

Tabla de Contenido

1. Introducción	1
1.1. Objetivos	3
1.1.1. Objetivos Generales	3
1.1.2. Objetivos Específicos	4
1.2. Estructura de la memoria	4
2. Revisión bibliográfica	5
2.1. Sistemas de distribución y abastecimiento de agua	5
2.1.1. Componentes	5
2.1.2. Consideraciones en el diseño sísmico de tuberías	6
2.1.2.1. Condiciones de sitio	6
2.1.2.2. Integridad de las tuberías	7
2.1.2.3. Peligro sísmico	7
2.1.3. Daño en las tuberías	7
2.1.3.1. Fallas en tuberías continuas	9
2.1.3.2. Fallas en tuberías segmentadas	9
2.1.3.3. Fallas por flotación y licuación	10
2.2. Análisis sísmico en sistemas de agua	11
2.2.1. Estudios generales para vulnerabilidad de componentes	11
2.2.2. Estudio de escenarios sísmicos	12
2.2.2.1. Análisis de escenarios con operatividad del sistema	12
2.2.3. Estudios de planes de mitigación	13
2.2.4. Estudios de interconexión o interdependencia entre líneas de vida. . .	14
2.3. Vulnerabilidad	15
2.3.1. Función o Curva de vulnerabilidad	15
2.3.2. Métodos de realización de curvas o funciones de vulnerabilidad	16
2.3.2.1. Método empírico	16
2.3.2.2. Método analítico	17
2.3.2.3. Opinión de expertos en funciones de vulnerabilidad	19
2.3.3. ¿Como se expresa una curva de vulnerabilidad?	20
2.3.4. Ejemplos de curvas de vulnerabilidad	21
2.4. Fragilidad	23
2.4.1. Función de fragilidad	23
2.4.2. ¿Como se expresa una función de fragilidad?	24
2.4.3. Realización de funciones de fragilidad	24
2.4.4. Ejemplos de funciones de fragilidad	25

3. Antecedentes / Datos	27
3.1. Tuberías de asbesto-cemento	27
3.1.1. Normativa Chilena	27
3.2. Descripción de suelos en Chile	28
3.2.1. Suelo en el norte de Chile	29
3.2.2. Suelo en Santiago	30
3.2.3. Suelo en el litoral central de Chile	32
3.2.4. Suelo en el sur de Chile	36
3.3. Sismos de mayor magnitud ocurridos en el territorio	38
3.3.1. Año 2010	38
3.3.2. Año 2014	41
3.3.3. Año 2015	43
4. Metodología para análisis del sistema de distribución de agua - Tuberías de asbesto-cemento	46
4.1. Amenaza sísmica	46
4.2. Curvas de fragilidad	48
4.2.1. Modelo no lineal de Winkler	49
4.2.1.1. Dirección Axial	51
4.2.1.2. Dirección transversal - horizontal	51
4.2.1.3. Dirección vertical	52
4.2.2. Modelo numérico de tuberías enterradas	53
4.2.2.1. Consideraciones del modelo numérico	53
4.2.2.2. Incertidumbre de los parámetros del suelo	53
4.2.2.3. Modelo numérico de tuberías enterradas	54
4.2.3. Movimiento del suelo en el modelo	54
4.2.4. Análisis no lineal	54
4.2.4.1. Resultados del análisis de la respuesta sísmica	54
4.2.4.2. Análisis de sensibilidad	54
4.2.4.3. Definición del estado de daño	55
4.2.4.4. Análisis de fragilidad sísmica	56
5. Generación de curvas de fragilidad	58
5.1. Parámetros a utilizar en el modelo	58
5.1.1. Tuberías	58
5.1.2. Suelos	60
5.1.3. Sismos	61
5.2. Modelo de interacción suelo-tubería	64
5.2.1. Validación del modelo	66
5.3. Generación de parámetros aleatorios del suelo	67
5.3.1. Hipercubo Latino (LHS - Latin Hypercube)	67
5.3.2. Transformación utilizando una distribución uniforme	68
5.4. Iteraciones del modelo	70
5.5. Definición de los estados de daño en tuberías	71
5.6. Manejo de datos	71
6. Resultados	73

6.1.	Datos	73
6.2.	Curvas de fragilidad	77
6.2.1.	Método propuesto por Jacobson	77
6.2.2.	Ajuste de la curva	80
7.	Análisis de resultados y Discusión	83
7.1.	Análisis de la metodología seleccionada	83
7.1.1.	Estado de daño - Definición de formas de falla	85
7.1.2.	Consideraciones del modelo	85
7.2.	Análisis de resultados	86
7.2.1.	Generación de parámetros del modelo	86
7.2.1.1.	Parámetros del suelo	86
7.2.1.2.	Parámetros sísmicos	86
7.3.	Curvas de fragilidad	87
7.3.1.	Probabilidad de ocurrencia	88
7.3.2.	Ajuste de curva	88
7.3.3.	Construcción de las curvas	90
7.3.4.	Efecto de la incertidumbre en parámetros del suelo	91
7.3.5.	Contraste con otras curvas	92
7.4.	Análisis de sensibilidad	93
8.	Conclusiones	95
8.1.	Recolección y generación de datos para el modelo	95
8.2.	Comentarios del modelo	96
8.3.	Curvas de fragilidad	97
8.3.1.	Observaciones finales	98
	Bibliografía	99
9.	Anexos	104
9.1.	Espesores nominales de tubos de asbesto-cemento. Nch191 Of.1980	105
9.2.	Ensayos SPT - Norte de Chile	106
9.3.	Ensayos SPT - Sur de Chile	110
9.4.	Valores de PGA - Generación	123
9.4.1.	Código para la generación de valores	123
9.4.2.	Valores Generados	125
9.5.	Configuración de modelo utilizando ABAQUS para el caso promedio	135
9.6.	Generación de parámetros aleatorios	142
9.6.1.	Sintaxis de Latin Hypercube - pyDOE	142
9.6.2.	Valores generados aleatoriamente por medio del Latin Hypercube	143
9.6.3.	Parámetros generados con el método de Monte Carlo	146
9.6.4.	Constantes elásticas de los resortes equivalentes generadas a partir de parámetros producidos con el método de Monte Carlo	149
9.7.	Iteración del modelo	161
9.8.	Manejo de datos	165
9.9.	Resultados	167
9.9.1.	Parámetros optimizados de las curvas de fragilidad	167

9.10. Análisis de sensibilidad	168
9.10.1. Desviación estándar de la respuesta de la tubería	169
9.10.2. Desviación relativa de la respuesta de la tubería	170