



FACULTAD DE INGENIERÍA

Memoria del proyecto para optar al Título de
Ingeniero Civil Oceánico

**“Análisis hidrodinámico y morfodinámico para
una alternativa de recuperación de playa en el
sector de Recreo, Viña del Mar”**

Vicente Ignacio Flores Álvarez

Marzo 2019

**UNIVERSIDAD DE VALPARAÍSO
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL OCEÁNICA
SANTIAGO**

**“ANÁLISIS HIDRODINÁMICO Y MORFODINÁMICO PARA UNA
ALTERNATIVA DE RECUPERACIÓN DE PLAYA EN EL SECTOR DE
RECREO, VIÑA DEL MAR”**

VICENTE IGNACIO FLORES ÁLVAREZ

COMISIÓN REVISORA

NOTA

FIRMA

**MAURICIO REYES GALLARDO
PROFESOR GUÍA**

**PATRICIO WINCKLER GREZ
REVISOR 1**

**FRANCISCO MOLTENI
REVISOR 2**

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 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 propósitos de obtención del Título Profesional de Ingeniero Civil Oceánico, el autor renuncia a sus 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

Vicente Flores Álvarez

Alumno Memorista

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a DHI por facilitar la licencia de alumnos MIKE ZERO.

A la Universidad de Valparaíso, a sus docentes, por todas las enseñanzas entregadas.

*Agradecer a la comunidad de Ingeniería Civil Oceánica,
Por su compañerismo, apoyo y amistad,
Javiera Mora, Pamela Averill, Sebastián Silva, Katherine Rodríguez y Reinaldo Barriga.*

A los Parrilleros por tantos buenos momentos en el transcurso de mi vida universitaria.

*Agradecer a mis compañeros y amigos de noches interminables de estudio,
Felipe Bravo y Pablo Pedraza.*

*Agradecer a mis amigos de la vida por estar siempre presentes,
Matías Torres y Marlen Caffarena.*

*Dedicada a mi abuela María Isabel Consuegra Nieto,
Que ya no está a mi lado, pero su cariño prevalecerá siempre en mi corazón.*

ÍNDICE DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	1
2	LIMITACIONES.....	2
3	OBJETIVOS.....	2
3.1	OBJETIVO GENERAL.....	2
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
4	MARCO TEÓRICO.....	3
4.1	CONTEXTO HISTÓRICO	3
4.2	CONDICIÓN ACTUAL	4
4.3	GENERALIDADES SOBRE LAS PLAYAS	5
4.4	FORMACIÓN DE PLAYAS	5
4.5	TIPOS DE PLAYAS.....	6
4.6	TIPOLOGÍA DE PLAYAS.....	6
4.6.1	PLAYAS COLGADAS	6
4.6.2	PLAYAS BOLSILLO.....	7
4.6.3	PLAYAS MEDIA LUNA	7
4.6.4	PLAYAS DE GEOTUBOS	7
4.6.5	THE SAND MOTOR.....	8
4.7	SISTEMA DE APORTACIÓN DE ARENAS.....	9
4.7.1	IMPULSIÓN DIRECTA.....	9
4.7.2	CARGA Y VERTIDO DIRECTO.....	9
4.7.3	CARGA Y REIMPULSIÓN.....	10
4.7.4	CARGA, VERTIDO Y REIMPULSIÓN	10
4.7.5	RELLENO CON CAMIONES DE VOLTEO.....	10
4.8	TRANSFORMACIÓN DE OLEAJE.....	11
4.8.1	REFRACCIÓN	11
4.8.2	DIFRACCIÓN.....	11
4.8.3	ASOMERAMIENTO	11
4.8.4	ROTURA DEL OLEAJE	12
4.9	TENSORES DE RADIACIÓN.....	13
4.10	TRANSPORTE DE SEDIMENTOS	13
4.10.1	TRANSPORTE TRANSVERSAL.....	15
4.10.2	TRANSPORTE LONGITUDINAL.....	15
4.11	EQUILIBRIO DE PLAYAS.....	15
4.11.1	PROFUNDIDAD ACTIVA.....	16
4.11.2	PROFUNDIDAD DE CIERRE.....	16
4.12	MAREA	17
4.12.1	ANÁLISIS ARMÓNICO	17
4.12.2	ANÁLISIS NO ARMÓNICO	17

4.13	DESCRIPCIÓN MODELOS NUMÉRICOS	18
4.13.1	MODELOS DE PROPAGACIÓN DE OLEAJE	18
4.13.2	MIKE 21 SPECTRAL WAVES FM	19
4.13.3	MIKE 21 FLOW MODEL FM.....	20
4.13.4	MIKE 21 SEDIMENT TRANSPORT.....	21
5	METODOLOGÍA.....	23
6	ANÁLISIS DE CONDICIONES NATURALES.....	24
6.1	SECTOR DE ESTUDIO	24
6.2	BATIMETRÍA.....	25
6.3	MALLA DE SIMULACIÓN MIKE ZERO	26
6.4	CLIMA MEDIO EN AGUAS PROFUNDAS	28
6.5	CLIMA EXTREMO EN AGUAS PROFUNDAS	31
6.6	PROPAGACIÓN DE OLEAJE.....	33
6.7	CLIMA EXTREMO EN NODO.....	35
6.8	ESTUDIO DE MAREA	36
6.8.1	ANÁLISIS ARMÓNICO	36
6.8.2	ANÁLISIS NO ARMÓNICO	37
6.9	ZONIFICACIÓN DEL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS.....	37
6.10	APORTES SEDIMENTARIOS EN LA BAHÍA DE VALPARAÍSO	38
6.11	TAMAÑO SEDIMENTO	39
7	MODELACIÓN DE ALTERNATIVAS	41
7.1	CASOS DE MODELACIÓN.....	42
7.2	MALLA SW.....	42
7.2.1	CONFIGURACIÓN MODELO SW	43
7.3	MALLA HD	44
7.3.1	CONFIGURACIÓN MODELO MIKE 21 HD	47
7.3.2	CONFIGURACIÓN MODELO MIKE 21 ST.....	47
7.4	RESULTADOS TENSORES DE RADIACIÓN	48
7.5	RESULTADOS CAMPO DE CORRIENTES	50
7.6	RESULTADOS TRANSPORTE DE SEDIMENTOS.....	52
7.7	RESULTADOS PERFIL.....	54
8	DISEÑO ESPIGÓN	57
8.1	CRITERIOS DE DISEÑO.....	57
8.2	OLEAJE DE DISEÑO	59
8.3	DISEÑO ENROCADO	60
9	ESTIMACIÓN DE COSTOS ESPIGÓN Y RELLENO	64
10	VALORIZACIÓN DEL SECTOR RECREO.....	65
11	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	68
11.1	RECOMENDACIONES Y FUTURAS LÍNEAS INVESTIGATIVAS	69

11.2	COMENTARIOS.....	70
12	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	71
13	ANEXOS.....	75
13.1	BATIMETRÍA MIKE ZERO.....	75
13.2	CORRELACIONES CLIMA EXTREMO EN AGUAS PROFUNDAS.....	76
13.3	CORRELACIONES CLIMA EXTREMO EN EL NODO.....	78
13.4	COMPARACIÓN PROPAGACIÓN DE OLEAJE MIKE 21 SW VS SWAN.....	80
13.5	CURVA GRANULOMÉTRICA.....	81
13.6	GRÁFICOS PROPAGACIÓN DE OLEAJE.....	82
13.7	CAMPOS TENSORES DE RADIACIÓN SITUACIÓN ACTUAL.....	102
13.8	CAMPO TENSORES DE RADIACIÓN ALTERNATIVA N°1.....	106
13.9	CAMPO TENSORES DE RADIACIÓN ALTERNATIVA N°2.....	110
13.10	CAMPO DE CORRIENTES SITUACIÓN ACTUAL.....	114
13.11	CAMPO DE CORRIENTES ALTERNATIVA N°1.....	115
13.12	CAMPO DE CORRIENTES ALTERNATIVA N°2.....	116
13.13	CAMPO DE SEDIMENTOS ALTERNATIVA N°1.....	117
13.14	CAMPO DE SEDIMENTOS ALTERNATIVA N°2.....	118
13.15	PERFILES RECREO.....	119
13.16	PERFILES CLUB DE YATES RECREO.....	123
13.17	IMPACTO AMBIENTAL.....	124
13.18	FORMULACIONES CERC Y QUEENS.....	125
13.19	DIRECCIÓN FLUJO MEDIO DE ENERGÍA.....	126
13.20	EQUILIBRIO EN PLANTA.....	126
13.21	COEFICIENTE DE ESTABILIDAD DE HUDSON.....	128
13.22	COEFICIENTE DE CAPA.....	129
13.23	CRITERIOS VALORIZACIÓN BORDE COSTERO.....	130
13.24	PRESUPUESTO DOP.....	134

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Quinta región, enfoque sector Recreo	1
Figura 4-1 Balneario Recreo	3
Figura 4-2 Ampliación avenida España, Puente Capuchinos año 1984.....	3
Figura 4-3 Condición actual Recreo, jueves 3 de agosto	4
Figura 4-4 Zonación y elementos del perfil de playa.....	5
Figura 4-5 Evolución esperada proyecto The Sand Motor.....	6
Figura 4-6 Playa colgada.....	6
Figura 4-7 Playa Trocadero, Antofagasta	7
Figura 4-8 Playa Camurí Grande, Venezuela	7
Figura 4-9 Geotubos	8
Figura 4-10 The Sand Motor; Izquierda año 2011; Derecha año 2015	8
Figura 4-11 Vertido de material	9
Figura 4-12 Tipos de camiones de volteo.....	10
Figura 4-13 Componentes tensor de radiación	13
Figura 4-14 Modos del transporte de sedimentos	14
Figura 4-15 Transporte longitudinal y transversal	14
Figura 4-16 Corriente de retorno	15
Figura 4-17 Corriente de resaca (undertow)	15
Figura 4-18 Profundidad de cierre y activa	16
Figura 4-19 Definición de la desigualdad diaria	17
Figura 4-20 Principales planos de la marea.....	18
Figura 4-21 Registro de elevación de una lámina de agua con diferentes frecuencias y amplitudes	18
Figura 5-1 Diagrama de flujo modelación numérica	23
Figura 6-1 Bahía de Valparaíso.....	24
Figura 6-2 Recopilación cartas náuticas en Global Mapper.....	25
Figura 6-3 Resolución de áreas para la malla numérica, MIKE ZERO.....	26
Figura 6-4 Malla batimétrica, MIKE ZERO.....	27
Figura 6-5 Ubicación nodo en aguas profundas.....	28
Figura 6-6 Rosa de altura de oleaje (Izquierda) y periodo de oleaje (derecha), aguas profundas	30
Figura 6-7 Clima extremo en aguas profundas	32
Figura 6-8 Nodo de propagación de oleaje.....	33
Figura 6-9 Funciones de transferencia de direcciones	34
Figura 6-10 Funciones de transferencia para la altura significativa	34
Figura 6-11 Oleaje extremo en nodo	35
Figura 6-12 Medición de corrientes bahía de Valparaíso	36
Figura 6-13 Bahía de Valparaíso, Puntas y Esteros.....	38
Figura 6-14 Puntos de extracción de muestras.....	39
Figura 7-1 Situación actual y alternativas de solución, Recreo.....	41
Figura 7-2 Malla Flexible, alternativa N°1 (arriba derecha) y N°2 (abajo derecha).....	42
Figura 7-3 Resolución mallado usada en MIKE HD, situación actual y alternativa N°1	44
Figura 7-4 Resolución mallado usada en MIKE HD, alternativa N°2.....	44
Figura 7-5 Malla batimétrica MIKE HD, situación actual.....	45
Figura 7-6 Malla batimétrica MIKE HD, alternativa N°1 (Arriba) y alternativa N°2 (Abajo).....	45
Figura 7-7 Tensores de radiación caso 1 ($H_s = 7$; $T_p = 14$; $Dir = 315$) S_{xx} , S_{xy} y S_{yy} situación actual.....	48
Figura 7-8 Tensores de radiación caso 1 ($H_s = 7$; $T_p = 14$; $Dir = 315$) S_{xx} , S_{xy} y S_{yy} alternativa N°1	49
Figura 7-9 Tensores de radiación caso 1 ($H_s = 7$; $T_p = 14$; $Dir = 315$) S_{xx} , S_{xy} y S_{yy} alternativa N°2	50
Figura 7-10 Corrientes caso 1 ($H_s = 7$; $T_p = 14$; $Dir = 315$), situación actual.....	51
Figura 7-11 Corrientes caso 1 ($H_s = 7$; $T_p = 14$; $Dir = 315$), alternativa N°1	51
Figura 7-12 Corrientes caso 1 ($H_s = 7$; $T_p = 14$; $Dir = 315$), alternativa N°2.....	52
Figura 7-13 Transporte de sedimentos alternativa N°1, caso 1 ($H_s = 7$; $T_p = 14$; $Dir = 315$).....	53

Figura 7-14 Transporte de sedimentos alternativa N°2, caso 1 ($H_s = 7$; $T_p = 14$; $Dir = 315$).....	53
Figura 7-15 Perfiles alternativa N°1	55
Figura 7-16 Perfiles alternativa N°2	55
Figura 7-17 Club de Yates Recreo	56
Figura 8-1 Coeficiente de Shoaling no lineal, diagrama de Goda	59
Figura 8-2 Forma elemento tipo Tetrápodo.....	61
Figura 8-3 Proyección planta.....	62
Figura 8-4 Sección A Cabezo.....	63
Figura 8-5 Sección B Tronco.....	63
Figura 8-6 Sección C Tronco.....	63
Figura 8-7 Sección D Tronco.....	63
Figura 10-1 Tramo 19 y 20, Viña del Mar.....	65
Figura 13-1 Ajuste distribución Weibull, probabilidad de ploteo Petruskas $k=0.75$; 1; 1.4:2 en aguas profundas.....	76
Figura 13-2 Ajuste de distribución Gumbel, probabilidad de ploteo Gringorten en aguas profundas	76
Figura 13-3 Ajuste distribución Weibull, probabilidad de ploteo Goda $k=0.75$; 1; 1.4; 2 en aguas profundas.....	77
Figura 13-4 Ajuste distribución Weibull, probabilidad de ploteo Petruskas $k=0.75$; 1; 1.4; 2 en el nodo	78
Figura 13-5 Ajuste distribución Gumbel, probabilidad de ploteo Gingorten en el nodo.....	78
Figura 13-6 Ajuste distribución Weibull, probabilidad de ploteo Goda $k= 0.75$; 1; 1.4; 2 en el nodo	79
Figura 13-7 Correlación Hmo, SWAN y MIKE 21 WS	80
Figura 13-8 Curva granulométrica, Sector A-B, Playa Caleta Abarca	81
Figura 13-9 Minerales característicos, Playa Caleta Abarca	81
Figura 13-10 Periodo 5 [s], direcciones cuarto cuadrante.	82
Figura 13-11 Periodo 5 [s], direcciones tercer cuadrante	83
Figura 13-12 Periodo 7 [s], direcciones cuarto cuadrante.	84
Figura 13-13 Periodo 7 [s], direcciones tercer cuadrante	85
Figura 13-14 Periodo 9 [s], direcciones cuarto cuadrante.	86
Figura 13-15 Periodo 9 [s], direcciones tercer cuadrante	87
Figura 13-16 Periodo 11 [s], direcciones cuarto cuadrante.....	88
Figura 13-17 Periodo 11 [s], direcciones tercer cuadrante	89
Figura 13-18 Periodo 13 [s], direcciones cuarto cuadrante.....	90
Figura 13-19 Periodo 13 [s], direcciones tercer cuadrante	91
Figura 13-20 Periodo 15 [s], direcciones cuarto cuadrante.....	92
Figura 13-21 Periodo 15 [s], direcciones tercer cuadrante	93
Figura 13-22 Periodo 17 [s], direcciones cuarto cuadrante.....	94
Figura 13-23 Periodo 17 [s], direcciones tercer cuadrante	95
Figura 13-24 Periodo 19 [s], direcciones cuarto cuadrante.....	96
Figura 13-25 Periodo 19 [s], direcciones tercer cuadrante	97
Figura 13-26 Periodo 21 [s], direcciones cuarto cuadrante.....	98
Figura 13-27 Periodo 21 [s], direcciones tercer cuadrante	99
Figura 13-28 Periodo 23 [s], direcciones cuarto cuadrante.....	100
Figura 13-29 Periodo 23 [s], direcciones tercer cuadrante	101
Figura 13-30 Tensores de radiación S_{xx} , S_{xy} y S_{yy} caso 2	102
Figura 13-31 Tensores de radiación S_{xx} , S_{xy} y S_{yy} caso 3	103
Figura 13-32 Tensores de radiación S_{xx} , S_{xy} y S_{yy} caso 4	104
Figura 13-33 Tensores de radiación S_{xx} , S_{xy} y S_{yy} caso 5	105
Figura 13-34 Tensores de radiación S_{xx} , S_{xy} y S_{yy} caso 2	106
Figura 13-35 Tensores de radiación S_{xx} , S_{xy} y S_{yy} caso 3	107
Figura 13-36 Tensores de radiación S_{xx} , S_{xy} y S_{yy} caso 4	108
Figura 13-37 Tensores de radiación S_{xx} , S_{xy} y S_{yy} caso 5	109
Figura 13-38 Tensores de radiación S_{xx} , S_{xy} y S_{yy} caso 2	110
Figura 13-39 Tensores de radiación S_{xx} , S_{xy} y S_{yy} caso 3	111
Figura 13-40 Tensores de radiación S_{xx} , S_{xy} y S_{yy} caso 4	112

Figura 13-41 Tensores de radiación S_{xx} , S_{xy} y S_{yy} caso 5	113
Figura 13-42 Corrientes casos 2, 3, 4 y 5	114
Figura 13-43 Corrientes casos 2, 3, 4 y 5	115
Figura 13-44 Corrientes casos 2, 3, 4 y 5	116
Figura 13-45 Campo de sedimentos caso 2, 3, 4 y 5	117
Figura 13-46 Campo de sedimentos caso 2, 3, 4 y 5	118
Figura 13-47 Perfiles Recreo, caso 1, alternativa N°1	120
Figura 13-48 Perfiles Recreo, caso 1, alternativa N°2	122
Figura 13-49 Perfiles caso 1, alternativa N°1 y N°2, Club de Yates Recreo	123
Figura 13-50 Esquema general del proceso de diseño de una playa por medio de formulaciones de equilibrio	126
Figura 13-51 Dirección flujo medio de energía	127
Figura 13-52 Coeficiente de Estabilidad de Hudson	128
Figura 13-53 Coeficiente de capa	129

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4-1 Tipos de marea	17
Tabla 6-1 Cartas náuticas electrónicas SHOA	25
Tabla 6-2 Información malla batimétrica MIKE SW	27
Tabla 6-3 Tabla de incidencia de oleaje de altura y dirección, aguas profundas	29
Tabla 6-4 Tabla de incidencia de oleaje periodo y dirección, aguas profundas	29
Tabla 6-5 Tabla de incidencia de oleaje de altura y periodo, aguas profundas	30
Tabla 6-6 Distribuciones y funciones de ploteo para clima extremo	31
Tabla 6-7 Resultados análisis clima extremo en aguas profundas	32
Tabla 6-8 Resultados análisis clima extremo en nodo	35
Tabla 6-9 Coordenadas de la ubicación de la estación	36
Tabla 6-10 Amplitudes y periodos de los cinco armónicos más importantes	37
Tabla 6-11 Planos de referencia de la marea	37
Tabla 6-12 Ficha granulométrica, sector A-B, Playa Caleta Abarca.	39
Tabla 6-13 Ejemplo ajuste no lineal, Sector A-CA3	40
Tabla 6-14 Diámetros característicos	40
Tabla 7-1 Casos modelación	42
Tabla 7-2 Información malla batimétrica, SW alternativa N°1 y N°2	43
Tabla 7-3 Información malla batimétrica, MIKE HD	46
Tabla 7-4 Ancho de playa inicial para cada perfil [m]	54
Tabla 7-5 Resumen erosión/acreción – ancho de playa para cada perfil [m]	56
Tabla 8-1 Vida útil para obras o instalaciones	57
Tabla 8-2 Tipos de riesgos admisibles	58
Tabla 8-3 Resumen propagación al pie de la obra	60
Tabla 8-4 Dimensiones elementos prefabricados	61
Tabla 9-1 Presupuesto estimado de espigón	64
Tabla 10-1 Escala Likert	65
Tabla 10-2 Matriz de asignación de valor Ex Balneario Recreo	66
Tabla 10-3 Matriz de asignación de valor Playa Caleta Abarca	66
Tabla 10-4 Matriz asignación modificada de Valor Ex Balneario Recreo, Tramo 19	67
Tabla 11-1 Formulaciones de transporte de sedimentos, solo corrientes	70
Tabla 13-1 Criterios valorización económica	130
Tabla 13-2 Criterios valorización ambiental	132
Tabla 13-3 Criterios valorización urbano-sociocultural	133
Tabla 13-4 Presupuesto construcción playa artificial playa el Salitre	134

RESUMEN

El presente proyecto de título llamado “Análisis hidrodinámico y morfodinámico para una alternativa de recuperación de playa en el sector de Recreo, Viña del Mar” abordó temáticas relacionadas a la hidrodinámica y morfodinámica de la costa exclusivamente por el oleaje.

El ex balneario de Recreo fue uno de los lugares más concurridos por los bañistas a partir de los años 30, no obstante este fue demolido en los años 80 para dar paso a la construcción de la Avenida España, la cual conecta Viña del Mar y Valparaíso (Doll, 2009). En esta memoria se plantean dos alternativas para solucionar la ausencia de sedimento. La caracterización de estas dos soluciones se hizo mediante una modelación numérica bi-dimensional con módulos del software MIKE 21.

Para llevar a cabo las modelaciones se realizó una caracterización del oleaje en aguas profundas, a partir de un análisis de clima medio y extremo en base a una data de oleaje de 35 años de Valparaíso (Beyá et al., 2016).

Posteriormente se estudiaron las alternativas propuestas, donde la primera corresponde a un relleno de arena de características sedimentarias similares a las de Playa Caleta Abarca y la segunda compete a un relleno de arena de igual manera que en la alternativa anterior y un espigón de retención de sedimento.

Ambas alternativas mostraron un transporte de sedimentos en dirección Norte a Sur, en donde se observó que la alternativa con espigón provoca una acumulación de sedimentos en el sector Norte.

Los resultados de este trabajo podrán ser usados a modo de aproximación para una posible propuesta de mejora del sector de Recreo en Viña del Mar.