



**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Memoria del proyecto para optar al Título de  
Ingeniero Civil Oceánico

**PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA PLANIFICACIÓN  
DE SISTEMAS DE EVACUACIÓN VERTICAL ANTE  
TSUNAMI. CASO APLICADO A LA CIUDAD DE  
VALPARAÍSO**

**Constanza Fernanda Flores Henríquez**

Junio de 2016

**PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA PLANIFICACIÓN DE SISTEMAS DE EVACUACIÓN VERTICAL ANTE TSUNAMI. CASO APLICADO A LA CIUDAD DE VALPARAÍSO**

CONSTANZA FERNANDA FLORES HENRÍQUEZ

**COMISIÓN REVISORA**

**NOTA**

**FIRMA**

MAURICIO REYES GALLARDO

Profesor guía

---

---

RAÚL OBERREUTER

Revisor

---

---

CRISTIAN ARAYA

Revisor

---

---

## **DECLARACIÓN**

Este trabajo, o alguna de sus partes, no ha sido presentado anteriormente en la Universidad de Valparaíso, institución universitaria chilena o extranjera u organismo de carácter estatal, para evaluación, comercialización u otros propósitos. Salvo las referencias citadas en el texto, confirmo que el contenido intelectual de este Proyecto de Título es resultado exclusivamente de mis esfuerzos personales.

La Universidad de Valparaíso reconoce expresamente la propiedad intelectual del autor sobre esta Memoria de Titulación. Sin embargo, en caso de ser sometida a evaluación para los propósitos de obtención del Título Profesional de Ingeniero Civil Oceánico, el autor renuncia a los derechos legales sobre la misma y los cede a la Universidad de Valparaíso, la que estará facultada para utilizarla con fines exclusivamente académicos.

---

Firma Alumno

---

Firma Profesor guía

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi familia, por su apoyo en todos los ámbitos de mi vida, especialmente en esta tortuosa fase de elaboración de la memoria de título. A mi madre, quien con su amor infinito y enseñanzas, ha sabido inculcar en mí el valor del rigor, perseverancia, constancia, y por sobre todo, alcanzar la excelencia en cada meta propuesta y perseguir todos mis sueños. Agradecer a mi Constanza por su incondicionalidad en los momentos más difíciles que me ha tocado vivir, sin lugar a dudas, me considero afortunada de tenerla en mi vida. A mis amigas y amigos del colegio, liceo y universidad. A mi profesor guía Mauricio Reyes por su constante apoyo, confianza y amistad.

Agradecer a Daphne Vargas, Alex Lobos, Francisco Morales, Tania Ugalde, Anne Quaas, Michelle Gallardo, Stefani Martínez, Dangelá Pozo, Franco Villareal, Mauricio Reyes, Eduardo Sánchez, Marlene Berríos, Katherine Linzmayer, Adolfo Andaur, Daniela Villalobos, Francisca Quijada, Miguel Aquea y Jazmín Lues, por su colaboración en el desarrollo del ejercicio de evacuación realizado en la ciudad de Valparaíso, actividad que ha sido de invaluable utilidad en la elaboración de este proyecto de título. A Patricio Tapia de la oficina SIG de la Ilustre Municipalidad de Valparaíso por la información censal facilitada.

# **ÍNDICE DE CONTENIDOS**

ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	V
RESUMEN.....	XIV
1 INTRODUCCIÓN .....	1
2 OBJETIVOS.....	3
2.1 OBJETIVO GENERAL .....	3
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
3 SITUACIÓN ACTUAL DEL MÉTODO .....	4
3.1 ESTUDIO DE AMENAZA.....	6
3.1.1 AMENAZA .....	6
3.1.2 GRANDES TERREMOTOS Y TSUNAMIS EN EL MUNDO .....	6
3.1.2.1 TERREMOTO DE ALASKA.....	7
3.1.2.2 TERREMOTO DE SUMATRA-ANDAMÁN, INDONESIA.....	9
3.1.2.3 TERREMOTO DE TOHOKU, JAPÓN .....	11
3.1.3 GRANDES TERREMOTOS Y TSUNAMIS EN CHILE .....	13
3.1.3.1 CONTEXTO TECTÓNICO .....	14
3.1.3.2 TERREMOTOS HISTÓRICOS.....	16
3.1.3.2.1 TERREMOTO DE VALDIVIA 1960 .....	18
3.1.3.2.2 TERREMOTO DEL MAULE 2010 .....	20
3.1.3.2.3 TERREMOTO DE ILLAPEL 2015 .....	22
3.1.4 AMENAZA DE TERREMOTO Y TSUNAMI EN VALPARAÍSO .....	24
3.1.4.1 17 DE MARZO DE 1575 .....	26
3.1.4.2 13 DE MAYO DE 1647.....	26
3.1.4.3 8 DE JULIO DE 1730 .....	27
3.1.4.4 19 DE NOVIEMBRE DE 1822 .....	32
3.1.4.5 16 DE AGOSTO DE 1906 .....	33
3.1.4.6 3 DE MARZO DE 1985 .....	33
3.1.4.7 AMENAZA SÍSMICA .....	37
3.1.4.7.1 RED SISMOLÓGICA .....	37
3.1.4.8 AMENAZA DE TSUNAMI.....	39
3.1.4.8.1 MARCO REGULATORIO EN CHILE .....	39
3.1.4.8.2 SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA ANTE TSUNAMIS .....	42

3.1.4.9	PROBABILIDAD DE OCURRENCIA .....	43
3.2	EVACUACIÓN HORIZONTAL .....	45
3.2.1	CARACTERIZACIÓN DE LA OFERTA DE EVACUACIÓN HORIZONTAL .....	45
3.3	EVACUACIÓN VERTICAL .....	46
3.3.1	CARACTERIZACIÓN DE LA OFERTA DE EVACUACIÓN VERTICAL.....	46
3.3.1.1	DEFINICIÓN DE OFERTA DE EVACUACIÓN VERTICAL.....	47
3.3.1.2	CONCEPTO DE FRAGILIDAD.....	51
3.3.1.2.1	FRAGILIDAD SÍSMICA.....	52
3.3.1.2.2	CURVAS DE FRAGILIDAD ANTE TSUNAMI .....	53
3.3.1.2.3	CURVAS DE FRAGILIDAD ANTE TSUNAMI EN CHILE .....	57
3.3.1.3	NORMATIVA Y MÉTODOS DE DISEÑO .....	59
3.3.1.4	ASPECTOS CUALITATIVOS DE LA OFERTA EXISTENTE .....	60
3.3.1.5	ASPECTOS CUANTITATIVOS Y FORMULACIÓN MATEMÁTICA.....	62
4	METODOLOGÍA .....	63
4.1	CONTEXTO Y CIUDAD OBJETIVO.....	63
4.2	ESTUDIO DE AMENAZA.....	64
4.2.1	DEFINICIÓN DE ESCENARIOS.....	64
4.2.2	PROBABILIDAD DE OCURRENCIA.....	65
4.3	ESTUDIO DE IMPACTOS .....	65
4.3.1	VULNERABILIDADES .....	65
4.3.2	ZONAS EXPUESTAS.....	68
4.4	EVACUACIÓN HORIZONTAL .....	69
4.4.1	CARACTERIZACIÓN CUALITATIVA DE LA DEMANDA DE EVACUACIÓN HORIZONTAL.....	69
4.4.2	CARACTERIZACIÓN CUANTITATIVA DE LA DEMANDA DE EVACUACIÓN HORIZONTAL.....	69
4.5	EVACUACIÓN VERTICAL.....	69
4.5.1	CARACTERIZACIÓN DE LA OFERTA DE EVACUACIÓN VERTICAL.....	69
4.5.1.1	DEFINICIÓN DE OFERTA DE EVACUACIÓN VERTICAL.....	70
4.5.1.1.1	DEFINICIÓN DE CRITERIOS.....	70
4.5.1.2	ASPECTOS CUANTITATIVOS Y FORMULACIÓN MATEMÁTICA.....	76
4.5.2	ZONIFICACIÓN PARA ESTUDIO.....	76
4.5.2.1	CRITERIOS DE UBICACIÓN.....	76
5	RECOPIACIÓN DE RESULTADOS .....	80

5.1 EVACUACIÓN HORIZONTAL (EH) .....	80
5.1.1 CARACTERIZACIÓN DE LA OFERTA DE EH .....	80
5.1.1.1 RESULTADOS EJERCICIO DE EVACUACIÓN POR TSUNAMI .....	80
5.1.1.2 RESULTADOS EVALUACIÓN VÍAS DE EVACUACIÓN HORIZONTAL .....	83
5.1.2 CARACTERIZACIÓN CUALITATIVA DE LA DEMANDA DE EH .....	88
5.1.2.1 ZONIFICACIÓN DE LA CIUDAD POR TIEMPO DE EVACUACIÓN .....	88
5.1.2.2 ZONIFICACIÓN DE LA CIUDAD POR DENSIDAD DE PERSONAS .....	89
5.1.2.3 CODIFICACIÓN DE LA CIUDAD .....	94
5.1.3 CARACTERIZACIÓN CUANTITATIVA DE LA DEMANDA DE EH .....	98
5.1.3.1 AJUSTE DE DENSIDAD HOMOGÉNEA DE PERSONAS .....	99
5.1.4 BALANCE OFERTA/ DEMANDA DE EH .....	102
5.2 EVACUACIÓN VERTICAL (EV).....	102
5.2.1 CARACTERIZACIÓN CUALITATIVA DE LA DEMANDA DE EV .....	102
5.2.2 CARACTERIZACIÓN CUANTITATIVA DE LA DEMANDA DE EV .....	103
5.2.3 CARACTERIZACIÓN CUALITATIVA DE LA OFERTA DE EV.....	104
5.2.3.1 EVALUACIÓN VISUAL DE LA CIUDAD.....	105
5.2.3.1.1 EVALUACIÓN VISUAL USANDO GOOGLE EARTH FICHA A.....	105
5.2.3.1.2 EVALUACIÓN VISUAL USANDO GOOGLE STREET VIEW FICHA B.....	108
5.2.3.2 OFERTA DE EV.....	109
5.2.4 BALANCE OFERTA/ DEMANDA DE EV .....	112
6 GLOSARIO .....	113
7 DISCUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	114
7.1 ACERCA DE LA AMENAZA.....	114
7.2 ACERCA DE LA METODOLOGÍA .....	114
7.2.1 EVACUACIÓN HORIZONTAL .....	114
7.2.2 EVACUACIÓN VERTICAL.....	115
7.3 RECOMENDACIONES .....	115
8 CONCLUSIONES .....	117
8.1.1 OFERTA EVACUACIÓN HORIZONTAL.....	117
8.1.2 DEMANDA DE EVACUACIÓN HORIZONTAL.....	118
8.1.3 BALANCE DE EVACUACIÓN HORIZONTAL.....	118
8.1.4 OFERTA DE EVACUACIÓN VERTICAL .....	118
8.1.5 DEMANDA DE EVACUACIÓN VERTICAL .....	118
8.1.6 BALANCE DE EVACUACIÓN VERTICAL .....	119

9 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	120
10 ANEXO A TERREMOTOS Y TECTÓNICA DE PLACAS.....	128
10.1 TERREMOTOS .....	128
10.1.1 ONDAS SÍSMICAS.....	128
10.1.1.1 ONDAS DE CUERPO .....	128
10.1.1.2 ONDAS SUPERFICIALES .....	129
10.1.2 INTENSIDAD.....	130
10.1.3 MAGNITUD .....	131
10.1.4 SOLUCIÓN DEL MECANISMO FOCAL .....	133
10.2 TECTÓNICA DE PLACAS .....	136
10.2.1 BORDE DE PLACAS.....	138
11 ANEXO B DATOS DE CAMPO .....	140
11.1 ACTIVIDAD 1: SIMULACRO DE EVACUACIÓN ANTE TSUNAMI .....	140
11.2 ACTIVIDAD 2: EVALUACIÓN DE LAS VÍAS DE EVACUACIÓN ANTE TSUNAMI ...	140
11.3 RESULTADOS POR VÍAS DE EVACUACIÓN .....	141
11.3.1 IMPACTO POR SUSCEPTIBILIDAD DE BLOQUEO CALLE ECUADOR .....	141
11.3.2 IMPACTO POR SUSCEPTIBILIDAD DE BLOQUEO CALLE FRANCIA .....	142
11.3.3 IMPACTO POR SUSCEPTIBILIDAD DE BLOQUEO CALLE URUGUAY .....	143
11.3.4 IMPACTO POR SUSCEPTIBILIDAD DE BLOQUEO CALLE EDWARDS .....	144
11.3.5 IMPACTO POR SUSCEPTIBILIDAD DE BLOQUEO CALLE RODRÍGUEZ .....	145
11.3.6 IMPACTO POR CONFIABILIDAD DE EVACUACIÓN CALLE ECUADOR .....	146
11.3.7 IMPACTO POR CONFIABILIDAD DE EVACUACIÓN CALLE FRANCIA .....	147
11.3.8 IMPACTO POR CONFIABILIDAD DE EVACUACIÓN CALLE URUGUAY .....	148
11.3.9 IMPACTO POR CONFIABILIDAD DE EVACUACIÓN CALLE EDWARDS.....	149
11.3.10 IMPACTO POR CONFIABILIDAD DE EVACUACIÓN CALLE RODRÍGUEZ .....	150
12 ANEXO C FICHA DE REGISTRO CAMPAÑA DE TERRENO .....	151
13 ANEXO D EDIFICIOS EVALUADOS CON FICHAS DE REGISTRO.....	165
13.1 EDIFICIOS ANALIZADOS CON FICHA A.....	165
13.2 EDIFICIOS ANALIZADOS CON FICHA B.....	177



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Esquema de evaluación riesgo por tsunami. Adaptado de Reyes (2013).....	5
Figura 2 Terremoto de Alaska 1964, tectónica de placas. Adaptado de Brocher et al (2014).....	8
Figura 3 Epicentro, magnitud, altura de inundación y diagrama <i>beach ball</i> terremoto de Sumatra. Adaptado de Satake (2014).....	9
Figura 4 Zonas de subducción y placas tectónicas. Adaptado de McCaffrey (2007).....	11
Figura 5 Altura de inundación y altura máxima alcanzada en superficie (Runup), terremoto de Tohoku, Japón. Adaptada de Mori, Takahashi, Yasuda, & Yanagisawa (2011). .....	12
Figura 6 Daños a sectores residenciales, autos, camiones y escombros debido a la acción del tsunami en el sector de Kesenuma, Japón (Imamura & Anawat, 2012).....	13
Figura 7 Movimiento relativo de placas en Sudamérica. Adaptado de Rhea (2010).....	14
Figura 8 Zona de subducción Chile central (Cisternas, 2012).....	15
Figura 9 Terremotos históricos en Chile. Elaboración propia con datos de NGDC (2014). .....	17
Figura 10 Desplazamientos verticales terremoto 2010 y 1960. Adaptado de Fujii & Satake (2012) .....	19
Figura 11 Epicentros y réplicas terremoto de 2010 y 1960. Adaptado de Fujii & Satake (2012).....	21
Figura 12 Profundidades de flujo y runup tsunami 2010. Adaptada de Fritz et al (2011)..	22
Figura 13 Zona de ruptura terremoto Illapel 2015. Adaptada de USGS (2015). .....	23
Figura 14 Altura de tsunami y runup máximo terremoto de Illapel. Adaptado de Aránguiz et al (2015). .....	24
Figura 15 Área afectada por el terremoto de 1730. Adaptada de Carvajal, Cisternas, & Catalán (2014). En A y B sitios de estudio. En C distribución de población afectada. La sigla GN se refiere a los niveles de grilla utilizados en la modelación numérica.....	28
Figura 16 Modelos de ruptura y desplazamientos verticales asociados al terremoto 1730. En A la posición de las rupturas en la zona de acoplamiento sismogénico y los desplazamientos verticales. En B la ubicación de las sub rupturas presentadas en C (Carvajal et al., 2014).....	29
Figura 17 Planicies de inundación y runup perfiles topográficos (Carvajal et al., 2014). En A y B ubicación histórica de los reportes coloniales. En C el área de inundación generada por los modelos de ruptura ABC-6 y ABC-7. En D perfiles topográficos y el nivel inundación según reportes históricos.....	30
Figura 18 Modelos de ruptura terremoto 1730 (Quiroz et al., 2014). A la izquierda el modelo de ruptura plana y a la derecha el modelo de ruptura de tres segmentos.....	31
Figura 19 Área de inundación y altura tsunami 1730 modelo FFM-3 (Quiroz et al., 2014). .....	32
Figura 20 Área de influencia (líneas punteadas) terremotos de 1971, 1973, 1981 y 1985. (Barrientos, 1988) .....	34
Figura 21 Terremotos zona central de Chile. Adaptado de Yeck et al (2015).....	36
Figura 22 Red Sismológica operada por el CSN (CSN, 2015). .....	38
Figura 23 Carta de Inundación por Tsunami Región de Valparaíso (SHOA, 2012). .....	41
Figura 24 Mapa de Evacuación por Tsunami, ciudad de Valparaíso (ONEMI, 2014). .....	42
Figura 25 Diagrama de flujo probabilidad de ocurrencia de amenaza. Adaptado de Reyes (2013). .....	44
Figura 26 Vías de evacuación horizontal en Valparaíso. Adaptado de ONEMI (2014).....	45

Figura 27 Refugios de concreto reforzado Prefectura de Tokushima, Japón (FEMA, 2008). .....	47
Figura 28 Torre de Tasukaru y torre de Nishiki (FEMA, 2008). ....	48
Figura 29 Mapa de evacuación por Tsunami Waikiki, Hawai (FEMA, 2008). ....	48
Figura 30 Estructura de EV tipo torre-puente peatonal (Muhari, Imamura, & Koshimura, 2014). ....	49
Figura 31 Estructuras de EV en la ciudad de Kesenuma, Japón (Fraser et al., 2012). ...	50
Figura 32 Desplazamiento objetivo según estado de daño. Tabla 6, capítulo 7 Jorquera (2014). ....	52
Figura 33 Curvas de Fragilidad Set de Terremotos (Jorquera, 2014). ....	53
Figura 34 Curvas de fragilidad material mixto ciudad Ishinomaki, Japón. Adaptado de Suppasri et al (2013). ....	54
Figura 35 Curvas de fragilidad según materialidad y número de pisos. Adaptado de Suppasri et al (2013). ....	56
Figura 36 Imágenes satelitales Dichato 2010. Adaptado de Mas et al (2012). ....	57
Figura 37 Curvas de fragilidad ante tsunami en el mundo. Adaptado de Mas et al (2012). .....	58
Figura 38 Ubicación geográfica ciudad Valparaíso. Adaptado de <a href="http://siit2.bcn.cl/nuestropais/region5">http://siit2.bcn.cl/nuestropais/region5</a> y google earth. ....	63
Figura 39 Niveles de impacto desastre por tsunami. Adaptado de Reyes (2013). ....	66
Figura 40 Subcomponentes de vulnerabilidad asociadas al Sufrimiento Humano (HS). Adaptado de Reyes (2013). ....	66
Figura 41 Zona inundable plan de Valparaíso. Adaptado de SHOA (2010). ....	68
Figura 42 Potencial de socavación y clasificación tipo de suelo. Adaptado de FEMA (2008). ....	71
Figura 43 Ficha de registro A. Elaboración propia. ....	72
Figura 44 Ficha de registro B. Elaboración propia ....	73
Figura 45 Diagrama de flujo caracterización de oferta de EV en Valparaíso. Elaboración propia. ....	79
Figura 46 Trazado vías de evacuación analizadas en Valparaíso. Elaboración propia. ...	80
Figura 47 Tiempos de evacuación paso apresurado y reducido. Elaboración propia. ....	81
Figura 48 Estrechez y estado de la vía de evacuación horizontal, intersección calle Edwards con Av Colón en dirección sur. Elaboración propia. ....	82
Figura 49 Impacto asociado a la susceptibilidad de bloqueo de vías de EH en Valparaíso. Elaboración propia. ....	84
Figura 50 Impacto asociado a la confiabilidad de las vías de EH en Valparaíso. Elaboración propia. ....	86
Figura 51 Señalética de evacuación por tsunami. Intersección calle Edwards/Independencia. Elaboración propia. ....	87
Figura 52 Vía de EH intersección calle Rodríguez/Las Monjas. Recorrido en dirección N-S. Elaboración propia. ....	88
Figura 53 Zonificación por tiempo de evacuación a zona segura. Elaboración propia. ....	89
Figura 54 Escenario noche de fin de semana de verano. Elaboración propia. ....	92
Figura 55 Escenario día laboral. Elaboración propia. ....	93
Figura 56 Escenario noche de año nuevo. Elaboración propia. ....	94
Figura 57 Codificación calles analizadas. Elaboración propia. ....	95
Figura 58 Ejemplo de fotografía a mitad de cuadra. Elaboración propia. ....	96

Figura 59 A la izquierda, disminución ancho útil de vereda intersección calle Van Buren/Uruguay. A la derecha, disminución ancho útil calzada intersección calle Ramirez/Brasil. Elaboración propia.....	97
Figura 60 Comercio en veredas de tránsito peatonal, intersección Ecuador/Condell. Elaboración propia.....	97
Figura 61 Atochamiento vehicular calle Ecuador evacuación por tsunami 16/9/2015. Fuente: <a href="https://www.youtube.com/watch?v=JGbpIwB0Hik">https://www.youtube.com/watch?v=JGbpIwB0Hik</a> .....	98
Figura 62 Disminución ancho de calzadas durante evacuación por tsunami 16/9/2015. Fuente: <a href="https://www.youtube.com/watch?v=JGbpIwB0Hik">https://www.youtube.com/watch?v=JGbpIwB0Hik</a> .....	98
Figura 63 Manzanas censales habitantes zona de estudio. Elaboración propia con información entregada por unidad SIG Ilustre Municipalidad de Valparaíso.....	100
Figura 64 Ubicación teórica estructuras de evacuación vertical (EEV). Elaboración propia. ....	103
Figura 65 Oferta de EV. Intersección calle Francia con Brasil. Adaptado de Google Earth. LC: Línea de costa. REH: Ruta de evacuación horizontal.1, 2 y 3 tipo de estructuras presentes en el plan de Valparaíso.....	105
Figura 66 Primera fase de inspección visual de la ciudad. Elaboración propia.....	107
Figura 67 Evaluación EEV1 ficha A. Elaboración propia. ....	108
Figura 68 Evaluación EEV1 ficha B. Elaboración propia. ....	109
Figura 69 Área de azotea EEV 2.3. Fuente: <a href="http://checkinly.com/es/geopark-valparaiso,h.html#zoom-img-gallery[room151208501/0/">http://checkinly.com/es/geopark-valparaiso,h.html#zoom-img-gallery[room151208501/0/</a> .....	110
Figura 70 Variables de interés ante una inundación por tsunami. Adaptado de Cawley (2014). ....	113
Figura 71 Escala de Inamura e lida adaptada por Wiegel (Lagos, 2000). ....	113
Figura 72 Ondas de cuerpo P y S (Tarbuck & Lutgens, 2005). ....	129
Figura 73 Ondas de superficie. Adaptado de Tarbuck & Lutgens (2005). ....	129
Figura 74 Estados tensionales diagrama de pelota de playa (Cronin, 2004). ....	133
Figura 75 Representación gráfica estaciones sismográficas y planos nodales (Cronin, 2004). ....	134
Figura 76 Ángulos de deslizamientos plano de falla (CSN, 2015).....	134
Figura 77 Plano de falla normal y diagrama de pelota de playa (USGS, 2015).....	135
Figura 78 Plano de falla inverso y diagrama de pelota de playa (USGS, 2015).....	135
Figura 79 Plano de falla transformante y diagrama de pelota de playa (USGS, 2015)...	135
Figura 80 Plano de falla oblicuo inverso y diagrama de pelota de playa (USGS, 2015). ...	136
Figura 81 Placas y bordes tectónicos (Tarbuck & Lutgens, 2005).....	137
Figura 82 Tipos de zonas de subducción (Tarbuck & Lutgens, 2005). ....	139
Figura 83 Impacto asociado a la susceptibilidad de bloqueo calle Ecuador. Elaboración propia. ....	141
Figura 84 Impacto asociado a la susceptibilidad de bloqueo calle Francia. Elaboración propia. ....	142
Figura 85 Impacto asociado a la susceptibilidad de bloqueo calle Uruguay. Elaboración propia. ....	143
Figura 86 Impacto asociado a la susceptibilidad de bloqueo calle Edwards. Elaboración propia. ....	144
Figura 87 Impacto asociado a la susceptibilidad de bloqueo calle Rodríguez. Elaboración propia. ....	145
Figura 88 Impacto asociado a la confiabilidad calle Ecuador. Elaboración propia. ....	146
Figura 89 Impacto asociado a la confiabilidad de evacuación calle Francia. Elaboración propia. ....	147

Figura 90 Impacto asociado a la confiabilidad de evacuación calle Uruguay. Elaboración propia. ....	148
Figura 91 Impacto asociado a la confiabilidad de evacuación calle Edwards. Elaboración propia. ....	149
Figura 92 Impacto asociado a la confiabilidad de evacuación calle Rodríguez. Elaboración propia. ....	150
Figura 93 Evaluación ficha A EEV2.1 Almirante Barroso #560. Elaboración propia. ....	165
Figura 94 Evaluación ficha A EEV2.2 Morris #776. Elaboración propia.....	166
Figura 95 Evaluación ficha A EEV2.3 Hontaneda #735. Elaboración propia. ....	167
Figura 96 Evaluación ficha A EEV3 Brasil #2274. Elaboración propia. ....	168
Figura 97 Evaluación ficha A EEV5 Rodríguez #99. Elaboración propia. ....	169
Figura 98 Evaluación ficha A EEV6.1 Blanco #1791. Elaboración propia.....	170
Figura 99 Evaluación ficha A EEV6.2 Blanco #1693. Elaboración propia.....	171
Figura 100 Evaluación ficha A EEV6.3 Blanco #1623. Elaboración propia.....	172
Figura 101 Evaluación ficha A EEV7.1 Blanco #1231. Elaboración propia.....	173
Figura 102 Evaluación ficha A EEV7.2 Blanco #1169. Elaboración propia.....	174
Figura 103 Evaluación ficha A EEV7.3 Bellavista #168. Elaboración propia. ....	175
Figura 104 Evaluación ficha A EEV7.4 Melgarejo #669. Elaboración propia. ....	176
Figura 105 Evaluación ficha B EEV2.1 Almirante Barroso #560. Elaboración propia. ....	177
Figura 106 Evaluación ficha B EEV2.2 Morris #776. Elaboración propia.....	178
Figura 107 Evaluación ficha B EEV2.3 Hontaneda #735. Elaboración propia. ....	179
Figura 108 Evaluación ficha B EEV3 Brasil #2274. Elaboración propia. ....	180
Figura 109 Evaluación ficha B EEV5 Rodríguez #99. Elaboración propia. ....	181
Figura 110 Evaluación ficha B EEV6.1 Blanco #1791. Elaboración propia.....	182
Figura 111 Evaluación ficha B EEV6.2 Blanco #1693. Elaboración propia.....	183
Figura 112 Evaluación ficha B EEV6.3 Blanco #1623. Elaboración propia.....	184
Figura 113 Evaluación ficha B EEV7.1 Blanco #1231. Elaboración propia.....	185
Figura 114 Evaluación ficha B EEV7.2 Blanco #1169. Elaboración propia.....	186
Figura 115 Evaluación ficha B EEV7.3 Bellavista #168. Elaboración propia. ....	187
Figura 116 Evaluación ficha B EEV7.4 Melgarejo #669. Elaboración propia. ....	188

## **ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1 Grandes terremotos a nivel mundial.....	7
Tabla 2 Terremotos en Valparaíso.....	25
Tabla 3 Parámetros sísmicos utilizados en modelo numérico. ....	40
Tabla 4 Probabilidad y factor de probabilidad de ocurrencia de la amenaza. ....	44
Tabla 5 Nivel de daño, clasificación y descripción. ....	55
Tabla 6 Criterios cualitativos de la oferta existente. ....	61
Tabla 7 Escala cualitativa de impacto por susceptibilidad.....	67
Tabla 8 Escala cualitativa de impacto por confiabilidad. ....	67
Tabla 9 Resistencia ante impacto hormigón armado. Elaboración propia .....	75
Tabla 10 Resistencia ante impacto acero. Elaboración propia .....	75
Tabla 11 Resistencia ante impacto adobillo. Elaboración propia.....	76
Tabla 12 Criterios cualitativos oferta de EV en Valparaíso.....	78
Tabla 13 Tiempo de desplazamiento, distancia y velocidades. ....	81
Tabla 14 Valores de densidad de personas por unidad de superficie. ....	90

Tabla 15 Densidad de personas por unidad de superficie para cada escenario.....	90
Tabla 16 Código, Zona, Anchos de vereda, calzada y largo de calles. ....	95
Tabla 17 DEH en Valparaíso para cada escenario. ....	101
Tabla 18 DEH para cada escenario con densidad homogénea de personas. Elaboración propia. ....	101
Tabla 19 Demanda de EV para cada EEV .....	104
Tabla 20 Estructuras evaluadas con ficha de registro. ....	106
Tabla 21 Resumen criterios evaluados con fichas de registro edificios EEV2.2 y EEV2.3. ....	111
Tabla 22 Escala de intensidad de Mercalli modificada. ....	131
Tabla 23 Resumen criterios evaluados con fichas de registro edificios EEV1, EEV2.1, EEV3, EEV5, EEV6.1 y EEV6.2.....	189
Tabla 24 Resumen criterios evaluados con fichas de registro edificios EEV6.3, EEV7.1, EEV7.2, EEV7.3 y EEV7.4.....	190

## **RESUMEN**

En este estudio se desarrolla un análisis de las vulnerabilidades asociadas al arrastre de personas por un tsunami de campo cercano en la ciudad de Valparaíso, similar al ocurrido el 8 de Julio de 1730.

Se propone una metodología cualitativa y cuantitativa que incluye balances de oferta y demanda de evacuación horizontal y vertical, analizando la susceptibilidad de bloqueo y confiabilidad de las vías de evacuación horizontal. Asimismo, la oferta de evacuación vertical se estudia mediante un análisis simplificado de las características estructurales de los edificios.

El estudio se enfoca en las calles Uruguay, Francia, Rodríguez, Edwards y Ecuador, sensibilizando el análisis respecto a la población expuesta, tiempo y temporada de ocurrencia de la amenaza, y la vulnerabilidad de la infraestructura de evacuación.

Los escenarios analizados consideran un día laboral, noche de fin de semana de verano y noche de año nuevo. El estudio muestra que en general las vías de evacuación horizontal son confiables, aunque poseen algunas características insatisfactorias. Del mismo modo, se detectaron algunos aspectos de alta susceptibilidad de bloqueo. La demanda de evacuación horizontal fue estimada utilizando una densidad homogénea de personas en las calles y una distribución de velocidad de desplazamiento asumida con criterios conservadores. El balance de evacuación horizontal fue desarrollado cualitativamente y su resultado se considera positivo, a pesar de las vulnerabilidades encontradas en las vías de evacuación. Esto es, existe capacidad para absorber la demanda de evacuación horizontal. No obstante, la incerteza en el comportamiento de las personas durante la evacuación y los resultados de confiabilidad y susceptibilidad de las vías, entregan indicios de una demanda insatisfecha, por ello los valores de demanda de evacuación vertical se estimaron criteriosamente. Finalmente, se ha determinado que la oferta de evacuación vertical es nula, por lo tanto el balance de evacuación vertical es negativo.