



FACULTAD DE INGENIERÍA

Memoria del proyecto para optar al Título de
Ingeniero Civil Oceánico

**EVALUACIÓN DEL RIESGO ASOCIADO A
EVENTOS DE OLEAJE EXTREMO EN
LA COSTA DE VIÑA DEL MAR Y CONCÓN**

Catalina Alejandra Tejo Roa

Julio 2017

**EVALUACIÓN DEL RIESGO ASOCIADO A EVENTOS DE OLEAJE EXTREMO
EN LA COSTA DE VIÑA DEL MAR Y CONCÓN**

Catalina Alejandra Tejo Roa

COMISIÓN REVISORA

NOTA

FIRMA

NOMBRE REVISOR 1

Profesor guía: Mauricio Reyes

NOMBRE REVISOR 2

Profesor co-guía: Patricio Winckler

NOMBRE REVISOR 3

Ingeniero Civil Oceánico:
Marco Matamala

DECLARACIÓN

Este trabajo, o alguna de sus partes, no han sido presentados 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.

Memorista
Catalina Tejo Roa

Profesor guía
Mauricio Reyes Gallardo

AGRADECIMIENTOS

Al Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada, SHOA por colaborar con los datos de niveles de marea y batimetrías; especialmente a la Srta. Carolina Calvete y al Sr. Daniel Rojas.

A Ariel Gallardo y Marco Álvarez, por su ayuda a través del proyecto “Un Atlas de Oleaje para Chile” con algunos datos y procedimientos, además de su buena acogida en el laboratorio de Hidráulica de la carrera en Santiago.

A mis amigos, compañeros de universidad y de trabajo por su apoyo y ayuda en la claridad de mi tesis y vida.

A mi terapeuta Marina Moreno y amigo Álvaro Palma por guiarme, incentivar me y animarme a terminar este ciclo con mucho amor.

A mi amada familia, por su incondicional compañía, paciencia y amor en este largo andar.

A la Vida.

*Dedicada a
todos los Seres que me acompañan
en esta grandiosa odisea
llamada Vida*

CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN	- 1 -
2. OBJETIVOS	- 5 -
3. MARCO TEÓRICO	- 6 -
3.1 RIESGO	- 6 -
3.1.1 <i>Amenaza</i>	- 7 -
3.1.1.1 Mareas	- 7 -
3.1.1.2 Oleaje	- 9 -
3.1.1.3 Cota de Inundación	- 14 -
3.1.1.4 Clima Extremo	- 15 -
3.1.2 <i>Impacto</i>	- 17 -
3.1.2.1 Vulnerabilidad	- 19 -
3.1.2.2 Exposición	- 20 -
4. METODOLOGÍA	- 20 -
4.1 ANÁLISIS DE AMENAZA.....	- 24 -
4.1.1 <i>Recopilación y Análisis de la Data</i>	- 24 -
4.1.1.1 Registro de Mareas	- 24 -
4.1.1.2 Procesamiento Batimétrico y Pendiente Media.....	- 25 -
4.1.1.3 Data de Oleaje.....	- 26 -
4.1.2 <i>Análisis Armónico</i>	- 27 -
4.1.3 <i>Interpolación y Grilla Numérica</i>	- 27 -
4.1.4 <i>Propagación del Oleaje</i>	- 29 -
4.1.5 <i>Cálculo Número de Iribarren</i>	- 29 -
4.1.6 <i>Cálculo Wave Runup</i>	- 30 -
4.1.7 <i>Cota de Inundación</i>	- 31 -
4.2 EVALUACIÓN DE AMENAZA	- 31 -
4.2.1 <i>Clima Extremo</i>	- 31 -
4.3 ANÁLISIS DE IMPACTO.....	- 33 -
4.3.1 <i>Análisis de Vulnerabilidades</i>	- 34 -
4.4 EVALUACIÓN DE IMPACTO	- 38 -
4.5 EVALUACIÓN DE RIESGO	- 38 -
5. RESULTADOS	- 39 -
5.1 ANÁLISIS DE AMENAZA.....	- 40 -
5.1.1 <i>Propagación del oleaje</i>	- 41 -
5.2 EVALUACIÓN DE AMENAZA	- 43 -
5.2.1 <i>Clima Extremo</i>	- 43 -
5.3 ANÁLISIS DE IMPACTO.....	- 46 -
5.4 EVALUACIÓN DE IMPACTO.....	- 51 -
5.5 EVALUACIÓN DE RIESGO.....	- 55 -
6. CONCLUSIONES	- 63 -
7. BIBLIOGRAFÍA	- 66 -
8. ANEXOS	- 69 -
8.1 ANEXO N°1: ANÁLISIS DE IMPACTO	- 70 -

8.1.1	PCM, Project Cycle Management	- 70 -
8.1.1.1	Análisis de Actores	- 70 -
8.1.2	Matriz de Impacto	- 76 -
8.2	ANEXO N°2: OLEAJE	- 82 -
8.2.1	Aguas Profundas.....	- 82 -
8.2.2	Propagación.....	- 87 -
8.2.3	Pendiente Media.....	- 91 -
8.2.4	Wave Runup.....	- 92 -
8.2.5	Mareas.....	- 96 -
8.2.6	Cota de Inundación	- 96 -
8.2.7	Clima Extremo.....	- 103 -
8.2.8	Clima Medio en Sitios de Estudio	- 110 -
8.3	ANEXO N°3: ANTECEDENTES	- 123 -
8.3.1	Fenómeno del Niño.....	- 123 -
8.3.2	Otros Antecedentes	- 127 -
8.3.2.1	Prensa.....	- 127 -
8.3.2.2	Marco Legal.....	- 129 -
8.3.2.3	Niveles de Terreno	- 130 -

LISTA DE TABLAS

TABLA 4-1:	INFORMACIÓN SITIOS DE ESTUDIO.....	- 26 -
TABLA 4-2:	INFORMACIÓN DATA DE OLEAJE EN AGUAS PROFUNDAS.....	- 27 -
TABLA 4-3:	PROBABILIDAD Y FACTOR DE P SEGÚN PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA DE CI	- 32 -
TABLA 4-4:	ESCALA CUALITATIVA PARA EL FACTOR DE IMPACTO EN TÉRMINOS DE SEVERIDAD POR DAÑOS. (REYES, 2013).....	- 33 -
TABLA 4-5:	MATRIZ DE IMPACTO	- 37 -
TABLA 4-6:	MATRIZ DE RIESGO.....	- 39 -
TABLA 4-7:	CLASIFICACIÓN DE RIESGO. (REYES, 2013).....	- 39 -
TABLA 5-1:	RESUMEN DE RESULTADOS, ANÁLISIS DE AMENAZA	- 40 -
TABLA 5-2:	MAGNITUD DE CI CORRESPONDIENTE A CADA PROBABILIDAD Y FACTOR DE P	- 46 -
TABLA 5-3:	REPARACIÓN DE DAÑOS.....	- 46 -
TABLA 5-4:	EVALUACIÓN IMPACTO ESCENARIO A.....	- 51 -
TABLA 5-5:	EVALUACIÓN IMPACTO ESCENARIO B.....	- 51 -
TABLA 5-6:	RESULTADOS DE IMPACTO, ESCENARIO A.....	- 54 -
TABLA 5-7:	RESULTADOS DE IMPACTO, ESCENARIO B.....	- 54 -
TABLA 5-8:	RIESGO PARA ESCENARIOS DE IMPACTO A Y B.....	- 55 -
TABLA 5-9:	RESUMEN DE RESULTADOS	- 57 -
TABLA 8-1:	DEFINICIÓN DE ACTORES. (REYES, 2013).....	- 71 -
TABLA 8-2:	AGRUPACIÓN DE LOS ACTORES. (REYES, 2013).....	- 72 -
TABLA 8-3:	ANÁLISIS DE ACTORES, PROBLEMAS Y FODA. (REYES, 2013)	- 73 -
TABLA 8-4:	CRITERIOS PARA EL IMPACTO EN PERSONAS	- 77 -
TABLA 8-5:	ESCALA CUALITATIVA DE REPARACIÓN DE DAÑOS	- 77 -
TABLA 8-6:	CRITERIOS PARA EL IMPACTO EN INFRAESTRUCTURA	- 78 -
TABLA 8-7:	CRITERIOS PARA EL IMPACTO EN SERVICIOS DE LÍNEAS DE VIDA	- 78 -
TABLA 8-8:	CRITERIOS PARA EL IMPACTO EN SERVICIOS DE TRANSPORTE.....	- 79 -
TABLA 8-9:	CRITERIOS PARA EL IMPACTO EN DIFICULTADES PARA LA VIDA.....	- 80 -
TABLA 8-10:	CRITERIOS PARA EL IMPACTO EN OTROS SERVICIOS O VULNERABILIDADES.....	- 80 -
TABLA 8-11:	TABLA INCIDENCIA HMO-TP AGUAS PROFUNDAS	- 83 -
TABLA 8-12:	TABLA INCIDENCIA HMO-DP AGUAS PROFUNDAS.....	- 83 -

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1-1: ZONA DE ESTUDIO. ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE GOOGLE EARTH - 3 -

FIGURA 1-2: PLAYA EL SOL ANTES Y DESPUÉS DE UN EVENTO DE OLEAJE EXTREMO. (DIARIOUNO, 2016) - 4 -

FIGURA 3-1: ESQUEMA DEL MÉTODO DE TRANSFERENCIA DE ENERGÍA DEL OLEAJE. (DOMÍNGUEZ, 2011)..... - 11 -

FIGURA 3-2: DEFINICIÓN PARA WAVE RUNUP. (CEM, 2003) - 13 -

FIGURA 3-3: DEFINICIÓN DE RUNUP (Ru) COMO MÁXIMO LOCAL EN ELEVACIÓN. (CEM, 2003)..... - 14 -

FIGURA 3-4: DIAGRAMA DE FLUJO DE LOS CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE IMPACTO (REYES, 2013) - 19 -

FIGURA 4-1: ESQUEMA GENERAL PROYECTO DE TESIS. ELABORACIÓN PROPIA MICROSOFT VISIO..... - 23 -

FIGURA 4-2: BATIMETRÍA Y ENMALLADO. C: MALLA CHICA, M: MALLA MEDIA, G: MALLA GRANDE..... - 28 -

FIGURA 4-3: NIVELES DE LA COTA DE INUNDACIÓN. (GIOC, 2000)..... - 31 -

FIGURA 4-4: ESTRUCTURA PROPUESTA PARA LA DETERMINACIÓN DEL IMPACTO. (REYES, 2013) - 34 -

FIGURA 4-5: ÁRBOL DE PROBLEMAS, VULNERABILIDADES Y EXPOSICIÓN. (REYES, 2013) - 36 -

FIGURA 5-1: MALLA GRANDE HM0 12s 225° - 42 -

FIGURA 5-2: MALLA GRANDE HM0 12s 315° - 42 -

FIGURA 5-3: MALLA MEDIA HM0 12s 225° - 42 -

FIGURA 5-4: MALLA MEDIA HM0 12s 315° - 42 -

FIGURA 5-5: MALLA PEQUEÑA HM0 12s 225° - 42 -

FIGURA 5-6: MALLA PEQUEÑA HM0 12s 315° - 42 -

FIGURA 5-7: TR v/s CI: (A) HIGUERILLAS - LA BOCA, (B) REÑACA, - 43 -

FIGURA 5-8: PERÍODO DE RETORNO v/s COTA DE INUNDACIÓN (Tr v/s CI), CASO CONSERVADOR..... - 44 -

FIGURA 5-9: CURVAS DE PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA DE CI : (A) HIGUERILLAS - LA BOCA, (B) REÑACA, (C) AV. PERÚ - RECTA LAS SALINAS Y (D) CALETA ABARCA - AV. LA MARINA..... - 45 -

FIGURA 5-10: EJEMPLOS DE DAÑOS EN HIGUERILLAS - LA BOCA, MAREJADA AGOSTO DE 2015. (A) CLUB DE YATES HIGUERILLAS, (B) CALETA ARTESANAL DE PESCADORES SAN PEDRO, (C), (D), (E) Y (F) AV. BORGÑO AL SUR DE LA ROTONDA CONCÓN. (EL MERCURIO DE VALPARAÍSO, 2016) - 47 -

FIGURA 5-11: EJEMPLOS DE DAÑOS EN REÑACA, MAREJADA AGOSTO DE 2015. (A) AV. BORGÑO SECTOR 1, (B) SECTOR SUR PLAYA REÑACA, (C) Y (D) ZONA ENTRE SECTOR 2 Y SECTOR 3, (E) SECTOR 2, (F) VISTA DE SUR A NORTE PLAYA REÑACA (LAS ÚLTIMAS NOTICIAS, 2015) - 48 -

FIGURA 5-12: EJEMPLOS DE DAÑOS EN AV. PERÚ - RECTA LAS SALINAS, MAREJADA AGOSTO DE 2015. (A) AV. PERÚ, (B) PLAYA ACAPULCO, (C) PLAYA LOS MARINEROS, (D) PLAYA ARENAS BLANCAS (E) Y (F) RECTA LAS SALINAS (LAS ÚLTIMAS NOTICIAS, 2015)..... - 49 -

FIGURA 5-13: EJEMPLOS DE DAÑOS EN SECTOR CALETA ABARCA - AV. LA MARINA, MAREJADA AGOSTO DE 2015. (A) PLAYA CALETA ABARCA, (B) VISTA DE LA PLAYA DESDE EL NIVEL DE LA CALLE, (C) SOCAVACIÓN Y CAÍDA DE MURO DE CONTENCIÓN, (D) ESCOMBROS EN LA PLAYA. (MUNICIPALIDAD DE VIÑA DEL MAR, 2015)..... - 50 -

FIGURA 5-14: GRÁFICA RADIAL DE IMPACTO - 52 -

FIGURA 5-15: GRÁFICA RADIAL DE RIESGO - 56 -

FIGURA 5-16: DAÑOS E INUNDACIONES EN SITIO 4 HIGUERILLAS - LA BOCA. (A) CLUB DE YATES HIGUERILLAS, (B) PLAYA LA BOCA, (C) ESTACIÓN BENCINERA ROTONDA CONCÓN. ELABORACIÓN PROPIA, GOOGLE EARTH..... - 59 -

FIGURA 5-17: DAÑOS E INUNDACIONES EN SITIO 3 REÑACA. ELABORACIÓN PROPIA, GOOGLE EARTH..... - 60 -

FIGURA 5-18: DAÑOS EN SITIO 2 AV. PERÚ - RECTA LAS SALINAS. (A) PLAYA ARENAS BLANCAS, AV. JORGE MONTT, (B) PLAYA LOS MARINEROS, AV. SAN MARTÍN, (C.1) PLAYA ACAPULCO VISTA SUR, (C.2) PLAYA ACAPULCO VISTA NORTE, (D) AV. PERÚ NORTE, (E.1) Y (E.2) AV. PERÚ. ELABORACIÓN PROPIA, GOOGLE EARTH..... - 61 -

FIGURA 5-19: DAÑOS EN SITIO 1 CALETA ABARCA - AV. LA MARINA. (A) DESAPARICIÓN BARRERA ESTERO MARGA-MARGA, (B) CASTILLO WULFF, (C.1) Y (C.2) SOCAVACIÓN PASEO COSTERO AV. LA MARINA CASTILLO WOLFF, (D) INUNDACIÓN SHERATON, (E) PLAYA ABARCA. ELABORACIÓN PROPIA, GOOGLE EARTH - 62 -

FIGURA 8-1: ZONAS DEL PLAN DE VIÑA DEL MAR. (BONILLA, 2012)..... - 74 -

FIGURA 8-2: FLUJO DE VEHÍCULOS EN INTERSECCIONES DEL PLAN DE VIÑA DEL MAR. (BONILLA, 2012)- 75 -
FIGURA 8-3: CENSO VIVIENDAS PLAN VIÑA DEL MAR. (INE, 2002)- 75 -

RESUMEN:

La zona costera de Chile abarca alrededor de 4200 Km de costa y en ella se encuentran ubicados asentamientos urbanos con variadas actividades de tipo económico, social y turístico. Bajo esta disposición geográfica, los centros urbanos costeros están expuestos a amenazas físicas ambientales que pueden afectarles en su funcionamiento y sustentabilidad. Tal es el caso de las marejadas, que en los últimos años han generado impactos sobre la infraestructura costera y en las estructuras naturales, especialmente las playas y en algunos casos, pérdidas humanas.

En este trabajo se analizan los sectores de Caleta Abarca - Av. La Marina, Av. Perú - Recta Las Salinas y Reñaca en Viña del Mar, e Higuierillas - La Boca en Concón, pertenecientes a la Región de Valparaíso, tramos pertenecientes a la V Región de Valparaíso y que han sido reiteradamente afectados por la ocurrencia de marejadas.

El objetivo del estudio es determinar el nivel de riesgo asociado a marejadas, usando metodologías determinísticas y cualitativas. La amenaza es caracterizada mediante el cálculo de la cota de inundación en eventos extremos, con su probabilidad de ocurrencia estimada a partir de la data estadística de oleaje. Obtenida la magnitud del evento extremo, se utiliza una metodología simple de evaluación cualitativa y cuantitativa para la estimación del impacto sobre el sistema urbano contiguo al borde costero, utilizando para ello una estructura teórica de vulnerabilidades para el sistema en estudio.

De los resultados obtenidos, la mayor cota de inundación se presentó para el sitio de Av. Perú - Recta Las Salinas, donde también se obtuvo el mayor nivel de riesgo. Esto coincide con los antecedentes de daños, tanto de los eventos de marejadas que conforman la data del estudio establecida entre los años 1993 al 2013, como de los eventos de oleaje extremo de mayor actualidad ocurridos entre los años 2015 y 2016.