arquetipo MM-6 FSR2 .....	98
Figura B-10. Curva momento-rotación de rótulas plásticas por piso. Arquetipo MM-6 FSR3 .....	99
Figura B-11. Curva momento-rotación de rótulas plásticas por piso. Arquetipo MM-6 FSR5 .....	99
Figura B-12. Curva momento-rotación de rótulas plásticas por piso. Arquetipo MM-6 FSR10.7 .	100