



**Memoria del proyecto para optar al Título de
Ingeniero Civil Oceánico**

**Propuesta Metodológica: Análisis de Riesgo en el
Terminal 2 de Puerto de Valparaíso ante el escenario de
1730, para la elaboración de estrategias de continuidad**

Pablo Andrés Pedraza Cabrera

Noviembre 2017

Propuesta Metodológica: Análisis de Riesgo en el Terminal 2 de Puerto de Valparaíso ante el escenario de 1730, para la elaboración de estrategias de continuidad

Pablo Andrés Pedraza Cabrera

COMISIÓN REVISORA

NOTA

FIRMA

FELIPE CASELLI
Profesor guía

MAURICIO REYES
Docente

DIEGO MORENO
Docente

Noviembre 2017

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.

FELIPE CASELLI
PROFESOR GUÍA

PABLO PEDRAZA
AUTOR

*Dedicado a Alfonso Pedraza y Erick Cabrera
Un saludo al Cielo*

Agradecimientos

Primero debo agradecer a mi Familia, fundación y forzante del hombre que soy hoy en día.

*A mi Padre Ernesto, quien me ha inculcado la perseverancia
y resiliencia en momentos de adversidad.*

A mi Madre Erika, quien anidó e incentivó todo sueño que tuve por delante.

*A mi Hermano Felipe, por ser compañero y amigo
en tantas buenas y malas de la vida.*

*Al amor de mi vida Claudia, por ser fuente de energía y amor
incondicional, quien además me entregó apoyo a lo largo de este proceso.*

*A mi Padrino Rodrigo por presentarme este emocionante y basto mundo
de la ingeniería, además de siempre colaborar en mi formación.*

A mis abuelas, Tiyi y Mamé, por estar siempre pendientes y presentes.

A mi familia de Quilpué/Olmué por permitir pasar parte de mi formación en sus hogares.

A mi Madrina Blanca por su patrocinio y apoyo constante en los detalles importantes.

Sin ustedes no estaría aquí.

*Sin la colaboración de Felipe Caselli,
mi inicio en esta área de la ingeniería no hubiera sido posible,
gracias por ser un guía, colega y alguien en
quién pude depositar mi confianza*

*A lo largo de mi vida he podido conocer mucha gente que de alguna
u otra forma, han sido parte de este proceso. Mis
amigos de la vida, Mis Xatos, quienes siempre me
han entregado una risa cuando no la pido, gracias por estar siempre presente y
ser a la fecha grandes hermanos.*

*En la Universidad he podido conocer a grandes personas,
Dania, Carlos, Estivalia, Gonzalo, Víctor, Sandy
con quienes pasé grandes momentos fuera y dentro de la Universidad.
Vicente y Felipe, a quienes hoy les puedo decir
grandes amigos y “colegas” en un futuro próximo.
No puedo dejar al Equipo de FEUV 14’ y 15’,
Pablo, Catalina, Darío, Christian, Francisca y Walter en ustedes pude
conocer excelente personas, profesionales y amigos,
gracias por permitirme crecer junto a ustedes en mi vida política/universitaria.*

*A Diego Moreno y TCVAl por proporcionar los espacios y recursos
necesarios para elaborar esta investigación.*

*Por último, al equipo de GHD, quienes me han ayudado tanto en el proceso de esta
memoria como en los primeros pasos de mi formación profesional*

Contenido

1. Introducción	1
2. Objetivos, Alcances y Limitaciones	2
2.1. Objetivo general	2
2.2. Objetivos específicos	2
2.3. Alcances	2
2.4. Limitaciones	2
3. Marco Teórico.....	3
3.1. Riesgo de desastre	3
3.1.1. Amenaza	3
3.1.2. Vulnerabilidad	3
3.2. Sistema de gestión de continuidad de negocio.....	4
3.3. Plan de continuidad de negocios (BCP).....	4
3.4. Escenarios disruptivos	6
3.4.1. Terremoto.....	6
3.4.2. Tsunami	10
3.5. Análisis de riesgo	11
3.5.1. Matriz de riesgo.....	11
3.5.2. Estimación de daños.....	12
4. Descripción del terminal 2	21
4.1. Descripción general sitios de ataque	21
4.2. Descripción de estructuras sobre el espigón	22
4.2.1. Contenedores tipo oficina	22
4.2.2. Cafetería y panel eléctrico central.....	24
4.2.3. Descripción de maquinaria.....	25
4.2.4. Zonas de trabajo	27
5. Metodología.....	28
5.1. Estimación de daños	28
5.1.1. Riesgo por terremoto	28
5.1.2. Riesgo por Tsunami	30
6. Selección Amenaza.....	31
6.1. Sismo	31
6.2. Tsunami.....	31
7. Análisis de Riesgo - Sismo.....	33
7.1. Recopilación de Antecedentes.....	33
7.1.1. Informe de estabilidad grúas (propiedad de TCVAL).....	33
7.1.2. Informe de Puerto de Iquique (DOP)	33

7.1.3.	Resumen de informes Privados, Puertos de la Octava Región (DOP)	33
7.1.4.	ATC-13 “Earthquake damage evaluation data for California”	33
7.1.5.	NCEER-ATC joint Study on Fragility of Buildings, Anagnos, et. Al. (1995) ..	33
7.2.	Clasificación ATC de estructuras más importantes del espigón	34
7.3.	Matriz de probabilidad de daño	34
7.4.	Curvas de fragilidad	36
7.5.	Análisis de resultados	41
7.5.1.	Muro de hormigón armado con marco momento-resistente de mediana altura (Clasificación ATC = 4).....	41
7.5.2.	Grúas (Clasificación ATC = 53)	42
7.5.3.	Estructuras de frente marino (Clasificación ATC =63)	43
7.5.4.	Equipo de Oficina (Clasificación ATC =65)	44
7.5.5.	Equipo Eléctrico (Clasificación ATC =66)	45
8.	Análisis de Riesgo - Tsunami	46
8.1.	Recopilación de antecedentes	46
8.1.1.	Informe de estabilidad grúas (propiedad de TCVAL).....	46
8.1.2.	Informe de modelación de tsunامي en la costa de Valparaíso (Propiedad de TCVAL) 46	
8.1.3.	Informe de Puerto de Iquique (DOP)	46
8.1.4.	Resumen de informes Privados, Puertos de la Octava Región (DOP)	46
8.1.5.	Tsunami-induced Debris of Freight Containers due to the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake, Kento KUMAGAI	46
8.1.6.	Building damage characteristics based on surveyed data and fragility curves of the 2011 Great East Japan Tsunami, Anawat Suppasri.....	47
8.2.	Matrices de daño.....	47
8.2.1.	Generación de matrices de daño	47
8.2.2.	Resultados	48
8.3.	Curvas de fragilidad	50
8.4.	Análisis de resultados	59
8.4.1.	Grúa Gottwald	59
8.4.2.	Oficina Contenedor – Carga Ligera	60
8.4.3.	Contenedor 40’ – Pila Individual – Vacía	61
8.4.4.	Contenedor 40’ – Pila Individual – Con Carga	62
8.4.5.	Contenedor 40’ – Pila Doble – Vacía	63
8.4.6.	Contenedor 40’ – Pila Doble – Con Carga.....	64
8.4.7.	Cafetería – Panel Eléctrico	65
8.4.8.	Sitio 8 – Panel Eléctrico	66
9.	Conclusiones.....	67

9.1.	Análisis de riesgo – Sismo	67
9.1.1.	Sobre los Antecedentes	67
9.1.2.	Sobre la Metodología	67
9.1.3.	Sobre los resultados	68
9.2.	Análisis de riesgo – Tsunami	69
9.2.1.	Sobre los Antecedentes	69
9.2.2.	Sobre la Metodología	70
9.2.3.	Sobre los resultados	70
9.3.	Generalidades	72
9.4.	Recomendaciones.....	72
9.4.1.	Método Delphi.....	72
9.4.2.	Fema-P695	73
9.4.3.	Análisis de elementos finitos – Software FLIP	73
9.4.4.	Estudio de Erosión y socavación	73
10.	Referencias.....	74
11.	ANEXOS	76
Anexo A - Parámetro de forma, distribución Beta para cada magnitud - Sismo		76
Anexo B - Distribución Beta de cada Instalación - Sismo.....		78
Anexo C - Matrices de probabilidad acumulada - Sismo.....		81
Anexo D - Matrices de probabilidad acumulada - Tsunami		83

Índice de tablas

Tabla 3-1	Magnitud Richter v/s Efectos del sismo.....	7
Tabla 3-2	Escala de MMI-PGA	8
Tabla 3-3	Resumen de estados de daño.....	13
Tabla 3-4	- Relación entre la intensidad de propuesta por Papadopoulos y Shuto.....	16
Tabla 3-5	Nivel de daños, clasificación, descripción y condición de las estructuras/recursos	17
Tabla 3-6	Condiciones de contenedores	18
Tabla 7-1	Clasificación ATC para estructuras del Espigón	34
Tabla 7-2	Matriz de probabilidad de daño basado en opinión de expertos para instalaciones con diseño sísmico	35
Tabla 7-3	Parámetros de distribución LogNormal para clasificación ATC = 4	36
Tabla 7-4	Parámetros de distribución LogNormal para clasificación ATC = 53	37
Tabla 7-5	Parámetros de distribución LogNormal para clasificación ATC = 63	38
Tabla 7-6	Parámetros de distribución LogNormal para clasificación ATC = 65	39
Tabla 7-7	Parámetros de distribución LogNormal para clasificación ATC = 66	40
Tabla 8-1	Matrices de daño por recurso/estructura.....	48
Tabla 8-2	Parámetros de distribución LogNormal para Grúa Gottwald.....	50
Tabla 8-3	Parámetros de distribución LogNormal para Oficina Contenedor - Carga ligera	51
Tabla 8-4	Parámetros de distribución LogNormal para Contenedor 40' – Pila Individual – Vacía.....	52

Tabla 8-5 Parámetros de distribución LogNormal para Contenedor 40' – Pila Individual – Con Carga	53
Tabla 8-6 Parámetros de distribución LogNormal para Contenedor 40' – Pila Doble – Vacía	54
Tabla 8-7 Parámetros de distribución LogNormal para Contenedor 40' – Pila Doble – Con Carga	55
Tabla 8-8 Parámetros de distribución LogNormal para Cafetería – Panel Eléctrico	56
Tabla 8-9 Parámetros de distribución LogNormal para Sitio 8 – Panel Eléctrico	57
Tabla 8-10 Parámetros de distribución LogNormal para Oficinas – Zona de Ingreso	58

Índice de Ilustraciones

Ilustración 3-1 Modelo PDCA aplicado al proceso de BCMS	4
Ilustración 3-2 Mapa conceptual - Elaboración BCP	5
Ilustración 3-3 Matriz de riesgo por terremoto - Ejemplo	12
Ilustración 3-4 Curva de Fragilidad a partir de opinión de expertos	13
Ilustración 3-5 Algoritmo proceso de opinión de expertos	14
Ilustración 3-6 Matriz de probabilidad de daño para un bastidor de madera de baja altura	15
Ilustración 3-7 Distribución Beta típica, elaborada para cada instalación y nivel de MMI ..	16
Ilustración 3-8 Curvas de fragilidad para el tsunami de 2004 en Banda Aceh, Indonesia .	17
Ilustración 3-9 Formulación de boyantes y Diagrama de fuerzas de equilibrio para contenedor Pila Doble	19
Ilustración 3-10 Relación profundidad de inundación y fuerza boyante	19
Ilustración 4-1 Terminal 2, Puerto de Valparaíso	21
Ilustración 4-2 Bloques inclinados Sitio 8	22
Ilustración 4-3 Sitio 7, Cajón más bloque de coronamiento	22
Ilustración 4-4 Contenedor utilizado como oficina	23
Ilustración 4-5 Dos contenedores en vertical utilizado como oficina	23
Ilustración 4-6 Cafetería	24
Ilustración 4-7 Panel eléctrico	24
Ilustración 4-8 Vehículo de carga	25
Ilustración 4-9 Sitio 7 en proceso de carga	25
Ilustración 4-10 Grúa Gottwald GHMK	26
Ilustración 4-11 Zona de ingreso	27
Ilustración 4-12 Sector de oficinas	27
Ilustración 6-1 Campo de Velocidades en Tierra - Prof. de inundación = 2 [m]	32
Ilustración 7-1 Curva de Fragilidad – Clasificación ATC = 4 - Muro de hormigón armado con marco momento-resistente de mediana altura	36
Ilustración 7-2 Curva de Fragilidad – Clasificación ATC = 53 - Grúas	37
Ilustración 7-3 Curva de Fragilidad – Clasificación ATC = 63 – Estructuras de Frente Marino	38
Ilustración 7-4 Curva de Fragilidad – Clasificación ATC = 65 – Equipo de Oficina	39
Ilustración 7-5 Curva de Fragilidad – Clasificación ATC = 66 – Equipo Eléctrico	40
Ilustración 7-6 Análisis de Fragilidad – Clasificación ATC = 4 - Muro de hormigón armado con marco momento-resistente de mediana altura – Escenario 1730	41
Ilustración 7-7 Análisis de Fragilidad – Clasificación ATC = 53 - Grúas	42
Ilustración 7-8 Análisis de Fragilidad – Clasificación ATC = 63 – Estructuras de Frente Marino	43
Ilustración 7-9 Análisis de Fragilidad – Clasificación ATC = 65 – Equipo de Oficina	44

Ilustración 7-10 Análisis de Fragilidad – Clasificación ATC = 66 – Equipo Eléctrico.....	45
Ilustración 8-1 Curva de Fragilidad - Grúa Gottwald	50
Ilustración 8-2 Curva de Fragilidad – Oficina Contenedor – Carga ligera	51
Ilustración 8-3 Curva de Fragilidad – Contenedor 40’ – Pila Individual - Vacía.....	52
Ilustración 8-4 Curva de Fragilidad – Contenedor 40’ – Pila Individual – Con Carga.....	53
Ilustración 8-5 Curva de Fragilidad – Contenedor 40’ –Pila Doble – Vacía.....	54
Ilustración 8-6 Curva de Fragilidad – Contenedor 40’ –Pila Doble – Con Carga	55
Ilustración 8-7 Curva de Fragilidad – Cafetería – Panel Eléctrico	56
Ilustración 8-8 Curva de Fragilidad – Sitio 8 – Panel Eléctrico.....	57
Ilustración 8-9 Curva de Fragilidad – Oficinas – Zona de Ingreso.....	58
Ilustración 8-10 Análisis de Fragilidad – Grúa Gottwald.....	59
Ilustración 8-11 Análisis de Fragilidad – Oficina Contenedor – Carga Ligera	60
Ilustración 8-12 Análisis de Fragilidad – Contenedor 40’ – Pila Individual – Vacía	61
Ilustración 8-13 Análisis de Fragilidad – Contenedor 40’ – Pila Individual – Con Carga....	62
Ilustración 8-14 Análisis de Fragilidad – Contenedor 40’ – Pila Doble – Vacía.....	63
Ilustración 8-15 Análisis de Fragilidad – Contenedor 40’ – Pila Doble – Con Carga.....	64
Ilustración 8-16 Análisis de Fragilidad – Cafetería – Panel Eléctrico	65
Ilustración 8-17 Análisis de Fragilidad – Sitio 8 – Panel Eléctrico	66

1. Introducción

Por los puertos del país circula el 95% del comercio internacional, que a su vez corresponde al 63% del PIB nacional (SATREPS Chile Working Group 4b, 2016). En consecuencia, el mercado debe interactuar constantemente con amenazas antropogénicas¹ y naturales, siendo estas últimas las que generan más daño a la infraestructura portuaria, afectando directamente a los sectores involucrados con el puerto.

Es necesario desarrollar Planes de Continuidad de Negocios para asegurar la capacidad de recuperación y normal desarrollo de las actividades portuarias a los “*Stakeholders*”² del puerto. Para ello se requiere un análisis de riesgo que permita hacer una asignación eficaz y eficiente de las estrategias de recuperación

El presente documento exhibe la propuesta metodológica para realizar un análisis de riesgo en el Terminal Cerros de Valparaíso, ante un desastre por terremoto y tsunami, como insumo para el desarrollo de estrategias de continuidad de sus operaciones; donde se identifican los recursos más importantes y su tiempo de recuperación esperado, otorgando al puerto las herramientas básicas para la elaboración de planes de continuidad. Una forma de valorizar la probabilidad de daño sobre estructuras o recursos es elaborando curvas de fragilidad en las que, para cada parámetro del escenario disruptivo correspondiente a Terremoto y Tsunami, existe una probabilidad para un cierto nivel de daño.

A continuación, se presentan los objetivos, antecedentes y propuesta metodológica para la elaboración de estas curvas y su posterior aplicación en el análisis de riesgo en uno de los terminales más importantes de la región.

¹ Referido a efectos, procesos o materiales que son el resultado de actividades humanas (RAE, 2016)

² Partes interesadas en una organización