



Memoria del proyecto para optar al Título de  
Ingeniero Civil Oceánico

## REVALORIZACIÓN DEL BORDE COSTERO SECTOR SAN MATEO, VALPARAÍSO.

Manuel Matías Vásquez Calquín

Enero 2019

**REVALORIZACIÓN DEL BORDE COSTERO  
SECTOR SAN MATEO, VALPARAÍSO.**

**Manuel Matías Vásquez Calquín**

COMISIÓN REVISORA	NOTA	FIRMA
MAURICIO REYES GALLARDO Profesor guía	_____	_____
ÁLVARO VIVEROS IBARRA Revisor	_____	_____
FRANCISCO MOLTENI PÉREZ 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.

---

Mauricio Reyes Gallardo  
Profesor Guía

---

Manuel Vásquez Calquín  
Alumno Memorista

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, a mi familia: A mi padre Manuel Vásquez D. por darme todo lo que siempre necesité y por estar preocupado de que nunca me faltara nada, tanto emocional como económicamente, a mi madre Marcia Calquín M. por enseñarme a ser perseverante y motivarme a seguir creciendo como persona y nunca dejar de aprender y estudiar. A mi hermana Marcela Pilar por su apoyo incondicional y complicidad en todo desde que nací.

A mi familia escogida compuesta por mi pareja Bicett Diaz quien le da alegría, inspiración y dedicación a mi vida, junto a nuestra perrita Poppy. Gracias por estar a mi lado y ser mi cable a tierra.

Finalmente, a toda la comunidad ICO quienes fueron mi segunda familia desde 2008, a los profesores de la escuela por creer en mi proyecto y por guiarme continuamente en el desarrollo de este, a Álvaro Viveros por sus incontables consejos a lo largo de muchos años y a Francisco Molteni por facilitarme gran cantidad de información.

# **CONTENIDO**

1	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	OBJETIVO GENERAL .....	2
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	2
1.3	ALCANCES .....	2
1.4	LIMITACIONES .....	2
2	ZONA DE ESTUDIO .....	3
3	MARCO TEÓRICO .....	5
3.1	VALORIZACIÓN DEL TERRITORIO .....	5
3.1.1	VALOR COMO VECTOR .....	5
3.1.2	VALOR ACTUAL DE LA ZONA .....	7
3.2	OLEAJE .....	7
3.2.1	GENERACIÓN DE OLEAJE .....	9
3.2.2	PROPAGACIÓN OCEÁNICA .....	10
3.2.3	PROPAGACIÓN COSTERA.....	12
3.2.4	ROTURA .....	15
3.2.5	MODELOS DE PROPAGACIÓN DE ONDAS.....	16
3.3	ONDAS DE MAREA .....	19
3.3.1	SISTEMA TIERRA-LUNA-SOL.....	19
3.3.2	INFLUENCIA METEOROLÓGICA.....	22
3.4	CORRIENTES .....	24
3.4.1	CORRIENTES OCEÁNICAS .....	24
3.4.2	CORRIENTES COSTERAS.....	25
3.5	ASPECTOS TEÓRICOS DEL DISEÑO .....	26
3.5.1	ESTADOS LÍMITES.....	26
3.5.2	BASES DE DISEÑO .....	26
3.5.3	TIPOS DE CARGAS.....	28
4	METODOLOGÍA .....	30
4.1	METODOLOGÍA DE VALORIZACIÓN COSTERA .....	30
4.2	METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE OLEAJE .....	30
4.2.1	ANÁLISIS DE MEDIANO PLAZO .....	30
4.2.2	ANÁLISIS DE LARGO PLAZO .....	30
4.2.3	OLEAJE AL PIE DE LA OBRA .....	33
4.3	METODOLOGÍA PARA ANÁLISIS DE ONDA DE MAREA .....	34
4.3.1	ANÁLISIS ASTRONÓMICO.....	34
4.3.2	ANÁLISIS METEOROLÓGICO.....	37
4.4	METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE CORRIENTE.....	37
4.4.1	PROFUNDIDAD DE CIERRE .....	37

4.4.2	PROFUNDIDAD ACTIVA .....	38
4.5	METODOLOGÍA DE DISEÑO .....	38
4.5.1	MURO DE ESCOLLERA .....	38
4.5.2	MUROS COSTEROS DE CONTENCIÓN .....	43
5	CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO FÍSICO .....	48
5.1	CARACTERIZACIÓN BATIMÉTRICA.....	48
5.1.1	GRANULOMETRÍA DEL SUELO MARINO LOCAL .....	49
5.2	CARACTERIZACIÓN DEL OLEAJE .....	51
5.2.1	CLIMA EN AGUAS PROFUNDAS.....	51
5.2.2	TRANSFERENCIA ESPECTRAL .....	54
5.2.3	CLIMA EN EL NODO N1 .....	56
5.3	CARATERIZACIÓN DE LAS MAREAS.....	58
5.3.1	NIVEL DE MAREA ASTRONÓMICA .....	58
5.3.2	NIVEL DE MAREA METEOROLÓGICA .....	59
5.4	CARACTERIZACIÓN DE LAS CORRIENTES. ....	61
5.4.1	CORRIENTE POR OLEAJE .....	61
5.5	CARACTERIZACIÓN DEL VALOR ACTUAL .....	62
6	CRITERIOS DE DISEÑO.....	64
6.1	BASES DE DISEÑO.....	64
6.1.1	VALOR ACTUAL .....	64
6.2	CONDICIONANTES DE DISEÑO .....	64
6.2.1	RESISTENCIA Y CALIDAD DEL SUELO DE FUNDACIÓN.....	64
6.2.2	OLEAJE DE DISEÑO .....	65
6.2.3	NIVEL DE DISEÑO.....	65
7	PROPUESTAS DE ALTERNATIVAS.....	66
7.1	ESCENARIO 1 .....	66
7.1.1	CONFIGURACIÓN EN PLANTA .....	67
7.1.2	DISEÑO HIDRÁULICO.....	67
7.1.3	SECCIÓN TRANSVERSAL .....	69
7.1.4	CUBICACIONES .....	69
7.2	ESCENARIO 2 .....	70
7.2.1	CONFIGURACIÓN EN PLANTA .....	71
7.2.2	DISEÑO ESTRUCTURAL .....	71
7.2.3	SECCIÓN TRANSVERSAL .....	75
7.2.4	CUBICACIONES .....	75
8	SELECCIÓN DE ALTERNATIVA.....	76
8.1	VALOR DEL TERRITORIO EN ESCENARIO 1.....	76
8.2	VALOR DEL TERRITORIO EN UN ESCENARIO 2 .....	77
9	CONCLUSIONES .....	78

9.1	MARCO TEÓRICO Y METODOLOGÍA .....	78
9.2	ZONA DE ESTUDIO.....	78
9.3	CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO .....	78
9.4	DEFINICIÓN DE CRITERIOS DE DISEÑO .....	78
9.5	ESCENARIOS DE EXPLOTACIÓN .....	79
9.6	DISEÑO ESTRUCTURAL .....	79
9.7	ASIGNACIÓN DE VALOR.....	79
10	Recomendaciones .....	80
11	Trabajos citados.....	81
	Anexo A: Zona de estudio.....	84
	Anexo B: Valorización costera .....	86
	Anexo C: Caracterización del medio .....	89
	Anexo D: Memorias de cálculo .....	93

## **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1.1 Fotografías zona de estudio. Fuente: Elaboración propia en mayo 2017. ....	1
Figura 2.1: Zona de estudio. Fuente: Elaboración propia con datos de (Google, 2017) ....	3
Figura 2.2: Evolución histórica de la zona de estudio. Fuente: (Cobos, 1999) y (Google, 2017) .....	4
Figura 3.1: Tipos de ondas en la interfase océano-atmósfera. Fuente: (Silva, 2005). ....	8
Figura 3.2: Parámetros de oleaje. Fuente: (Holthjuitsen, 2007). ....	8
Figura 3.3: Inicio del movimiento. Fuente: (Holthjuitsen, 2007). ....	9
Figura 3.4: Generación de oleaje por presión de viento. Fuente: (Holthjuitsen, 2007). ....	10
Figura 3.5: Dispersión radial de frecuencias y direcciones. Fuente: (Holthjuitsen, 2007). ..	11
Figura 3.6: Mar de fondo y mar de viento respectivamente. Fuente: (Silva, 2005) y (Stockton, 2014). ....	11
Figura 3.7: Trayectorias orbitales según profundidades. Fuente: (Holthjuitsen, 2007). ....	12
Figura 3.8: Proceso de asomeramiento. Fuente: elaboración propia. ....	13
Figura 3.9: Proceso simplificado de refracción. Fuente: (Holthjuitsen, 2007). ....	13
Figura 3.10: Proceso simplificado de difracción. Fuente (Holthjuitsen, 2007):.....	14
Figura 3.11: Tipos de rotura. Fuente: (Kamphuis, 2000). ....	16
Figura 3.12: Influencia de un cuerpo celeste en las mareas. Fuente: (Kamphuis, 2000)..	20
Figura 3.13: Tipos de mareas astronómicas. Fuente: (USACE, 2006). ....	21
Figura 3.14: Señal de marea en Valparaíso. Fuente: (IOC, 2017).....	22
Figura 3.15: Efecto de la presión atmosférica sobre columna de agua. Fuente: (Dean & Dalrymple, 2004). ....	23
Figura 3.16: Efecto del viento sobre el nivel de la columna de agua. Fuente: (Kamphuis, 2000). ....	23
Figura 3.17: Efectos del oleaje en el nivel medio del mar. Fuente: (USACE, 2003). ....	24
Figura 3.18: Circulación Termohalina. Fuente: (UNAM, 2000). ....	25
Figura 4.1: Planos referenciales de la marea. Fuente: (SHOA, 1999). ....	36
Figura 4.2: Sección tipo de escollera de protección. Fuente: (USACE, 2002). ....	39
Figura 4.3: Tipos de pie de apoyo. Fuente: (USACE, 2002).....	42
Figura 4.4 Diagrama de cuerpo libre de un muro cantiléver, Fuente: (DOP, 2013) .....	43
Figura 4.5 Esquema de socavación en muros verticales para oleaje rompiente. Fuente: (USACE, 2002).....	47
Figura 5.1: Batimetría interpolada con resolución de 25 [m]. Fuente: Elaboración propia, con datos de DESMAR Ltda. y SHOA. ....	49
Figura 5.2 Clasificación sedimentológica, fuente: (Molteni, 2014). ....	50
Figura 5.3: Fotografía del sedimento de la playa. Fuente: Elaboración propia en mayo, 2017. ....	50
Figura 5.4 Nodo en aguas profundas. Fuente: (Google, 2017). ....	51
Figura 5.5: Rosas de oleaje, periodo dirección y altura dirección. Fuente: elaboración propia, con datos de (Beyá, et al., 2016).....	52
Figura 5.6: Análisis de largo plazo en aguas profundas. Fuente: elaboración propia, con datos de (Beyá, et al., 2016). ....	53
Figura 5.7: Punto de inicio y final de la transferencia espectral. Fuente: (Google, 2017). ..	54
Figura 5.8 Coeficiente de agitación total (Kt). Fuente: elaboración propia.....	55
Figura 5.9 Coeficiente direccional (Kd). Fuente: Elaboración propia .....	55
Figura 5.10 Nodo de extracción de coeficientes de agitación total y direccional. Fuente: (Google, 2017).....	56



Figura 5.11 Oleaje extremo en N1 Fuente: Elaboración propia.....	57
Figura 5.12: Histograma de amplitudes. Fuente: Elaboración propia. ....	59
Figura 5.13: Marea Meteorológica. Fuente: elaboración propia, con datos (IOC, 2017)...	60
Figura 5.14 Marea meteorológica extrema Fuente: Elaboración propia con dato de (IOC, 2017) .....	61
Figura 7.1 Plano en planta de alternativa 1. Fuente: Elaboración propia con datos de (Google, 2017).....	67
Figura 7.2 Plano perfil de escollera Fuente: Elaboración propia .....	69
Figura 7.3 Plano en planta de alternativa 2. Fuente: Elaboración propia con datos de (Google, 2017).....	71
Figura 7.4 Diagrama de cuerpo libre. Fuente: elaboración propia.....	73
Figura 7.5 Plano en perfil de sección de muro cantiléver. Fuente: Elaboración propia.....	75

## **LISTA DE TABLAS**

Tabla 3.1: Comparación entre modelos numéricos que propagan ondas.....	17
Tabla 3.2: Vida útil mínimas para obras o instalaciones de carácter definitivo. ....	27
Tabla 3.3: Riesgos máximos admisibles. ....	27
Tabla 4.4.1: Distribuciones candidatas linealizadas. ....	32
Tabla 4.2 Parámetros geométricos de Owen (1982).....	40
Tabla 4.3 Parámetros de permeabilidad de Owen (1982) .....	40
Tabla 4.4 Valores típicos de coeficiente de estabilidad de Hudson (1974).....	40
Tabla 5.1 Detalle de información batimétrica .....	48
Tabla 5.2 Diámetros característicos relevantes en la zona sumergida de playa san mateo .....	50
Tabla 5.3 Incidencia de periodo vs. altura.....	52
Tabla 5.4 Largo plazo en aguas profundas.....	53
Tabla 5.5 Incidencia de alturas vs. direcciones.....	57
Tabla 5.6 Periodos de retorno de oleaje extremo en N1 .....	58
Tabla 5.7 Principales constituyentes armónicas.....	59
Tabla 5.8 Marea meteorológica extrema.....	61
Tabla 5.9 Influencia del transporte trasversal.....	62
Tabla 5.10 Descomposición del valor actual .....	63
Tabla 6.1 Bases de diseño .....	64
Tabla 6.2 Oleaje de diseño en el sitio .....	65
Tabla 6.3 Oleaje de diseño al pie de la obra .....	65
Tabla 6.4 Nivel de diseño .....	65
Tabla 6.5 Corriente de diseño.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 7.1 Análisis F.O.D.A. Alternativa 1 .....	66
Tabla 7.2 Variables utilizadas en Ec.4.11 .....	68
Tabla 7.3 Variables utilizadas en Ec. 4.12 .....	68
Tabla 7.4 Peso de elementos de muro de escollera .....	68
Tabla 7.5 Variables utilizadas en Ec. 4.16 .....	69
Tabla 7.6 Cubicación escenario industrial.....	70
Tabla 7.7 Análisis F.O.D.A. alternativa 2.....	70
Tabla 7.8 Parámetros de diseño del suelo de relleno y fundación.....	72
Tabla 7.9 Empujes percibidos por el muro cantiléver.....	73

Tabla 7.10 Resumen de fuerzas deslizantes y resistentes.....	73
Tabla 7.11 Resumen de momentos volcantes y resistentes.....	74
Tabla 7.12 Factor de seguridad .....	74
Tabla 7.13 Comprobación de presiones admisibles.....	74
Tabla 7.14 Cubicaciones escenario social Muro A.....	75
Tabla 8.1 Valor de alternativa 1 .....	76
Tabla 8.2 Valor de alternativa 2 .....	77

## **LISTA DE ANEXOS**

Anexo A 1 Plano de Valparaíso 1855 .....	84
Anexo A 2 Plano de Valparaíso 1928 .....	85
Anexo A 3 plano de Valparaíso 1988.....	85
Anexo B 1 criterios de jerarquización del valor ambiental .....	86
Anexo B 2 criterios de jerarquización del valor económico .....	87
Anexo B 3 criterios de jerarquización del valor urbano-sociocultural.....	88
Anexo C 1 Tabla de incidencia de oleaje en aguas profundas altura Vs. dirección .....	89
Anexo C 2 tabla de incidencia de oleaje en aguas profundas periodo Vs. dirección .....	90
Anexo C 3 valores extremos de oleaje en aguas profundas, seleccionados con el método de máximos anuales.....	90
Anexo C 4 resultado de propagación con swan: Coeficiente de agitación total (KT) .....	91
Anexo C 5 resultados de propagación con swan: coeficiente direccional (KD) .....	91
Anexo C 6 Valores extremos de oleaje en N1.....	92
Anexo C 7 Valores extremos de marea meteorológica .....	92
Anexo D 1 Caudal admisible de sobrepaso por metro lineal de muro .....	93
Anexo D 2 presiones admisibles distintos tipo de suelos .....	94
Anexo D 3 francobordo, muro de escollera .....	95
Anexo D 4 peso de elementos, muro de escollera .....	95
Anexo D 5 Geometría de muro cantiléver .....	96
Anexo D 6 Parámetros de suelo .....	96
Anexo D 7 Diseño a flexión, muro cantiléver.....	97
Anexo D 8 Gaviones galvanizados .....	98

## **RESUMEN**

El presente informe tiene como objetivo proponer a nivel de ingeniería conceptual, dos alternativas de diseño que busquen agregar valor a la zona territorial costera de playa San Mateo.

Para lograrlo, primero se caracteriza el sitio en cuestión, el cual actualmente es una playa artificial de carácter recreativo con uso frecuente por la Armada de Chile. Su última intervención fue hace más de medio siglo.

Las condiciones naturales son obtenidas para el diseño infraestructural mediante estudios de ingeniería oceánica. Estas son: oleaje reinante de 0.5 [m] de altura, dirección NW y periodo 14 [s]; el oleaje dominante de 4.85 [m] de altura, dirección WNW y 10 [s] de periodo; el nivel de diseño es de 2.93 [m] sobre NRS (incluyendo forzante astronómica y meteorológica) y las corrientes comienzan a transportar sedimento transversalmente desde los 15 [m] de profundidad.

Luego se determinan las bases de diseño: vida útil de 25 [años]; riesgo máximo admisible es 0.3, debido a lo anterior se asume un periodo de retorno de 70 [años].

Mediante un proceso iterativo, se diseñan dos alternativas en el marco de dos escenarios de explotación: uno que fomente la participación industrial en la zona y otro que fomente la participación ciudadana. Utilizando las normas NCh, Manual de Carreteras y otras recomendaciones internacionales se calculan dos muros costeros de contención, uno del tipo gravitacional hecho con un talud de escollera cuyos elementos de manto superan las 5 [T] de peso, ubicado a aproximadamente 7.25 [m] de profundidad y otro costero del tipo cantiléver de hormigón armado cuya altura útil es de 4 [m], para cada escenario respectivamente.

Utilizando la metodología de valorización costera propuesta por Viveros (2016) se calcula el valor de ambas proyecciones y comparan. Concluyendo que el escenario social aumenta en mayor medida el valor alcanzando una magnitud de 7.7 unidades.