



Memoria de titulación para optar al Título de
Ingeniero Civil Oceánico

**PROPUESTA DE UNA METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE
RIESGO DE DAÑOS EN LA MAQUINARIA DE UN PUERTO
ANTE LA OCURRENCIA DE UN TSUNAMI POR SISMO DE
ORIGEN CERCANO, IMPLEMENTADO EN EL PUERTO DE
IQUIQUE**

Carolina Natalia Segovia López

Mayo 2020

PROPUESTA DE UNA METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE RIESGO DE DAÑOS
EN LA MAQUINARIA DE UN PUERTO ANTE LA OCURRENCIA DE UN
TSUNAMI POR SISMO, IMPLEMENTADO EN EL PUERTO DE IQUIQUE

Carolina Natalia Segovia López

COMISIÓN REVISORA

NOTA

FIRMA

SR. FELIPE CASELLI B.
Profesor guía

SR. JAIME LEYTON E.
Revisor

SR. MAURICIO REYES G.
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

*Ante todo agradezco a Dios,
Por ser la luz que guía mi vida y camino, y por darme la fuerza de seguir frente a cualquier adversidad.
A mi familia a mi madre Carmen, padre Jorge y mi hermana Lorena,
Por ser mi refugio, inspiración, guías y los mejores alentadores para cumplir mis sueños y anhelos.
Pero por sobre todo su inmenso amor...
A mis amigas del alma Bárbara, Gilda y Jacqueline,
Por siempre estar presentes con una palabra de aliento y creer en mí.
A las bellas personas que conocí por mi paso en la universidad,
de las cuales dejo gratas amistades
como la de Elizabeth, Katherine y Marcos, este último por ser un gran apoyo en mis últimos años universitarios y en la elaboración de este documento.
A mi profesor guía Felipe Caselli,
Por darme la oportunidad de ser su estudiante tesista, por sus conocimientos entregados, palabras de aliento y confianza en mi trabajo.
Y por último, pero no menos importante a mis profesores revisores Jaime Leyton y Mauricio Reyes,
Por sus conocimientos y colaboración para con este mi proyecto final de pregrado.
Infinitas gracias ...*

TABLA DE CONTENIDOS

| | |
|--|-----|
| DECLARACIÓN..... | III |
| AGRADECIMIENTOS..... | IV |
| TABLA DE CONTENIDOS..... | V |
| ÍNDICE DE FIGURAS | VII |
| ÍNDICE DE TABLA..... | IX |
| RESUMEN..... | XI |
| 1 INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 2 OBJETIVOS | 2 |
| 2.1 General..... | 2 |
| 2.2 Objetivos específicos..... | 2 |
| 3 ALCANCES Y LIMITACIONES | 3 |
| 3.1 ALCANCES | 3 |
| 3.2 LIMITACIONES | 4 |
| 4 MARCO TEÓRICO | 5 |
| 4.1 AMENAZA POR TSUNAMI..... | 6 |
| 4.1.1 MECANISMOS DE GENERACIÓN | 6 |
| 4.1.2 TSUNAMIS HISTÓRICOS EN CHILE..... | 8 |
| 4.1.3 ESTIMACIÓN DE INUNDACIÓN POR TSUNAMI | 9 |
| 4.1.4 FUERZAS INVOLUCRADAS EN UN TSUNAMI Y SUS EFECTOS SOBRE LA MAQUINARIA..... | 14 |
| 4.2 CARACTERÍSTICAS OPERACIONALES DEL PUERTO | 17 |
| 4.2.1 SISTEMA PORTUARIO NACIONAL..... | 18 |
| 4.2.2 SISTEMA PORTUARIO, PUERTO DE IQUIQUE | 21 |
| 4.2.3 CARACTERIZACIÓN DEL RECURSO, MAQUINARIA PORTUARIA | 24 |
| 4.3 GESTIÓN DE RIESGO..... | 30 |
| 4.3.1 DEFINICIONES PREVIAS..... | 30 |
| 4.3.2 GESTIÓN DE RIESGO DE DESASTRES | 32 |
| 4.3.3 METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE RIESGO..... | 36 |
| 4.3.4 METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE DAÑOS..... | 39 |
| 5 PLAN DE CONTINUIDAD DE NEGOCIOS (BCP) | 49 |
| 6 METODOLOGÍA..... | 52 |

| | | |
|--------|---|-----|
| 7 | RESULTADOS | 54 |
| 7.1 | PROPUESTA METODOLÓGICA..... | 54 |
| 7.2 | APLICACIÓN EN EL PUERTO DE IQUIQUE | 56 |
| 8 | CONCLUSIONES | 68 |
| 9 | DISCUSIONES Y RECOMENDACIONES | 70 |
| 9.1 | DISCUSIONES..... | 70 |
| 9.2 | RECOMENDACIONES..... | 70 |
| 10 | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 72 |
| 11 | ANEXOS | 78 |
| 11.1 | ANEXO A: ANTECEDENTES DE TSUNAMIS Y TERREMOTOS DE LA ZONA NORTE DE CHILE | 78 |
| 11.1.1 | PARAMETROS CARACTERÍSTICOS DE LOS TSUNAMIS..... | 78 |
| 11.1.2 | PARAMETROS DE FALLA DE LOS TERREMOTOS HISTÓRICOS DEL NORTE GRANDE DE CHILE..... | 79 |
| 11.1.3 | CARTAS DE INUNDACIONES PARA EL NORTE DE CHILE | 81 |
| 11.2 | ANEXO B: TIPOS DE MODELOS PARA LA ESTIMACIÓN DE TSUNAMI..... | 84 |
| 11.3 | ANEXO C: ANÁLISIS DE FALLAS EN UNA MAQUINARIA PESADA Y TIPOS DE MANTENIMIENTO | 85 |
| 11.3.1 | ALÁLISIS DE FALLAS EN UNA MAQUINARIA PESADA..... | 85 |
| 11.3.2 | TIPOS DE MANTENIMIENTOS..... | 89 |
| 11.4 | ANEXO D: ELEMENTOS Y PIEZAS PRINCIPALES PRESENTES EN CADA SISTEMA | 91 |
| 11.5 | ANEXO E: MATRICES DE EVALUACIÓN DE DAÑOS | 97 |
| 11.6 | ANEXO F: FALLAS PROPIAS DE UNA MAQUINARIA PESADA | 103 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 3-1: Zona de Estudio "Puerto de Iquique", Elaboración propia, a partir de (Google Earth, 2017)..... | 3 |
| Figura 4-1: Esquema General de los Subtemas, Elaboración propia. | 5 |
| Figura 4-2: Demarcación del área base para Figura 4-3 y Figura 4-4. | 10 |
| Figura 4-3: Resultados de inundación por tsunami en Iquique, divididos por zonas, (Aranguiz, y otros, 2015)..... | 11 |
| Figura 4-4: Resultados de profundidad de inundación en Iquique, por eventos, (SATREPS, 2016) | 11 |
| Figura 4-5: Velocidades máximas de inundación, (SATREPS, 2016) | 12 |
| Figura 4-6: Mapas de tiempos de arribo del tsunami, (SATREPS, 2016) | 12 |
| Figura 4-7: Puertos Chilenos de uso Público (Rojo: E. Estatal y Azul: E. Privada), (DOP, 2017) | 17 |
| Figura 4-8: Esquema del Funcionamiento General de un Puerto, (Estrada, 2015)..... | 18 |
| Figura 4-9: Terminales y sitios de atraque puerto de Iquique, (Puerto de Iquique , 2014) 22 | |
| Figura 4-10: Grúa Super Post Panamax, Elaboración propia, A partir de (konecranes, 2017). | 25 |
| Figura 4-11: Top – Lifter, Elaboración Propia, A partir de (Sitsa, 2017). | 26 |
| Figura 4-12: Reach Stacker, Elaboración propia, A partir de (LINDE MATERIAL HANDLING IBÉRICA, 2017) | 26 |
| Figura 4-13: Tractocamión, Elaboración propia, A partir de (KALMAR , 2017)..... | 27 |
| Figura 5-1: Ciclo de vida del BCP, (Benton International Latin America, 2012). | 49 |
| Figura 5-2: Diagrama de los análisis y evaluaciones para un BCMS de la logística portuaria, (SATREPS 4B, 2016) | 51 |
| Figura 6-1: Esquema de Metodología empleada, Elaboración propia. | 52 |
| Figura 7-1: Escenario seleccionado, Elaboración Propia. | 54 |
| Figura 7-2: Extracto de la Tabla 11-3, Elaboración propia | 60 |
| Figura 7-3: Extracto de la Tabla 11-7, Elaboración propia | 61 |
| Figura 11-1: Parámetros para la cuantificación de tsunami, (Contreras & Winckler, 2013). | 78 |
| Figura 11-2: Distancia entre puerto de Iquique con el epicentro del evento de 1877, (Google Earth) | 79 |
| Figura 11-3: Carta de Inundación Iquique 1877, (SHOA, 2012) | 81 |
| Figura 11-4: Carta de Inundación Arica 1868, (SHOA, 2012)..... | 82 |
| Figura 11-5: Carta de Inundación Caldera 1918-1922, (SHOA, 2012) | 83 |
| Figura 11-6: Curva de la bañera, vida útil de una máquina, (Aguiar Guzmán & Rodriguez Borja, 2014) | 87 |
| Figura 11-7: Tipos de motores presentes en una maquinaria (Males et al , 2007)..... | 91 |
| Figura 11-8: Elementos que constituyen el sistema de potencias, (Males et al , 2007)..... | 91 |
| Figura 11-9: Elementos que constituyen el sistema de transmisión, (Nina Charaja , 2011). | 92 |
| Figura 11-10: Elementos presentes en el sistema de locomoción, (SENNENBOGEN , 2014). | 92 |

| | |
|---|----|
| Figura 11-11: Esquema de los elementos presentes en el sistema hidráulico, (Osorio Arias , 2011). | 93 |
| Figura 11-12: Elementos y piezas que constituyen el sistema eléctrico, (Males et al , 2007). | 94 |
| Figura 11-13: Elemento y partes de un sistema convencional de frenos, (Multiservicios Automotriz 3H, 2011). | 94 |
| Figura 11-14: Suspensión delantera de dobles triángulos superpuestos, (Guitierrez, 2013). | 95 |
| Figura 11-15: Esquema de suspensión trasera independiente, (Guitierrez, 2013). | 95 |
| Figura 11-16: Elementos y piezas que componen el sistema de carrocería, (B. Automóvil , 2011). | 96 |

ÍNDICE DE TABLA

| | |
|--|-----|
| Tabla 4-1: Principales causas que generan Tsunami..... | 7 |
| Tabla 4-2: Registro Histórico de Tsunamis en Chile..... | 8 |
| Tabla 4-3: Tsunami Zona Norte | 9 |
| Tabla 4-4: Parámetros Principales del Tsunami..... | 13 |
| Tabla 4-5: Fuerzas Hidrostáticas | 14 |
| Tabla 4-6: Fuerzas Hidrodinámicas | 15 |
| Tabla 4-7: Símbolo, definición, valores y unidad de las fórmulas | 16 |
| Tabla 4-8: Descripción de los componentes de un Puerto | 19 |
| Tabla 4-9: Maquinaria Terminal multipropósito | 20 |
| Tabla 4-10: Equipamiento Puerto Iquique | 24 |
| Tabla 4-11: Maquinaria de estudio..... | 25 |
| Tabla 4-12: Dimensiones Grúa Super Post Panamax | 27 |
| Tabla 4-13: Dimensiones equipo de patio Top-Lifter | 27 |
| Tabla 4-14: dimensiones equipo de patio Reach-Stacker | 28 |
| Tabla 4-15: Dimensiones Tractocamión..... | 28 |
| Tabla 4-16: Descripción de los sistemas de las máquinas móviles | 29 |
| Tabla 4-17: Organización secuencial del ciclo de desastres | 34 |
| Tabla 4-18: Ventajas y desventajas de los métodos cuantitativos y cualitativos..... | 39 |
| Tabla 4-19: Factores de vulnerabilidad por tsunami asociados a la maquinaria..... | 40 |
| Tabla 4-20: Fallas producto de un tsunami. | 41 |
| Tabla 4-21: Estados de Daño según ATC-13..... | 42 |
| Tabla 4-22: Categorización de los Niveles de Daños | 42 |
| Tabla 4-23: Escala de grados de tsunami según Inamura. | 43 |
| Tabla 4-24: Escala de grados de tsunami según Lida..... | 44 |
| Tabla 4-25: Escala de grados de tsunami según Inamura e Lida modificada por Wiegel. | 44 |
| Tabla 4-26: Escala de intensidad de tsunamis propuesta por Soloviev | 45 |
| Tabla 4-27: Escala modificada Sieberg de intensidades de tsunamis | 46 |
| Tabla 4-28: Nueva escala de intensidad de tsunami G.A. Papadopoulos y F. Imamura... .. | 47 |
| Tabla 7-1: Parámetros principales del tsunami en la zona de estudio..... | 56 |
| Tabla 7-2: Máquinas seleccionadas..... | 57 |
| Tabla 7-3: Fallas producto de un tsunami. | 57 |
| Tabla 7-4: Categorización de los Niveles de Daños | 58 |
| Tabla 7-5: Descripción de los sistemas de las máquinas móviles | 59 |
| Tabla 7-6: Matriz de riesgo en escenario propuesto..... | 60 |
| Tabla 7-7: Matriz de Maquinarias v/s Daños | 61 |
| Tabla 7-8: Tarjetas de identificación | 64 |
| Tabla 11-1: Parámetros de falla de los eventos 1868 y 1877..... | 79 |
| Tabla 11-2: Tipos de Fallas en Maquinaria Pesada | 86 |
| Tabla 11-3: Evaluación de las fallas por tsunami en los sistemas de la Grúa | 98 |
| Tabla 11-4: Evaluación de las fallas por tsunami en los sistemas del equipo de patio Reach- Stacker..... | 99 |
| Tabla 11-5: Evaluación de las fallas por tsunami en los sistemas del equipo de patio Top-Lifter | 100 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 11-6: Evaluación de las fallas por tsunami en los sistemas del tractocamión | 101 |
| Tabla 11-7: Matriz de maquinaria v/s daños por impacto | 102 |
| Tabla 11-8: Matriz de maquinaria v/s daños por inundación | 102 |
| Tabla 11-9: Niveles de Daños según tipo de Falla | 103 |

RESUMEN

Chile se localiza en una zona de subducción de placas y además forma parte del cinturón de Fuego del Pacífico. Situación que lo convierte en un país favorable para la generación de desastre como sismo y tsunamis. Actualmente existen esfuerzos orientados a la protección de las comunidades; asimismo, se identifican metodologías generales para mitigar los daños a la economía, siendo un caso el aseguramiento de la continuidad de las operaciones portuarias. Una organización puede reducir el riesgo de la detención de sus servicios, por motivo de un desastre, a través de la gestión de estrategias de continuidad a partir de un análisis de riesgos y de un análisis de impacto en su negocio; sin embargo, aún hay falta de metodologías que faciliten el desarrollo de estos análisis, en especial considerando los distintos ámbitos en los que se puede ver afectado un puerto. Por este motivo, surge la idea de desarrollar una metodología de análisis de riesgo para la maquinaria de un puerto, que sirva de insumo para el desarrollo de estrategias para una pronta restitución de las operaciones luego de un desastre por tsunami, utilizando como objeto de estudio el Puerto de Iquique.

Para el desarrollo de esta metodología se identificaron posibles daños en la maquinaria del puerto como consecuencia de un tsunami. Esto, a partir de información de posibles escenarios de ocurrencia de tsunami, características de las maquinarias e información de análisis de riesgo asociado a la amenaza por la vulnerabilidad. Ellas se relacionan para identificar las fallas que puede presentar una máquina: falla por fractura, sulfatación, entre otras, con el fin de cuantificar los efectos de la amenaza por tsunami con las fallas que podría presentar la maquinaria. Posteriormente se diseña un conjunto de matrices de riesgo, entre ellas la tabla “Categorización de los niveles de daños”, para la realización de un análisis y evaluación cualitativa del riesgo de daño en la maquinaria.

Este proyecto es relevante, debido que presenta una metodología de fácil acceso para el análisis de riesgo que facilitará a los puertos el proceso de generar estrategias apropiadas para el diseño de planes que permitan gestionar la continuidad de negocios.