



Facultad de Ingeniería

Memoria del proyecto para optar al Título de  
Ingeniero Civil Oceánico

**ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA DE  
ALTERNATIVAS DE MEJORAMIENTO DE LAS  
CONDICIONES PARA LA PRÁCTICA DE SURF Y EL  
CONTROL DE LA EROSIÓN EN EL SECTOR SUR DE LA  
PLAYA REÑACA**

**FRANCISCO ANTONIO NAVARRO SALAZAR**

ENERO 2016

**ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA DE ALTERNATIVAS DE  
MEJORAMIENTO DE LAS CONDICIONES PARA LA PRÁCTICA DE SURF Y EL CONTROL DE LA  
EROSIÓN EN EL SECTOR SUR DE LA PLAYA REÑACA**

Francisco Navarro Salazar

**COMISIÓN REVISORA**

**NOTA**

**FIRMA**

Jose Beyá M.  
Profesor guía

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Matías Alday G.  
Docente

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

José Luis Contreras G.  
Docente

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## **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.

José Beyá Marshall  
Profesor Guía

Francisco Navarro Salazar  
Alumno Memorista

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quisiera expresar mis agradecimientos al profesor José Beya Marshall, quien me guio en este proceso e incluso me acompañó a realizar las mediciones en el agua, lo que fue una experiencia agotadora y entretenida. Agradecido de su paciencia y de no dejarme a pesar de todo el tiempo en que se extendió este proyecto.

Al profesor Patricio Catalán por confiar en mí y facilitarme sus equipos para realizar el sondaje monohaz.

A mi querido amigo y compañero de estudio a lo largo de la carrera José Ribba quien me facilitó los kayaks.

A mi querida amiga Gina Gajardo por acompañarme y hacerme reír cuando nos juntábamos a “avanzar”.

A Paulina Capó por acompañarme a realizar mediciones en la playa y transformar una actividad un poco tediosa en algo entretenido.

A mi familia, hermanita linda y primos por darme apoyo y molestarme para que termine de una vez la tesis.

A todos los que me facilitaron información y me ayudaron de una u otra forma y sus nombres en este momento olvido.

Finalmente a mis padres Verónica y Sergio, a quien un simple agradecimiento no basta para expresar todo, la paciencia que me tuvieron, la confianza y el apoyo durante toda la carrera. Gracias por todo el amor y enseñanzas que me han entregado durante toda mi vida, son un maravilloso ejemplo para mí. Esto es para ustedes, me demoré, pero igual lo hice!!! Los amo.

... y pensaban que no me iba a titular nunca! Ja!

Por fin se cierra un ciclo... se viene uno mejor aún!

Francisco Navarro Salazar  
Kiko

## CONTENIDOS

<b>1</b>	<b>RESUMEN</b> .....	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>15</b>
<b>3</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>20</b>
3.1	GENERAL .....	20
3.2	ESPECÍFICOS.....	20
<b>4</b>	<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>21</b>
4.1	OLEAJE .....	21
4.2	TRANSFORMACIÓN DEL OLAJE LLEGANDO A LA COSTA.....	28
4.2.1	<i>Shoaling</i> .....	28
4.2.2	<i>Refracción</i> .....	29
4.2.3	<i>Difracción</i> .....	31
4.2.4	<i>Reflexión</i> .....	32
4.3	METODOLOGÍA DE PROPAGACIÓN: MODELO SWAN .....	32
4.4	TRANSPORTE DE SEDIMENTOS .....	33
4.4.1	<i>Transporte Longitudinal</i> .....	34
4.4.2	<i>Transporte Transversal</i> .....	37
4.4.3	<i>Indicadores Estadísticos</i> .....	39
4.5	EL DEPORTE DEL SURF .....	42
4.5.1	<i>Medidas de Surfeabilidad</i> .....	42
4.6	OBRA DE ABRIGO SUMERGIDA: DIQUE ARRECIFE .....	47
4.6.1	<i>ASR en el mundo</i> .....	49
4.6.2	<i>Geometría más apropiada para un dique arrecife multifuncional</i> .....	55
4.6.3	<i>Metodología de diseño de arrecifes artificiales para condicionar la rotura del olaje</i> .....	59
4.7	RESPUESTA DE LINEA DE COSTA MEDIANTE LA INTEGRACIÓN DE UN DIQUE SUMERGIDO .....	61
<b>5</b>	<b>DESCRIPCIÓN DEL MEDIO</b> .....	<b>64</b>
5.1	BATIMETRÍA .....	64
5.2	MAREA.....	71
5.3	CLIMA DE OLAJE .....	72
5.3.1	<i>Análisis de Clima Medio</i> .....	72
5.3.2	<i>Análisis de Clima Extremo</i> .....	79
5.4	ANÁLISIS SEDIMENTOLÓGICO.....	81
5.5	ESTUDIO GRANULOMÉTRICO 1981 .....	83
5.6	ESTUDIO GRANULOMÉTRICO 2012.....	85
5.6.1	<i>Análisis Estadístico</i> .....	91
5.7	COMPARACIÓN DE ESTUDIOS 1981 V/S 2012.....	92
5.8	TRANSPORTE DE SEDIMENTOS.....	95
5.8.1	<i>Estudio de transporte longitudinal mediante formulación del CERC</i> .....	97
5.8.2	<i>Obtención de la altura en rotura por método del CERC y con K de Bailard</i> .....	100
5.8.3	<i>Distribución transversal del transporte longitudinal</i> .....	102
<b>6</b>	<b>MODELACIÓN</b> .....	<b>106</b>
6.1	CASOS SELECCIONADOS .....	106

6.1.1	<i>Transferencia</i> .....	108
<b>7</b>	<b>REQUISITOS DE DISEÑO DEL ARRECIFE ARTIFICIAL</b> .....	<b>116</b>
7.1	DISEÑO DE PERFIL Y PENDIENTE ESTÁNDAR .....	116
7.2	PROFUNDIDAD DE ROMPIENTE V/S ANÁLISIS DE ALTURA DE OLA EN ROMPIENTE .....	118
7.3	DISEÑO EN PLANTA Y CORTE .....	119
7.4	MODELACIÓN.....	121
7.5	MODIFICACIONES DE DISEÑO .....	127
7.5.1	<i>Modelación</i> .....	127
7.5.2	<i>Ángulo de Descrestamiento</i> .....	132
7.5.3	<i>Diseño Final</i> .....	133
7.6	ANÁLISIS DE OPERACIÓN.....	148
7.7	CÁLCULO DE SALIENTE.....	150
7.7.1	<i>Predicción del Volumen de la Saliente</i> .....	152
7.8	MÉTODO DE CONSTRUCCIÓN Y MATERIALES.....	155
<b>8</b>	<b>COSTOS</b> .....	<b>159</b>
8.1	ALIMENTACIÓN DE SALIENTE Y RELLENO DE DIQUE .....	159
<b>9</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>164</b>
<b>10</b>	<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>167</b>
<b>11</b>	<b>ANEXO</b> .....	<b>171</b>
11.1	RESULTADOS DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO.....	171
11.2	RESULTADOS MODELACIÓN.....	177
11.2.1	<i>Modelación Marea Baja</i> .....	181
11.2.2	<i>Modelación Marea Alta</i> .....	187
11.2.3	<i>Modelación Clima Extremo</i> .....	193

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Relación clase de surfista, ángulo de descrestamiento y altura de ola. ....	43
Tabla 2: Velocidad de remo del surfista [m/s].....	46
Tabla 3: Comparación de características de ASRs en el mundo.....	55
Tabla 4: Relaciones y condiciones de la creación de saliente o tómbolos .....	63
Tabla 5: Pronóstico WindGuru día de campaña.....	66
Tabla 6: Tabla Incidencia Altura v/s Periodo.....	74
Tabla 7: Tabla Incidencia Altura v/s Dirección.....	75
Tabla 8: Tabla de Incidencia Periodo v/s Dirección.....	76
Tabla 9: Coordenadas de las muestras.....	87
Tabla 10: Clasificación de Granos .....	87
Tabla 11: Perfil 1, Porcentaje Retenido .....	87
Tabla 12: Porcentaje Pasante de sedimentos.....	88
Tabla 13: Diámetros Relevantes y Velocidad de Sedimentación.....	90
Tabla 14: Indicadores Estadísticos .....	91
Tabla 15 : Porcentaje pasante de Zona sumergida.....	96
Tabla 16: Parámetros constantes .....	97
Tabla 17: QI+ y QI-.....	97
Tabla 18: Q bruto y Q neto .....	98
Tabla 19: Transportes Longitudinales, los valores de la tabla presentan QI [m <sup>3</sup> /s] .....	99
Tabla 20: QI+ y QI- con K de Bailard.....	101
Tabla 21: Qn y Qb con K de Bailard.....	101
Tabla 22: Resultados de Qn y Qb mediante CERC y Queens.....	104
Tabla 23: Frecuencia de Ocurrencia del SW .....	106
Tabla 24: Frecuencia de Ocurrencia del SSW.....	106
Tabla 25: Frecuencia de Ocurrencia del WSW.....	107
Tabla 26: Combinaciones de casos a analizar .....	107
Tabla 27: Profundidades de Rompientes.....	118
Tabla 28: Análisis de Profundidad de Rompiente.....	119
Tabla 29: Ángulos de descrestamiento de las estructuras (NMM).....	140
Tabla 30: Ángulos de descrestamiento con marea baja y alta.....	142
Tabla 31: Clasificación de la intensidad de rompiente .....	146
Tabla 32: Análisis de operación de los diques.....	148
Tabla 33: Respuesta de la costa ante un dique. (USACE, 2008) .....	151
Tabla 34: Indicador <i>I<sub>s</sub></i> para la predicción de formaciones en la playa. (USACE, 2008) .....	152
Tabla 35: Normas y sus propiedades utilizadas en Geotubos ( (Geosynthetics, 2014) .....	156
Tabla 36: Costos de extracción de sedimento.....	161
Tabla 37: Costos U\$/m <sup>3</sup> de implementación de dique sumergido.....	162
Tabla 38: Resumen de costos.....	163
Tabla 39: Resultado de Indicadores Estadísticos.....	176

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación de Playa Reñaca.....	15
Figura 2: a) Vista desde Av. Jardín del Mar en los años 50. b) Vista de 1er sector mirando hacia el sur con galpón Parroquial de 1940. c) Vista de altura del 1er sector. d) Vista Aérea de la playa de Reñaca.....	16
Figura 3: Trabajos Costeros.....	17
Figura 4: Marejada 3 Julio de 2013.....	17
Figura 5: Clasificación del oleaje.....	21
Figura 6: Parámetros de una onda Fuente: Cantabria (2000).....	22
Figura 7: Perfil de la onda según distintas teorías.....	25
Figura 8: Validez de teorías.....	27
Figura 9: Esquemas de Refracción en la costa.....	29
Figura 10: Esquema de ola refractada.....	30
Figura 11: Oleaje difractado por diferentes estructuras.....	31
Figura 12: En el eje de las abscisas se encuentra el diámetro de las partículas, y en el eje de las ordenadas el parámetro de Shields.....	34
Figura 13: Transporte Longitudinal.....	35
Figura 14: Perfiles transversales.....	38
Figura 15: Curtosis.....	39
Figura 16: Asimetría.....	40
Figura 17: Clasificación de muestras.....	41
Figura 18: Superior: Ola Close-Out (Izq.) y ola con descrestamiento progresivo (der.), Inferior: Ángulo de descrestamiento.....	45
Figura 19: Índice de Vórtice.....	46
Figura 20: "Pratte's reef" California, EEUU. (32° 55' N – 118° 26' W). .....	50
Figura 21: "Cable Station Artificial Surfing Reef", Australia (32° 00'S - 115° 45' E). .....	51
Figura 22: Narrowneck Reef, Australia (27°59'S – 153°26' E).....	51
Figura 23: Mejora de Línea de costa, Narrowneck, Australia.....	52
Figura 24: "Boscombe Surf Reef", Inglaterra (50°43'N - 1°50'W).....	52
Figura 25: "Mount Maunganui Reef", Nueva Zelanda (37°38'S – 176°12'E).....	53
Figura 26: "Kovalam Reef" India (8°23'N – 76°58'E).....	54
Figura 27: Ángulo Descrestamiento (Vp: velocidad de descrestamiento; Vs: Velocidad de línea descendente; C: Celeridad de onda).....	56
Figura 28: Formas de arrecifes artificiales.....	57
Figura 29: Geometría del arrecife con y sin plataforma.....	59
Figura 30: Tómbolo.....	61
Figura 31: Saliente desarrollada detrás de estructura en el puerto de Japón.....	62
Figura 32: Parámetros para el cálculo de Saliente.....	62
Figura 33: Kayak y su equipamiento para medición.....	65
Figura 34: Prueba de funcionamiento de equipo monohaz en piscina con profundidad conocida.....	65



Figura 35: Toma de Datos en sector.....	66
Figura 36: Izquierda: Batimetría SHOA. Derecha: Levantamiento de datos con Kayak .....	67
Figura 37: Interpolación en Surfer.....	68
Figura 38: Malla 1000x1000[m].....	69
Figura 39: Malla 250x250 [m].....	69
Figura 40: Malla 5x5 [m].....	70
Figura 41: Ubicación de Nodo NOAA. 33° S 74° W .....	73
Figura 42: Tamaño de partículas en la terraza vs. Ubicación de partícula: Duna (E), Playa (P), Berma(A), Cara de playa (C) y Terraza de Bajamar (D). .....	82
Figura 43: Perfil idealizado perpendicular a la ribera. ....	83
Figura 44: Perfiles.....	86
Figura 45: Desviación Estándar de 1981 a 2012. (D50).....	93
Figura 46: Transferencia de oleaje de diseño: $H_{m0}=3[m]$ $T_p=13[s]$ $D_{irm}=SW$ .....	109
Figura 47: Transferencia Oleaje diseño. Izq: Marea Baja, Der: Marea alta. ....	110
Figura 48: 1° 11 Abr 2013; 2° 20 Dic 2012; 3° 26 Sept 2012; 4° 31 May 2013; 5° 30 Ene 2014; 6° 28 Mar 2014; 7° 3 Jul 2013.....	111
Figura 49: Modelación Casos 1, 3, 4, 6, 7 y 9 con su leyenda en metros. ....	113
Figura 50: Concentración de energía.....	115
Figura 51: Diseño Preliminar en planta y corte.....	120
Figura 52: Batimetría del sector con dique .....	121
Figura 53: Implementación de dique para los 9 casos. Leyenda en metros.....	122
Figura 54: Batimetría con la implementación de dos diques sumergidos.....	127
Figura 55: Resultado de modelación con dos estructuras. Leyenda en metros. ....	128
Figura 56: Dimensiones del diseño final. ....	133
Figura 57: Batimetría de diseño final.....	134
Figura 58: Modelación de Casos con diseño final. Leyenda en metros.....	138
Figura 59: Modelación de Caso 1 con promedio de Pleas (izq.) y con promedio de Bajas (der.).....	140
Figura 60: Modelación de Clima Extremo Tr 2 .....	143
Figura 61: Gradiente de fondo.....	145
Figura 62: Canal de acceso a dique.....	147
Figura 63: Salientes.....	154
Figura 64: Manta Anti socavación. ....	157
Figura 65: Área de obtención de sedimento .....	160
Figura 66: Dragas; Bomba Succión y Clamshell en la parte superior, Excavadora y Pinto en la parte inferior (De Izq. a der.).....	161
Figura 67: Azimut.....	176

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Datos Instituto Nacional de Estadística (INE, 2014) .....	18
Gráfico 2: Funciones Hiperbólicas .....	23
Gráfico 3: Ángulo de Descrestamiento v/s Altura de ola = Clase de surfista (números dentro del gráfico). .....	44
Gráfico 4: Pendiente de fondo.....	71
Gráfico 5: Dispersión de Altura de Ola.....	77
Gráfico 6: Rosa de Oleaje – Altura de ola.....	77
Gráfico 7: Dispersión de Periodo .....	78
Gráfico 8: Rosa Oleaje – Periodo.....	78
Gráfico 9: Histogramas.....	79
Gráfico 10: Comparación de distribuciones .....	80
Gráfico 11: Altura Significativa con Banda de confianza del 95%.....	81
Gráfico 12: Histograma de Frecuencia de Sedimentos .....	84
Gráfico 13: Tamaño Promedio de Sedimentos 1981.....	84
Gráfico 14: Porcentaje Retenido Perfil 1 .....	88
Gráfico 15: Curva Granulométrica, Perfil 1 .....	89
Gráfico 16: Curva granulométrica representativa .....	89
Gráfico 17: Tamaño Promedio 1981 v/s 2012 .....	92
Gráfico 18: Desviación Estándar 1981v/s 2012.....	93
Gráfico 19: Comparación 1981 v/s 2012.....	94
Gráfico 20: Porcentaje pasante de Zona Sumergida.....	96
Gráfico 21: Qn por el método de CERC y de Queens.....	105
Gráfico 22: Número de Irribarren v/s Altura de ola para diferentes pendientes y períodos..	117
Gráfico 23: Pendiente v/s Altura de rompiente para $I_r = 0,95$ .....	117
Gráfico 24: Respuesta del oleaje ante el dique y comparación sin la presencia de éste. Casos 1, 2 y 3.....	123
Gráfico 25: Respuesta del oleaje ante el dique y comparación sin la presencia de éste. Casos 4, 5 y 6.....	124
Gráfico 26: Respuesta de oleaje ante el dique y comparación sin la presencia de éste. Casos 7, 8 y 9. ....	125
Gráfico 27: Comparación de Oleaje ante estructura. Condiciones normales (izq.) y con estructura implementada (der.) .....	126
Gráfico 28: Respuesta del oleaje ante dique norte y sur. Casos 1, 2 y 3 .....	129
Gráfico 29: Respuesta del oleaje ante dique norte y sur. Casos 4, 5 y 6. ....	130
Gráfico 30: Respuesta del oleaje ante el dique norte y sur. Casos 7, 8 y 9 .....	131
Gráfico 31: Perfil de oleaje con diques.....	132
Gráfico 32: Respuesta del oleaje ante el dique norte y sur. Casos 1, 2 y 3. ....	135
Gráfico 33: Respuesta del oleaje ante el dique norte y sur. Casos 4, 5 y 6 .....	136
Gráfico 34: Respuesta del oleaje ante el dique norte y sur. Casos 7, 8 y 9 .....	137
Gráfico 35: Análisis de perfiles para Caso 1 NMM .....	139

Gráfico 36: Análisis de perfiles con promedio de bajas.....	141
Gráfico 37: Análisis de perfiles con promedio de pleas.....	141
Gráfico 38: Perfil de Clima extremo Tr 2.....	144
Gráfico 39: Gradiente v/s Índice de Vortex.....	146
Gráfico 40: Largo y Amplitud de la Saliente.....	150
Gráfico 41: Predicción de perfil de Saliente Norte.....	153
Gráfico 42: Predicción de perfil de Saliente Sur.....	153
Gráfico 43: Costo por metro cúbico en obras.....	162
Gráfico 44: Porcentaje Retenido en Perfil 2.....	171
Gráfico 45: Curva Granulométrica Perfil 2.....	171
Gráfico 46: Porcentaje retenido Perfil 3.....	172
Gráfico 47: Curva Granulométrica Perfil 3.....	172
Gráfico 48: Porcentaje Retenido Perfil 4.....	173
Gráfico 49: Curva Granulométrica Perfil 4.....	173
Gráfico 50: Porcentaje Retenido Perfil 5.....	174
Gráfico 51: Curva Granulométrica Perfil 5.....	174
Gráfico 52: Porcentaje Retenido Perfil 6.....	175
Gráfico 53: Curva Granulométrica Perfil 6.....	175

## LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1 .....	22
Ecuación 2 .....	23
Ecuación 3 .....	23
Ecuación 4 .....	24
Ecuación 5 .....	24
Ecuación 6 .....	26
Ecuación 7 .....	26
Ecuación 8 .....	26
Ecuación 9 .....	26
Ecuación 10 .....	26
Ecuación 11 .....	28
Ecuación 12 .....	28
Ecuación 13 .....	28
Ecuación 14 .....	30
Ecuación 15 .....	30
Ecuación 16 .....	31
Ecuación 17 .....	31
Ecuación 18 .....	31
Ecuación 19 .....	32
Ecuación 20 .....	32
Ecuación 21 .....	36
Ecuación 22 .....	37
Ecuación 23 .....	38
Ecuación 24 .....	38
Ecuación 25 .....	39
Ecuación 26 .....	40
Ecuación 27 .....	41
Ecuación 28 .....	42
Ecuación 29 .....	45
Ecuación 30 .....	48
Ecuación 31 .....	60
Ecuación 32 .....	60
Ecuación 33 .....	60
Ecuación 34 .....	61
Ecuación 35 .....	97
Ecuación 36 .....	100
Ecuación 37 .....	100
Ecuación 38 .....	100
Ecuación 39 .....	101
Ecuación 40 .....	102

Ecuación 41 .....	102
Ecuación 42 .....	145
Ecuación 43 .....	151
Ecuación 44 .....	152

## **1 RESUMEN**

Reñaca es considerada uno de los balnearios más importantes a lo largo del país. Esto se ve reflejado en épocas estivales donde existe un gran afluente de turistas y comercio (INE, 2014), donde se disfruta de todo tipo de entretenimiento como deportes, música, eventos y relax. A pesar del éxito turístico que presenta la playa, esta no cuenta con las mejores condiciones para el baño. La playa se divide en 5 sectores nombrados de forma ascendente de sur a norte, separados por terrazas/restaurants. El primer sector se encuentra a un costado de la desembocadura del estero de Reñaca, y cada año experimenta una disminución en el ancho de la playa entre abril y julio (Molina, 2014) lo que está relacionado con los sobrepasos invernales durante marejadas que llegan hasta la avenida Borgoño provocando la pérdida de arena, molestias en el tránsito y daños a la infraestructura pública, privada y concesionada. Un proyecto de mejoramiento de la playa considerando un aumento de la berma existente y la disipación parcial del oleaje para prevenir la erosión y mejorar las condiciones de baño y surf en el sector sur presentaría beneficios públicos para la municipalidad, la industria inmobiliaria, turística, y la seguridad de los usuarios. El proyecto presenta el estudio e implementación de distintas alternativas de estructuras mediante los métodos de Hearin (2009) y Alday (2014), finalmente se generan diferentes costos con el fin de entregar una variedad de opciones para su implementación.