



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.

1 INTRODUCCIÓN

Las playas son centros de esparcimiento y recreación, conformadas por sedimentos no consolidados que varían entre arena y grava que se sitúan entre la línea de máximo alcance del oleaje en temporal y la profundidad donde cesa el movimiento sedimentario debido a la acción del oleaje (UNICAN, 2000).

La importancia de la alimentación de playas radica en la lucha contra la erosión costera y recuperación de playas de una manera amigable con el medio ambiente, de tal manera que los microorganismos sean capaces de adaptarse al cambio de forma progresiva.

La alimentación de playas consiste en un banco de arena creado artificialmente el cual se distribuye a lo largo de la costa por la acción de las olas, el viento y las corrientes.

Recuperar un borde costero reducido a escombros como lo es el ex balneario de Recreo (Figura 1-1), el cual era altamente concurrido desde comienzos de los años treinta, hasta fines de los ochenta (Doll, 2009), es sin duda un gran acierto para una posible actividad turística y el aumento de la plusvalía de las viviendas cercanas (Yepes, 1999).

En esta memoria de título se plantean dos alternativas para una posible recuperación de esta playa; la primera consiste en un relleno de arena entre playa Caleta Abarca y Recreo, tomando como referencia el proyecto The Sand Motor implementado en los países bajos (De Vriend & van Koningsveld, 2012). Esta solución se considera como blanda, ya que no rigidiza la costa. La segunda alternativa consiste en una variación de la primera, pues consta de una protección en la zona Sur de Recreo y el mismo tipo de relleno de sedimento, haciendo de esta una solución híbrida entre blanda y dura.

Para el análisis de estas propuestas se usó el software MIKE, estudiando campos de tensores de radiación, corrientes, de sedimentos y por último los cambios en la línea de costa planteada de forma conceptual en ambas alternativas.

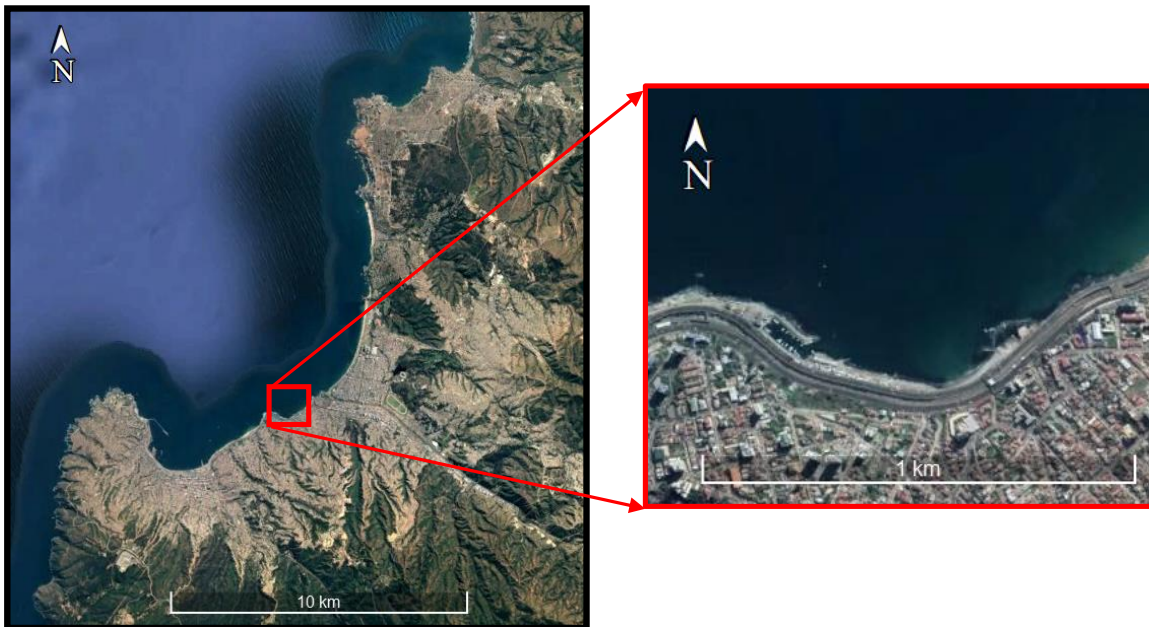


Figura 1-1 Quinta región, enfoque sector Recreo
Fuente: Google Earth (2017)

2 LIMITACIONES

- El estudio de clima operacional y extremo se constituyó en aguas profundas, limitando la exactitud de los resultados.
- No se incluye marea y viento en los modelos numéricos.
- No se realiza análisis en Playa Caleta Abarca.
- Al no contar con granulometría en el sector de estudio, se utilizó los datos más cercanos (Playa Caleta Abarca).
- No se realizó validación de los modelos numéricos (MIKE 21 SW y MIKE 21 HD), debido a que no se poseen datos para calibración.
- No se posee mediciones de transporte de sedimento en el sector de Recreo.
- La licencia de MIKE 21 pedida a DHI, es de alumnos, lo que conlleva un tiempo limitado de uso.
- No se realizó la modelación de transporte de sedimentos para la situación actual, debido a que en el sector no hay sedimento superficial, aunque no se descarta la existencia de arena sumergida.
- La orientación del espigón no se determinó mediante la dirección de flujo medio, ya que es un diseño tentativo y conceptual. La finalidad de esto, es el estudio de retención de sedimento y el impedimento de transporte de sedimento hacia el Club de Yates de Recreo.
- Las alternativas de solución se presentan a nivel de anteproyecto.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

- Desarrollar un estudio conceptual de alternativas para alimentación y recuperación de playas en el sector de Recreo, Viña del Mar.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar las condiciones ambientales y morfológicas que condicionarían el diseño de una intervención costera para alimentación de playas.
- Analizar el valor actual del terreno y proponer alternativas de revalorización mediante la disposición de arena e intervención costera para tal efecto.
- Proponer criterios de selección y seleccionar la mejor alternativa para la recuperación de la playa Recreo.

4 MARCO TEÓRICO

4.1 CONTEXTO HISTÓRICO

En el año 1910 se implementa la estación de tranvías y ferrocarril de Recreo entre Viña del Mar y Valparaíso, para dar paso a un balneario (Figura 4-1) ideado por el arquitecto Alfredo Azancot y Luis Barros Borgoño con altísimos estándares de calidad, similares a los europeos con respecto a seguridad y acceso del mismo (Viveros, 2016).

Altamente concurrido en la época de verano por los segmentos más adinerados de la sociedad local (Cáceres & Sabatini, 2003), se consolidó en el año 1925 con la construcción del primer casino de la ciudad (Castagneto, 2010).

No obstante este impulso turístico del lugar, llegó a su fin en la década de los ochenta con la construcción de la nueva avenida España (Figura 4-2), la cual mejoró la conectividad entre Valparaíso y Viña del Mar. Sin embargo, esta obra afectó el acceso al balneario y la estabilidad de la playa, por lo que en la actualidad solo quedan resquicios de lo que alguna vez fue este balneario.



Figura 4-1 Balneario Recreo
Fuente: Biblioteca Nacional de Chile (2016)

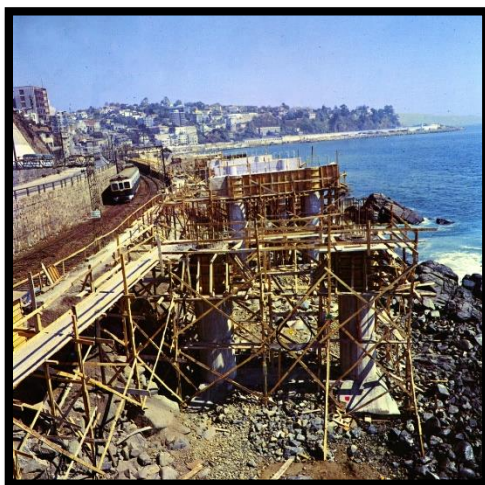


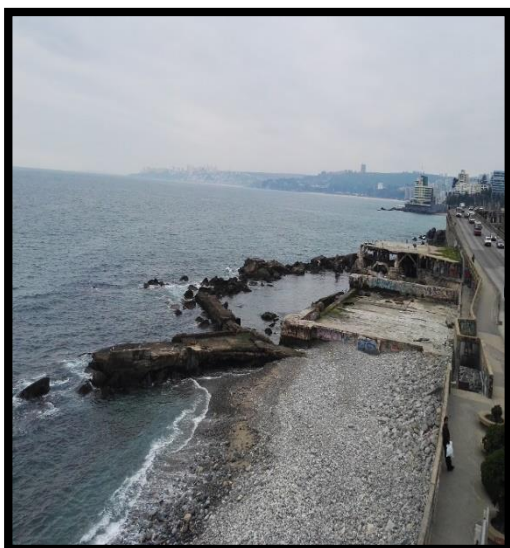
Figura 4-2 Ampliación avenida España, Puente Capuchinos año 1984
Fuente: Museo de la Construcción CChc (2017)

4.2 CONDICIÓN ACTUAL

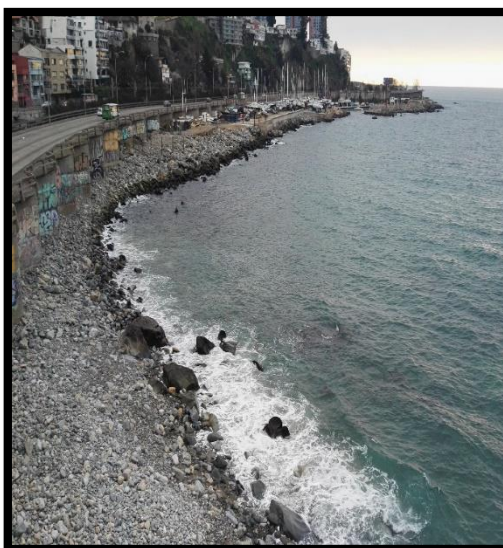
El antiguo balneario de Recreo es actualmente un lugar ruinoso y abandonado dado a su dificultad de acceso. Es hoy día, una imagen dispar de lo que alguna vez fue; el mejor centro de encuentro Viñamarino.

En la Figura 4-3 se observan imágenes del día 8 de agosto del año 2017, que dan cuenta del estado de deterioro avanzado (a y c). La imagen (d) corresponde a la vista de Recreo desde playa Caleta Abarca, donde se ven los pilares que sostienen la avenida España, en el sector del puente Capuchinos. En la imagen (b) se aprecia que el ex balneario colinda con el Club de Yates de Recreo, cuyo límite lo marca un cerco.

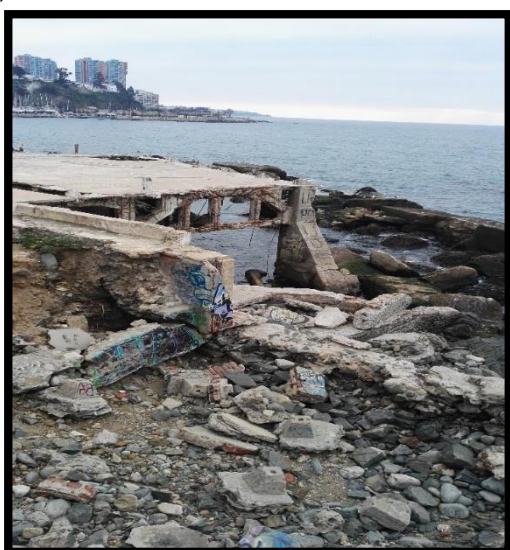
a)



b)



c)



d)

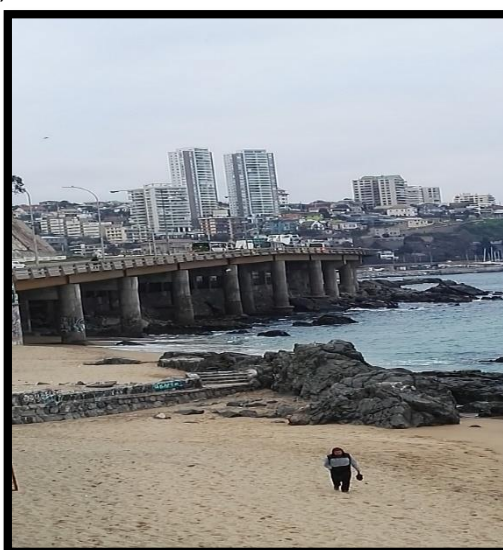


Figura 4-3 Condición actual Recreo, jueves 3 de agosto
Fuente: Elaboración propia

4.3 GENERALIDADES SOBRE LAS PLAYAS

Las playas corresponden a una acumulación de sedimentos no consolidados clasificados como arena, grava o canto rodado. Se sitúan entre la línea de máximo alcance del oleaje en temporal y pleamar viva y una profundidad que corresponde a la zona donde deja de producirse un movimiento activo de sedimento debido a la acción del oleaje (UNICAN, 2000). La caracterización de una playa se presenta en la siguiente Figura 4-4 donde:

Playa seca: Zona de playa seca en la que los fenómenos de dinámica litoral dejan de actuar y que normalmente se ve afectado por el viento; esta se define como la parte de la berma¹ superior activa y la línea de costa.

Zona intermareal: Comprende entre la parte exterior de la berma y el límite de descenso del oleaje en bajamar.

Zona interior: Lugar expuesto a la acción del flujo ascendente y descendente del oleaje. En caso de mares con marea, el frente de playa queda definido por la zona de ascenso – descenso en pleamar.

Zona exterior: Definida entre el punto de rotura y el cese del movimiento activo de sedimentos.

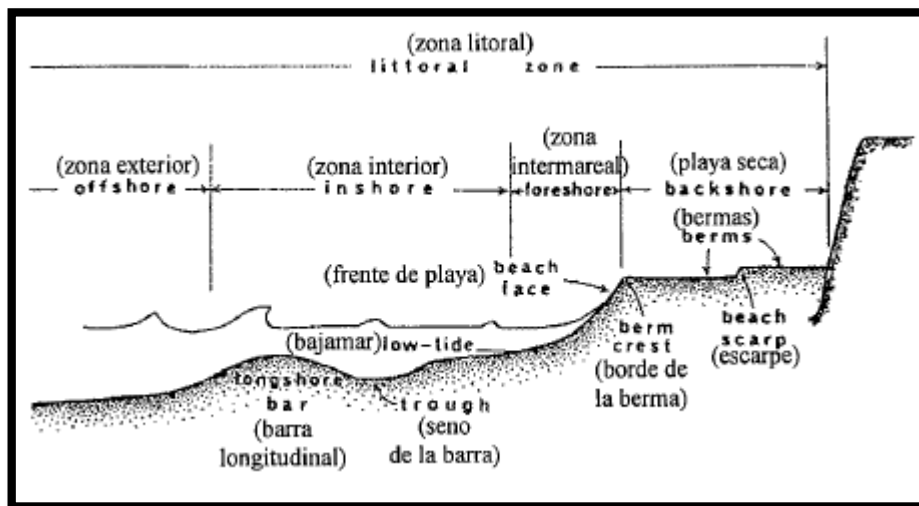


Figura 4-4 Zonación y elementos del perfil de playa.
Fuente: UNICAN (2000)

4.4 FORMACIÓN DE PLAYAS

Las playas se forman por el depósito de sedimentos provenientes de medios naturales como son los ríos, acantilados, quebradas, esteros y barrancos. La erosión de los acantilados y los restos de conchas aportan materiales para la conformación de playas (Ministerio de Medio Ambiente - Dirección General de Costas, 2008).

En condición de baja energía de oleaje las playas se ensanchan y levantan, ya que gran parte del sedimento se acumula en la zona emergida (playa seca). Por otro lado cuando se presentan condiciones de alta energía (temporales o marejadas) se producen procesos erosivos, por lo que el sector de playa seca es menor.

¹ Espacio llano, cornisa o barrera elevada que separa dos zonas

4.5 TIPOS DE PLAYAS

Las playas se clasifican en 3 tipos (UNICAN, 2000):

- Playa encajada: Corresponde al tipo de playa obstaculizada lateralmente de forma natural o artificial. Esta geometría repercute en la hidrodinámica (corrientes y oleaje) y en el transporte longitudinal de sedimentos, por lo que es efectivo solo su transporte transversal.
- Playa semi encajada: Se denomina de esta forma a una playa que tiene una limitante en uno de sus extremos laterales.
- Playa libre: Este tipo de configuración de playa no tiene condicionantes de forma lateral, por lo que se expone de forma directa a la incidencia del oleaje y las corrientes; de esta forma su transporte de sedimentos se produce de forma transversal y longitudinal.

4.6 TIPOLOGÍA DE PLAYAS

Para la recuperación de una playa existen diferentes métodos artificiales como son los rompeolas sumergidos, encaje de playas entre rompeolas, etc. Estos mecanismos tienen como objetivo amortiguar el oleaje incidente para así prevenir la erosión costera y generar seguridad a los bañistas (Ministerio de Obras Públicas, 2013).

También se encuentran métodos que trabajan junto con la naturaleza, como el usado en el proyecto The Sand Motor en Holanda (Figura 4-5) el cual no posee estructuras.



Figura 4-5 Evolución esperada proyecto The Sand Motor.
Fuente: Biřak (2017)

4.6.1 PLAYAS COLGADAS

Este tipo de playa posee un promontorio² submarino (natural o artificial) que ayuda a la retención de material sedimentario (Figura 4-6). La pérdida de arena por eventos extremos puede ser reincorporada a la playa por temporales menores (Ministerio de Obras Públicas, 2013).

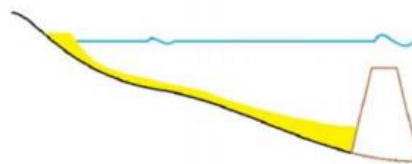


Figura 4-6 Playa colgada.
Fuente: Córdova & Torres (2015)

² Elevación rocosa en un terreno.

4.6.2 PLAYAS BOLSILLO

Este tipo de solución encaja la playa entre rompeolas (Figura 4-7). De esta forma amortigua el oleaje, abriga la playa y origina una orilla con una geometría sub circular (Ministerio de Obras Públicas, 2013).



Figura 4-7 Playa Trocadero, Antofagasta
Fuente: Protagonistas de la cultura (2012)

4.6.3 PLAYAS MEDIA LUNA

Se protegen los extremos de la playa con distinta gradualidad (Figura 4-8). Un extremo se protege con un rompeolas, por lo que conseguirá una orilla con una fuerte curvatura. El otro extremo posee una protección más gradual, por difracción y refracción, por lo que la orilla tiene una menor curva (Ministerio de Obras Públicas, 2013).



Figura 4-8 Playa Camurí Grande, Venezuela
Fuente: Jgamir (2007)

4.6.4 PLAYAS DE GEOTUBOS

Los geotubos (Figura 4-9) se instalan para crear espigones, los cuales detienen el movimiento lateral de arena y permiten que las playas crezcan con poco o ningún mantenimiento. La aplicación de esta tecnología es la recuperación y restauración de playas.



Figura 4-9 Geotubos
Fuente: Topografho (2017)

4.6.5 THE SAND MOTOR

El motor de arena, más bien conocido como The Sand Motor (Figura 4-10) es un experimento que se está llevando a cabo al sur de los Países Bajos. Este consiste en un banco de arena en forma de península creado artificialmente para que se distribuya a lo largo de la costa por la acción de las olas, el viento y las corrientes a lo largo de la costa, de tal manera de crear una defensa para las playas erosionadas y al mismo tiempo generar una mejora para el medio ambiente y el esparcimiento humano.

La erosión producida en las costas holandesas se ha debido a la disminución del aporte de áridos correspondientes a ríos, el hundimiento continuo del terreno y el aumento del nivel del mar. Es por esto que bajo la predicción de erosión estimada a 20 años, calcularon depositar 21,5 millones m^3 de arena durante el periodo de un año para conformar un garfio de arena que se extenderá por dos décadas a lo largo de la costa (De Vriend & van Koningsveld, 2012). Al ser una regeneración paulatina el impacto ambiental se minimiza, debido a que la frecuencia de alteración de la línea de costa es menor. Así los organismos bentónicos de la zona se adaptan de forma gradual a la topografía del fondo del mar.

Durante el primer año la península de arena tuvo una mayor deformación de lo esperando por el modelo numérico (Delft3D), no así para los años posteriores, donde los cambios fueron más lentos de lo esperado. Al ser un experimento, este aún no se encuentra validado (Taal, y otros, 2016).



Figura 4-10 The Sand Motor; Izquierda año 2011; Derecha año 2015
Fuente: De Vriend & van Koningsveld (2012)

4.7 SISTEMA DE APORTACIÓN DE ARENAS

Existen diversos métodos de aportación de sedimentos, entre ellos se encuentran:

4.7.1 IMPULSIÓN DIRECTA

Se realiza simultáneamente el dragado y el vertido de material; esto es ejecutado por una draga de succión³ o una draga de cortador⁴. Para un uso eficaz de este sistema es necesario condiciones del mar favorables (Wibbelink, París, & Basabe, 1995).

La ventaja de este sistema es la alta producción que se obtiene a bajo costo. Por otro lado la desventaja consiste en la imposibilidad de la modificación de la granulometría del material.

4.7.2 CARGA Y VERTIDO DIRECTO

Este sistema descarga directamente por fondo el sedimento almacenado en el equipo de dragado. El vertido puede ser realizado por dragas de succión en marcha de poco calado o “mediante gánguiles⁵ de vertido por fondo que previamente han sido cargados por una draga de rosario⁶ o cortador” (Wibbelink, París, & Basabe, 1995). Este método solo es utilizable en la parte más baja del perfil (Figura 4-11).

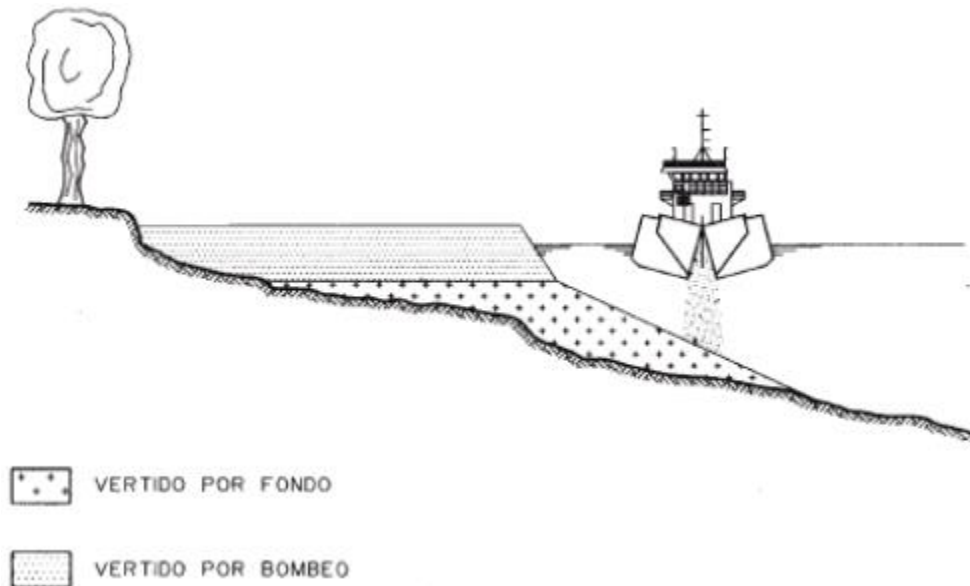


Figura 4-11 Vertido de material
Fuente: Wibbelink, París, & Basabe (1995)

³ Dragas de succión: Succiona el material de fondo mediante una bomba.

⁴ Dragas de cortador: Posee un cabezal giratorio, el cual disgrega el material que es aspirado por la succión y mediante tuberías es llevado al lugar de depósito.

⁵ Gánguil: “Arte de arrastre de malla muy pequeña” (RAE, 2017)

⁶ Dragas de rosario: Dragas mecánicas que escavan en forma continua, trabajan en todo tipo de suelos.

4.7.3 CARGA Y REIMPULSIÓN

La draga de succión se carga completamente de sedimento desde un punto de extracción y se sitúa a las proximidades de la costa, en donde reimpulsa el material sedimentario. Esto se logra a través de tuberías flotantes (para distancias cortas y oleaje moderado) o sumergidas (distancias más largas y oleaje más severo).

La distancia en donde se posiciona la draga dependerá de su calado y la pendiente de playa

4.7.4 CARGA, VERTIDO Y REIMPULSIÓN

Este sistema se parece al anterior salvo que, luego del proceso de carga se vierte el material en las proximidades de la playa y finalmente se vuelve a dragar y se reimpulsa por una draga de succión de menor tamaño.

4.7.5 RELLENO CON CAMIONES DE VOLTEO

Los camiones de volteo son utilizados para el traslado de cualquier tipo de carga a granel (arena, piedra, tierra, etc.) de un punto a otro. Este se conforma por una caja construida con acero de gran resistencia la cual maximiza el espacio de lastre.

Existen una variedad de camiones de volteo, estos se pueden dividir en 5 tipos (ver Figura 4-12) los cuales se presentan a continuación (TAUROREMOLQUES, 2017):

- Tradicional (A): Poseen características necesarias para el transporte de carga pesada. Tiene un brazo hidráulico para descarga de material de forma rápida.
- Off Road (B): Camiones de grandes dimensiones utilizados especialmente para minería o en actividades en que es necesario mover gran cantidad de materiales pesados. Son ideales para ser usados fuera de carretera.
- Transferencia (C): Camiones remolcadores de contenedores intercambiables, la principal ventaja es la rapidez de la carga y descarga debido a que solo se retira el contenedor.
- Descarga lateral (D): Capaces de transportar una gran variedad de carga, debido a su alargado compartimiento, además de contar con una mayor eficiencia de espacio, no obstante tienen una maniobrabilidad limitada.
- Góndolas: (E): Remolques de volteo para todo tipo de materiales, especial para el área de la construcción. Este camión también cuenta con un sistema hidráulico para la descarga.



Figura 4-12 Tipos de camiones de volteo
Fuente: TAUROREMOLQUES (2017)

4.8 TRANSFORMACIÓN DE OLEAJE

A medida que el oleaje se acerca a la costa, el efecto del fondo empieza a hacerse palpable. A partir de la teoría lineal se puede deducir que una onda comienza a sentir la presencia del fondo cuando la profundidad h en la que se encuentra es $h < L/2$ (UNICAN, 2000), donde L representa la longitud de onda. Estos procesos de transformación se pueden discretizar en variaciones de altura de ola (Ecuación 4-1) y en la dirección de propagación.

$$H = K_d K_s K_r H_0 \quad \text{Ecuación 4-1}$$

Los fenómenos que explican la transferencia de oleaje desde aguas profundas hasta profundidades menores se exponen a continuación.

4.8.1 REFRACCIÓN

“La refracción tiene lugar cuando un tren de ondas incidiendo oblicuamente sobre la costa encuentra un cambio de profundidad. En ese caso una parte del frente de la onda viaja en aguas más someras y, por tanto, con menor celeridad que el resto dando lugar a un cambio de dirección” (UNICAN, 2000). Esta se representa según la expresión:

$$K_r = \frac{\sqrt{b_0}}{\sqrt{b_2}} = \frac{\sqrt{\cos \theta_0}}{\sqrt{\cos \theta_1}} \quad \text{Ecuación 4-2}$$

Donde θ_1 corresponde a la dirección del tren de ondas en aguas profundas y θ_0 a la dirección en un punto en aguas indefinidas o reducidas.

4.8.2 DIFRACCIÓN

Este fenómeno se caracteriza por la transferencia lateral de energía sobre la cresta del oleaje cuando este ve interrumpido su recorrido por una estructura artificial o natural (UNICAN, 2000). La difracción se puede representar con la siguiente ecuación.

$$K_d = \frac{H_1}{H_0} \quad \text{Ecuación 4-3}$$

Donde K_d corresponde al coeficiente de difracción, H_1 a la altura de ola difractada y H_0 a la altura de ola incidente.

4.8.3 ASOMERAMIENTO

A medida que un tren de onda se aproxima hacia la costa, con la consiguiente variación en la profundidad, se observa un cambio en la altura y en la longitud de la onda. A este proceso de transformación de la onda se le llama asomeramiento (UNICAN, 2000). Esta se representa según la expresión:

$$K_s = \frac{A_1}{A_0} = \sqrt{\frac{C_{g_0}}{C_{g_1}}} \quad \text{Ecuación 4-4}$$

Donde el coeficiente de asomeramiento (K_s) depende de la relación entre las celeridades de grupo en aguas profundas (C_{g_0}) y aguas intermedias (C_{g_1}).

4.8.4 ROTURA DEL OLEAJE

Al propagarse el oleaje a profundidades menores, su longitud de onda decrece y su peralte aumenta. Debido a esto se produce el fenómeno de rotura del oleaje (la ola se vuelve inestable y rompe), proceso que posee una alta disipación de energía (UNICAN, 2000).

Es posible discriminar el tipo de rompiente con el número de Iribarren (I_r); expresión que depende de la pendiente de fondo (β) y el peralte (H_0/L_0).

$$I_r = \frac{\tan \beta}{\sqrt{\frac{H_0}{L_0}}} \quad \text{Ecuación 4-5}$$

El número de Iribarren en rotura (I_{rb}) se expresa en la siguiente ecuación, donde H_b es la altura de ola en rotura y β corresponde a la pendiente de playa.

$$I_{rb} = \frac{\tan \beta}{\sqrt{\frac{H_b}{L_0}}} \quad \text{Ecuación 4-6}$$

4.8.4.1 TIPOS DE ROTURA

Oscilación: “Cuando las olas ascienden y descienden por el talud, con un mínimo de aire atrapado. El período de ascenso – descenso es menor que el período del oleaje y la reflexión es muy elevada. Este tipo de rotura se produce cuando $I_r > 3.3$ o $I_{rb} > 2$ ” (UNICAN, 2000).

Colapso: Este tipo de ola no llega a romper, se desmorona por su base y colapsa formando espuma. Esta forma de romper se produce cuando $2.5 < I_r < 3.3$ o $1.5 < I_{rb} < 2$ (UNICAN, 2000).

Voluta: Esta forma de romper es la más común en playas, donde la cresta de la ola gira sobre sí misma y se desploma al pie, creando una fuerte salpicadura. Este caso se produce cuando $0.46 < I_r < 2.5$ o $0.4 < I_{rb} < 1.5$ (UNICAN, 2000).

Descrestamiento: Es característico de lugares con pendiente suave. La forma de romper no alcanza a ser voluta debido a que se desestabiliza, creando un desparramo por la cara de la ola y formando un aspecto espumoso. Se identifica esta forma de romper cuando $I_r < 0.46$ o $I_{rb} < 0.4$ (UNICAN, 2000).

4.8.4.2 CRITERIO DE ROTURA

La rotura de oleaje se produce cuando su amplitud alcanza un nivel crítico, es decir las olas se peraltan hasta que las crestas se desestabilizan, a causa de la componente horizontal de su velocidad, y rompen (depende del tipo de rotura).

Un criterio de rotura comúnmente utilizado es el criterio de McCowan el cual determina que el oleaje rompe cuando su altura alcanza un valor igual a una fracción de la profundidad (Sierra & Lo Presti, 1997).

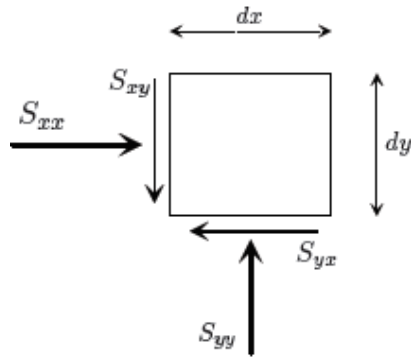
En la siguiente ecuación se presenta el criterio de McCowan, donde H_b es la altura de rotura, h_b es la profundidad de rotura y γ es el coeficiente de rotura posee un valor de 0,78.

$$H_b = \gamma h_b \quad \text{Ecuación 4-7}$$

Esta fue utilizada para determinar la constante de estabilidad de Hudson en el diseño del espigón, la determinación del wave set up y el coeficiente de rotura en el modelo Mike 21 Spectral Waves.

4.9 TENSORES DE RADIACIÓN

Se define como el exceso de flujo de momentum debido a la presencia del oleaje, con componentes en el eje x e y (Figura 4-13). Por lo que S_{xx} y S_{yy} se denominan esfuerzos normales, mientras que S_{xy} y S_{yx} son esfuerzos cortantes. El tensor se obtiene por la integración vertical del flujo de momentum y la fuerza por exceso de presión a través de la columna de agua, por lo que se obtiene como resultado una fuerza por unidad de longitud (López Ruiz, 2013).



$$S_{xx} = E \left[n(1 + \cos^2 \theta) - \frac{1}{2} \right]$$

$$S_{xy} = E [n \cos \theta \sin \theta]$$

$$S_{yx} = E [n \cos \theta \sin \theta]$$

$$S_{yy} = E \left[n(1 + \sin^2 \theta) - \frac{1}{2} \right]$$

Ecuación 4-8

Figura 4-13 Componentes tensor de radiación
Fuente: López Ruiz (2013)

Para un caso más simple, las olas con incidencia normal a la costa producen las componentes principales del tensor de radiación S_{xx} y S_{yy} :

$$S_{xx} = \frac{1}{8} \rho g H^2 \left(\frac{2kh}{\sinh 2kh} + \frac{1}{2} \right) = E \left(2n - \frac{1}{2} \right)$$

$$S_{yy} = \frac{1}{8} \rho g H^2 \left(\frac{kh}{\sinh 2kh} \right) = E \left(n - \frac{1}{2} \right)$$

Ecuación 4-9

Donde:

- ρ : Densidad del líquido
- g : Gravedad
- k : Número de onda
- h : Profundidad
- E : Densidad de energía
- n : Relación entre celeridad de grupo y celeridad
- H : Altura de ola

A consecuencia de los tensores de radiación se obtienen las corrientes de tipo longitudinal y transversal, las que generan el transporte de sedimentos.

4.10 TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

El sedimento se mueve a causa de las corrientes marinas, que pueden ser generadas por vientos, mareas, oleaje y gradientes de temperatura, entre otros. El presente trabajo se centrará en el movimiento generado por la rotura de oleaje, ya que esta es la causa de la evolución y estabilidad de las playas.

“Dependiendo del tamaño de las partículas del lecho y de las condiciones del flujo, el transporte de sedimentos puede realizarse como carga por fondo o carga en suspensión” (UNICAN, 2000). Las formas de movimiento (Figura 4-14) de dichas partículas se dividen en 3;

- Rodadura y deslizamiento: Al superar la tensión tangencial crítica se inicia el movimiento, las partículas ruedan y deslizan manteniendo el contacto con el lecho (UNICAN, 2000).
- Saltación: Aumentando la tensión tangencial las partículas se desplazan en saltos. De esta forma se concibe una lámina de fluido-sedimento en el lecho (UNICAN, 2000).
- Suspensión: Cuando la velocidad de corte excede la velocidad de caída de la partícula, esta se levanta del lecho hasta una cierta altura, donde las fuerzas turbulentas que exceden el peso son responsables de que el grano se desplace en suspensión (UNICAN, 2000).

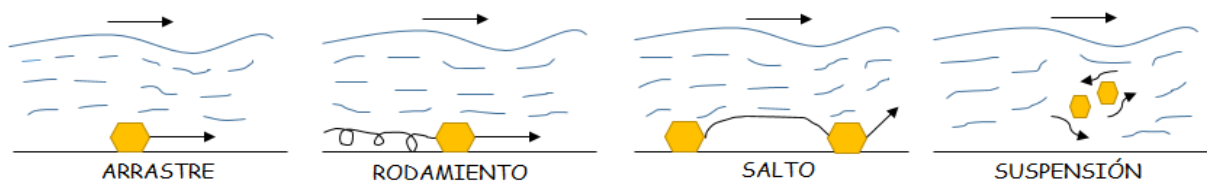


Figura 4-14 Modos del transporte de sedimentos
Fuente: modificado de Blanes Eckert (2008)

El transporte de sedimentos se puede dividir en el transporte longitudinal y el transporte transversal (Figura 4-15). Dicho transporte da pie a la erosión/acreción (transversal) o los cambios en planta (longitudinal).

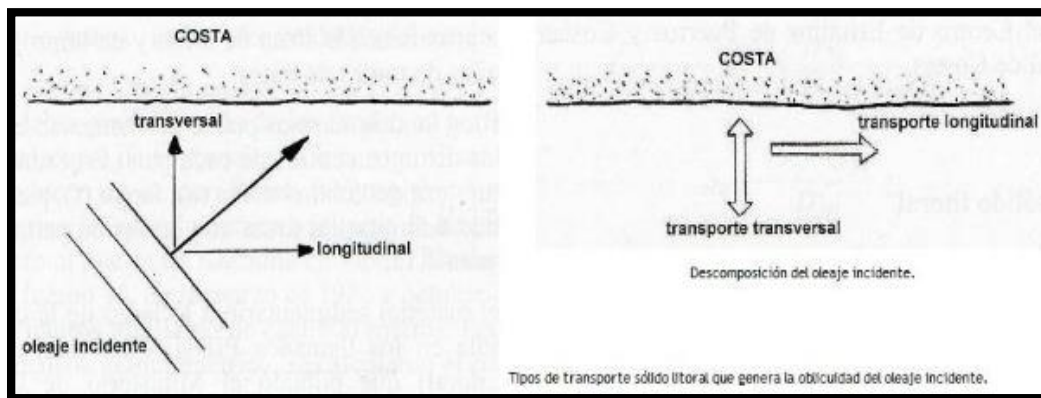


Figura 4-15 Transporte longitudinal y transversal
Fuente: Guarch & Santana (2017)

4.10.1 TRANSPORTE TRANSVERSAL

Es el volumen de sedimento que se transporta en dirección perpendicular a la costa. Es el principal agente de los cambios de perfil en una playa. Se genera por 2 tipos de corrientes, las cuales, son las corrientes de retorno (Figura 4-16) y de resaca (Figura 4-17) (López Ruiz, 2013).



Figura 4-16 Corriente de retorno
Fuente: University of Delaware (2017)

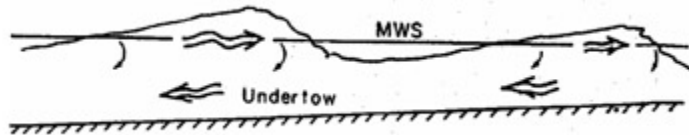


Figura 4-17 Corriente de resaca (undertow)
Fuente: Svendsen (2006)

4.10.2 TRANSPORTE LONGITUDINAL

El transporte longitudinal de sedimentos se produce debido a la incidencia de un oleaje oblicuo sobre un tramo de la costa, lo que comprende un movimiento de sedimento paralelo a la costa. El movimiento longitudinal es más importante que el transversal, debido a que controla la morfología de las playas (Almazán, Palomino, & García, 2000).

El oleaje, al ser variable en intensidad y dirección, produce un transporte variable que va en uno u otro sentido. Es por esto que se tiene un transporte de derecha a izquierda (Q_{di}) y de izquierda a derecha (Q_{id}). Bajo estos conceptos es posible definir el transporte bruto (Q_b) y neto (Q_n), que se representan según las expresiones:

$$\begin{aligned} Q_b &= |Q_{di}| + |Q_{id}| \\ Q_n &= Q_{di} + Q_{id} \end{aligned} \qquad \text{Ecuación 4-10}$$

4.11 EQUILIBRIO DE PLAYAS

Se define como el estado morfodinámico que alcanza una playa en planta y en perfil, bajo la acción del oleaje incidente en el tiempo; en otras palabras es el cese de cambios en su forma de planta y en perfil. Esto se debe a que la playa llega al equilibrio con el oleaje incidente. Al cambiar las condiciones de este, también lo hará la forma en planta y en perfil (UNICAN, 2000).

La forma en planta se define a partir del transporte longitudinal de sedimento y presenta un equilibrio estático⁷ y equilibrio dinámico⁸.

⁷ Equilibrio Estático: Su forma permanece constante en el tiempo, el transporte longitudinal es nulo.

⁸ Equilibrio Dinámico: Su forma es variable en el tiempo, presenta transporte longitudinal pero lo que entra y sale es igual por lo que transporte longitudinal neto es igual a 0.

4.11.1 PROFUNDIDAD ACTIVA

El perfil de equilibrio planteado por Dean, presenta un límite llamado profundidad activa. Esta profundidad (Figura 4-18) es la frontera del transporte de sedimentos longitudinal. Existe el movimiento de arena más allá de la profundidad de activa, pero en magnitudes despreciables (G. I. O. C., 2000).

Birkemeier (1985) planteo una expresión para la profundidad activa h_*

$$h_* = 1,75H_{s12} - 57,9 \left(\frac{H_{s12}^2}{gT_s^2} \right) \quad \text{Ecuación 4-11}$$

Donde:

H_{s12} : Altura de ola significativa que es excedida doce horas al año
 T_s : Periodo peak

No obstante la formulación de Birkemeier es una modificación de la Ecuación 4-12, propuesta por Hellermeier:

$$h_* = 2,28H_{s12} - 68,5 \left(\frac{H_{s12}^2}{gT_s^2} \right) \quad \text{Ecuación 4-12}$$

Houston (1995) modifica la ecuación de Birkmeier considerando la altura significativa promedio, en vez de la altura de ola significativa que es excedida doce horas al año, de tal manera que obtuvo la siguiente expresión:

$$h_* = 8,9\bar{H}_s \quad \text{Ecuación 4-13}$$

La profundidad activa se utilizó como referencia para el diseño del espigón, el cual debe estar a una profundidad mayor que la activa, para que la playa adopte una curvatura (G.I.O.C., s.f.).

4.11.2 PROFUNDIDAD DE CIERRE

La profundidad de cierre (Figura 4-18) corresponde al punto de playa en el que no se produce movimiento alguno de sedimento. Esta se puede representar con la siguiente ecuación:

$$h_L = 3,5H_{s12} \quad \text{Ecuación 4-14}$$

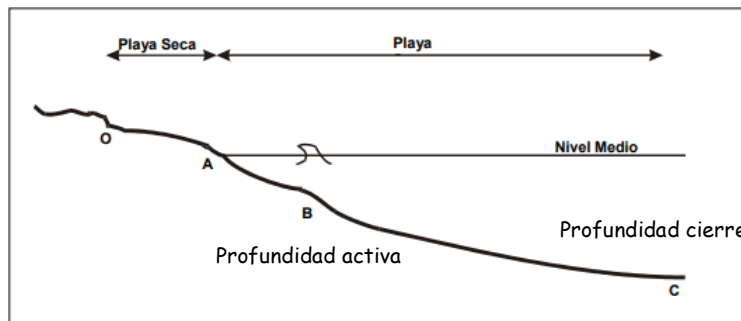


Figura 4-18 Profundidad de cierre y activa
Fuente: (Almazán, Palomino, & García, 2000)

Este resultado se utilizó como referencia para la extracción de perfiles de playa del modelo MIKE 21 ST (Capítulo 7.7).

4.12 MAREA

Las mareas corresponden a un movimiento ascendente y descendente periódico de las aguas oceánicas, provocado por la atracción gravitacional de la Luna y el Sol (en menor grado) sobre las partículas de agua en la superficie de la Tierra (SHOA Pub. 3013, 1992).

Al medir la variación del nivel del mar por un periodo mayor a un día, se presenta un comportamiento oscilatorio (Figura 4-19) donde se observan pleamares (marea alcanza su máxima altura) y bajamares (marea alcanza su mínima altura) (UNICAN, 2000).

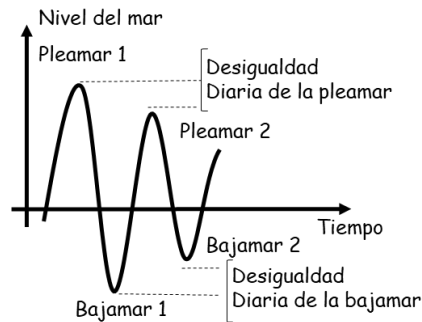


Figura 4-19 Definición de la desigualdad diaria
Fuente: UNICAN (2000)

4.12.1 ANÁLISIS ARMÓNICO

Es un método basado en la sumatoria de “oscilaciones simples y casi independientes, de periodos diversos” (V. Petroni, 2005) que cumplen ciertas condiciones astronómicas.

Con este análisis se describe el tipo de marea (Tabla 4-1) en base al factor de forma F , que resulta de la división entre la suma las dos componentes diurnas, K_1 (Diurno Luni-Solar) y O_1 (Diurno Lunar principal) y la suma de dos componentes semidiurnas, M_2 (Lunar principal), S_2 (Solar principal) (UNICAN, 2000).

$$\frac{K_1 + O_1}{M_2 + S_2} = F$$

Ecuación 4-15

Tabla 4-1 Tipos de marea

$F < 0,25$	Régimen semidiurno
$0,25 < F < 1,5$	Régimen mixto semidiurno
$1,5 < F < 3$	Régimen mixto diurno
$3 < F$	Régimen diurno

Fuente: UNICAN (2000)

4.12.2 ANÁLISIS NO ARMÓNICO

Procedimiento correspondiente a la descripción de parámetros (Figura 4-20) de la marea en una localidad cualquiera, siendo obtenidos a través de un dispositivo de medición que controlen a intervalos discretos la altura de marea (SHOA Pub. 3202, 1999).

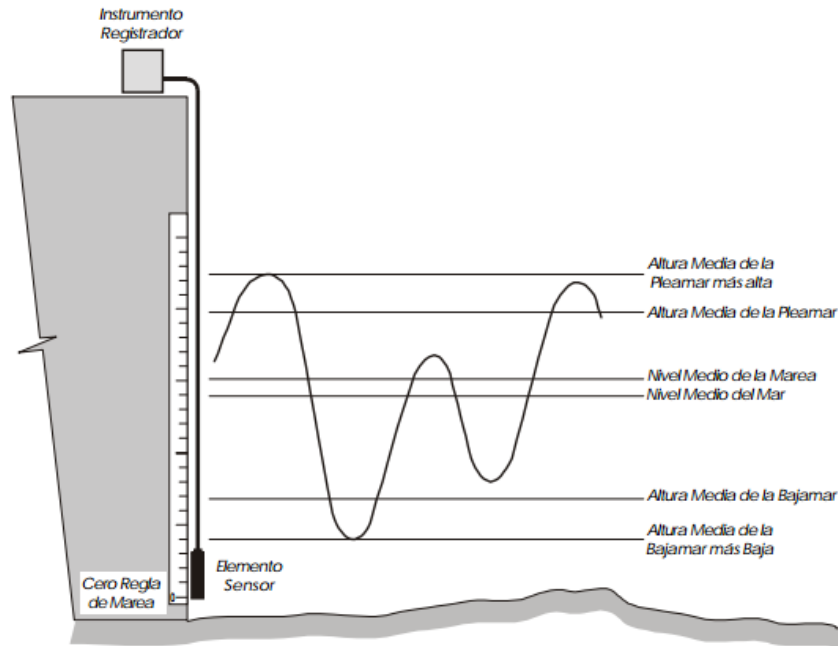


Figura 4-20 Principales planos de la marea
Fuente: SHOA Pub. 3202 (1999)

4.13 DESCRIPCIÓN MODELOS NUMÉRICOS

4.13.1 MODELOS DE PROPAGACIÓN DE OLAJE

Existe una gran variedad de modelos numéricos de propagación de oleaje. Estos se pueden clasificar como modelos que promedian la fase y resuelven la fase.

4.13.1.1 MODELOS QUE PROMEDIAN LA FASE

Son modelos basados en la teoría espectral del oleaje que caracterizan al oleaje como la suma de ondas de diferentes amplitudes y frecuencias (Figura 4-21). Estos modelos realizan la propagación del espectro del oleaje sin considerar la información de la fase de cada constituyente.

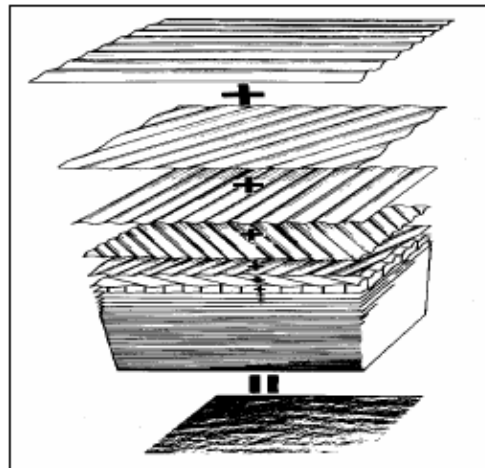


Figura 4-21 Registro de elevación de una lámina de agua con diferentes frecuencias y amplitudes
Fuente: Silva Casarín (2005)

Luego de realizar la propagación del espectro de oleaje no es factible obtener de forma determinista el valor de la desnivelación instantánea de agua con respecto al tiempo, debido a que no se conoce la información de la fase de las distintas componentes espectrales. No obstante, la principal ventaja de este tipo de modelos es el tiempo y el coste computacional (García Pimentel, 2013).

4.13.1.2 MODELO QUE RESUELVE LA FASE

Son los modelos que utilizan las ecuaciones no estacionarias de conservación de la masa y de la cantidad de movimiento. Este tipo de modelos trabajan con la evolución temporal de la desnivelación instantánea que permite obtener el espectro de oleaje mediante la transformada de Fourier y con dicho espectro adquirir parámetros característicos de oleaje (García Pimentel, 2013).

La ventaja de estos modelos se radica en la nula pérdida de la información de la fase en comparación a los modelos que promedian la fase, ya que la altura de la lámina de agua se calcula de forma determinista en cada instante.

4.13.2 MIKE 21 SPECTRAL WAVES FM

Modela el crecimiento, decaimiento y transformación de las olas generadas por viento y oleaje swell, incluyendo parámetros físicos tales como: la disipación (por whitecapping, fricción de fondo, profundidad inducida por rotura del oleaje), el crecimiento del oleaje por acción del viento, la interacción no lineal entre oleaje, la refracción y el shoaling por variaciones de fondo; el secado y la interacción ola-corriente (DHI, 2016). Su formulación se basa en la Ecuación 4-16 de densidad de acción del oleaje.

$$N(\sigma, \theta) = \frac{E(\sigma, \theta)}{\sigma} \quad \text{Ecuación 4-16}$$

Este modelo que promedia la fase comprende la ecuación el balance de acción del oleaje en coordenadas cartesianas (Ecuación 4-17) o esféricas.

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \nabla \cdot (\bar{v}N) = \frac{S}{\sigma} \quad \text{Ecuación 4-17}$$

Donde N es la densidad de acción de oleaje, E es la densidad de energía del oleaje, t corresponde al tiempo, $\bar{x} = (x, y)$ son las coordenadas cartesianas, $\bar{v} = (C_x, C_y, C_\sigma, C_\theta)$ es la velocidad de propagación que se observa en las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned} (C_x, C_y) &= \frac{\partial \bar{x}}{\partial t} = \bar{C}_g + \bar{U} = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{2kd}{\sinh 2kd} \right) \frac{\sigma}{k} + \bar{U} \\ C_\sigma &= \frac{d\sigma}{dt} = \frac{\partial \sigma}{\partial d} \left[\frac{\partial d}{\partial t} + \bar{U} \cdot \nabla_{\bar{x}} d \right] - C_g \bar{k} \cdot \frac{\partial \bar{U}}{\partial s} \\ C_\theta &= \frac{d\theta}{dt} = -\frac{1}{k} \left[\frac{\partial \sigma}{\partial d} \frac{\partial d}{\partial m} + \bar{k} \cdot \frac{\partial \bar{U}}{\partial m} \right] \end{aligned} \quad \text{Ecuación 4-18}$$

Donde:

k	: Número de onda
\bar{k}	: Número de onda medio
d	: Profundidad

\bar{U}	: Velocidad de la corriente
s	: Coordenada espacial en la dirección del oleaje
m	: Coordenada perpendicular a s
σ	: Frecuencia angular relativa

Este modelo permite obtener los tensores de radiación (Ecuación 4-19) que son el input necesario para MIKE 21 HD (DHI, 2016).

$$\begin{aligned}
 S_{xx} &= \frac{1}{2}g(f_{u2} + f_{pp}) \\
 S_{xy} &= \frac{1}{2}g(f_{uv}) \\
 S_{yy} &= \frac{1}{2}g(f_{v2} + f_{pp})
 \end{aligned}
 \tag{Ecuación 4-19}$$

Donde:

$$\begin{aligned}
 f_{pp} &= \int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} \left(1 + \frac{2kd}{\sinh 2kd}\right) E(f, \theta) df d\theta \\
 f_{u2} &= \int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} \cos^2\left(\frac{3}{2}\pi - \theta\right) \left(1 + \frac{2kd}{\sinh 2kd}\right) E(f, \theta) df d\theta \\
 f_{uv} &= \int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} \cos\left(\frac{3}{2}\pi - \theta\right) \sin\left(\frac{3}{2}\pi - \theta\right) \left(1 + \frac{2kd}{\sinh 2kd}\right) E(f, \theta) df d\theta \\
 f_{v2} &= \int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} \sin^2\left(\frac{3}{2}\pi - \theta\right) \left(1 + \frac{2kd}{\sinh 2kd}\right) E(f, \theta) df d\theta
 \end{aligned}
 \tag{Ecuación 4-20}$$

4.13.3 MIKE 21 FLOW MODEL FM

El módulo Flow Model es un sistema de modelado para flujos en dos dimensiones promediados en la vertical, que tiene aplicaciones tales como fenómenos hidráulicos y medioambientales en lagos, estuarios, bahías, áreas costeras. Es posible su utilización para simular una gran variedad de efectos hidráulicos tales como corrientes, mareas, temperaturas, calidad de aguas e inundaciones (DHI, 2016).

Los fenómenos hidrodinámicos de este estudio tienen relación con las corrientes generadas por el oleaje. Estas corrientes nacen por los gradientes de los tensores de radiación debido al producto de la rompiente oblicua del oleaje. Este es el factor de mayor relevancia para la evolución o equilibrio morfológico de la línea de playa (Cartes Zurita, 2005).

Las ecuaciones que utiliza el modelo hidrodinámico son las ecuaciones de continuidad (Ecuación 4-21) y momentum en dirección x (Ecuación 4-22) e y (Ecuación 4-23) (DHI, 2016).

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{v}}{\partial y} = hS
 \tag{Ecuación 4-21}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial h\bar{u}}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}^2}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{v}\bar{u}}{\partial y} \\ = f\bar{v}h - gh \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{h}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial x} - \frac{gh^2}{2\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial x} + \frac{\tau_{sx}}{\rho_0} - \frac{\tau_{bx}}{\rho_0} - \frac{1}{\rho_0} \left(\frac{\partial s_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{xy}}{\partial y} \right) \\ + \frac{\partial}{\partial x} (hT_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (hT_{xy}) + hu_s S \end{aligned} \quad \text{Ecuación 4-22}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial h\bar{v}}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{v}^2}{\partial y} + \frac{\partial h\bar{u}\bar{v}}{\partial x} \\ = -f\bar{u}h - gh \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{h}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial y} - \frac{gh^2}{2\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial y} + \frac{\tau_{sy}}{\rho_0} - \frac{\tau_{by}}{\rho_0} \\ - \frac{1}{\rho_0} \left(\frac{\partial s_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{yy}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial x} (hT_{xy}) + \frac{\partial}{\partial y} (hT_{yy}) + hv_s S \end{aligned} \quad \text{Ecuación 4-23}$$

Donde:

t	: Tiempo
η	: Desnivelación de superficie
h	: Profundidad total ($\eta + d$)
\bar{u}, \bar{v}	: Componentes de la velocidad promediada en la vertical en x e y
f	: Parámetro de Coriolis
g	: Gravedad
ρ, ρ_0	: Densidad de agua y densidad de referencia de agua respectiva
$s_{xx}, s_{xy}, s_{yy}, s_{yx}$	: Componentes de los tensores de radiación
p_a	: Presión atmosférica
S	: Magnitud de descarga en una fuente puntual
u_s, v_s	: Velocidad de descarga de la fuente puntual
τ_{sx}, τ_{sy}	: Tensión superficial del viento
τ_{bx}, τ_{by}	: Tensión superficial de fondo
$T_{xx}, T_{xy}, T_{yx}, T_{yy}$	: Tensiones laterales

Los parámetros que fueron considerados en la modelación numérica de las corrientes bidimensionales son:

- Fuerza de Coriolis: No se considera.
- Presión atmosférica: Constante en el espacio.
- Término baroclínico: Constante en el espacio.
- Viscosidad turbulenta: Constante en el espacio.
- Precipitación y evaporación: No se considera.
- Inundación y secado: No se considera.
- Fricción por viento: No se considera.
- Fricción de fondo: Constante en el espacio.
- Tensor de radiación: Se considera respecto a la solución obtenida de MIKE 21 SW.

Este modelo al igual que MIKE 21 SW resuelve la fase, debido a que incorpora a los tensores de radiación que están promediados en el periodo.

4.13.4 MIKE 21 SEDIMENT TRANSPORT

MIKE 21 ST es un modelo del conjunto de aplicaciones de MIKE 21 que calcula el transporte de sedimento no cohesivo mediante información de corrientes o la combinación de corrientes y oleaje (DHI, 2016).

La tasa de transporte de sedimento es obtenida con la herramienta Toolbox de MIKE 21 en la sección "Generation of QED Sediment Table", la cual genera 2 archivos. El primero con extensión ".lon" guarda datos de sedimento calculado en dirección longitudinal a la costa, mientras que el segundo con extensión ".crs" almacena sedimento calculado en dirección transversal a la costa (DHI, 2016).

La formulación de carga total que utiliza el modelo se presenta a continuación:

La Ecuación 4-24, que representa el transporte de carga total según la teoría de Engelund & Fredsøe, se refiere como la suma del transporte de fondo (q_b) y el transporte en suspensión (q_s).

$$q_t = q_b + q_s \quad \text{Ecuación 4-24}$$

En donde el transporte de fondo (Ecuación 4-25) se compone de la probabilidad de que las partículas se encuentren en movimiento (Ecuación 4-28), el parámetro de movimiento de Shields (Ecuación 4-27), el parámetro crítico de Shields (θ_c), la densidad relativa del sedimento (s) y el diámetro de la partícula de sedimento (d).

$$q_b = 5p \left(\sqrt{\theta'} - 0.7\sqrt{\theta_c} \right) \sqrt{(s-1)gd^3} : \text{si } \theta' > \theta_c \quad \text{Ecuación 4-25}$$

Por otro lado, el transporte en suspensión (Ecuación 4-26) se calcula a partir de la velocidad de fricción (U_f'); la concentración de lecho de sedimento suspendido (Ecuación 4-29), el nivel de referencia para $c_b(a)$ correspondiente a $2d$ (diámetro de la partícula de sedimento), las integrales de Einstein (I_1, I_2), la profundidad (h) y el número Nikuradse (K_N), equivalente a $2.5d$.

$$q_s = 11.6U_f' c_b a \left[I_1 \ln \left(\frac{30h}{K_N} \right) + I_2 \right] \quad \text{Ecuación 4-26}$$

$$\theta' = \frac{U_f'^2}{(s-1)gd} \quad \text{Ecuación 4-27}$$

$$p = \left[1 + \left[\frac{\frac{\pi}{6}\beta}{\theta' - \theta_c} \right]^4 \right]^{-1/4} \quad \text{Ecuación 4-28}$$

$$c_b = \frac{0.65}{(1 + 1/\lambda)^3} \quad \text{Ecuación 4-29}$$

La concentración de lecho de sedimento suspendido depende de la concentración lineal (λ), que se determina como:

$$\lambda = \sqrt{\frac{\theta' - \theta_c - \frac{\pi p \beta}{6}}{0.027s\theta'}} \quad \text{Ecuación 4-30}$$

Esta depende de la pendiente de fondo (β), el parámetro crítico de Shields (θ_c), la densidad relativa del sedimento (s) y el parámetro de Shields (θ').

5 METODOLOGÍA

Para determinar la hidrodinámica y el transporte de sedimentos de la zona Recreo, se empleó la metodología que se presenta en la Figura 5-1, en la que se observa la interrelación de los módulos de MIKE 21.

Se realizó un estudio que caracteriza la evolución a corto plazo de un evento extremo, el cual determina la respuesta de erosión/acreción en la línea de costa y también se obtuvieron los casos característicos⁹ del clima medio (G.I.O.C., s.f.). Estos análisis se realizaron en aguas profundas.

Los casos característicos y el evento extremo se seleccionaron (capítulo 7.1) para modelar numéricamente la situación actual y dos alternativas de solución, las que corresponden a:

- Situación actual.
- Alternativa con relleno de arena.
- Alternativa con relleno de arena y estructura.

Para dar pie a la simulación numérica se confeccionaron tres mallas mediante la herramienta “mesh generator” del software MIKE ZERO, luego se obtuvieron los tensores de radiación y el campo de oleaje con MIKE 21 SW. Para generar los campos de corrientes en MIKE 21 HD se recortaron las mallas para disminuir el gasto computacional (capítulo 7.3). Finalmente se calculó el campo de caudal de sedimentos con MIKE 21 ST.

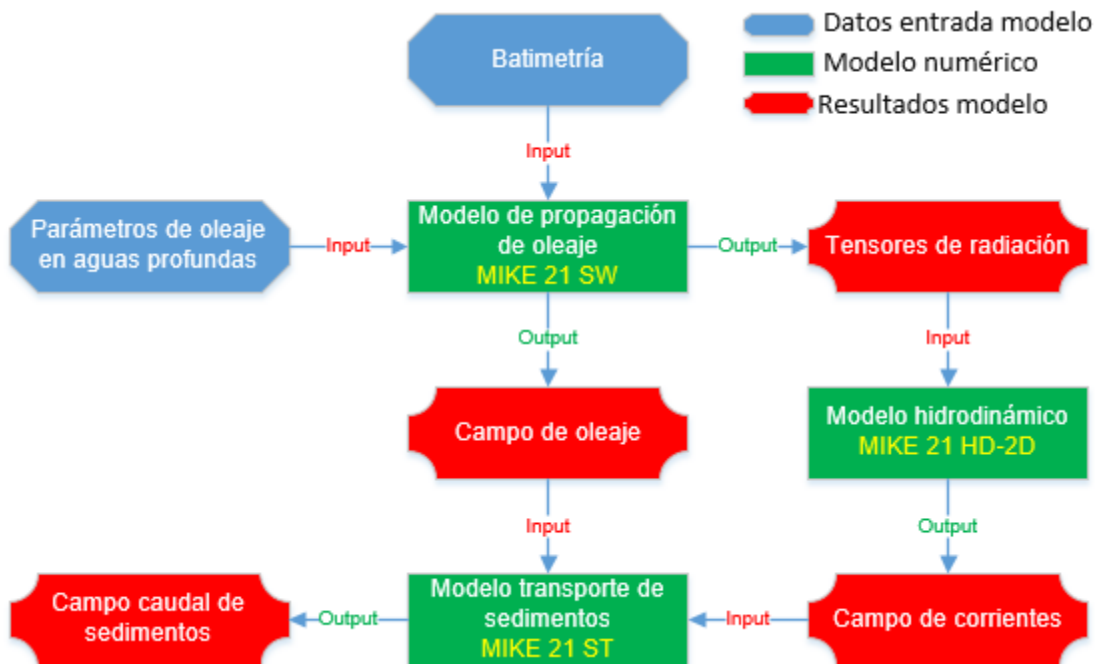


Figura 5-1 Diagrama de flujo modelación numérica
Fuente: Elaboración propia

⁹ Comprenden las situaciones más frecuentes y de interés especial en el análisis de clima medio.

6 ANÁLISIS DE CONDICIONES NATURALES

6.1 SECTOR DE ESTUDIO

La Bahía de Valparaíso (lat 33°01'; long 71°38') es una bahía natural ubicada en la Provincia y Región del mismo nombre (Figura 6-1). Se emplaza en medio de una planicie costera en dirección norte-sur a unos 118 [km] al noroeste de la ciudad capital de Santiago (Sánchez, et al., 2009). En sus costas se encuentran las comunas de Valparaíso, Viña del Mar y Concón.

El ex balneario Recreo se ubica en la ciudad de Viña del Mar, entre playa Caleta Abarca y el Club de Yates de Recreo. Este tiene una extensión aproximada de 400 [m].

La bahía presenta una barrera natural al oleaje SW (Punta Ángeles), por lo cual el oleaje difractado del tercer cuadrante presenta poca energía. El oleaje proveniente desde las direcciones del cuarto cuadrante entra a la bahía fácilmente, por lo que las alturas de ola son mayores.

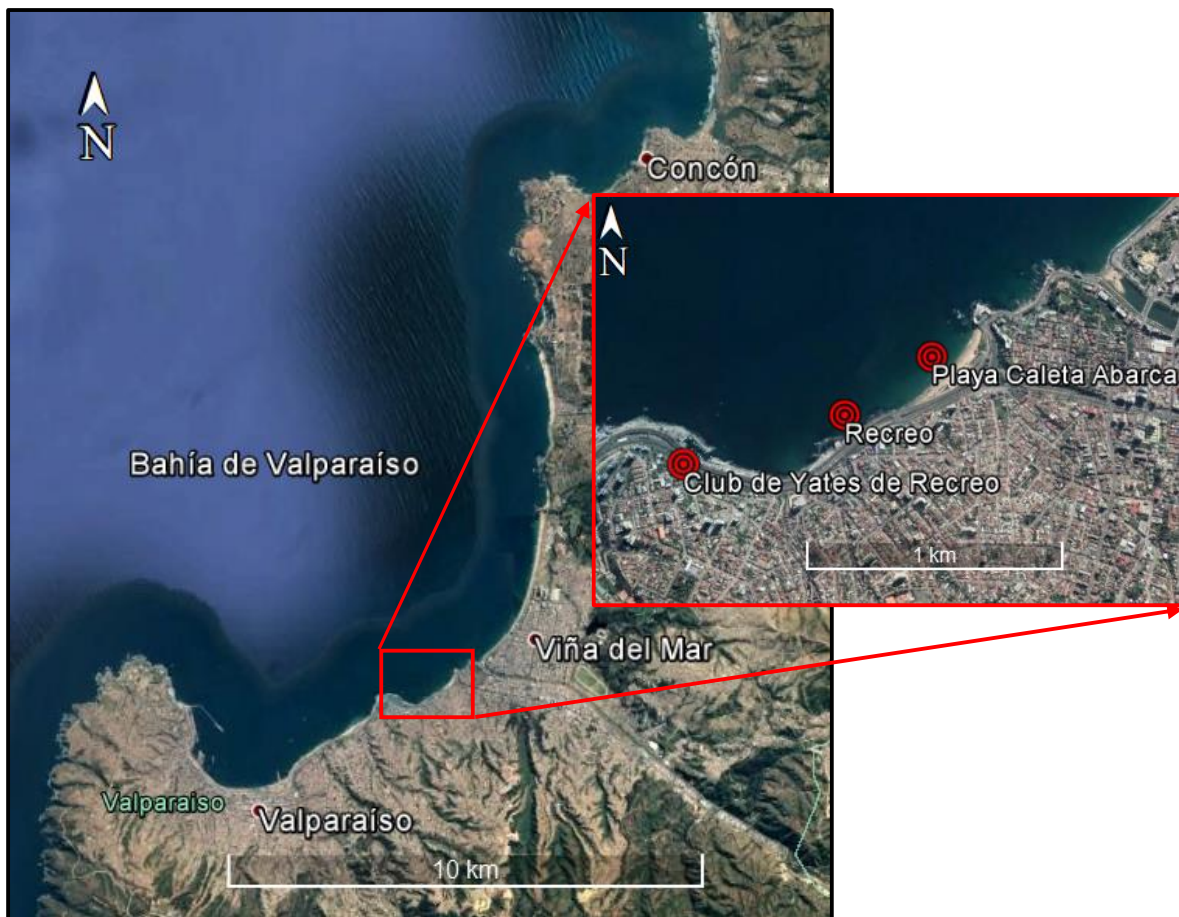


Figura 6-1 Bahía de Valparaíso
Fuente: Google Earth (2017)

6.2 BATIMETRÍA

Los antecedentes batimétricos del sector de estudio se conformaron a partir de las cartas náuticas electrónicas del Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (Tabla 6-1) y de un privado (comprende la zona del Club de Yates de Recreo). Estas se ensamblaron desde cartas generales a cartas de mayor resolución, con una proyección correspondiente al sistema de coordenadas Universal Transversal de Mercator (UTM) y un datum geodésico de WGS84. La recopilación de estas se observa en la Figura 6-2, donde se da énfasis al sector de Recreo.

Tabla 6-1 Cartas náuticas electrónicas SHOA

Carta N°	Nombre
5111	Bahía y Puerto de Valparaíso
5000	Bahía Valparaíso a Golfo de Arauco
4322	Club de Yates Viña del Mar
4320	Bahía Quintero a Bahía Valparaíso
4000	Bahía Coquimbo a Bahía Valparaíso

Fuente: SHOA

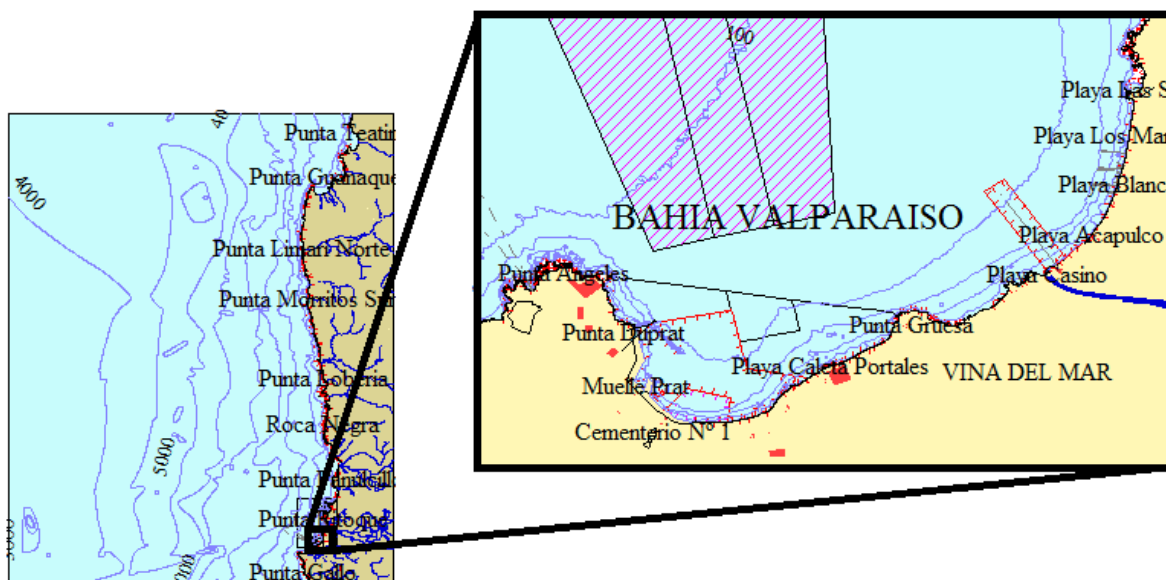


Figura 6-2 Recopilación cartas náuticas en Global Mapper
Fuente: Cartas náuticas SHOA

6.3 MALLA DE SIMULACIÓN MIKE ZERO

Mediante el software MIKE ZERO se generó una malla batimétrica flexible (Figura 6-3) a partir de una condición de aguas profundas, esta condición se corroboró a partir del cálculo de la longitud de onda (Ecuación 6-1) propuesta por la teoría lineal del oleaje (TLO).

$$L_o = \frac{gT^2}{2\pi}$$

Ecuación 6-1

$$\frac{d}{L} > \frac{1}{2}$$

Acorde a los datos de oleaje de 35 años, se evaluó el periodo máximo del registro correspondiente a 23 [s] para conocer el límite de aguas profundas, el cual corresponde a 412 [m] de profundidad con una longitud de onda de 822 [m].

En la Figura 6-3 se observa la segmentación de polígonos de distinta resolución, trazados con sus respectivas áreas, que van desde A_1 hasta A_{10} . Los elementos se harán más finos a medida que se avanza al ex balneario de Recreo, esto debido a que se desea una mayor resolución para representar la zona de estudio.

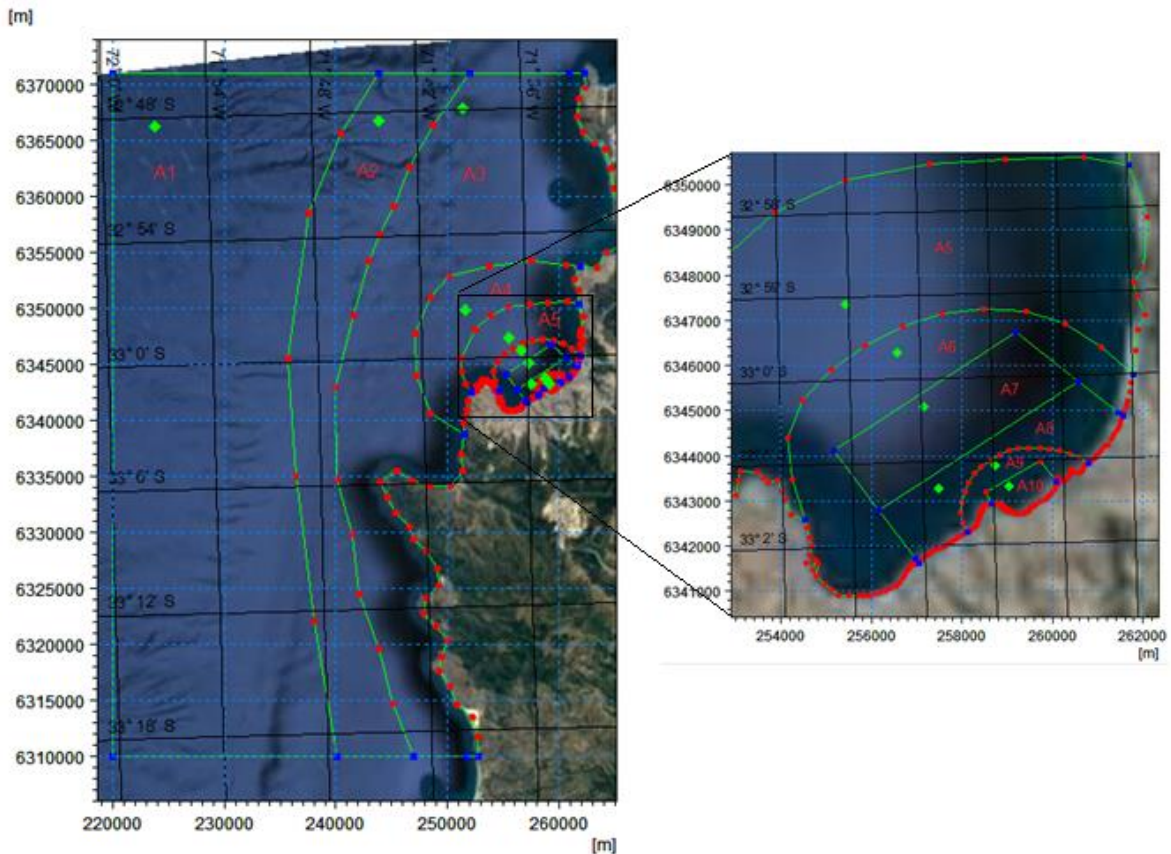


Figura 6-3 Resolución de áreas para la malla numérica, MIKE ZERO
Fuente: Elaboración propia

Junto con trazar los polígonos que segmentan las áreas de resolución de mado, se realizó el cálculo de las áreas de cambio, las cuales tienen una razón de 1/3 para una mayor estabilidad numérica del modelo. Las áreas poseen elementos triangulares por la ventaja que tienen al adaptarse a zonas irregulares características de la costa (no así como ocurre con los elementos rectangulares).

Finalmente se procedió a generar la malla batimétrica que se observa en la Figura 6-4, en donde la paleta de colores B corresponde al zoom del sector de estudio y la paleta A hace referencia a la malla completa. El desarrollo paso a paso de la malla flexible se detalla en el anexo 13.1.

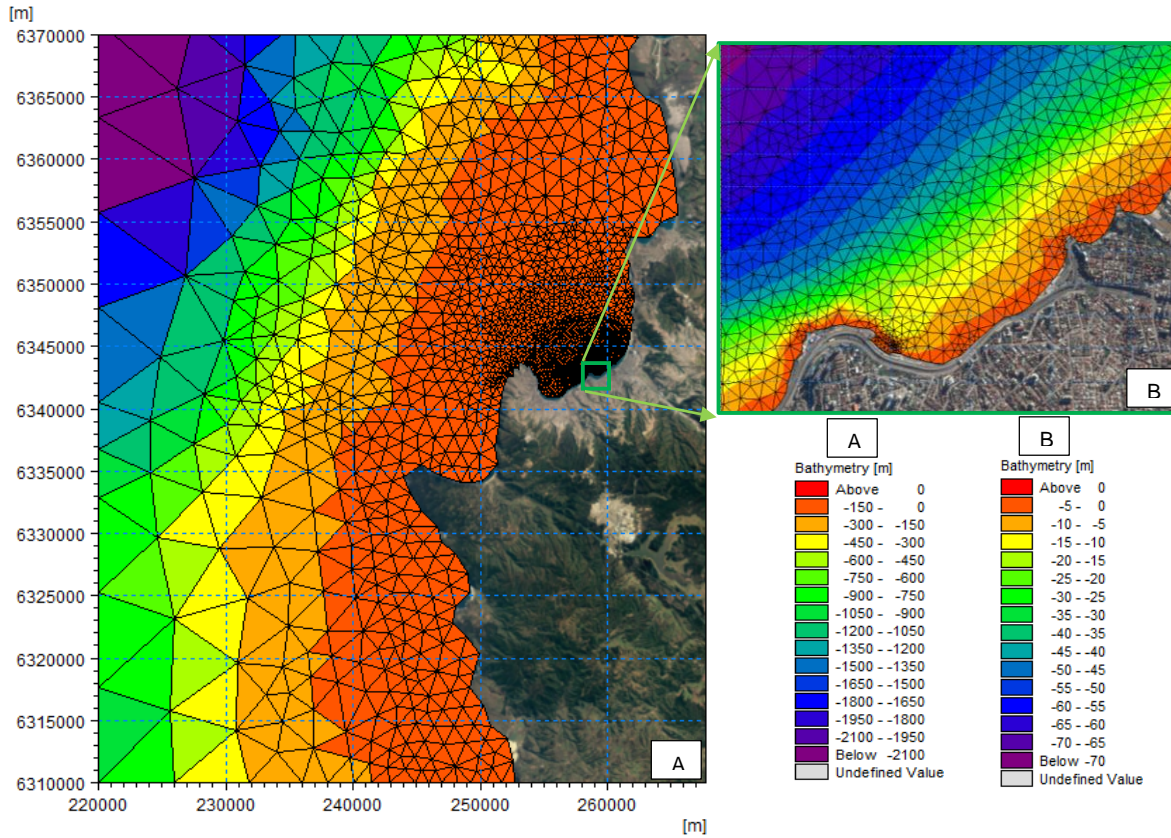


Figura 6-4 Malla batimétrica, MIKE ZERO
Fuente: Elaboración propia

Luego de obtener la malla batimétrica, se realizó un análisis estadístico. Este se detalla en la Tabla 6-2, donde se observan los parámetros básicos de dicha grilla.

Tabla 6-2 Información malla batimétrica MIKE SW

Información	Valor
N° de nodos	3193
N° de elementos	6096
Ángulo mínimo [°]	26,42
Ángulo máximo [°]	59,95
Área elemento menor [m ²]	7,51
Área elemento mayor [m ²]	28605610
Profundidad mínima [m]	-1
Profundidad máxima [m]	-2388

Fuente: Elaboración propia

6.4 CLIMA MEDIO EN AGUAS PROFUNDAS

Para realizar un buen proyecto de ingeniería marítima es necesario poseer una serie de tiempo de a lo menos 20 años. Se realizó una propagación de oleaje de parámetros de resumen desde aguas profundas hacia aguas intermedias, empleando una base de datos de 35 años (desde 1980 al 2015) del Atlas de Oleaje (Beyá et al., 2016) de Chile en un nodo que se encuentra a las afueras de Valparaíso (Figura 6-5).

A continuación se presentan tablas de incidencia altura y dirección (Tabla 6-3), periodo y dirección (Tabla 6-4) y altura y periodo (Tabla 6-5), así como también las rosas de oleaje para altura y periodo (Figura 6-6).



Figura 6-5 Ubicación nodo en aguas profundas
Fuente: Google Earth (2017)

El comportamiento estadístico en aguas profundas muestra que las direcciones de incidencia del oleaje tienen una mayor frecuencia de aparición en torno a las direcciones SSW, SW y WSW con un 15,06%, 65,68% (Oleaje reinante) y 14,97% respectivamente. Los periodos con mayor ocurrencia corresponden a los intervalos entre los 10 [s] y 16 [s].

A partir de este análisis en aguas profundas se obtuvieron cuatro casos de modelación numérica (capítulo 7.1), de los cuales se seleccionaron en base a la mayor frecuencia de dirección, altura y periodo.

Tabla 6-3 Tabla de incidencia de oleaje de altura y dirección, aguas profundas

Hmo[m]	Dirección[°]									Total	Frecuencia Acumulada	
	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N			
[0-1[		>0,01	0,43	0,35	0,07	>0,01					0,86	0,86
[1-2[		2,58	23,68	7,83	1,34	0,18	0,03	>0,01			35,66	36,52
[2-3[	0,01	8,25	32,82	5,01	1,09	0,40	0,16	0,03	>0,01		47,76	84,28
[3-4[	>0,01	3,98	8,25	1,51	0,35	0,24	0,15	0,05			14,53	98,81
[4-5[		0,23	0,50	0,22	0,07	0,04	0,02	0,02			1,11	99,92
[5-6[		0,01	0,01	0,04	0,02	>0,01	>0,01	>0,01			0,08	99,99
[6-7[				>0,01	>0,01	>0,01	>0,01	>0,01			0,01	100
Total	0,01	15,06	65,68	14,97	2,93	0,87	0,37	0,10	0,00		100	
Frecuencia Acumulada	0,01	15,07	80,76	95,73	98,66	99,53	99,90	100	100			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6-4 Tabla de incidencia de oleaje periodo y dirección, aguas profundas

Tp[s]	Dirección [°]									Total	Frecuencia Acumulada	
	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N			
[4-6[		0,08	0,02	>0,01		>0,01	0,01	>0,01			0,11	0,11
[6-8[	0,01	2,16	0,51	0,01	0,01	0,05	0,10	0,02	>0,01		2,86	2,97
[8-10[	>0,01	1,84	1,62	0,18	0,21	0,12	0,10	0,07			4,13	7,10
[10-12[		1,89	7,55	2,44	0,83	0,35	0,11	0,01			13,18	20,28
[12-14[		6,69	33,67	7,56	1,04	0,26	0,03	>0,01			49,26	69,54
[14-16[		1,80	14,36	2,58	0,42	0,06	0,01	>0,01			19,24	88,78
[16-18[		0,59	7,51	2,00	0,35	0,04	0,00	>0,01			10,50	99,28
[18-20[		0,02	0,40	0,15	0,06						0,63	99,91
[20-22[		>0,01	0,04	0,03	0,01						0,08	99,98
[22-24[			0,01	0,01							0,02	100
Total	0,01	15,06	65,68	14,97	2,93	0,87	0,37	0,10	>0,01		100	
Frecuencia Acumulada	0,01	15,07	80,76	95,73	98,66	99,53	99,90	100	100			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6-5 Tabla de incidencia de oleaje de altura y periodo, aguas profundas

Hmo [m]	Tp [s]										Total	Frecuencia Acumulada	
	[4-6[	[6-8[	[8-10[	[10-12[	[12-14[	[14-16[	[16-18[	[18-20[	[20-22[	[22-24[
[0-1[		>0,01	0,04	0,21	0,37	0,12	0,09	0,02				0,86	0,86
[1-2[	0,10	0,47	1,01	7,38	17,92	4,97	3,40	0,34	0,06	0,01		35,66	36,52
[2-3[	0,01	2,15	1,75	4,89	25,51	9,01	4,21	0,22	0,01	>0,01		47,76	84,28
[3-4[		0,23	1,26	0,64	5,28	4,75	2,32	0,03	0,01			14,53	98,81
[4-5[			0,06	0,06	0,17	0,36	0,45	0,01				1,11	99,92
[5-6[			>0,01	0,01	0,01	0,02	0,03					0,08	99,99
[6-7]				>0,01	>0,01	>0,01	>0,01					0,01	100
Total	0,11	2,86	4,13	13,18	49,26	19,24	10,50	0,63	0,08	0,02		100	
Frecuencia Acumulada	0,11	2,97	7,10	20,28	69,54	88,78	99,28	99,91	99,98	100			

Fuente: Elaboración propia

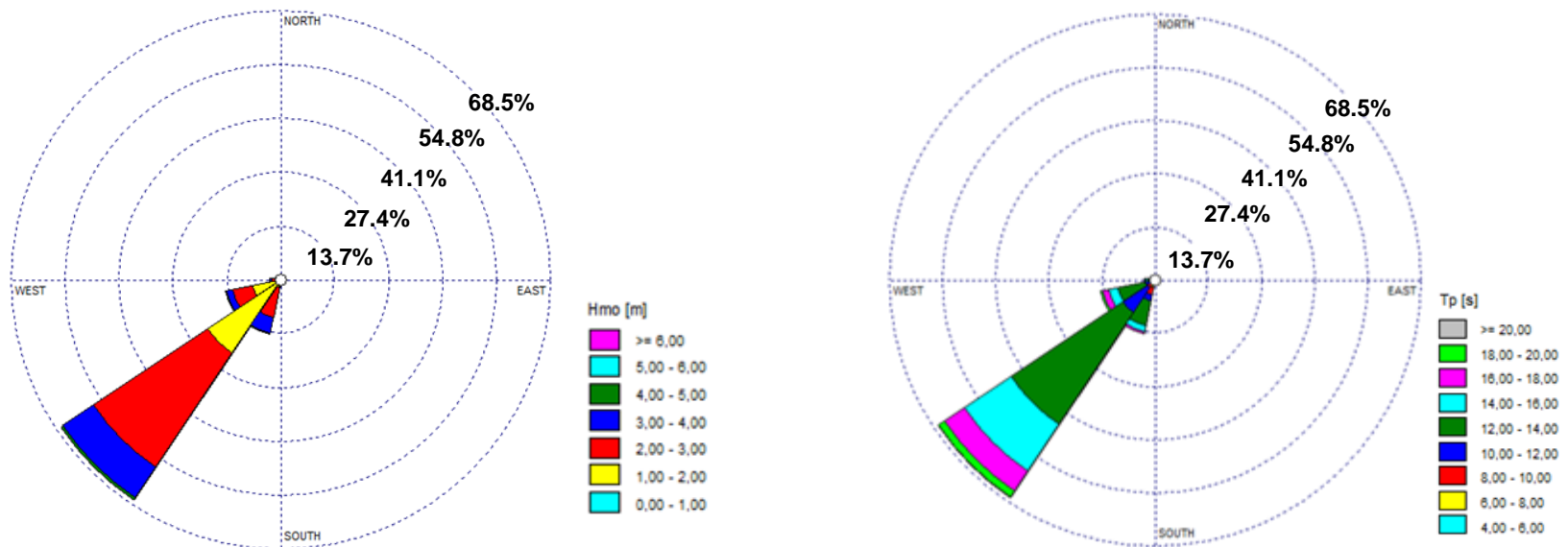


Figura 6-6 Rosa de altura de oleaje (Izquierda) y periodo de oleaje (derecha), aguas profundas
Fuente: Elaboración propia

6.5 CLIMA EXTREMO EN AGUAS PROFUNDAS

La metodología que se utilizó para la realización del clima extremo se presenta en la Tabla 6-6.

Tabla 6-6 Distribuciones y funciones de ploteo para clima extremo

Tipo de Distribución	Función	Función Linealizada	Tipo Función de Ploteo	Probabilidad de ploteo
Weibull	$p(h < H) = 1 - e^{-\left(\frac{H-A}{B}\right)^k}$	$H = A \left(-\sqrt[k]{\ln(1 - P_i)} \right) + B$	Goda	$P_i = 1 - \frac{i - 0,2 - \frac{0,27}{\sqrt{k}}}{n + 0,2 + \frac{0,23}{\sqrt{k}}}$
			Petrauskas	$P_i = 1 - \frac{i - 0,3 - \frac{0,18}{k}}{n + 0,21 + \frac{0,32}{k}}$
Gumbel	$p(h < H) = e^{-e^{\left(\frac{H-B}{A}\right)}}$	$H = A \left(-\ln(-\ln(P_i)) \right) + B$	Gringorten	$P_i = 1 - \frac{i - 0,44}{n + 0,12}$

Fuente: Liu & Frigaard (2001)

Donde:

- $P(h < H)$: Probabilidad de ocurrencia
- H : Altura significativa
- k : Parámetro adimensional Weibull (0,75;1;1,4;2)
- A y B : Parámetros de distribución
- i : Ubicación de la altura significativa, ordenada de mayor a menor
- n : Número de datos

Esta memoria se guió por la publicación 3201 del SHOA, donde se indica que en el análisis se deben estimar las máximas alturas con períodos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años.

Para realizar este estudio, se usó la metodología de selección de máximos valores extremos anuales. Luego se calculó, con el período de retorno (T_R) (Ecuación 6-2), la probabilidad de ocurrencia P .

$$\lambda = \frac{N^\circ \text{ de Hmo}}{N^\circ \text{ de años}}$$

Ecuación 6-2

$$T_R = \frac{1}{\lambda(1 - P)}$$

En la Tabla 6-7 se presentan los resultados obtenidos de las dos distribuciones, donde la que posee mayor altura significativa para todos los periodos de retorno corresponde al tipo de distribución Weibull con probabilidad de ploteo Petrauskas, presentando un ajuste de 98,12%(el mejor ajuste adimensional Weibull) para un parámetro adimensional $k = 2$ (revisar Anexo 13.2).

En la Figura 6-7 se observa el clima extremo con bandas de confianza desde el 80% hasta el 99% para cada una de los eventos seleccionados.

Tabla 6-7 Resultados análisis clima extremo en aguas profundas

Período de retorno [años]	Petrauskas	Gringorten	Goda
	Altura significativa [m]		
2	5.06	5.04	5.54
5	5.67	5.61	6.01
10	6.01	5.99	6.31
25	6.40	6.46	6.65
50	6.66	6.82	6.89
100	6.89	7.17	7.10

Fuente: Elaboración propia

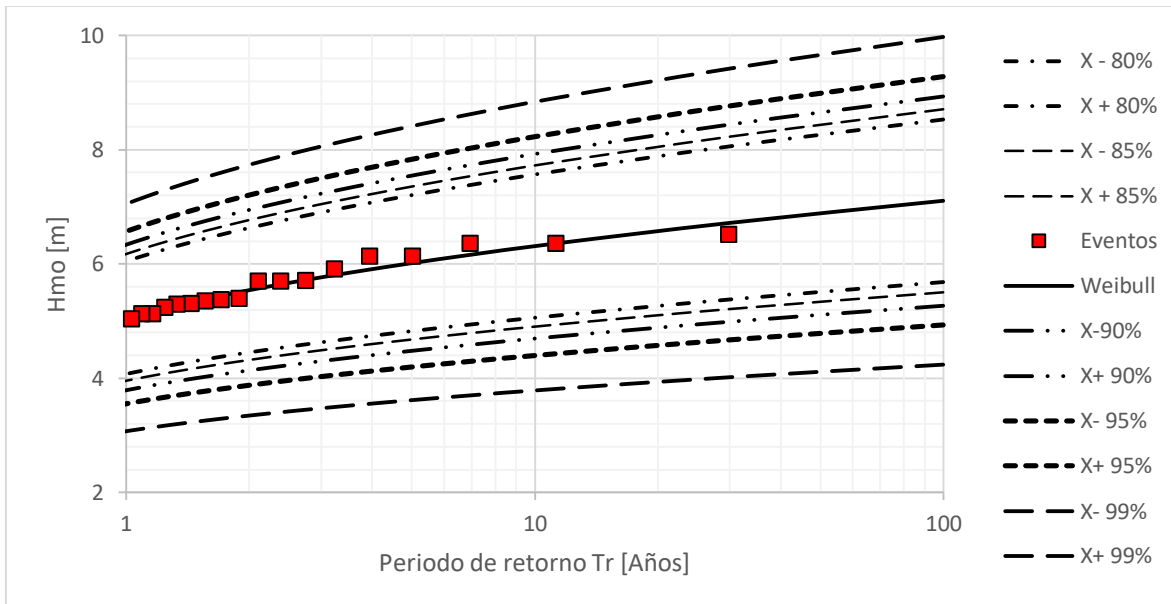


Figura 6-7 Clima extremo en aguas profundas
Fuente: Elaboración propia

6.6 PROPAGACIÓN DE OLAJE

La metodología empleada para el estudio de oleaje consiste en la propagación desde aguas profundas hasta la zona de estudio (Figura 6-8), utilizando la data de oleaje de 35 años mencionada en el capítulo 6.4. El nodo de extracción presenta una profundidad de 20 [m].

La transformación de oleaje se desarrolló con el modelo MIKE 21 SW. Se analizaron 7 direcciones (NNW, NW, WNW, W, WSW, SW y SSW) y 10 periodos (5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19, 21 y 23 [s]) con altura unitaria, de tal manera que el número de propagaciones en el sector de estudio corresponde a 70 simulaciones numéricas.

Se utilizó una malla no estructurada tal como se muestra en el capítulo 6.3, con distintos tipos de tamaño, iniciando desde grandes tamaños (menor resolución) en aguas profundas, hasta llegar a tamaños mas reducidos (mayor resolución $A = 7000 [m^2]$) en la zona de estudio.



Figura 6-8 Nodo de propagación de oleaje
Fuente: Google Earth (2017)

Los resultados de este proceso corresponden a una matriz de agitación y direcciones asociadas para cada periodo y dirección. En la Figura 6-9 y Figura 6-10 se observa que los mayores coeficientes de agitación corresponden al cuarto cuadrante, mientras que las direcciones provenientes del tercer cuadrante tienen menor valor debido a una alta difracción del oleaje provocada por la Punta Ángeles. La matriz se utilizó para la transformación del oleaje desde aguas profundas a la zona de estudio.

Los archivos de salida para cada propagación de oleaje se presentan en el anexo 13.6. Estos se obtuvieron a través de MIKE 21 SW.

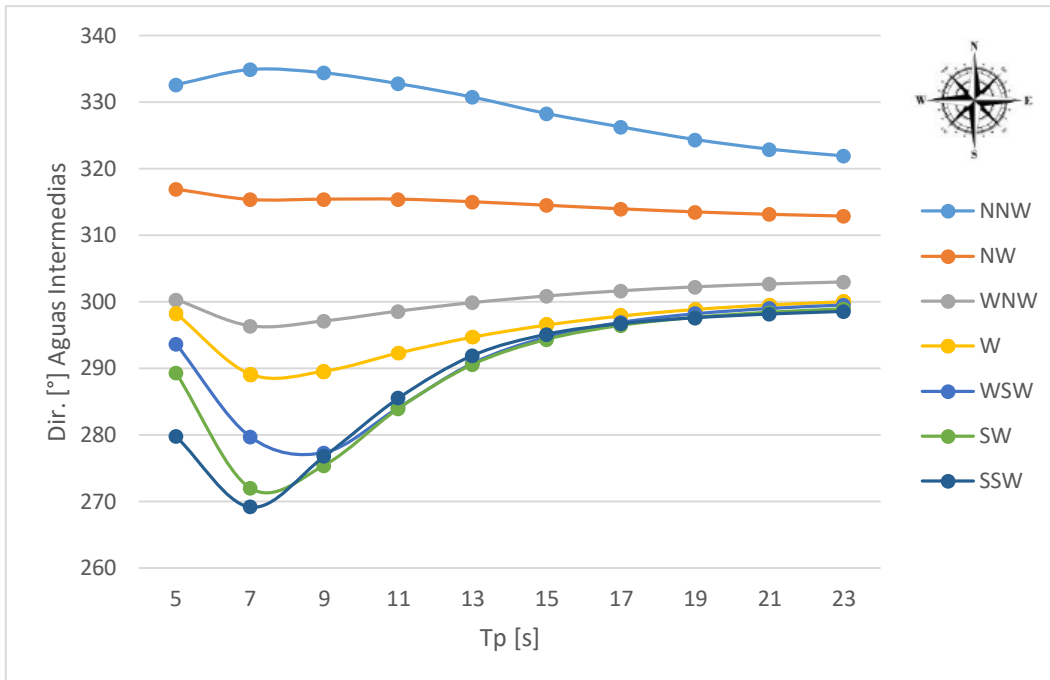


Figura 6-9 Funciones de transferencia de direcciones
Fuente: Elaboración propia

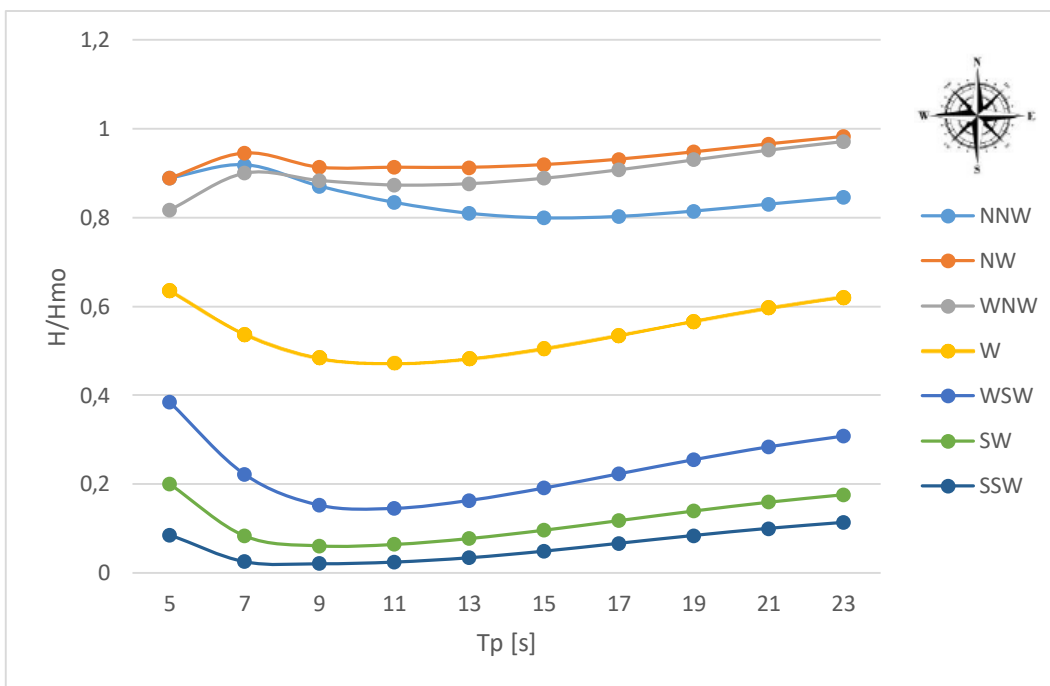


Figura 6-10 Funciones de transferencia para la altura significativa
Fuente: Elaboración propia

6.7 CLIMA EXTREMO EN NODO

Se utiliza la misma metodología que en capítulo 6.5 para el estudio del clima extremo en el nodo.

En la Tabla 6-8 presentan los resultados obtenidos de las distribuciones, donde la que posee mayor altura significativa para todos los periodos de retorno corresponde al tipo de distribución Gumbel con probabilidad de ploteo Gringorten, presentando un ajuste de 97,34% (el mejor ajuste adimensional) (revisar Anexo 13.3)

En la Figura 6-11 se observa el clima extremo con bandas de confianza desde el 80% hasta el 99% para cada una de los eventos seleccionados.

Tabla 6-8 Resultados análisis clima extremo en nodo

Período de retorno [años]	Petrauskas	Gringorten	Goda
	Altura significativa [m]		
2	3.65	3.62	4.22
5	4.37	4.30	4.77
10	4.77	4.75	5.12
25	5.23	5.32	5.53
50	5.53	5.75	5.80
100	5.80	6.17	6.06

Fuente: Elaboración propia

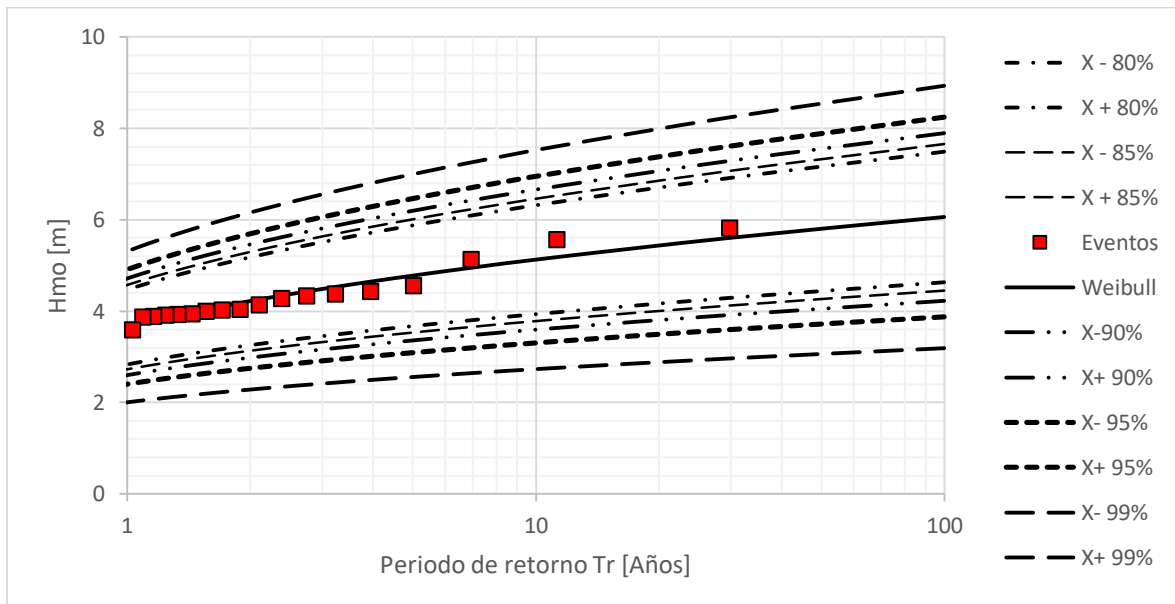


Figura 6-11 Oleaje extremo en nodo

Fuente: Elaboración propia

6.8 ESTUDIO DE MAREA

A continuación se presenta el estudio de marea, el cual se utiliza en el capítulo 8 para el diseño del espigón de la alternativa N°2 descrita en el capítulo 7. Los datos de marea no fueron utilizados para las modelaciones numéricas con MIKE, aunque no se descarta su importancia en la hidrodinámica. Por otro lado las corrientes de marea producidas por efecto de la marea son de poca magnitud, del orden de 6.6 cm/s a $3,6 \text{ cm/s}$ según un estudio realizado en la bahía de Valparaíso en donde se midieron corrientes en la bahía de Valparaíso (Figura 6-12) con correntómetros (INGEMAR, 1996).

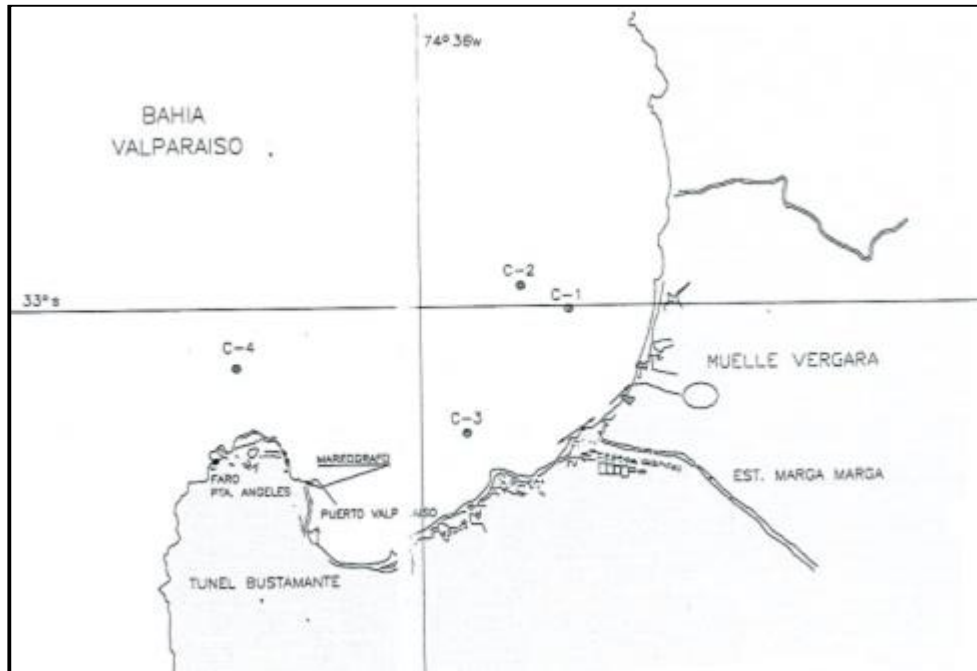


Figura 6-12 Medición de corrientes bahía de Valparaíso
Fuente: INGEMAR (1996)

6.8.1 ANÁLISIS ARMÓNICO

Para realizar el análisis armónico a través del método de T_Tide, primero se ubicaron las coordenadas del nodo de extracción de datos de desnivelaciones, ya que en la programación se solicita la latitud del punto a analizar (Tabla 6-9).

Tabla 6-9 Coordenadas de la ubicación de la estación

Estación	Latitud	Longitud
Valparaíso	-33.02731S	-71.62594O
	33° 1.639'S	71° 37.556'O

Fuente: Elaboración propia

Los datos fueron obtenidos desde el sitio web <http://www.ioc-sealevelmonitoring.org/list.php> y corresponden a datos tomados cada un minuto de todo el mes de Enero del 2016.

En la Tabla 6-10 se presentan los períodos de los cinco constituyentes más importantes de la marea astronómica (USACE, 2003). Según el factor de forma $F = 0,54$ (Capítulo 4.12.2) el régimen de marea de la Bahía de Valparaíso es de carácter semi diurno; esto se traduce en un comportamiento diario de dos pleamares y dos bajamares con distinta amplitud.

Tabla 6-10 Amplitudes y periodos de los cinco armónicos más importantes

Constituyente	Amplitud [m]	Periodo [hr]
M2	0,431	12,421
K1	0,200	23,934
S2	0,135	12,000
O1	0,106	25,819
N2	0,080	12,658

Fuente: Elaboración propia

6.8.2 ANÁLISIS NO ARMÓNICO

Para el análisis no armónico de mareas se utilizó como base la publicación 3202 del SHOA "Instrucciones Oceanográficas N°2, Método oficial para el cálculo de los valores no armónicos de la marea". En esta publicación se indican los valores no armónicos de la marea y se detalla el procedimiento de cálculo para cada uno de ellos.

Para efectos de esta memoria, sólo se calcularon los planos de referencia de la marea, los que corresponden a los diferentes niveles que alcanza la marea durante el período de observación con respecto a un plano arbitrario definido por el cero instrumental. Los resultados obtenidos mediante este análisis se presentan en la Tabla 6-11.

Tabla 6-11 Planos de referencia de la marea

Nivel Medio de la Marea	0,68 [m]
Nivel Medio del mar	0,69 [m]
Altura Media de la Pleamar	1,14 [m]
Altura Media de la Pleamar más Alta	1,28 [m]
Altura Media de la Bajamar	0,23 [m]
Altura Media de la Bajamar más Baja	0,18 [m]
Nivel de Reducción de Sonda	0 [m]

Fuente: Elaboración propia

El nivel de referencia utilizado para la modelación numérica corresponde al nivel de reducción de sonda.

6.9 ZONIFICACIÓN DEL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

Para zonificar el transporte de sedimentos en Recreo, se calculó el parámetro HS0.137, el cual corresponde a la altura significativa que es superada doce horas al año en un registro de oleaje. Mediante las formulaciones del capítulo 4.11.1 y el capítulo 0 se determinó la profundidad activa y de cierre, por lo que los resultados se presentan a continuación:

$$HS0.137 = 3.41 \text{ [m]}$$

$$\text{Profundidad activa} = 5.56 \text{ [m] Birkemeier}$$

$$\text{Profundidad activa} = 7.29 \text{ [m] Hellermeier}$$

$$\text{Profundidad activa} = 4.37 \text{ [m] Houston}$$

$$\text{Profundidad de cierre} = 11.93 \text{ [m]}$$

6.10 APORTES SEDIMENTARIOS EN LA BAHÍA DE VALPARAÍSO

En la Figura 6-13 se observa que las principales fuentes sedimentarias en la costa corresponde al estero Marga Marga y un menor grado el estero Reñaca. Ambos esteros son responsables de la formación de playas en la bahía de Valparaíso. Al Norte de la desembocadura del estero Marga Marga se conformó una extensa playa que llega hasta Punta Osas. También vale mencionar que al Norte del estero Reñaca se desarrolló una playa de larga extensión. Ambas playas se constituyen por arenas rubias provenientes de cuencas costeras (Cartes Zurita, 2005).



Figura 6-13 Bahía de Valparaíso, Puntas y Esteros
Fuente: Elaborado a partir de Google Earth (2017)

En la bahía de Valparaíso existe una gran variedad de quebradas¹⁰ que conforman cauces de agua variantes dependiendo de la estación del año, debido a que coinciden también al ser los receptores de aguas lluvias que escurren por las laderas de los cerros. Esta red de quebradas y cerros, constituyen la ciudad, la que de acuerdo al Plan Maestro de Aguas Lluvias de Valparaíso, se distribuyen en ocho cuencas hidrográficas que fluyen hacia la costa¹¹ (Barrales Guzmán, 2017). Los aportes sedimentarios de estas quebradas conforman playas menores, entre las cuales se puede nombrar las Caletas Membrillo, Portales, Abarca, Salinas y Cochoa (Cartes Zurita, 2005).

Respecto al aporte de arena en la bahía, no existe evidencia de sedimentos andinos más finos y grisáceos. Esto demuestra que las playas conformadas en la bahía de Valparaíso solo reciben aportes de la cordillera de la costa a diferencia de Con Con por el Norte y Llo Lleo por el Sur, las cuales reciben sus aportes sedimentarios de cuencas andinas (río Maipo por el Sur y Aconcagua por el Norte) (Cartes Zurita, 2005).

¹⁰ Paso estrecho entre montañas que conforma una especie de lago

¹¹ Argentina, Francia, Las Heras, Uruguay, Bellavista, Melgarejo, Tomás Ramos y Clave

6.11 TAMAÑO SEDIMENTO

Para conformar la tabla de sedimentos utilizada en MIKE 21 ST, se consideraron datos sedimentarios (Tabla 6-12) cercanos a la zona de estudio (Figura 6-14), estos corresponden al sector de Playa Caleta Abarca, en donde se trazaron dos líneas de toma de muestras. Estos datos fueron obtenidos desde la memoria de título “Caracterización de respuesta de playa ante eventos extremos de oleaje: Playa Reñaca-Caleta Abarca. Región de Valparaíso, Chile” (Gálvez, 2017).



Figura 6-14 Puntos de extracción de muestras
Fuente: Gálvez (2017)

Tabla 6-12 Ficha granulométrica, sector A-B, Playa Caleta Abarca.

Sector A-CA1				Sector A-CA2			
Tamiz [mm]	Retenido		% Pasante	Tamiz [mm]	Retenido		% Pasante
	Masa [gr]	% Aproximado			Masa [gr]	% Aproximado	
N°4	-	-	100	N°4	-	-	100
N°10	-	-	100	N°10	1.6	0.3	99.7
N°40	283	41	54.5	N°40	356.7	57	43.2
N°200	333.7	58	0.9	N°200	263.3	42	1
N°230	5.5	0.9		N°230	9.3	1	
Total	622.2	100		Total	630.9	100	

Sector A-CA3				Sector B-CA4			
Tamiz [mm]	Retenido		% Pasante	Tamiz [mm]	Retenido		% Pasante
	Masa [gr]	% Aproximado			Masa [gr]	% Aproximado	
N°4	-	-	100	N°4	-	-	100
N°10	-	-	100	N°10	-	-	100
N°40	263.8	41	59	N°40	312.7	61.8	38.2
N°200	373.6	58	1	N°200	193.1	38.1	0.1
N°230	6.3	1		N°230	0.5	0.1	
Total	643.7	100		Total	506.3	100	

Sector B-CA5				Sector B-CA6			
Tamiz [mm]	Retenido		% Pasante	Tamiz [mm]	Retenido		% Pasante
	Masa [gr]	% Aproximado			Masa [gr]	% Aproximado	
N°4	-	-	100	N°4	-	-	100
N°10	-	-	100	N°10	-	-	100
N°40	348.8	55.1	44.9	N°40	292.5	44.1	55.9
N°200	279	44	0.9	N°200	365	55	0.9
N°230	5.6	0.9		N°230	6.2	0.9	
Total	633.4	100		Total	663.7	100	

Fuente: Gálvez (2017)

Luego de obtener la ficha granulométrica, se dio pasó a un ajuste no lineal mediante la herramienta Solver del software Microsoft Excel, el cual minimiza la sumatoria del error cuadrado entre el porcentaje que pasa (Y) y el porcentaje estimado que pasa (Ecuación 6-3), empleando los coeficientes observados en la Tabla 6-13.

$$Y_{estimado} = \frac{a}{1 + e^{b+cx}} + d \quad \text{Ecuación 6-3}$$

Donde:

$Y_{estimado}$: Porcentaje estimado que pasa
 a, b, c, d : Coeficientes
 x : Tamiz

Tabla 6-13 Ejemplo ajuste no lineal, Sector A-CA3

Caleta Abarca A-CA3						
Tamiz [mm]	Y	Y _{estimado}	(Y _{estimado} -Y)	(Y _{estimado} -Y) ²	Coeficientes	
4.74	100	99.999868	-0.00013199	1.74226E-08	a	100.768851
2	100	99.9998679	-0.00013212	1.74566E-08	b	4.96615417
0.42	59	59.0001308	0.00013084	1.71199E-08	c	-12.7216132
0.074	1	0.99992846	-7.1543E-05	5.11838E-09	d	-0.76898315
Suma de errores cuadráticos			>>>>>>>	5.71174E-08		

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente se calcularon con la Ecuación 6-4 los diámetros característicos d_{84}, d_{50}, d_{16} observados en la Tabla 6-14. Estos fueron utilizados en las simulaciones numéricas de transporte de sedimentos mediante MIKE 21 ST (capítulo 7.3.2).

$$X = \frac{\ln\left(\frac{a-y+d}{y-d}\right) - b}{c} \quad \text{Ecuación 6-4}$$

Donde:

y : Diámetro característico
 a, b, c, d : Coeficientes
 X : Diámetro característico calculado con interpolación no lineal

Tabla 6-14 Diámetros característicos

Diámetros característicos (y)	Interpolación no lineal [mm] (X)
95	0,62
84	0,52
75	0,48
50	0,39
25	0,31
16	0,26
5	0,17

Fuente: Elaboración propia

Para mayor información respecto a las curvas granulométricas y los minerales característicos de Playa Caleta Portales, dirigirse al Anexo 13.5.

7 MODELACIÓN DE ALTERNATIVAS

Las alternativas a evaluar en esta memoria de título competen a tres tipos, descritos a continuación:

Situación actual: corresponde a una situación idealizada del ex balneario Recreo, modelada con la información disponible obtenida de las cartas náuticas (ver capítulo 6.2) y en la cual solo se obtuvieron los resultados que se refieren a tensores de radiación y corrientes. No se evaluó el transporte de sedimento debido a que en esta condición no existen sedimentos de forma superficial, aunque no se descarta la existencia de sedimentos en el fondo (ver capítulo 4.2).

En lo que respecta a la idealización del lugar, se eliminaron los escombros correspondientes a la piscina presente en la batimetría original (Figura 7-1).

Alternativa con relleno de arena (N°1): Solución blanda que consta de un banco de arena en forma alargada aproximadamente de 300 [m] de longitud. Un esquema de esta se presenta en la Figura 7-1, en donde la concentración de sedimento se plantea entre playa Caleta Abarca y el ex balneario Recreo.

Alternativa con relleno de arena y estructura N°2: Compete a un híbrido entre una solución blanda y rígida. Se plantea un relleno similar a la alternativa N°1 y se incluye un espigón en el sector Sur de Recreo, tal como se observa en la Figura 7-1.

El espigón se incorporó de manera perpendicular a la costa para prevenir la posible acumulación de sedimentos en la dársena del sector Club de Yates de Recreo.

La posición de diseño real del espigón se detalla en el anexo 13.19, donde la dirección de flujo medio obtenida a 20 [m] de profundidad es de 297.4° .

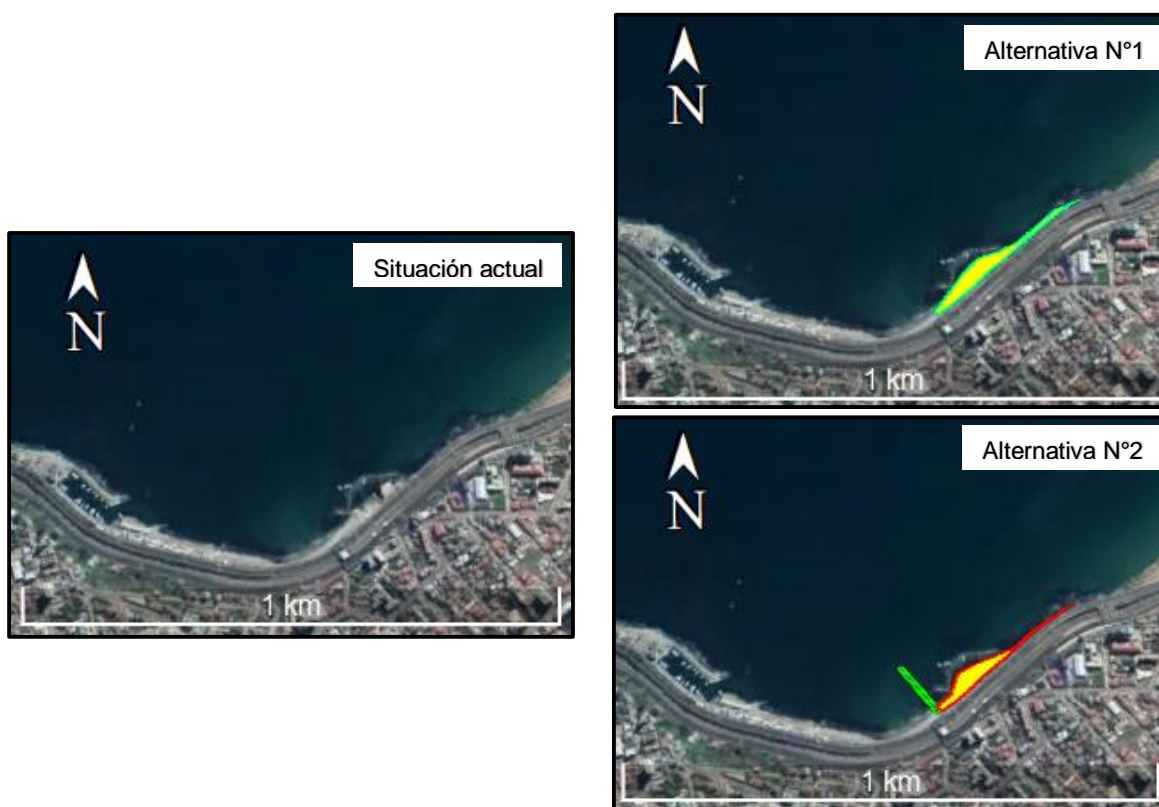


Figura 7-1 Situación actual y alternativas de solución, Recreo
Fuente: Elaboración propia

7.1 CASOS DE MODELACIÓN

Tal como se explica en el capítulo 5 , se consideró la situación actual y dos alternativas de solución. Se estudiaron cinco casos diferentes de modelación, donde cuatro de estos casos se definieron a partir del clima medio en aguas profundas descrito en el capítulo 6.4 (casos con mayor frecuencia) y uno a partir del clima extremo en aguas profundas explicado en el capítulo 6.5. Dichos casos se presentan en la Tabla 7-1:

Tabla 7-1 Casos modelación

<i>Caso</i>	H_s	T_p	Dir°
1	7	14	315
2	2	11	225
3	3	13	225
4	2	11	247,5
5	3	13	247,5

Fuente: Elaboración propia

7.2 MALLA SW

La malla batimétrica que se utilizó para modelar la situación actual corresponde a la presentada en el capítulo 6.3. Para modelar las alternativas N°1 y N°2 se realizaron las modificaciones en la batimetría y se presentan en la Figura 7-2, donde se observa que el tamaño de los elementos es similar debido a que en ambas se aplicaron los mismos criterios de áreas de cambio en cada polígono.

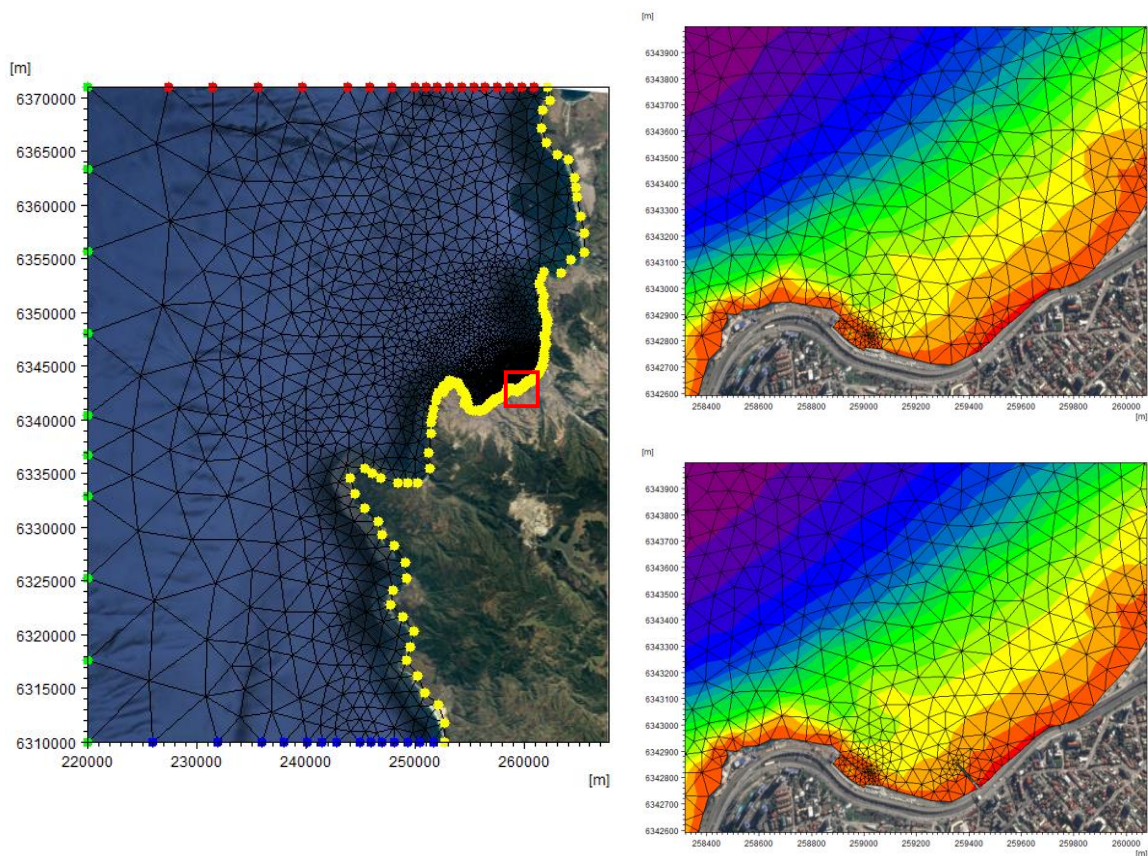


Figura 7-2 Malla Flexible, alternativa N°1 (arriba derecha) y N°2 (abajo derecha)

Fuente: Elaboración propia

Si bien es cierto que el tamaño de los elementos es similar, los nodos poseen distintos valores, debido al relleno de sedimento en la alternativa N°1 y la inclusión del espigón en la alternativa N°2, implicando de esta manera una leve modificación en la interpolación batimétrica. Ello aumenta la cantidad de nodos y elementos triangulares.

Al igual que en capítulo 6.3 se realizó un análisis estadístico de las mallas batimétricas, el cual se presenta a continuación.

Tabla 7-2 Información malla batimétrica, SW alternativa N°1 y N°2

Información	Situación actual	Alternativa N°1	Alternativa N°2
N° de nodos	3193	3192	3205
N° de elementos	6096	6094	6109
Ángulo mínimo [°]	26,42	26,42	26,42
Ángulo máximo [°]	59,95	59,95	59,93
Área elemento menor [m^2]	7,51	7,51	7,64
Área elemento mayor [m^2]	28605610	28605610	28605610
Profundidad mínima [m]	-1	+2	+2
Profundidad máxima [m]	-2388	-2388	-2388

Fuente: Elaboración propia

7.2.1 CONFIGURACIÓN MODELO SW

Para obtener los tensores de radiación, se utilizó el modelo numérico MIKE 21 SW (ver capítulo 4.13.2), con las batimetrías descritas en el capítulo 7.2 y parámetros de oleaje a modo de forzante. No se consideró viento.

Por otro lado, las condiciones de borde indicadas en la Figura 7-2, consideran el borde Oeste en color verde como un borde abierto. En este se ingresaron parámetros de oleaje según los casos de modelación vistos en el capítulo 7.1. Los bordes Sur y Oeste se consideraron abiertos para los casos operacionales debido a que provienen del tercer cuadrante, en cambio para el caso extremo (dirección 315°), el borde Sur se consideró cerrado y Norte abierto.

El borde Norte se consideró como abierto para el caso N°1. Para el resto se configuró como condición lateral. Finalmente el borde Este observado en amarillo (línea de costa) se consideró como cerrado, lo que implica que la energía es absorbida y desaparece del modelo.

Los parámetros forzantes corresponden a la altura significativa, dirección media, periodo peak y spreading direccional; este último se consideró en base a la información del Atlas de Oleaje.

El tiempo de simulación se determinó en tres días (máxima duración de una tormenta), considerando un timestep de N°144 y el intervalo de timestep de 1800 [s]. Este intervalo de tiempo se usó tanto para MIKE 21 SW como para MIKE 21 HD.

7.3 MALLA HD

La malla batimétrica utilizada para el cálculo de las corrientes en el modelo MIKE 21 HD corresponde a la misma utilizada en el capítulo 6.3; no obstante se recortó de tal manera que los gastos de recursos computacionales fueran menores y de esta forma optimizar los tiempos de modelado. La Figura 7-3 representa la resolución del mallado, utilizado para la situación actual y alternativa N°1. La Figura 7-4 presenta la batimetría para la alternativa N°2 con un acercamiento para hacer notar el espigón.

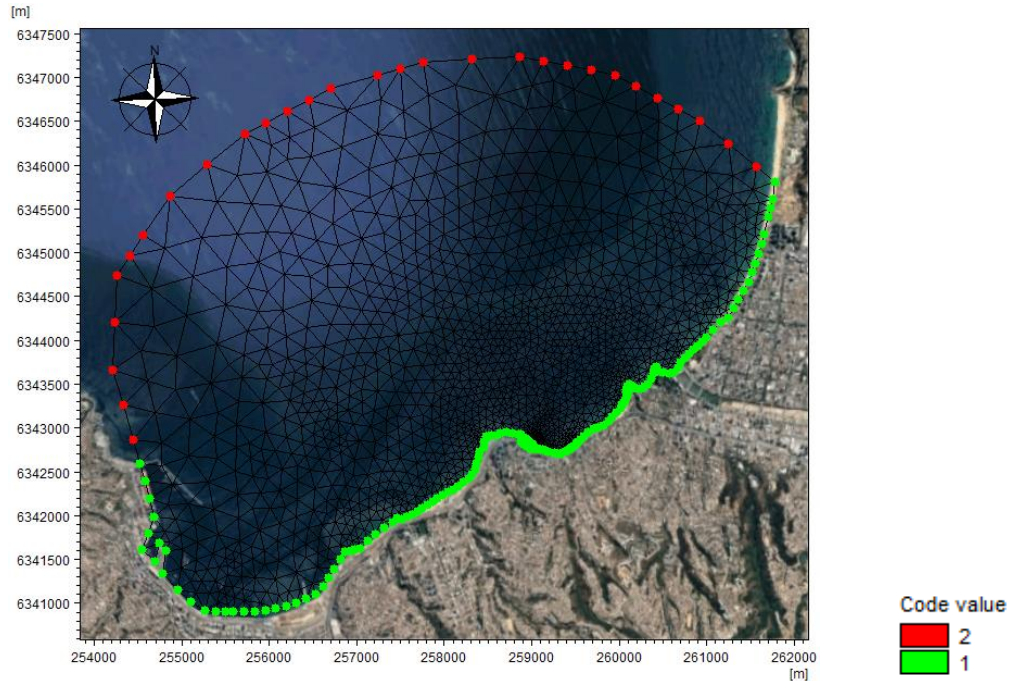


Figura 7-3 Resolución mallado usada en MIKE HD, situación actual y alternativa N°1
Fuente: Elaboración propia

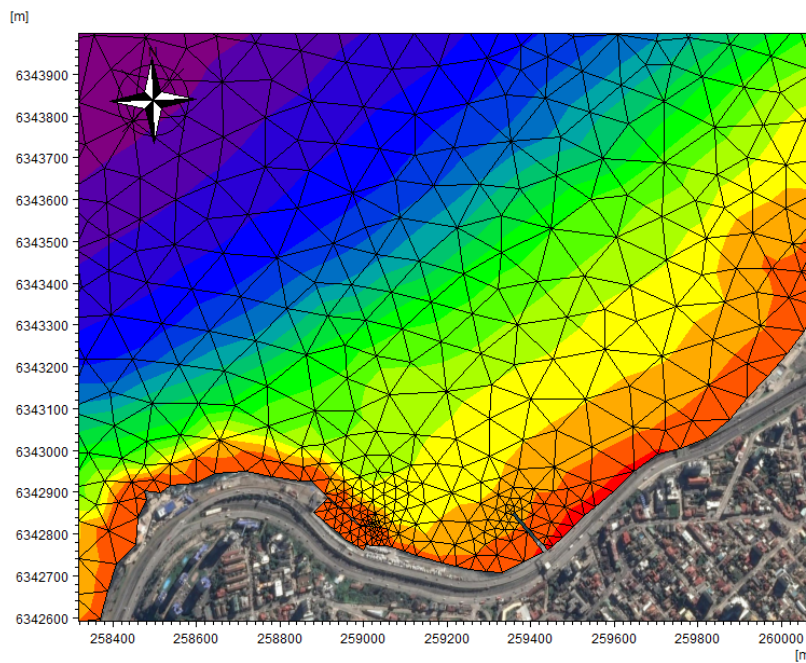


Figura 7-4 Resolución mallado usada en MIKE HD, alternativa N°2

Las mallas batimétricas se presentan en la Figura 7-5 y Figura 7-6, donde se observa un cambio en la batimetría (alternativa N°1 y N°2) en el sector de estudio en comparación a la situación actual.

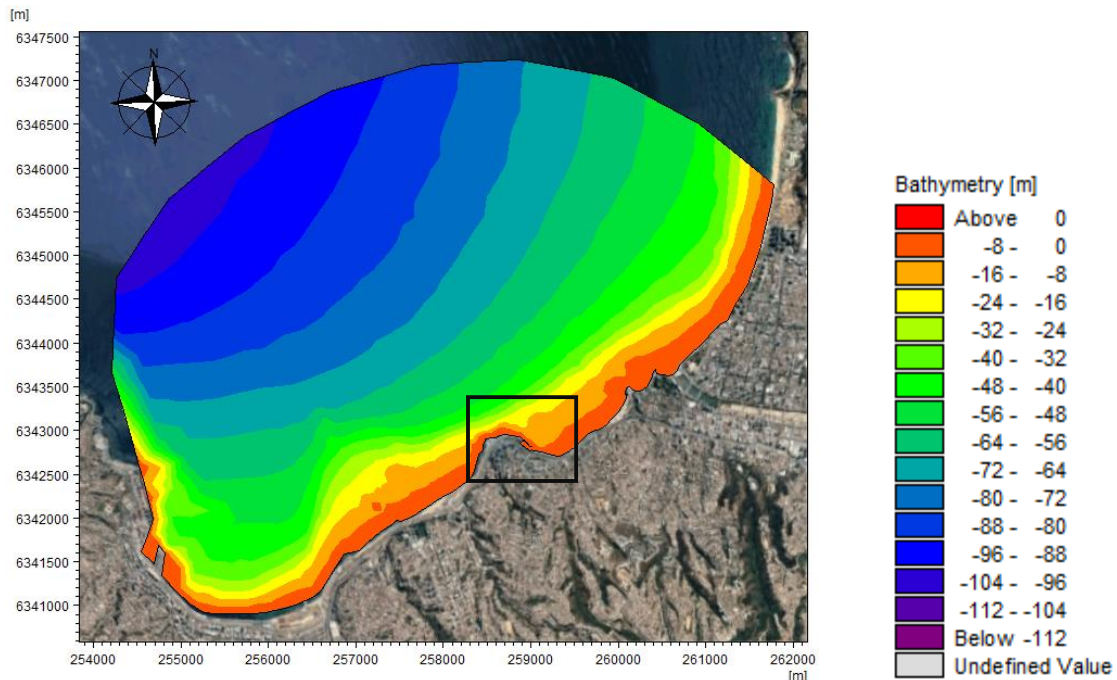


Figura 7-5 Malla batimétrica MIKE HD, situación actual
Fuente: Elaboración propia

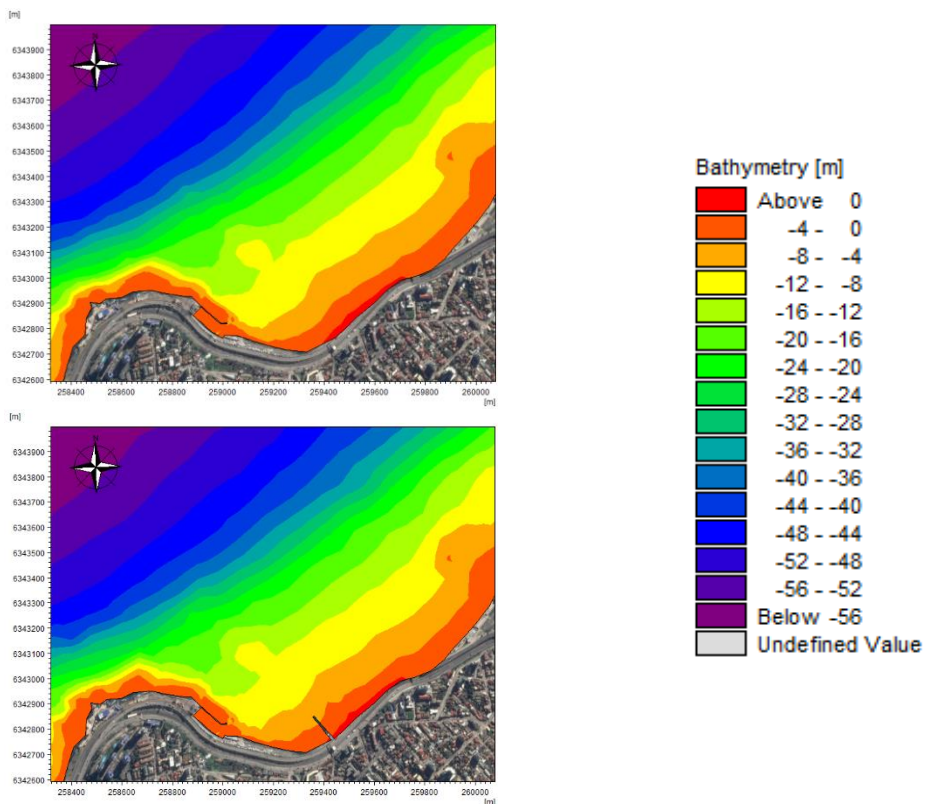


Figura 7-6 Malla batimétrica MIKE HD, alternativa N°1 (Arriba) y alternativa N°2 (Abajo)
Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, se realizó un análisis estadístico para las tres mallas batimétricas, incluido en la en la Tabla 7-3.

Tabla 7-3 Información malla batimétrica, MIKE HD

Información	Situación actual	Alternativa N°1	Alternativa N°2
N° de nodos	1454	1454	1465
N° de elementos	2702	2702	2718
Ángulo mínimo [°]	28,7	28,7	26,93
Ángulo máximo [°]	59,87	59,79	59,81
Área elemento menor [m^2]	7,39	7,39	7,43
Área elemento mayor [m^2]	122232,9	128052,7	128052,7
Profundidad mínima [m]	-1	+2	+2
Profundidad máxima [m]	-101,37	-101,37	-102

Fuente: Elaboración propia

7.3.1 CONFIGURACIÓN MODELO MIKE 21 HD

Los tensores de radiación obtenidos a partir del modelo MIKE 21 SW son la base para determinar las corrientes inducidas por oleaje en el ex balneario de Recreo. La configuración de este modelo es válida para la situación actual y las dos alternativas de solución estudiadas en esta memoria de título.

El número de Courant (CFL_{HD}) que se presenta en la Ecuación 7-1 se impone para cada elemento de la malla.

$$CFL_{HD} = (\sqrt{gh} + |u|) \frac{\Delta t}{\Delta x} + (\sqrt{gh} + |v|) \frac{\Delta t}{\Delta y} \quad \text{Ecuación 7-1}$$

El timestep debe ser inferior a la retención de un fenómeno al interior de cada elemento de la grilla, para así, generar la convergencia en el modelo. Este número debe ser menor a 1 (DHI, 2016); no obstante se configuró el modelo de forma conservadora, por lo que este valor no supera los 0,8.

El número de Manning¹² se consideró para un valor de 32 [$m^{1/3}/s$], valor que viene por defecto en MIKE HD. Este valor es constante para todo el dominio de la malla de simulación, representando un fondo de tipo uniforme (Woodward & Posey, 1941).

Para la viscosidad turbulenta se usó el modelo de Smagorinsky para la viscosidad de Eddy. Se consideró el valor por defecto de MIKE HD, que corresponde a 0,28.

Finalmente, las condiciones de borde de la malla batimétrica se presentan en la Figura 7-3, donde se representan dos bordes punteados de colores. El color rojo representa el borde offshore (ingreso del oleaje) el cual se configuró con un nivel específico de valor 0, debido a que solo se quiere representar las corrientes por oleaje tal como se describe en el capítulo 6.8. Por otro lado el borde amarillo corresponde a la línea de costa.

7.3.2 CONFIGURACIÓN MODELO MIKE 21 ST

Para obtener el transporte de sedimentos se utilizó el módulo 21 ST de MIKE. A modo de parámetros de entrada se ingresaron los campos de corrientes y oleaje analizados para cada alternativa, exceptuando la situación actual debido a que no existen sedimentos en el sector de estudio. También se utilizó la misma malla batimétrica confeccionada para el modelo hidrodinámico (ver capítulo 7.3).

Por otra parte, mediante la herramienta “Generation of Q3D Sediment Tables” de MIKE 21 Toolbox se generó una tabla de transporte de sedimentos a través de los parámetros de sedimentos más cercanos a la zona de estudio correspondientes a Playa Caleta Abarca (capítulo 6.11).

Se utilizaron diámetros de sedimento característico d_{50} de 0,39 [mm], d_{84} de 0,52 [mm] y d_{16} de 0,26 [mm], que comprenden al promedio de las muestras, por lo que se obtuvo una desviación geométrica (Ecuación 7-2) de 1,41. Se aplicó una porosidad de 40%.

$$\text{Desviación geométrica} = \sqrt{\frac{d_{84}}{d_{16}}} \quad \text{Ecuación 7-2}$$

¹² Este número sirve a modo de calibración del modelo hidrodinámico, su valor recomendado varía entre 20-40 [$m^{1/3}/s$], normalmente usado con un valor de 32 [$m^{1/3}/s$] si no hay información disponible (DHI, 2016).

7.4 RESULTADOS TENSORES DE RADIACIÓN

A continuación se presentan los campos de tensores de radiación para el caso extremo de los tres escenarios con sus respectivos componentes (S_{xx} , S_{xy} , S_{yy}), estos resultados se obtuvieron a través del modelo MIKE 21 SW.

Se observa en las figuras la alta energía que al ir aproximándose a la costa decae, debido a que al llegar a zonas con poca profundidad llega un punto en que las olas rompen y la energía se disipa de tal forma que se producen las corrientes litorales. Estos resultados se utilizaron como forzante para el modelo MIKE 21 HD, al igual que los obtenidos en los casos de clima medio observados en el anexo 13.10, anexo 13.11 y anexo 13.12.

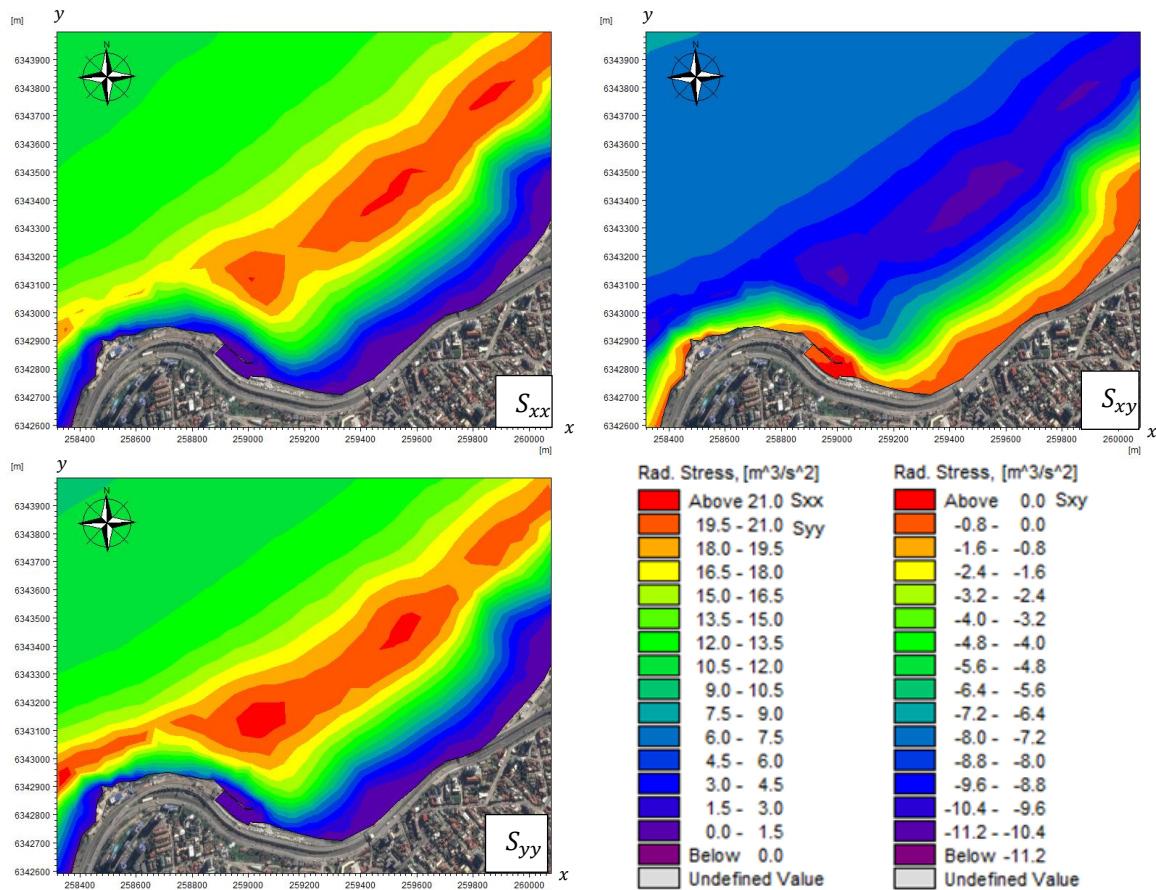


Figura 7-7 Tensores de radiación caso 1 ($H_s = 7$; $T_p = 14$; $Dir = 315$) S_{xx} , S_{xy} y S_{yy} situación actual
Fuente: Elaboración propia

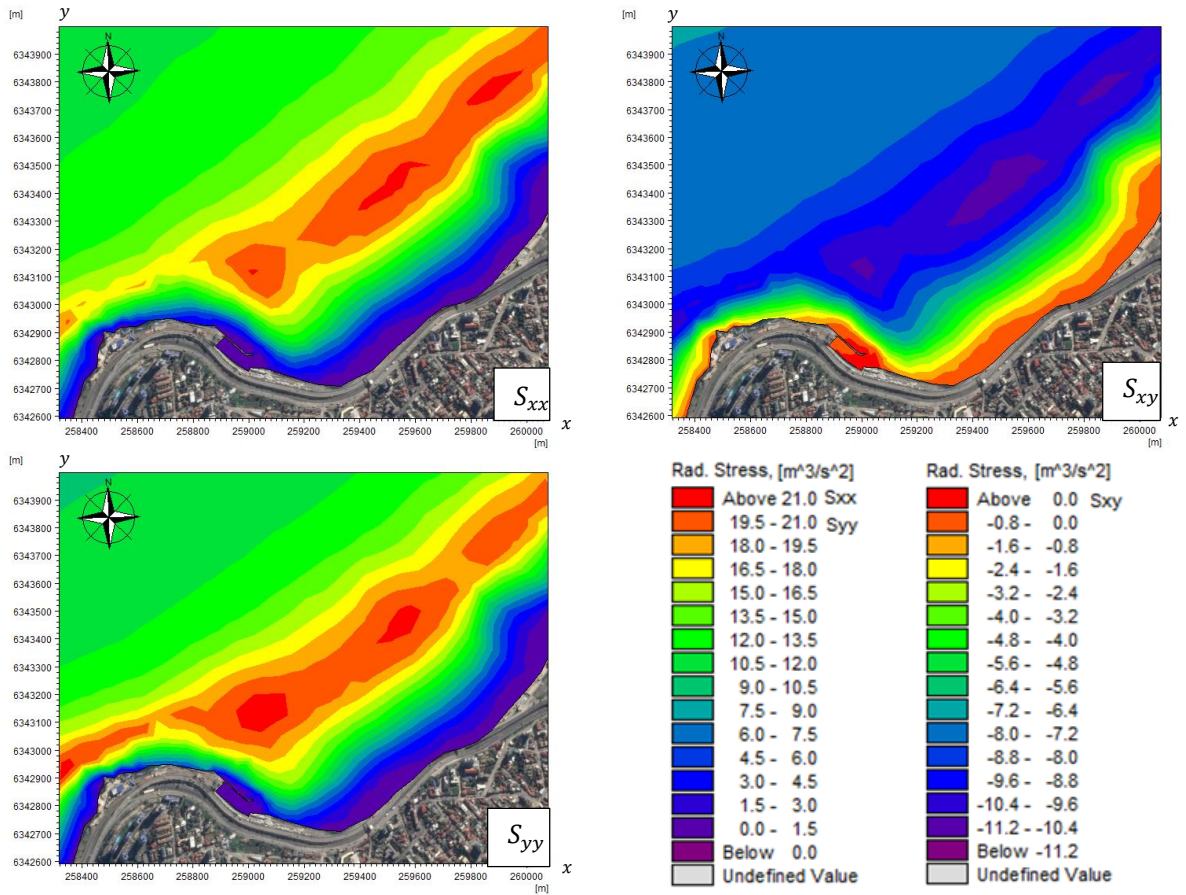


Figura 7-8 Tensores de radiación caso 1 ($H_s = 7$; $T_p = 14$; $Dir = 315$) S_{xx} , S_{xy} y S_{yy} alternativa N°1
Fuente: Elaboración propia

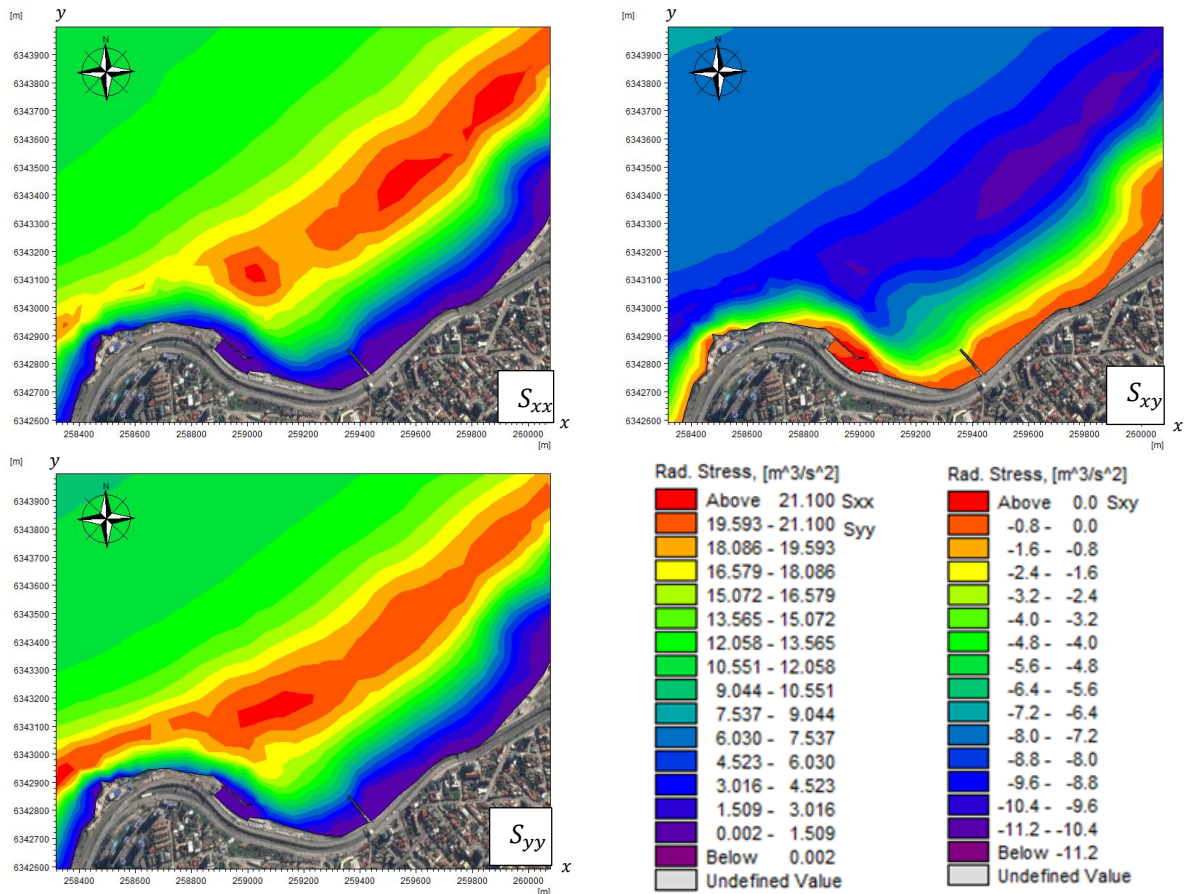


Figura 7-9 Tensores de radiación caso 1 ($H_s = 7$; $T_p = 14$; $Dir = 315$) S_{xx} , S_{xy} y S_{yy} alternativa N°2
Fuente: Elaboración propia

7.5 RESULTADOS CAMPO DE CORRIENTES

En base a los campos de tensores de radiación y la configuración descrita anteriormente, se obtuvieron los campos de corrientes bidimensionales en la zona de estudio mediante el uso de MIKE 21 HD FM.

En la Figura 7-10, Figura 7-11 y Figura 7-12 se presentan los resultados obtenidos para la situación actual y las dos alternativas de solución descritas anteriormente para el caso N°1 (clima extremo). Los resultados del resto de los casos (clima operacional) se presentan desde el Anexo 13.10 al Anexo 13.12.

Se aprecia que las corrientes para la situación actual y las dos alternativas de solución tienen una trayectoria de Norte a Sur, en donde las mayores magnitudes se presentan en los roqueríos del Club de Yates de Recreo (debido a su pronunciada pendiente de fondo) con un valor que sobre pasa los 2.22 m/s . Por otro lado, las magnitudes en el sector de estudio bordean 0.7 m/s para la situación actual, mientras que la alternativa N°1 denota un incremento en la velocidad debido al relleno de arena y por último la alternativa N°2 provoca un estrangulamiento de las corrientes en el sector del cabezo del espigón, generando una sombra en el sector Sur de la estructura, donde disminuye la magnitud de las corrientes.

En las tres modelaciones numéricas se forma una turbulencia en el comienzo de Recreo, en la alternativa N°2 se puede apreciar está en el sector Sur de la estructura.

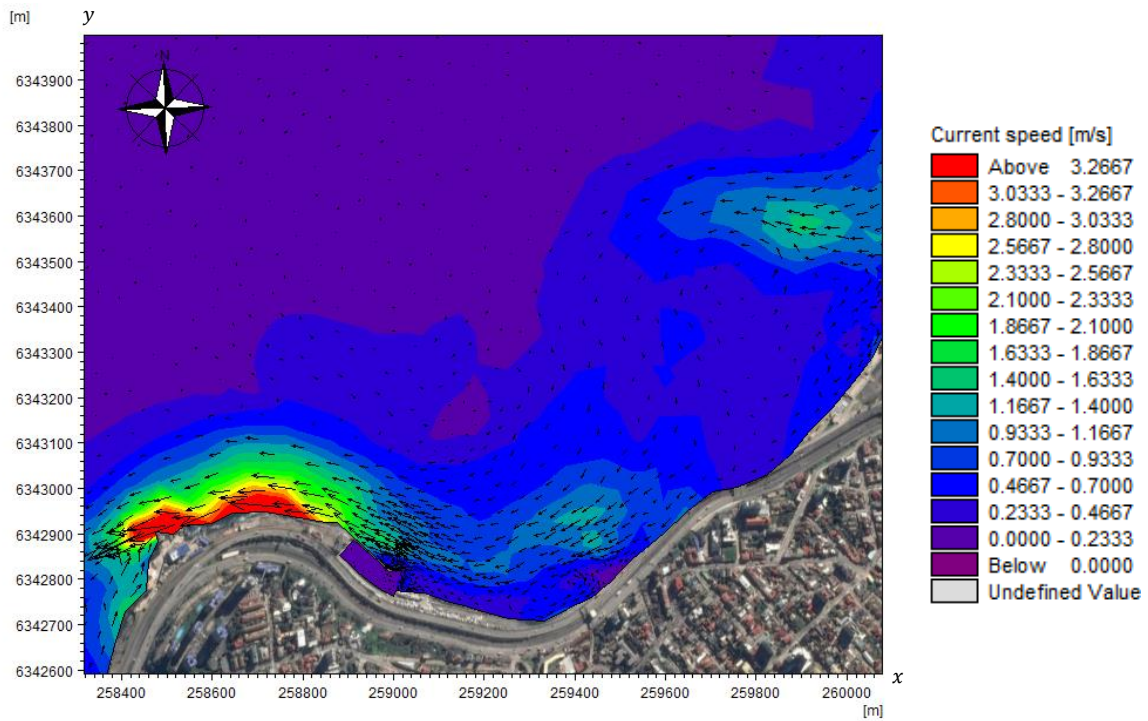


Figura 7-10 Corrientes caso 1 ($H_s = 7$; $T_p = 14$; $Dir = 315$), situación actual
Fuente: Elaboración propia

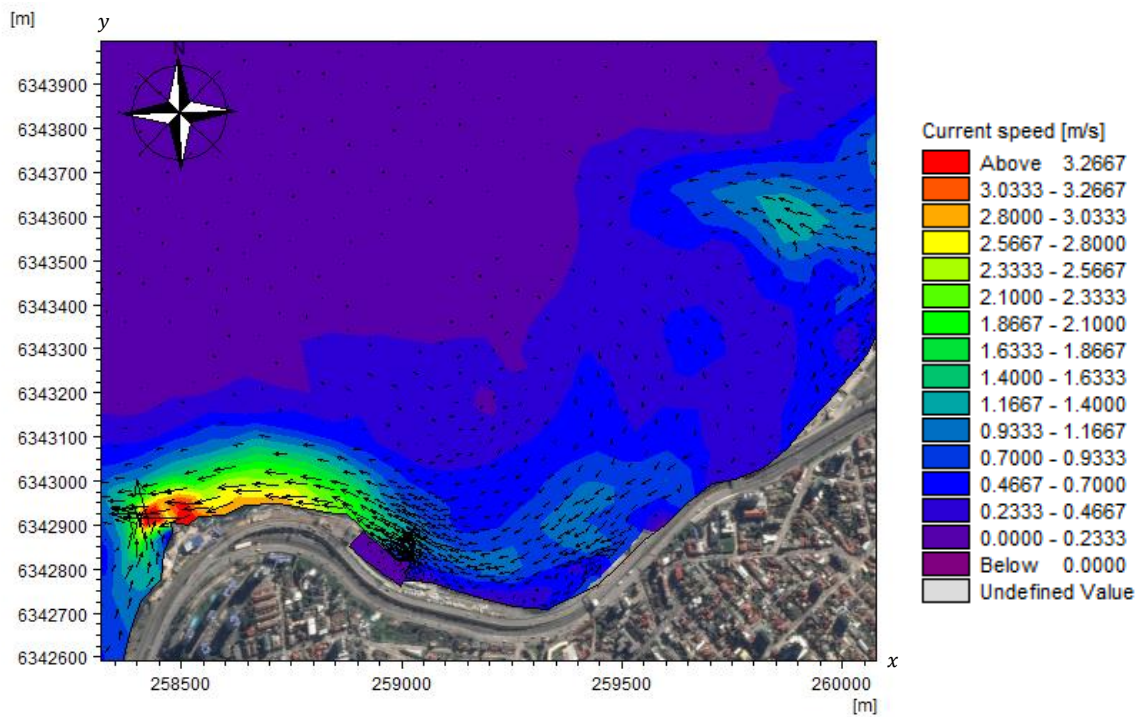


Figura 7-11 Corrientes caso 1 ($H_s = 7$; $T_p = 14$; $Dir = 315$), alternativa N°1
Fuente: Elaboración propia

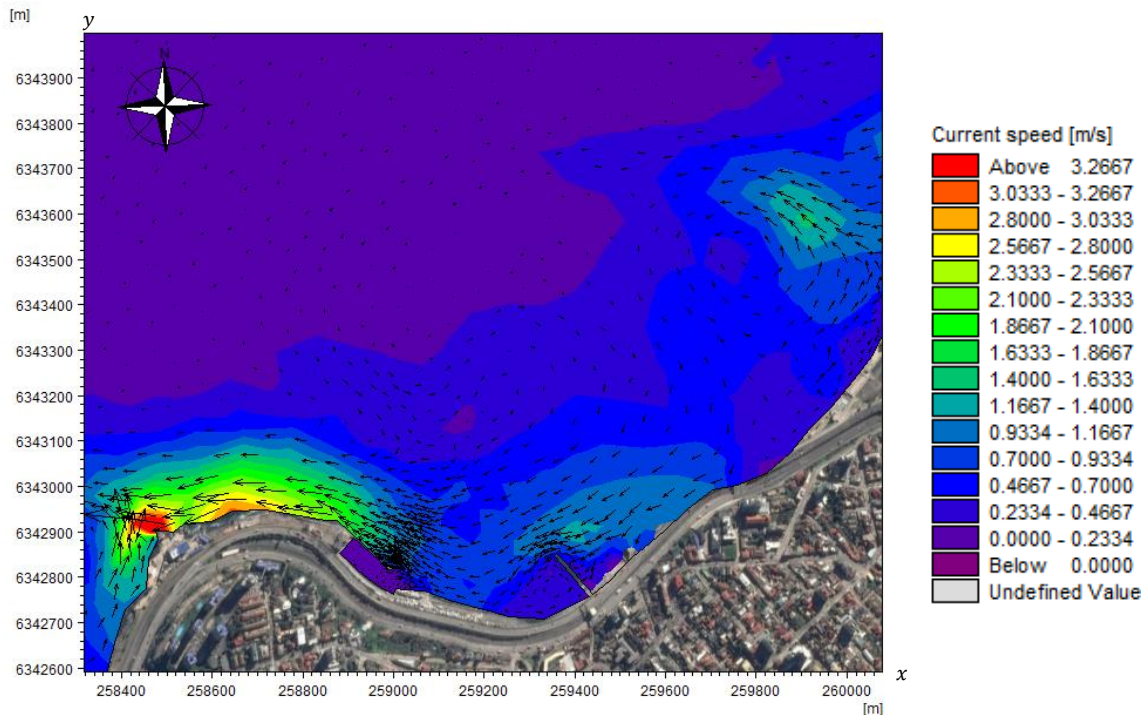


Figura 7-12 Corrientes caso 1 ($H_s = 7$; $T_p = 14$; $Dir = 315$), alternativa N°2
Fuente: Elaboración propia

7.6 RESULTADOS TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

Mediante las salidas del software MIKE 21 HD y SW correspondientes al campo de corrientes y el campo de oleaje se obtuvieron los campos de transporte de sedimentos observados en la Figura 7-13 y Figura 7-14. Se obtuvo una carga total (en rojo) de $2.5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ para el caso de clima extremo. Los resultados de los casos operacionales se encuentran en el anexo 13.13 y 13.14.

Se observa que existe una disminución del transporte potencial para la alternativa N°2 en el sector Sur correspondiente a $1.5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$, lo que conlleva una acumulación de sedimentos en el sector Norte del espigón, en contraste a la alternativa N°1 donde se observa un transporte potencial continuo de $2.5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$.

La disminución de la carga total en la alternativa con espigón se produce debido a la disminución de la magnitud de las corrientes hidrodinámicas en el sector Sur del espigón, producido por la difracción que produce la estructura por la incidencia de las olas provenientes de la dirección NW.

Por otro lado se realizó el cálculo de transporte longitudinal de sedimentos con las formulaciones CERC y Queens (Anexo 13.18) y se obtuvo un transporte neto de $3.37 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ (CERC) y $3.65 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ (Queens). Ambos resultados son de órdenes de magnitud comparables al modelo numérico.

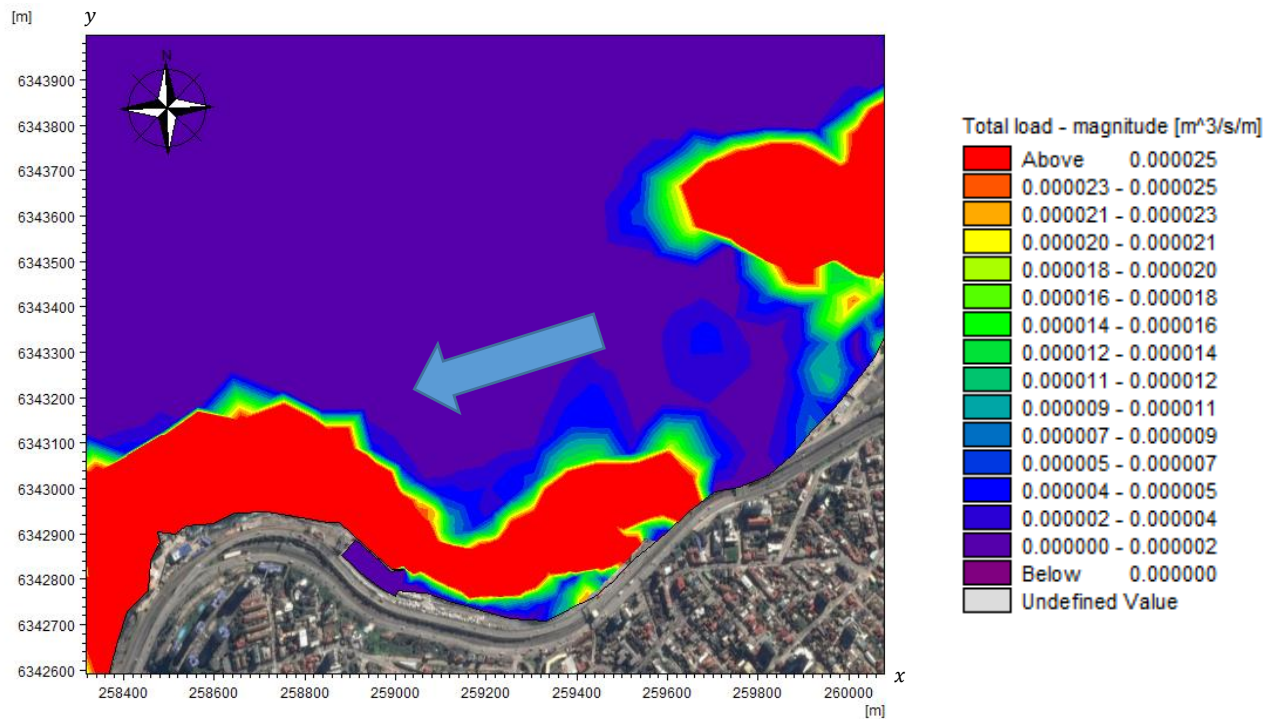


Figura 7-13 Transporte de sedimentos alternativa N°1, caso 1 ($H_s = 7$; $T_p = 14$; $Dir = 315$)

Fuente: Elaboración propia

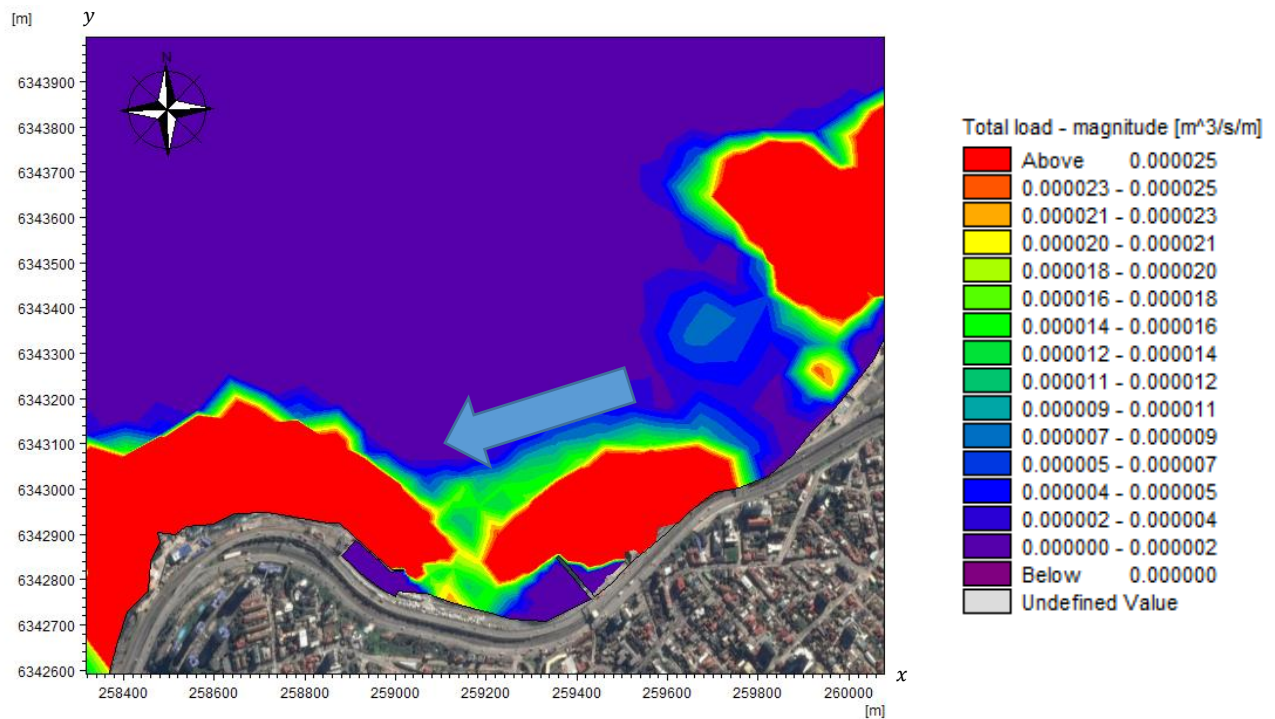


Figura 7-14 Transporte de sedimentos alternativa N°2, caso 1 ($H_s = 7$; $T_p = 14$; $Dir = 315$)

Fuente: Elaboración propia

7.7 RESULTADOS PERFIL

Luego de obtener los resultados del transporte de sedimentos para las alternativas N°1 Y N°2, se procedió a realizar una extracción de diez perfiles (discretizados cada un [m] horizontal para una mayor definición al momento de graficar) con la herramienta "Data Extraction FM" de MIKE Zero, los cuales se observan en la Figura 7-15 y Figura 7-16. Estos perfiles cuentan con un largo horizontal de 300 [m] iniciando en la costa y finalizando en la profundidad de cierre. La distancia entre perfiles es de 40 [m] desde P1 a P7, mientras que de P7 a P10 la distancia corresponde a 25 [m] a modo de observar si existe algún cambio significativo en dicho tramo. La grafica de los perfiles referentes al clima extremo para ambos escenarios se encuentra en el anexo 13.15.

El ancho de playa inicial para ambas alternativas, se presenta en la Tabla 7-4. La diferencia que existe entre ambos es debido a que la interpolación realizada por Mike Zero cambia con la inclusión del espigón en la malla batimétrica.

Tabla 7-4 Ancho de playa inicial para cada perfil [m]

Alternativa	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
N°1	22	25	25	19	14	12	12	12	0	0
N°2	18	27	24	18	13	7	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia

Para ambas alternativas, los casos respecto al clima operacional no presentan mayor cambio respecto al ancho de playa. Los casos de clima extremo, en contraste, presentan erosión/acreción en la gran mayoría de sus perfiles. Para la alternativa sin estructura se presenta una mayor erosión correspondiente a 10 [m] en total. Por otro lado, la alternativa con espigón solo sufre una erosión de 5 [m] en la suma de todos sus perfiles, por lo que esta alternativa se comporta de manera más favorable ante eventos extremos provenientes del NW. Estos resultados se observan en la Tabla 7-5.

Posteriormente, se calculó el área de cada perfil mediante la creación de archivos script¹³ utilizados en AutoCAD. Luego de obtener los valores se procedió a calcular el volumen de sedimento entre perfiles utilizando la Ecuación 7-3. Dando como resultado un volumen total de 36.718 [m³]

$$V_{ab} = \frac{a_a + a_b}{2} D \quad \text{Ecuación 7-3}$$

Donde:

- V : Volumen de sedimento
- D : Distancia entre perfiles
- a_a : Área perfil a
- a_b : Área perfil b

¹³ Script: Archivo de procesamiento de datos por lotes.

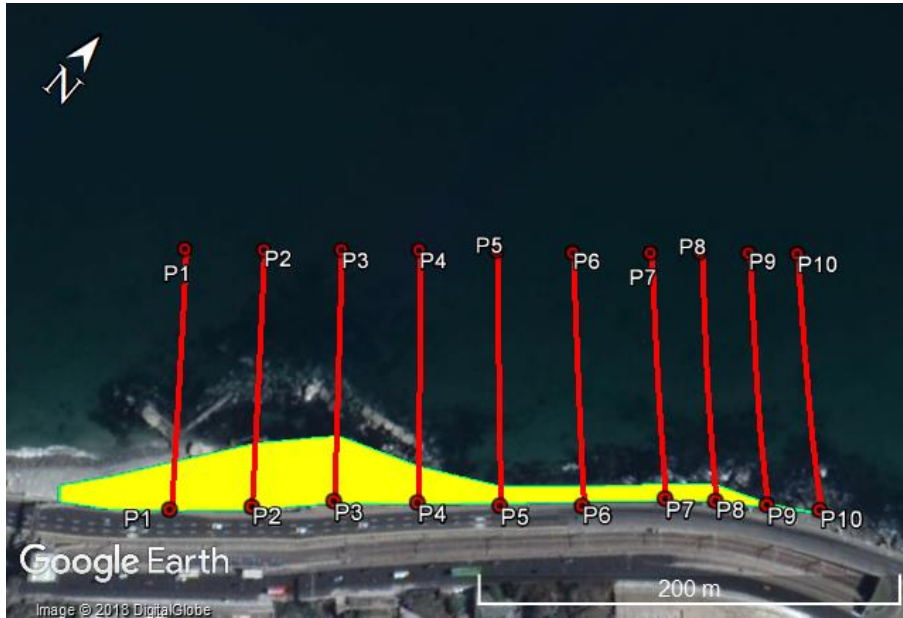


Figura 7-15 Perfiles alternativa N°1
Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth



Figura 7-16 Perfiles alternativa N°2
Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth

Tabla 7-5 Resumen erosión/acreción – ancho de playa para cada perfil [m]

Alternativa	Caso	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
Sin estructura	1	1	1	-6	-2	0	3	1	-2	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Con estructura	1	1	1	-1	-1	0	-3	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, en el sector del Club de Yates (ver Figura 7-17) se obtuvieron tres perfiles dentro de la dársena a modo de determinar si existe acreción de sedimentos, que pudiera dificultar las maniobras de las naves. Se concluye que no existe ningún cambio en la batimetría para las alternativas estudiadas. Los perfiles referentes al caso extremo para ambas alternativas se presentan en el anexo 13.16.

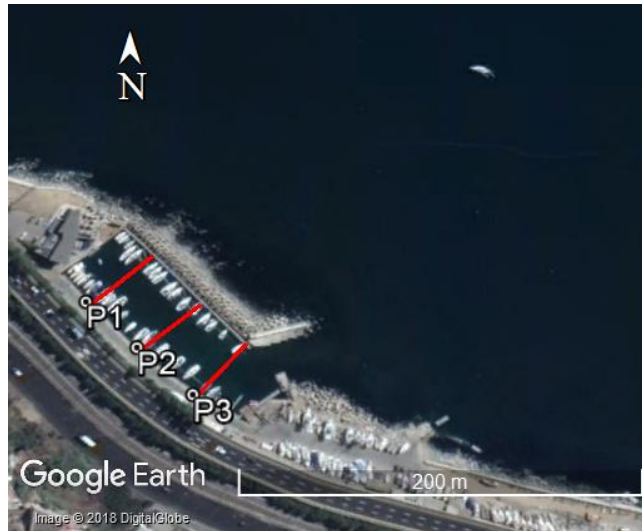


Figura 7-17 Club de Yates Recreo

Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth (2017)

8 DISEÑO ESPIGÓN

8.1 CRITERIOS DE DISEÑO

La vida útil se determina a partir del tiempo de servicio de la estructura (MOPU, 1990). Este cálculo se hizo a partir de la Tabla 8-1, la cual da recomendaciones de vida útil mínima en función del tipo de obra y los niveles de seguridad requeridos.

La estructura diseñada corresponde a una obra de carácter general. Se considera un nivel bajo de riesgo de pérdidas humanas (Nivel 1). Con ello se obtiene una vida útil de 25 años.

Tabla 8-1 Vida útil para obras o instalaciones

TIPO DE OBRA O INSTALACIÓN	NIVEL DE SEGURIDAD REQUERIDO		
	NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3
INFRAESTRUCTURA DE CARÁCTER GENERAL	25	50	100
DE CARÁCTER INDUSTRIAL ESPECÍFICO	15	25	50

LEYENDA:

INFRAESTRUCTURA DE CARÁCTER GENERAL:
Obras de carácter general: no ligadas a la explotación de una instalación industrial o de un yacimiento concreto.

DE CARÁCTER INDUSTRIAL ESPECÍFICO:
Obras al servicio de una instalación industrial concreta o ligadas a la explotación de recursos o yacimientos de naturaleza transitoria (por ejemplo, puerto de servicio de una industria, cargadero de mineral afecto a un yacimiento concreto, plataforma de extracción de petróleo...).

NIVEL 1:
Obras e instalaciones de interés local o auxiliar.
Pequeño riesgo de pérdidas de vidas humanas o daños medioambientales en caso de rotura.
(Obras de defensa y regeneración de costas, obras en puertos menores deportivos, emisarios locales, pavimentos, instalaciones para manejo y manipulación de mercancías, edificaciones...).

NIVEL 2:
Obras e instalaciones de interés general.
Riesgo moderado de pérdidas de vidas humanas o daños medioambientales en caso de rotura.
(Obras en grandes puertos, emisarios de grandes ciudades, ...).

NIVEL 3:
Obras e instalaciones de protección contra inundaciones o de carácter supranacional. Riesgo elevado de pérdidas humanas o daños medioambientales en caso de rotura.
(Defensa de núcleos urbanos o bienes industriales, ...).

Fuente: MOPU (1990)

El nivel de riesgo máximo admisible (Tabla 8-2) corresponde al inicio de averías o de destrucción total, dependiendo si la obra es de carácter flexible o rígida (MOPU, 1990).

La obra diseñada en esta tesis es de carácter flexible, por lo que se adopta un riesgo de iniciación de averías. También se considera que el riesgo de pérdidas humanas es reducido y que la repercusión económica en caso de inutilización de la obra es medio. Con ello, el riesgo se considera de un 30%.

Tabla 8-2 Tipos de riesgos admisibles

RIESGO DE INICIACIÓN DE AVERÍAS		POSIBILIDAD DE PÉRDIDAS HUMANAS	
		REDUCIDA	ESPERABLE
REPERCUSIÓN ECONÓMICA EN CASO DE INUTILIZACIÓN DE LA OBRA <i>Índice: $\frac{\text{Coste de pérdidas}}{\text{Inversión}}$</i>	BAJA	0,50	0,30
	MEDIA	0,30	0,20
	ALTA	0,25	0,15
RIESGO DE DESTRUCCIÓN TOTAL		POSIBILIDAD DE PÉRDIDAS HUMANAS	
		REDUCIDA	ESPERABLE
REPERCUSIÓN ECONÓMICA EN CASO DE INUTILIZACIÓN DE LA OBRA <i>Índice r: $\frac{\text{Coste de pérdidas}}{\text{Inversión}}$</i>	BAJA	0,20	0,15
	MEDIA	0,15	0,10
	ALTA	0,10	0,05
<p>Se adoptará como riesgo máximo admisible el de iniciación de averías o el de destrucción total según las características de deformabilidad y de posibilidad o facilidad de reparación de la estructura resistente.</p> <p>Para obras rígidas o de rotura frágil sin posibilidad de reparación se adoptará el riesgo de destrucción total.</p> <p>Para obras flexibles, semirrígidas o de rotura en general reparable (daños menores que un nivel prefijado función del tipo estructural) se adoptará el riesgo de iniciación de averías.</p> <p>En este tipo de obras podrá adoptarse también el riesgo de destrucción total, definiendo para cada tipo estructural el nivel de daños aceptado como de destrucción total. La acción resultante se considerará como accidental.</p>			
LEYENDA:			
<ul style="list-style-type: none"> • POSIBILIDAD DE PÉRDIDAS HUMANAS <ul style="list-style-type: none"> ○ Reducida: Cuando no es esperable que se produzcan pérdidas humanas en caso de rotura o daños. ○ Esperable: Cuando es previsible que se produzcan pérdidas humanas en caso de rotura o daños. • REPERCUSIÓN ECONÓMICA EN CASO DE INUTILIZACIÓN DE LA OBRA $\text{Índice } r: \frac{\text{Coste de pérdidas directas e indirectas}}{\text{Inversión}}$ <ul style="list-style-type: none"> ○ Baja: $r \leq 5$ ○ Media: $5 < r \leq 20$ ○ Alta: $r \geq 20$ 			

Fuente: (MOPU, 1990)

Se calculó el periodo de retorno (Ecuación 8-1) en base al riesgo (30%) y la vida útil (25 años), por lo que se obtiene un periodo de retorno de 70 años.

$$T_r = - \frac{L_f}{\ln(1 - R)}$$

Ecuación 8-1

Donde:

- L_f : Vida útil
- R : Riesgo
- T_r : Periodo de retorno

8.2 OLEAJE DE DISEÑO

El oleaje de diseño se cuantificó al pie de la obra, utilizando el método de Goda (2000), el cual propaga la altura significativa a través de efectos de shoaling y rotura para estructuras flexibles. Este método está desarrollado para alturas $H_{1/3}$ (Ecuación 8-2).

$$H_{1/3} = \begin{cases} K_s H_0 & : h/L_0 \geq 0.2 \\ \min\{\beta_0 H_0 + \beta_1 h, \beta_{max} H_0, K_s H_0\} & : h/L_0 < 0.2 \end{cases}$$

$$\beta_0 = 0.028(H_0/L_0)^{-0.38} e^{[20(\tan \theta)^{1.5}]}$$

$$\beta_1 = 0.52 e^{[4.2 \tan \theta]}$$

$$\beta_{max} = \max\{0.92, 0.32(H_0/L_0)^{-0.29} e^{[2.4 \tan \theta]}\}$$

Ecuación 8-2

Donde:

- $\beta_0, \beta_1, \beta_{max}$: Coeficientes no lineales de la formulación Goda
- K_s : Coeficiente no lineal obtenido a través del gráfico de Goda (Figura 8-1)
- H_0 : Altura significativa en aguas profundas

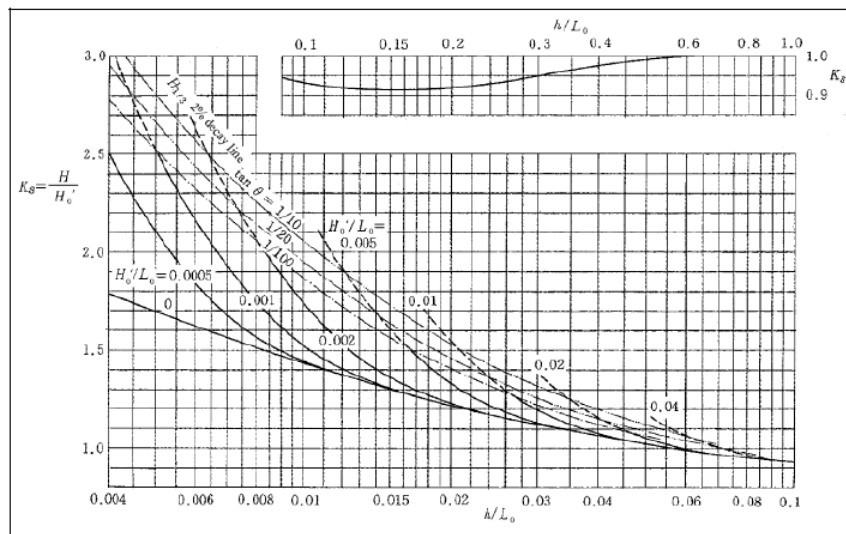


Figura 8-1 Coeficiente de Shoaling no lineal, diagrama de Goda
Fuente: Goda (2000)

Se propagó una altura significativa de diseño de $H_s = 5.8$ [m] asociada a un periodo de retorno de 70 años estimado en el capítulo 8.1.

La altura significativa se propagó a cuatro profundidades correspondientes al cabezo (A) y tronco del espigón (B, C y D), utilizando el promedio de las pleamares máximas calculadas en el capítulo 6.8 y el wave set-up (Ecuación 8-3) cuando la altura significativa alcanza el límite de rompiente (capítulo 4.8.4.2). Los resultados de dicha propagación se presentan en la Tabla 8-3.

$$\bar{\eta}_s = \bar{\eta}_b + \left[\frac{1}{1 + \frac{8}{3\gamma_b^2}} \right] h_b$$

Ecuación 8-3

Donde:

- $\bar{\eta}_s$: Wave set up
- $\bar{\eta}_b$: Wave set down
- h_b : Altura significativa rompiente
- γ_b : Índice profundidad de rotura

Tabla 8-3 Resumen propagación al pie de la obra

Propagación al pie	Profundidad al pie [m]	Promedio pleamares máximas [m]	Wave set-up [m]	Profundidad total al pie [m]	H_s al pie [m]
Cabezo A	-5.4	1.28	-	-6.68	5.16
Tronco B	-4.4	1.28	0.64	-5.68	4.52
Tronco C	-2.5	1.28	0.64	-3.78	3.31
Tronco D	-1	1.28	0.64	-2.28	2.36

Fuente: Elaboración propia

El wave set up se asume constante a lo largo de la rompiente a modo de facilitar los cálculos de los niveles de diseño.

8.3 DISEÑO ENROCADO

Para el diseño de los elementos de protección para el tronco y el cabezo del espigón, se procedió utilizando las formulaciones propuestas por Hudson (1974).

$$W = \frac{\rho_r H_s^3}{K_d \left(\frac{\rho_r}{\rho_w} - 1\right)^3 \cot \alpha} \quad \text{Ecuación 8-4}$$

Donde:

- W : Peso elemento de protección
- ρ_r : Densidad roca
- ρ_w : Densidad agua
- K_d : Constante de estabilidad de Hudson
- H_s : Altura significativa
- α : Angulo talud

Con esta expresión se determinó el peso de elementos prefabricados tipo Tetrápodos y roca de cantera. El coeficiente de estabilidad de Hudson se determinó dependiendo de la parte de la estructura evaluada, si el oleaje está o no en rotura, el tipo de elemento, el número de capas y pendiente de talud (considerada 1/1.8). Este análisis se incluye en la tabla que se presenta en el Anexo 13.21.

Se diseñaron piezas de elementos prefabricados de la coraza que corresponden al cabezo y tronco del espigón. Esto se realizó utilizando la Figura 8-2 en donde se observan las dimensiones estandarizadas para un elemento tipo tetrápodos y también se utilizaron las Ecuación 8-5 y Ecuación 8-6.

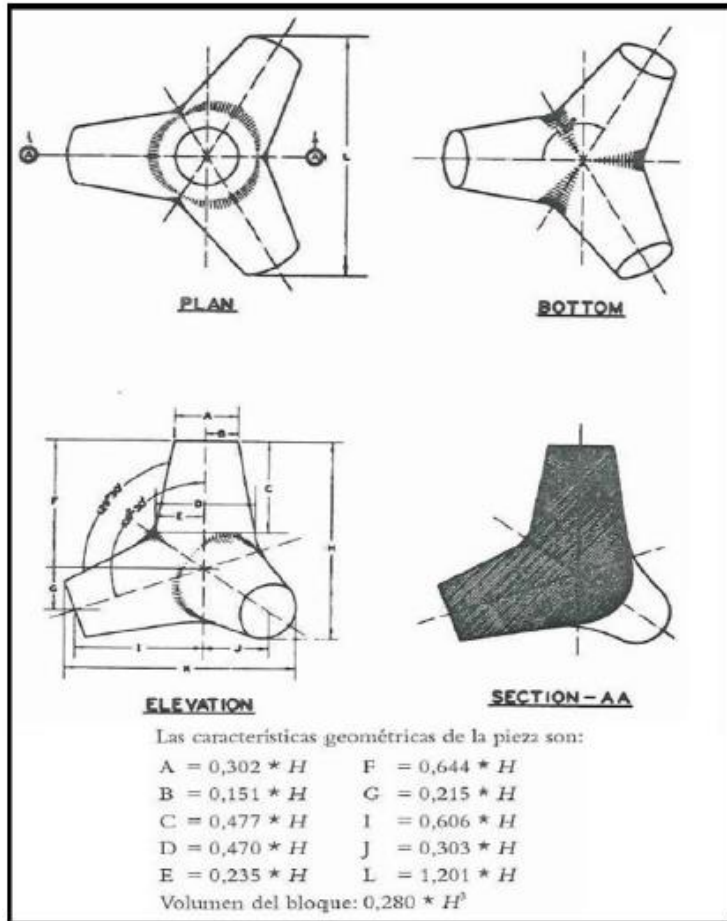


Figura 8-2 Forma elemento tipo Tetrápodo
Fuente: (CERC, 1984)

$$V = \frac{W}{\rho_r}$$

Ecuación 8-5

$$H = \sqrt[3]{\frac{V}{0,28}}$$

Ecuación 8-6

Donde:

- W : Peso elemento de protección
- ρ_r : Densidad elemento de protección
- V : Volumen elemento de protección
- H : Altura elemento de protección

Las dimensiones de elementos prefabricados (medidas en metros) para la sección de la coraza se presentan en la Tabla 8-4, para el cabezo y los troncos.

Tabla 8-4 Dimensiones elementos prefabricados

TETRÁPODO	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	L
12,6 Ton.	0,8	0,4	1,26	1,25	0,62	1,71	0,57	2,66	1,61	0,8	3,19
9,2 Ton.	0,72	0,36	1,14	1,12	0,56	1,54	0,51	2,39	1,45	0,72	2,88
4 Ton.	0,55	0,27	0,86	0,85	0,42	1,17	0,39	1,82	1,1	0,55	2,18

Fuente: Elaboración propia

El espesor mínimo de capa se determinó mediante la siguiente expresión:

$$t = nk_{\Delta} \left(\frac{W}{\rho_r} \right)^{1/3} \quad \text{Ecuación 8-7}$$

Donde:

- t : Espesor medio coraza
- ρ_r : Densidad elemento de protección
- W : Peso elemento de protección
- k_{Δ} : Coeficiente de capa (obtenido a través de Anexo 13.22)
- n : Número de capas

El diseño en planta se presenta en planta en la Figura 8-3 donde se observa el espigón de 120 m de largo y sus respectivas secciones en la Figura 8-4, Figura 8-5, Figura 8-6 y Figura 8-7.

La transición entre secciones A (12.6 Ton) y B (9.2 Ton) no presenta un gran cambio en cuanto a peso. No obstante entre B y C (4 Ton), al ser un cambio de peso de 5.2 Ton, se optó por hacer un promedio entre ambas, obteniendo un elemento de 6.6 Ton, el cual se distribuyó por 3 metros hasta el cambio de elemento de 4 Ton. Por otro lado para realizar la transición entre tetrápodos y rocas en la sección D es necesario instalar una viga de hormigón (Schiereck, 2012).

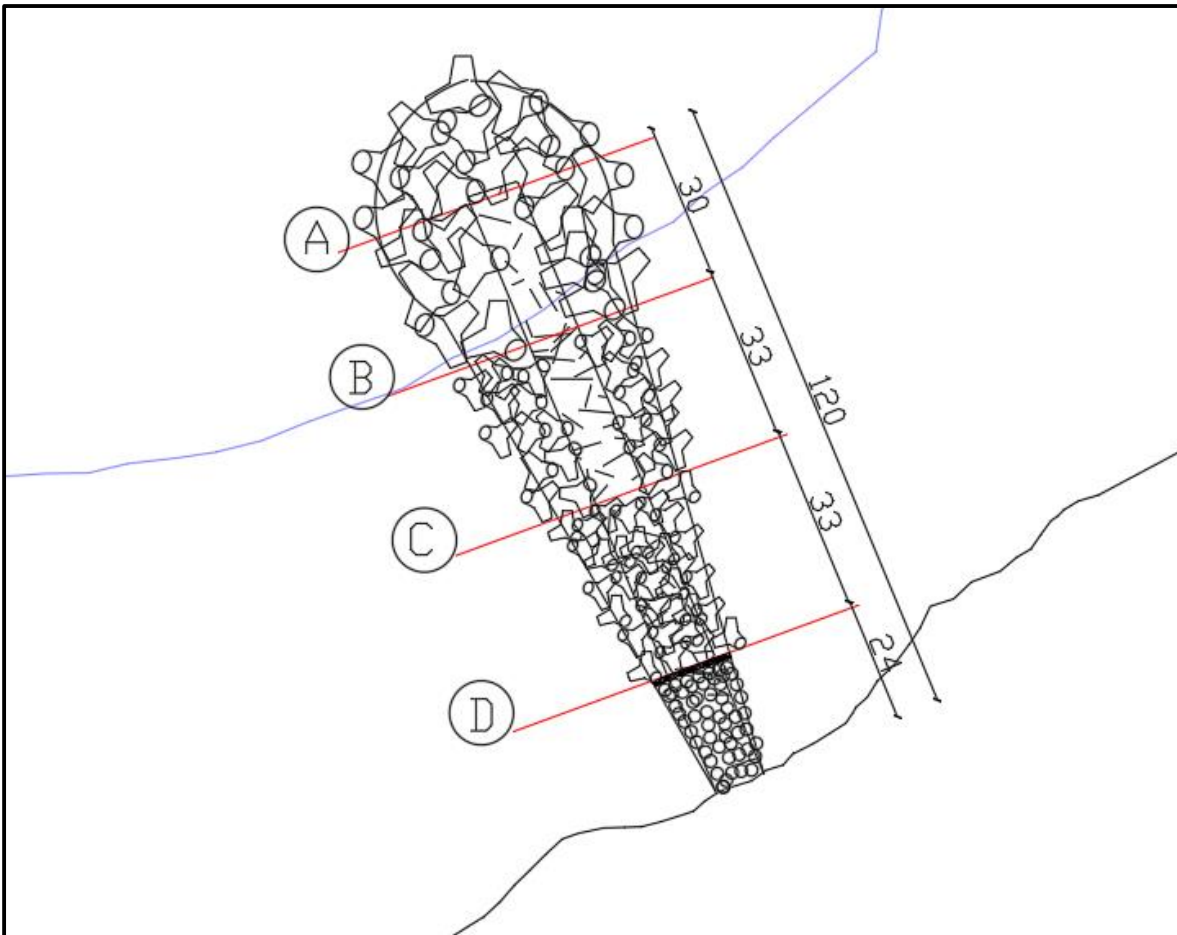


Figura 8-3 Proyección planta
Fuente: Elaboración propia

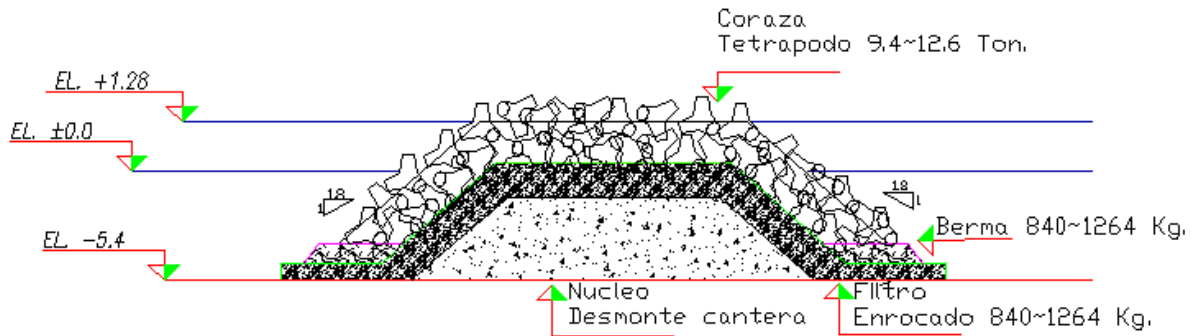


Figura 8-4 Sección A Cabezo
Fuente: Elaboración propia

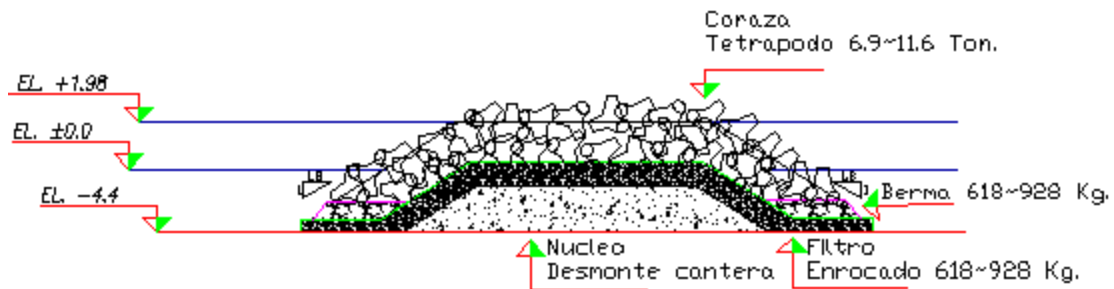


Figura 8-5 Sección B Tronco
Fuente: Elaboración propia

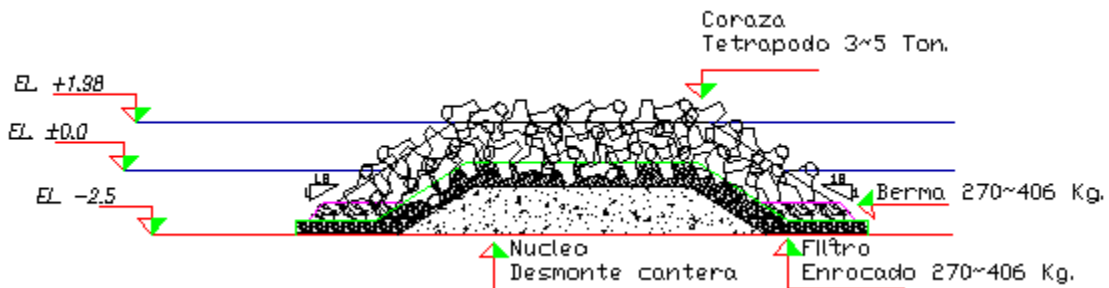


Figura 8-6 Sección C Tronco
Fuente: Elaboración propia

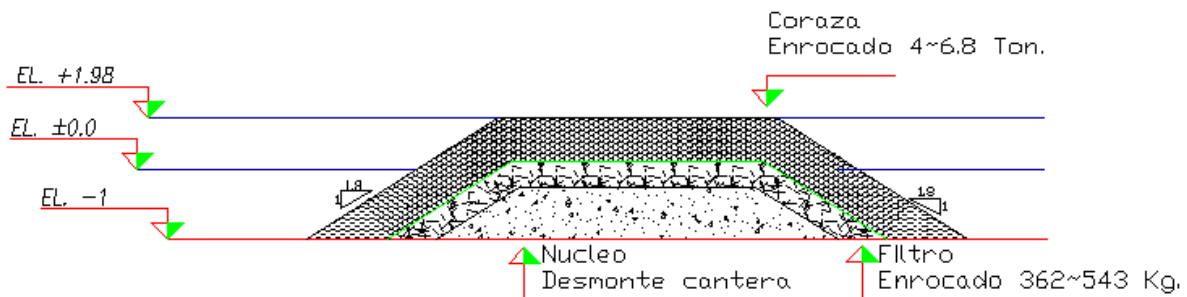


Figura 8-7 Sección D Tronco
Fuente: Elaboración propia

9 ESTIMACIÓN DE COSTOS ESPIGÓN Y RELLENO

Se desarrolló un análisis preliminar de costos unitarios para el diseño a nivel de ingeniería básica, analizando el volumen de rocas, la cantidad de tetrápodos y de sedimentos posibles a utilizar. A modo de referencia se utilizó el presupuesto de "Construcción playa artificial sector el salitre, Tocopilla" (Anexo 13.24) solicitado a la DOP de Antofagasta a través de la ley de transparencia. Los costos obtenidos se presentan en la Tabla 9-1:

Tabla 9-1 Presupuesto estimado de espigón

ÍTEM	DESIGNACIÓN		UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
	NOMBRE PARTIDA	NOMBRE SUB-PARTIDA				
1	ACTIVIDADES GENERALES					\$ 61,038,267
1.1	INSTALACIÓN DE FAENAS		GL	1	\$ 61,038,267	\$ 61,038,267
2	ESPIGÓN					\$ 387,125,052
2.1	NUCLEO 20 Kg		m ³	52	\$ 12,078	\$ 624,410.79
2.2	NUCLEO 27 Kg		m ³	95	\$ 12,078	\$ 1,147,041.55
2.3	NUCLEO 33 Kg		m ³	13	\$ 12,078	\$ 154,421.26
2.4	NUCLEO 46 Kg		m ³	222	\$ 12,078	\$ 2,685,185.73
2.5	NUCLEO 63 Kg		m ³	184	\$ 12,078	\$ 2,223,942.18
2.6	FILTRO 406 Kg		m ³	328	\$ 15,765	\$ 5,178,004.63
2.7	FILTRO 543 Kg		m ³	112	\$ 15,765	\$ 1,766,360.94
2.8	FILTRO 667 Kg		m ³	41	\$ 15,765	\$ 645,351.22
2.9	FILTRO 928 Kg		m ³	595	\$ 20,597	\$ 12,255,562.93
3	FILTRO 1.2 Ton		m ³	587	\$ 20,597	\$ 12,085,931.42
3.1	GEOTEXTIL DE PROTECCIÓN		m ²	2060	\$ 4,920	\$ 10,133,098.05
2.9	CORAZA ROCA 5.4 Ton		m ³	3391	\$ 24,792	\$ 84,071,655.36
3	INSTALACIÓN DE TETRAPODOS		UN	512	\$ 44,312	\$ 22,693,699.12
3.1	CORAZA TETRAPODOS 4 Ton		UN	209	\$ 225,378	\$ 47,131,207.57
3.2	CORAZA TETRAPODOS 6.6 Ton		UN	16	\$ 371,873	\$ 5,937,548.96
3.3	CORAZA TETRAPODOS 9.2 Ton		UN	163	\$ 518,368	\$ 84,400,916.69
3.4	CORAZA TETRAPODOS 12.6 Ton		UN	124	\$ 756,590	\$ 93,990,713.43
4	RELLENO					\$ 660,632,756
4.1	ARRIENDO CAMIÓN TOLVA (15 m ³)		UN	306	\$ 150,000	\$ 45,900,000
4.2	SUMINISTRO DE SEDIMENTOS		m ³	36718	\$ 16,742	\$ 614,732,756
					TOTAL	\$ 1,108,796,075

Fuente: Elaboración propia

10 VALORIZACIÓN DEL SECTOR RECREO

Para realizar la valorización del sector costero Recreo se emplearon las matrices de jerarquización del valor del estudio “Desarrollo de una metodología para la valorización multidimensional de la zona costera: El caso Valparaíso-Viña del Mar” (Viveros, 2016). En ellas se mide cualitativamente el aspecto del valor ambiental, valor económico y valor urbano-sociocultural (Anexo 13.23).

Las matrices están relacionadas con una gran cantidad de variables que inciden en el estado actual de la zona costera. El valor ilustra de manera descriptiva los elementos más relevantes que caracterizan el territorio.

Para cada valor y sus respectivos componentes se utilizó una escala cualitativa (Tabla 10-1) en base a la referencia de la escala Likert, la cual permitió cuantificar las características del espacio territorial, potencial económico, estructuras ambientales del espacio geográfico, características urbanas y uso que la población efectúa en un extensión territorial (Viveros, 2016).

Tabla 10-1 Escala Likert

Escala de Valor	
1	Valor Inexistente
2	Valor Bajo
3	Valor Medio
4	Valor Importante
5	Valor Alto

Fuente: Elaboración propia basada en Viveros (2016)

Posteriormente, para el cálculo de la magnitud vectorial del valor de la zona costera, se utilizó la Ecuación 10-1 en donde se considera la componente Ambiental, Económica y Urbano- Sociocultural.

$$|Valor_{zona\ costera}| = \sqrt{(Ambiental)^2 + (Económico)^2 + (Urbano - Sociocultural)^2} \quad \text{Ecuación 10-1}$$

En la Figura 10-1 se observa el tramo del sector de Recreo (color verde) y Playa Caleta Abarca (color rojo) y sus respectivas asignaciones de valor en la Tabla 10-2 y Tabla 10-3 en el estudio de Viveros (2016).



Figura 10-1 Tramo 19 y 20, Viña del Mar
Fuente: Viveros (2016)

Tabla 10-2 Matriz de asignación de valor Ex Balneario Recreo

Tramo	Tipo de valor	Asignación valor cualitativo					Valor promedio tramo	Magnitud valor
Tramo 19 Ex Balneario Recreo.		HÁBITATS COSTERO	ATRACTIVO ESCÉNICO		ÁREAS VERDES (PARQUES)			7.7
	Ambiental	3	4		3		3.3	
		USO DEL SUELO (PLANO REGULADOR)	OFERTA INMOBILIARIA	TIPO DE VECINDARIO	DENSIDAD CONTRUCCION	TIPOLOGÍA CONSTRUCTIVA		
	Económico	5	5	5	4	5	4.8	
		RED VIAL	SISTEMA DE TRANSPORTE PUBLICO	EQUIPAMIENTO URBANO	INFRAESTRUCTURA, SERVICIOS DE USO PÚBLICO Y PATRIMONIO			
	Urbano-Sociocultural	5	5	5	5		5	

Fuente: Viveros (2016)

Tabla 10-3 Matriz de asignación de valor Playa Caleta Abarca

Tramo	Tipo de valor	Asignación valor cualitativo					Valor promedio tramo	Magnitud valor
Tramo 20 Playa Caleta Abarca.		HÁBITATS COSTERO	ATRACTIVO ESCÉNICO		ÁREAS VERDES (PARQUES)			8
	Ambiental	3	5		4		4	
		USO DEL SUELO (PLANO REGULADOR)	OFERTA INMOBILIARIA	TIPO DE VECINDARIO	DENSIDAD CONTRUCCION	TIPOLOGÍA CONSTRUCTIVA		
	Económico	5	4	5	5	5	4.8	
		RED VIAL	SISTEMA DE TRANSPORTE PUBLICO	EQUIPAMIENTO URBANO	INFRAESTRUCTURA, SERVICIOS DE USO PÚBLICO Y PATRIMONIO			
	Urbano-Sociocultural	5	5	5	5		5	

Fuente: Viveros (2016)

La recuperación de playa que se plantea en esta memoria de título, aumentaría el valor del sector, no obstante el ítem sobre si el borde costero posee playa, no existe de manera específica en las matrices de valorización (Anexo 13.23, Tabla 13-3), esta se plantea como “patrimonio urbano con acceso público”. Es por ello que se consideró incluir esta variable en los criterios de valorización urbano socio cultural, debido a que esta genera de por si un impacto positivo al turismo, considerando variables tales como: Generación de empleo; aumento de especulación inmobiliaria; ascenso social; generación de ventajas económicas para el municipio y la población (Rodrigues et al., 2015).

Respecto al criterio ambiental (Anexo 13.23, Tabla 13-2), al considerar una mejora en el terreno gracias a la incorporación de una playa, se obtiene como consecuencia un aumento de un punto en el ítem “áreas verdes”, con ello un incremento del valor de la zona costera de 7.7 a 7.8 (Tabla 10-4). El aumento se debe, a que el sector mejora de “terreno con trazados básicos” a “terreno con diseño”.

Por otro lado, cabe la posibilidad de que Playa Caleta Abarca pueda recibir sedimento desde la alimentación del sector de Recreo, para cuya certeza se debe evaluar el comportamiento litoral para las direcciones que quedan fuera del alcance de este trabajo. Esto podría aumentar la superficie de la playa con su consiguiente impacto económico, siendo entonces esperable un incremento del vector valor en ese lugar.

Tabla 10-4 Matriz asignación modificada de Valor Ex Balneario Recreio, Tramo 19

Tipo de Valor	Asignación Valor Cualitativo					Valor promedio	Magnitud Valor
	HÁBITATS COSTERO	ATRACTIVO ESCÉNICO		ÁREAS VERDES (PARQUES)			
Ambiental	3	4		4		3.66	7.8
	a.- Intervenidos, sustitución de paisajes.	a.- Zona costera con vista al mar.		a.- Con acceso público, mobiliario básico, juegos infantiles.			
	b.- Daño reparable con planes de mitigación/recuperación.	b.- infraestructura y Balnearios de uso público con servicios y equipamiento.		b.- Terreno con diseño y jardines con especies silvestres e introducidas.			
	c.- Contaminación marina física y química reparable.	c.- Desarrollo inmobiliario y Hotelero no invasivo		c.- Cobertura vegetal en buen estado de conservación.			
		d.- Zona con flora y fauna marina silvestre.		d- con mantención municipal y riego natural.			
	USO DEL SUELO (PLANO REGULADOR)	OFERTA INMOBILIARIA	TIPO DE VECINDARIO	DENSIDAD CONTRUCCION	TIPOLOGÍA CONSTRUCTIVA		
Económico	5	5	5	4	5	4.8	
	a.- Suelo Urbano apto para zona industrial.	a.- Alto interés comercial.	a.- Presencia estrato medio alto y alto.	a.- Baja densidad por metro cuadrado.	a.- Hormigón Predominante, fundaciones de Hormigón.		
	b.- Suelo Urbano apto para zona residencial.	b.- Industria no invasiva (financiera, comercio, hotelera, turística, etc.) aledaña.	b.- Inseguridad ciudadana plenamente controlada.	b.- Sin hacinamiento, recolección de basura establecido y permanente.	b.- Servicios higiénicos, acceso a red sanitaria (alcantarillado), piscina.		
	c.- Suelo Urbano, acceso viabilidad estructurada.	c.- Unidades productivas en funcionamiento (portuario, ferrocarril, manufactura, industrial, etc.)	c.- Con intervención permanente de fuerza pública.	-	c.- Jardín frontal y posterior excelentemente conservado con diseño y ordenamiento.		
	d.- Presencia de actividad comercial e industrial de todo tipo.	d.- Oferta inmobiliaria residencial variada predominante, también para oficinas.	d.- Espacios establecidos de participación ciudadana y actividades comunitarias.	-	-		
	RED VIAL	SISTEMA DE TRANSPORTE PUBLICO	EQUIPAMIENTO URBANO	INFRAESTRUCTURA, SERVICIOS DE USO PÚBLICO Y PATRIMONIO			
Urbano-Sociocultural	5	5	5	5		5	
	a.- Vías peatonales seguras y de alta calidad.	a.- Muy buena calidad y seguridad.	a.- Completo, urbanización típica de metrópolis.	a.- Completo, infraestructura pública de todo tipo.			
	b.- Acceso a autopistas de alta calidad y factibilidad de estacionamientos.	b.- Factibilidad de acceso vía Transporte Público desde todos los puntos de la ciudad.	b.- Acceso a servicios básicos complementarios (Red Wi-Fi, Redes de gas, etc.).	b.- Acceso a servicios públicos, FF.AA y Bomberos muy cercanos y en gran número.			
	c.- Acceso aéreo con aeropuerto y por vía marítima con infraestructura existente.	-	c.- Acceso a servicios de recreación (parques, balnearios públicos, teatros, cine, etc.).	c.- Acceso a servicios municipales y gubernamentales, instituciones de educación pública y privada.			
	-	-	d.- Ciclovías, parques e infraestructura deportiva de acceso público.	d.- Patrimonio urbano con acceso público.			
				e.- patrimonio urbano costero (Playas)			

Fuente: Modificado de Viveros (2016)

11 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En la presente memoria de título se presentó un estudio de dinámica litoral en el ex balneario de Recreo de Viña del Mar, con el objetivo de identificar una posible alternativa de solución al problema de la pérdida de playa, debido a la intervención humana en los años ochenta. Se implementó un modelado numérico de oleaje, hidrodinámico y de transporte de sedimento. El uso de modelos numéricos permitió cuantificar los efectos para la situación actual y las alternativas de solución.

Respecto a las condiciones naturales, se concluye:

1. Mediante los datos obtenidos en aguas profundas se obtuvo el clima operacional característico de la bahía de Valparaíso, el cual fue la base para la selección de los casos de simulación de tensores de radiación, corrientes hidrodinámicas y transporte de sedimentos. Las direcciones referentes al tercer cuadrante comprenden una suma de 95,71% de los eventos (SSW, SW, WSW). Las alturas con intervalos de 2 a 3 [m] tienen un total de 47.76% de la frecuencia de los sucesos.
2. El caso de clima extremo en aguas profundas se evaluó con un periodo de retorno de 100 años, dirección NW y una altura significativa de 7 [m].
3. Se utilizaron las características de sedimentos más cercanos a la zona de estudio, los cuales corresponden a Caleta Playa Abarca, debido a la ausencia de arena en Recreo. El tamaño sedimentario característico es de $d_{50} = 0.39$ [mm], $d_{84} = 0.52$ [mm] y $d_{16} = 0.26$ [mm].
4. El nivel medio de la marea corresponde a 0.68 m, mientras que la altura media de la pleamar más alta es de 1.28 m. Por otro lado, la altura media de la pleamar más baja es de 0.18 m. La altura de la pleamar más alta se utilizó en el diseño del espigón.
5. Los vientos fueron descartados debido a que las corrientes producidas por estos son despreciables en la bahía de Valparaíso, tanto para verano como para invierno (Aiken, Castillo, & Navarrete, 2008). Por otro lado, los efectos de este en la generación de oleaje en el temporal del 8 de agosto del año 2015 con rachas de viento de 110 km/h no dejan de tener importancia.

En base a los resultados numéricos obtenidos, las principales conclusiones son:

1. La ex playa y la bahía de Valparaíso-Viña están fuertemente protegidas por la Punta Ángeles, la cual causa refracción y difracción en el oleaje proveniente del tercer cuadrante. Es por esto que las condiciones energéticas del oleaje son bajas. Ello no es válido para las direcciones del cuarto cuadrante, en las que el oleaje llega en forma directa.
2. Vale mencionar que el modelo Spectral Waves tiene validez hasta la condición de aguas intermedias ($0.04 < d/L < 0.5$) debido a que la teoría lineal no describe de forma correcta las aguas someras.
3. El modelo hidrodinámico indica que las corrientes paralelas a la costa en el sector de estudio tienen una dirección de Norte a Sur para la situación actual y las alternativas de solución en clima medio y extremo. Las magnitudes para los casos de clima extremo bordean los 0.7 m/s para la situación actual, mientras que para las alternativas N°1 y N°2, aumentan por sobre 1 m/s.
4. Los casos de clima medio arrojaron que la dirección WSW produce mayores corrientes en comparación a los otros casos con 0.25 m/s para la situación actual, mientras que las alternativas presentan magnitudes mayores bordeando los 0.38 m/s.

5. Para los casos de clima extremo se presentan corrientes de retorno en el sector donde se ubica el hotel Sheraton (zona Norte Playa Caleta Abarca). Para los casos operacionales, las corrientes de retorno surgen en la Curva de los Mayos.
6. La mayor magnitud de corrientes que se presenta en la modelación corresponde a la Curva de los Mayos. Esta tiene un valor alto tanto para el clima extremo como para el clima medio, debido a la morfología del fondo marino desde el sector de Caleta Abarca hasta el sector del Club de Yates de Recreo, ya que cambia abruptamente respecto a las pendientes marinas, siendo bastante pronunciada en la Curva de los Mayos.
7. El modelo de transporte de sedimentos muestra un leve transporte en dirección Norte a Sur en el que se denota una acumulación de sedimento mayor en el sector Norte del espigón en comparación a la alternativa N°1.
8. Para ambas alternativas existe una mayor tasa de transporte de sedimento en el sector Curva de los Mayos, debido a las altas magnitudes de corrientes para los casos de clima extremo.
9. El espigón del alternativa N°2 al funcionar como retenedor de sedimento, impide que este se transporte hacia el sector del Club de Yates y así no generar problemas de embancamiento para las naves, debido a que ese sector protegido cuenta con bajas profundidades del orden de 2 [m].
10. Referente a los perfiles sedimentarios, para los casos de clima extremo estos presentan una mayor erosión en la alternativa N°1 con la pérdida de 10 [m] de ancho de playa en la suma total de perfiles, mientras que la alternativa N°2 solo sufre una pérdida de 6 [m] de ancho de playa.

11.1 RECOMENDACIONES Y FUTURAS LÍNEAS INVESTIGATIVAS

1. Realizar dos campañas de medición en el sector de Recreo en invierno y verano para oleaje y corrientes, de tal manera de caracterizar con mayor detalle los fenómenos dinámicos costeros y su efecto estacional.
2. Realizar mediciones batimétricas con más detalle en el sector de estudio con una ecosonda multihaz la cual permitiría conseguir una gran cantidad de mediciones de profundidad y representar el plano del fondo con mayor exactitud.
3. Luego de obtener las mediciones in situ, es recomendable para futuros proyectos realizar una validación y calibración para el modelo de propagación de oleaje y el modelo de corrientes hidrodinámicas, de tal manera verificar que los resultados obtenidos por el modelo sean lo más cercano a la realidad.
4. Referente a lo que es el diseño del espigón, en el sector de Recreo existen una gran cantidad de escombros de algunas instalaciones de lo que alguna vez fue el balneario, por lo que sería posible utilizarlos a manera de filtro y núcleo para la construcción del espigón.

11.2 COMENTARIOS

Respecto al sistema de aportación de sedimentos en Recreo para la alternativa de utilizar camiones, esta se ve mermada debido a que no existe acceso vial entre avenida España y el sector de estudio, es preciso a esto que se tendría que hacer una intervención en el lugar para llevar a cabo una conectividad.

Referente a las matrices de valorización del borde costero esta memoria plantea una pequeña mejora en el aspecto al Valor urbano socio cultural, incluyendo el ítem “patrimonio urbano costero (playas)”, aunque esto es solo una pequeña mejora. Estas matrices tienen un potencial para ser optimizadas aún más allá, considerando más variables como por ejemplo la generación de empleos por temporadas, ventajas económicas para el municipio y la población, etc.

Alusivo a las intervenciones humanas sobre el borde costero y las condiciones de oleaje en la bahía de Valparaíso, en cuatro décadas se han perdido cuatro playas (Recreo, Los Artistas, Las Cañitas y El Encanto) y en el año 1930 la habilitación de la Avenida Perú con enrocados hizo perecer 700 [m] de playa. Lo cual deja como enseñanza que es necesario tener un plan de mitigación (inyección de sedimento) frente a este tipo de situaciones, debido a que se pierden espacios para la comunidad los cuales fomentan el esparcimiento, turismo y la plusvalía de los alrededores.

Diseñar el espigón con otros elementos prefabricados, disminuirían los costos de la estructura, ya que en vez de fabricar tetrápodos para los cortes A (12.6 Ton), B (9.2 Ton) y C (4 Ton), sería factible instalar dolos con pesos A (4.2 Ton), B (3.7 Ton) y C (1.1 Ton). Sin olvidar el cambio de pendiente en talud de 1/1.8 a 1/2.

El motor de arena realizado en los Países Bajos cumple una función a largo plazo de amortiguar la erosión costera de aproximadamente 17 [km] hasta Vissershaven, esta forma de recuperación de arena sería más factible utilizarla en una playa con un largo más extenso que el sector de Recreo con aproximadamente 400 [m] de playa, debido a que este tipo de recuperación de playa es a largo plazo y no compensa que el proyecto se demore mucho si es un sector tan acotado. Una posibilidad de llevar a cabo un proyecto similar en Chile sería en el sector de Playa Grande de Santo Domingo la cual consta de una extensión de 20 [km] hasta Punta Toro, la más extensa en el Litoral Central (Nuevo Siglo Consultores, 2016). La problemática de esta playa es la pérdida de anchura, que data desde el 2010 hacia adelante y el engrosamiento del sedimento (ECONOMÍA Y NEGOCIOS, 2018).

Cabe señalar que el modelo de transporte de sedimentos MIKE ST cuenta con más formulaciones para el transporte de fondo y en suspensión para el ítem “solo corrientes” tal como se muestra en la Tabla 11-1, los cuales sería interesante observar los cambios en la carga total al alternar estas opciones en el modelo numérico.

Tabla 11-1 Formulaciones de transporte de sedimentos, solo corrientes

Tipo de transporte	Transporte de fondo	Transporte de suspensión
Autor	Engelund and Hansen	Engelund and Hansen
	Van Rijn	Van Rijn
	Engelund and Fredsøe	Engelund and Fredsøe
	Meyer-Peter and Müller	-

Fuente: Elaboración propia

12 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aiken, C., Castillo, M., & Navarrete, S. (2008). *A simulation of the Chilean Coastal Current and associated topographic upwelling near Valparaíso, Chile*.
- Almazán, J., Palomino, M., & García, J. (2000). *Introducción a la dinámica de las formas costeras*. Universidad Politécnica de Madrid.
- Barrales Guzmán, K. D. (2017). *Vulnerabilidad socionatural en cerro y quebradas de Valparaíso: Decisiones de políticas públicas a propósito del gran incendio de 2014*. Santiago.
- Beyá, J., Álvarez, M., Gallardo, A., Hidalgo, H., Aguirre, C., Valdivia, J., . . . Molina, M. (2016). *Atlas de Oleaje de Chile*. Valparaíso.
- Biblioteca Nacional de Chile. (2016). *Panorama del Balneario del Recreo, Viña del Mar, Hacia 1930*. Obtenido de <http://www.memoriachilena.cl/602/w3-article-99918.html>
- Bilak, P. (2017). *Dutch Design*. Obtenido de <https://worksthatwork.com/1/zandmotor>
- Blanes Eckert, C. (2008). *Caracterización granulométrica de las playas del litoral gerundense. Implicaciones en el transporte de sedimentos*.
- Bricio Garberi, L. (2009). *Comportamiento funcional y ambiental de los diques Exentos de Baja Cota de Coronación y su importancia en la Ingeniería de Costas*. Universidad Politécnica de Madrid.
- Cáceres, G., & Sabatini, F. (2003). *Para entender la urbanización del litoral: el balneario en la conformación del Gran Valparaíso (siglo XIX y XX)*.
- Cartes Zurita, O. A. (2005). *Análisis espacial y temporal de la dinámica de las corrientes en la bahía de Valparaíso*.
- Castagneto, P. (2010). *Una Historia de Viña Del Mar: La "hija de los Rieles"*.
- CERC. (1984). *Shore Protection Manual Vol II*.
- Córdova López, L., & Torres Hugues, R. (2015). *Medidas de rehabilitación para el sector Oasis en playa Varadero*. La Habana.
- De Vriend, H. J., & van Koningsveld, M. (2012). *Buikding with Nature: Thinking, acting and interacting differently*.
- DHI. (2016). *MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM Hydrodynamic and Transport Module, Scientific Documentation*.
- DHI. (2016). *MIKE 21 Spectral Waves Module, Scientific Documentation*.
- DHI. (2016). *MIKE 21 ST*.
- DHI. (2016). *MIKE 21 Toolbox*.
- Doll, E. (Dirección). (2009). *Lugar de encuentro* [Película].
- ECONOMÍA Y NEGOCIOS. (11 de Febrero de 2018). Obtenido de <http://www.economiaynegocios.cl/noticias/noticias.asp?id=442612%20>
- Engineers, U. A. (2003). *Coastal Engineering Manual, Chapter II-4, Surf zone hydrodynamics*.

- Fernández Domínguez, R. A. (2010). *Estudio alternativas de rompeolas para el proyecto "Terminal de descarga de carbón"*.
- G. I. O. C. (2000). *Regeneración de playas*. Universidad de Cantabria.
- G.I.O.C. (s.f.). *Documento temático; Regeneración de playas*.
- Gálvez Fernández, B. A. (2017). *Caracterización de respuesta de playa ante eventos extremos de oleaje: Playa Reñaca-Caleta Abarca. Región de Valparaíso, Chile*. Valparaíso.
- García Pimentel, M. J. (2013). *Análisis comparativo de diferentes metodologías para el cálculo de corrientes litorales generadas por el oleaje*.
- Goda, Y. (2000). *Random Seas And Desing Of Maritime Structures*. World Scientific.
- Google Earth. (2017).
- Guarch, A., & Santana, A. (2017). *La dinámica litoral*. Obtenido de <https://sites.google.com/site/sistemaslitorales/diagnosi/destruccion/la-dinamica-litoral>
- INGEMAR. (1996). *Estudio Hidro-Oceanograficos, Poryecto Emisario Submarino 2 Norte, Viña Del Mar*.
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. (2011). *Evaluación del potencial de la energía de las olas*.
- Izquierdo, T., & Marquez, A. (2006). *Comparación de métodos de interpolación para la realización de mapas de precipitación para el acuífero de icod- Cañadas (Tenerife, Islas Canarias)*.
- Jgamir. (2007). *Playas de Caracas I*. Obtenido de www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=1943501
- Kamphuis, J. W. (2000). *Introduction to Coastal Engineering and Management, Advanced Series on Ocean Engineering - Volume 16*. Canada: World Scientific Co. Pte. Ltd.
- Liu, Z., & Frigaard, P. (2001). *Generation and analysis of random waves*.
- López Ruiz, A. (2013). *Hidrodinámica de la zona de rompientes*. Universidad de Granada.
- Medina, R., Vidal, C., González, M., Galofré, J., & Bernabeu, A. M. (2001). *Modelado de la morfodinámica de playas por medio de formulaciones de <<Equilibrio>>*.
- Ministerio de Medio Ambiente - Dirección General de Costas. (2008). *Directrices sobre actuaciones en playas*. Madrid.
- Ministerio de Obras Públicas. (2013). *Guía Para el Diseño, Construcción, Operación y Conservación de Obras Marítimas y Costeras*. Santiago.
- MOPU. (1990). *ROM 0.2-90 Acciones en el proyecto de obras maritimas y portuarias*.
- Museo de la Construcción CChC. (04 de Abril de 2017). *enterreno*. Obtenido de <https://www.enterreno.com/moments/ampliacion-de-avenida-espana-puente-capuchinos-1984>
- Negro Valdecantos, V. (2002). *Diseño de diques rompeolas*.
- Nuevo Siglo Consultores. (2016). *PLADECO SANTO DOMINGO 2016-2020*.

- Pezzuto, P. R., Resgalla, C., Abreu, J. G., & Menezes, J. T. (2004). *Environmental Impacts of the Nourishment of Balneário Camboriú Beach, SC, Brazil*.
- Protagonistas de la cultura. (2012). *MOP Inicia Obras de Conservación en Balneario Municipal de Antofagasta*. Obtenido de <http://www.region2.cl/mop-inicia-obras-de-conservacion-en-balneario-municipal-de-antofagasta/>
- Rodrigues Marins, S., Feder Mayer, V., & Cesar Fratucci, A. (2015). *Impactos percibidos del turismo; Un estudio comparativo con residentes y trabajadores del sector en Rio de Janeiro-Brasil*.
- Sánchez Arcilla, A., & A. Jiménez, J. (1995). *Evolucion en planta/perfil de una playa. Metodos predictivos*. Barcelona: Universidad Politécnica de Catalunya.
- Sánchez, A., Bosque, J., & Jiménez, C. (2009). *Valparaíso; su geografía, su historia y su identidad como Patrimonio de la Humanidad*.
- SHOA Pub. 3013. (1992). *Glosario de Marea y Corrientes*. Chle.
- SHOA Pub. 3202. (1999). *Instrucciones Oceanográficas N°2*.
- SHOA PUB.3201. (2005). *Instrucciones Oceanográficas N°1*.
- Sierra, J. P., & Lo Presti, A. (1997). *Estudio Comparativo de Criterios de Rotura del Oleaje Regular*. España: Universidad Politécnica de Catalunya.
- Silva Casarín, R. (2005). *Análisis y descripción estadística del oleaje*.
- Svendsen, A. (2006). *Chapter 12: Cross-Shore Circulation and Undertow*. Obtenido de <http://www.globalspec.com/reference/49487/203279/chapter-12-cross-shore-circulation-and-undertow>
- Taal, M., Löffler, M., Vertegaal, C., Wijsman, J., Van der Valk, L., & Tonnon, P. (2016). *Development of the Sand Motor*.
- TAUOREMOLQUES. (2017). *Los camiones de volteo y sus características*. Obtenido de <https://www.tauro.mx/camiones-de-volteo/>
- Topografho. (2017). *Geotubos: contenedores de arena, a base de geotextiles*. Obtenido de <http://topografho.blogspot.cl/2010/05/geotubos-contenedores-de-arena-base-de.html>
- UNICAN. (2000). *Documentos de Referencia, Volumen I, Dinámicas*.
- UNICAN. (2000). *Documentos de Referencia, Volumen II, Procesos Litorales*.
- University of Delaware. (2017). *Rip Current Characteristics*. Obtenido de <https://www.ceoe.udel.edu/ripcurrents/characteristics/index.html>
- USACE. (2003). *Coastal Engineering Manual*.
- V. Petroni, R. (2005). *Hidráulica Marítima y Estuarios*. Buenos Aires: Dunken.
- Viveros, Á. I. (2016). *Desarrollo de una metodología para la valorización multidimensional de la zona costera: el caso Valparaíso-Viña del Mar*.
- Wibbelink, H., París, C., & Basabe, J. M. (1995). *Construcción De Playas. Experiencia En España*.
- Woodward, S., & Posey, C. (1941). *Hydraulics of Steady Flow in Open Channels*.

Yepes, V. (1999). *Las playas en la gestión sostenible del litoral*.

13 ANEXOS

13.1 BATIMETRÍA MIKE ZERO

Se generó la malla batimétrica a partir de las cartas náuticas mencionadas en el capítulo 6.2. El proceso de dicha confección se detalla a continuación:

Global Mapper

- Se abrieron las cartas náuticas en el programa.
- Se consideró coordenadas UTM y datum WGS-84 (World Geodetic System 1984).
- Se eliminó la información sobrante, la cual no aporta a la conformación de la batimetría.
- Se conformaron dos archivos, uno que compete la línea de costa y el otro considera sondajes y veriles.
- Ambos archivos creados anteriormente se abren en MIKE Zero.

MIKE Zero

- Se considera coordenadas UTM.
- Se cargan los dos archivos creados anteriormente.
- Se define el dominio de la batimetría mediante cuatro nodos.
- Se delimitan polígonos para generar triángulos equiláteros de distintos tamaños, utilizando la Ecuación 13-1. Los triángulos disminuyen su área mediante se acercan al sector de estudio
- Se genera la malla flexible, para luego realizar la interpolación natural neighbour.
- Se realiza un análisis de sensibilidad a lo largo de la malla batimétrica para determinar que los triángulos equiláteros tengan ángulos superiores a 26° y para que el número de courant el cual determina la estabilidad del modelo sea inferior a 1.

$$A = \frac{\sqrt{3}l^2}{4}$$

Ecuación 13-1

13.2 CORRELACIONES CLIMA EXTREMO EN AGUAS PROFUNDAS

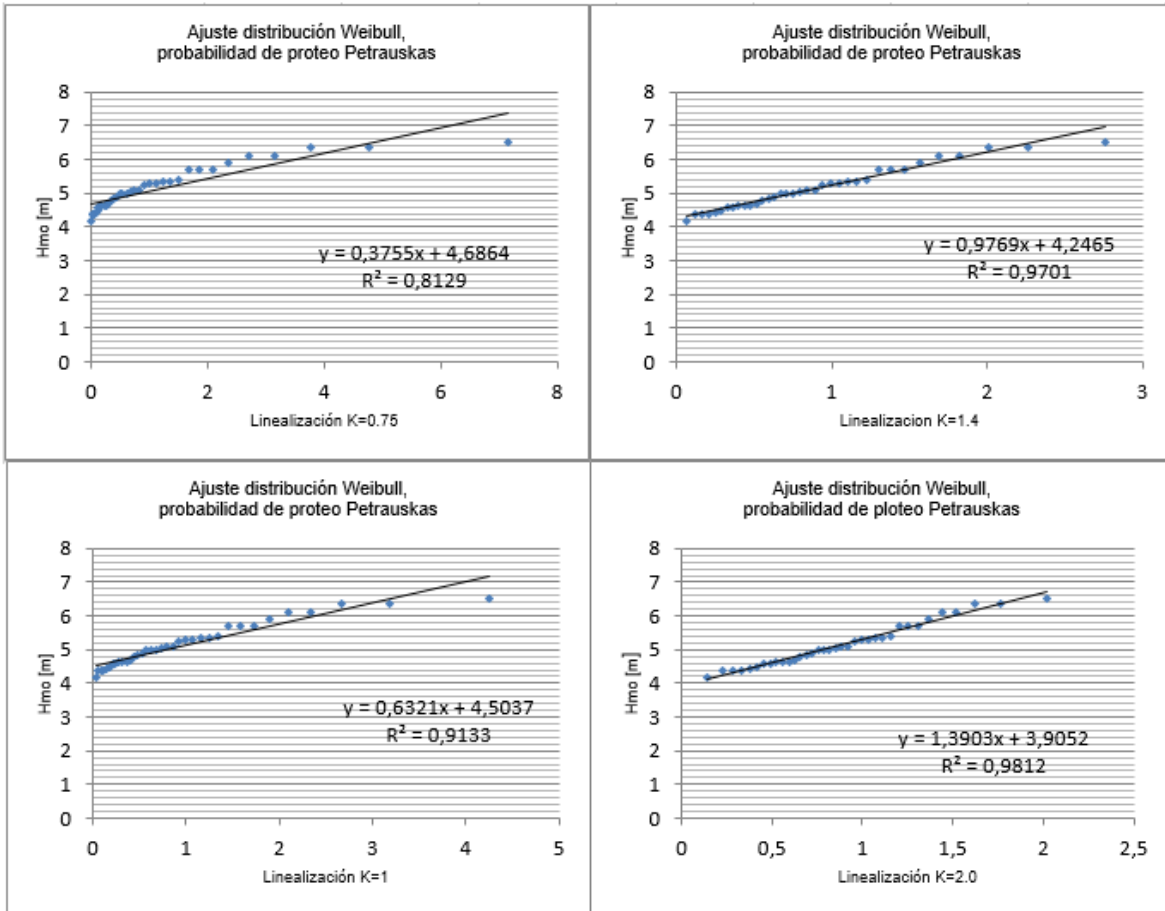


Figura 13-1 Ajuste distribución Weibull, probabilidad de proteo Petruskas k=0.75; 1; 1.4:2 en aguas profundas

Fuente: Elaboración propia

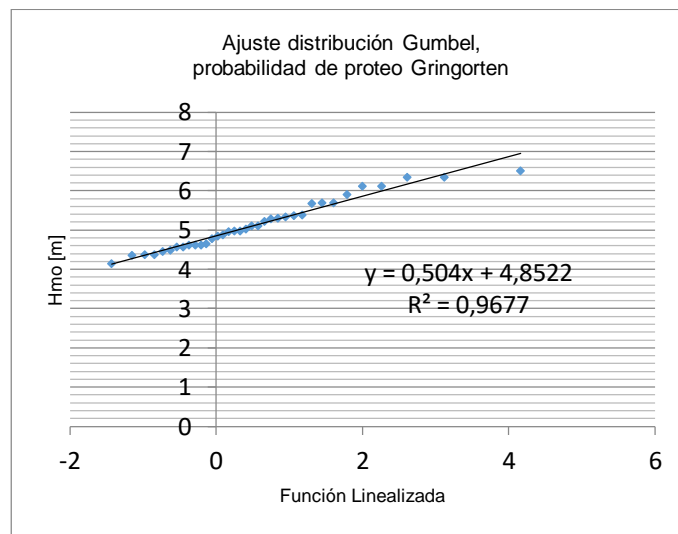


Figura 13-2 Ajuste de distribución Gumbel, probabilidad de proteo Gringorten en aguas profundas

Fuente: Elaboración propia

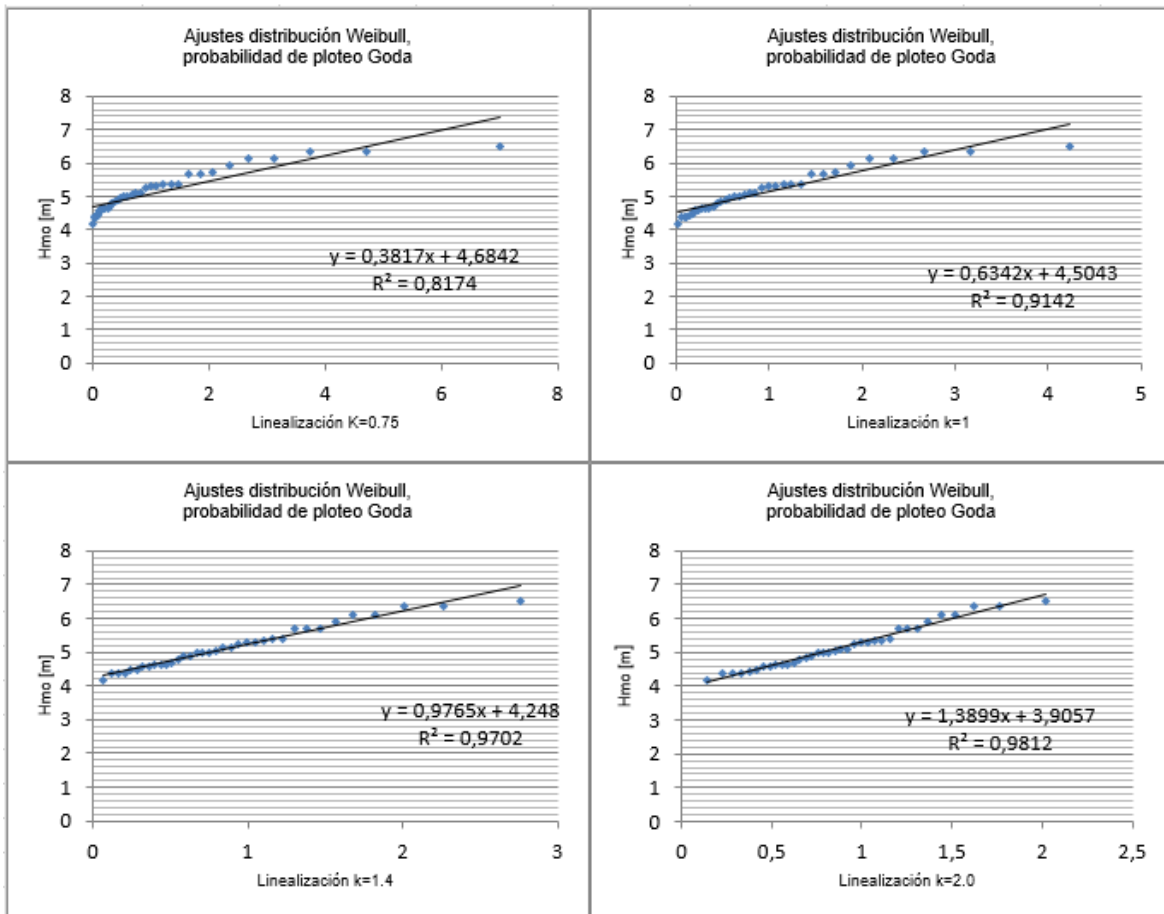


Figura 13-3 Ajuste distribución Weibull, probabilidad de ploteo Goda k=0.75; 1; 1.4; 2 en aguas profundas
Fuente: Elaboración Propia

13.3 CORRELACIONES CLIMA EXTREMO EN EL NODO

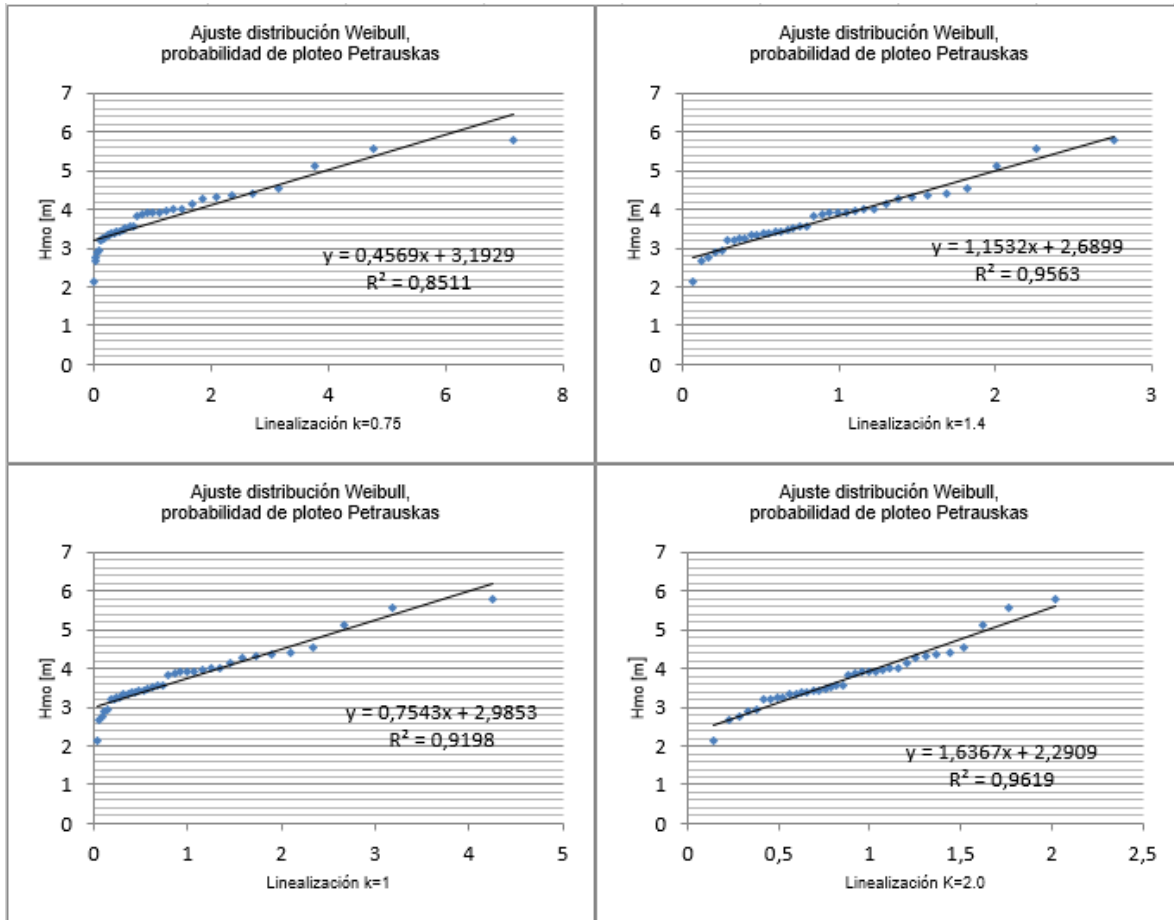


Figura 13-4 Ajuste distribución Weibull, probabilidad de ploteo Petruskas k=0.75; 1; 1.4; 2 en el nodo
Fuente: Elaboración propia

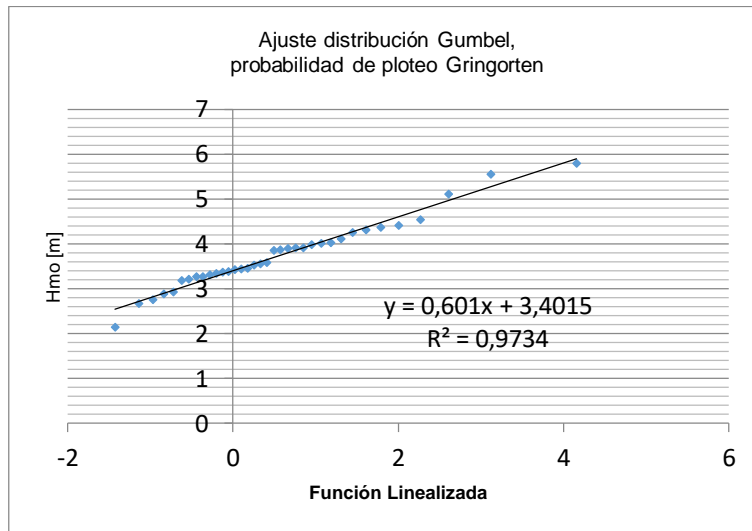


Figura 13-5 Ajuste distribución Gumbel, probabilidad de ploteo Gringorten en el nodo
Fuente: Elaboración propia

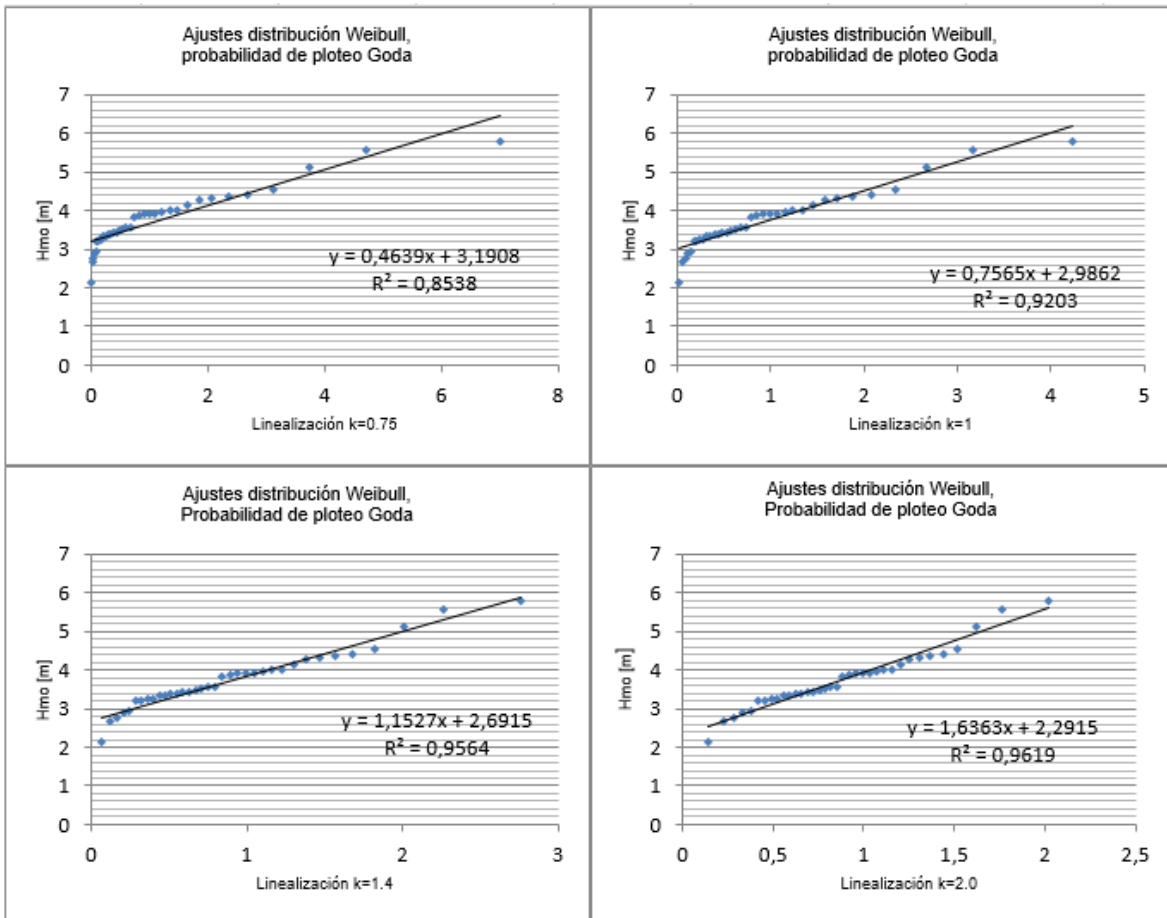


Figura 13-6 Ajuste distribución Weibull, probabilidad de ploteo Goda k= 0.75; 1; 1.4; 2 en el nodo Fuente: Elaboración propia

13.4 COMPARACIÓN PROPAGACIÓN DE OLAJE MIKE 21 SW VS SWAN

En la Figura 13-7 se presenta una correlación del 99,72% entre los datos de salida de SWAN y MIKE 21 WS para las alturas significativas en el nodo estudiado para los 35 años de data. Esta comparación muestra un buen ajuste entre los dos modelos, no obstante, no valida la modelación numérica debido a que para realizar este proceso es necesario contar con datos in situ.

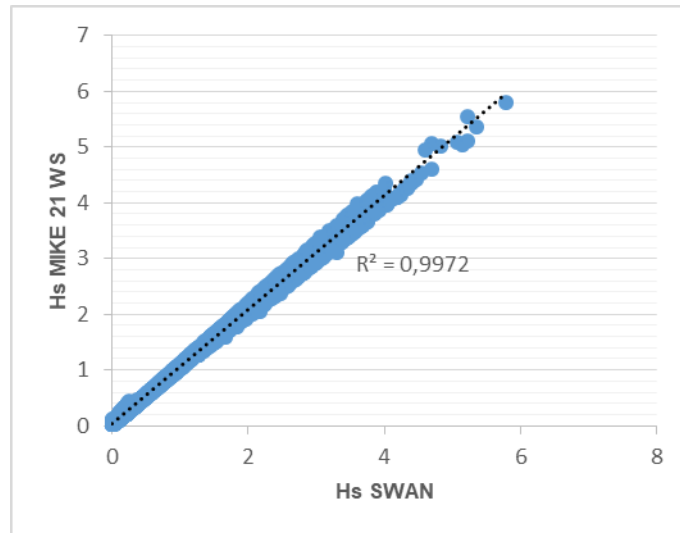


Figura 13-7 Correlación Hmo, SWAN y MIKE 21 WS
Fuente: Elaboración propia

13.5 CURVA GRANULOMÉTRICA

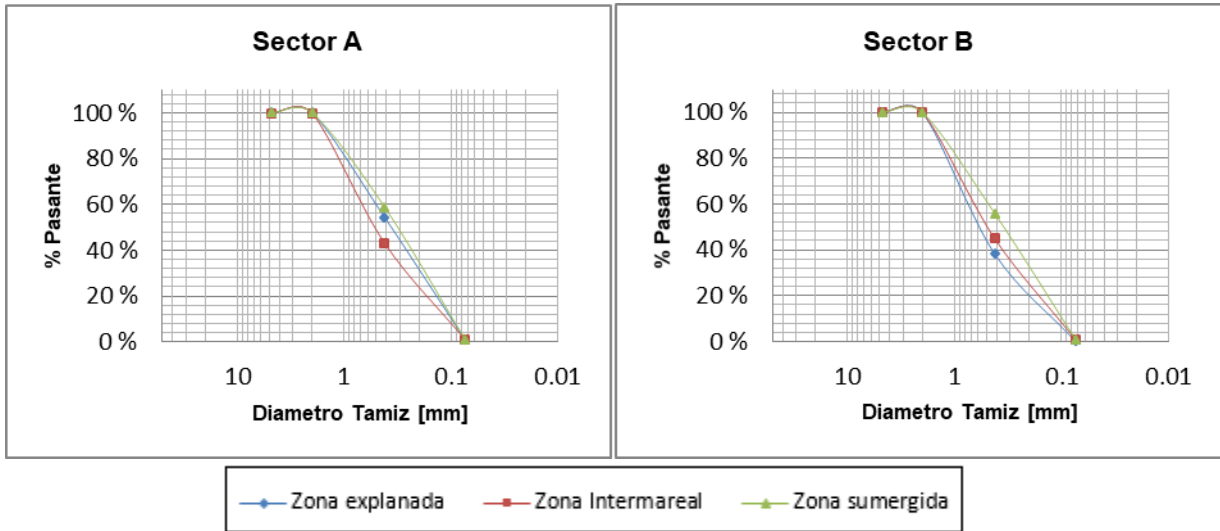


Figura 13-8 Curva granulométrica, Sector A-B, Playa Caleta Abarca
Fuente: Elaboración propia

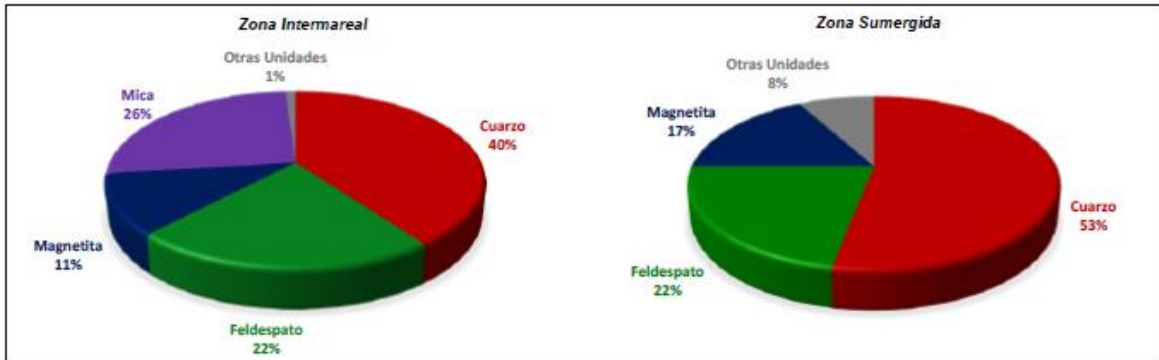


Figura 13-9 Minerales característicos, Playa Caleta Abarca
Fuente: Gálvez (2017)

13.6 GRÁFICOS PROPAGACIÓN DE OLAJE

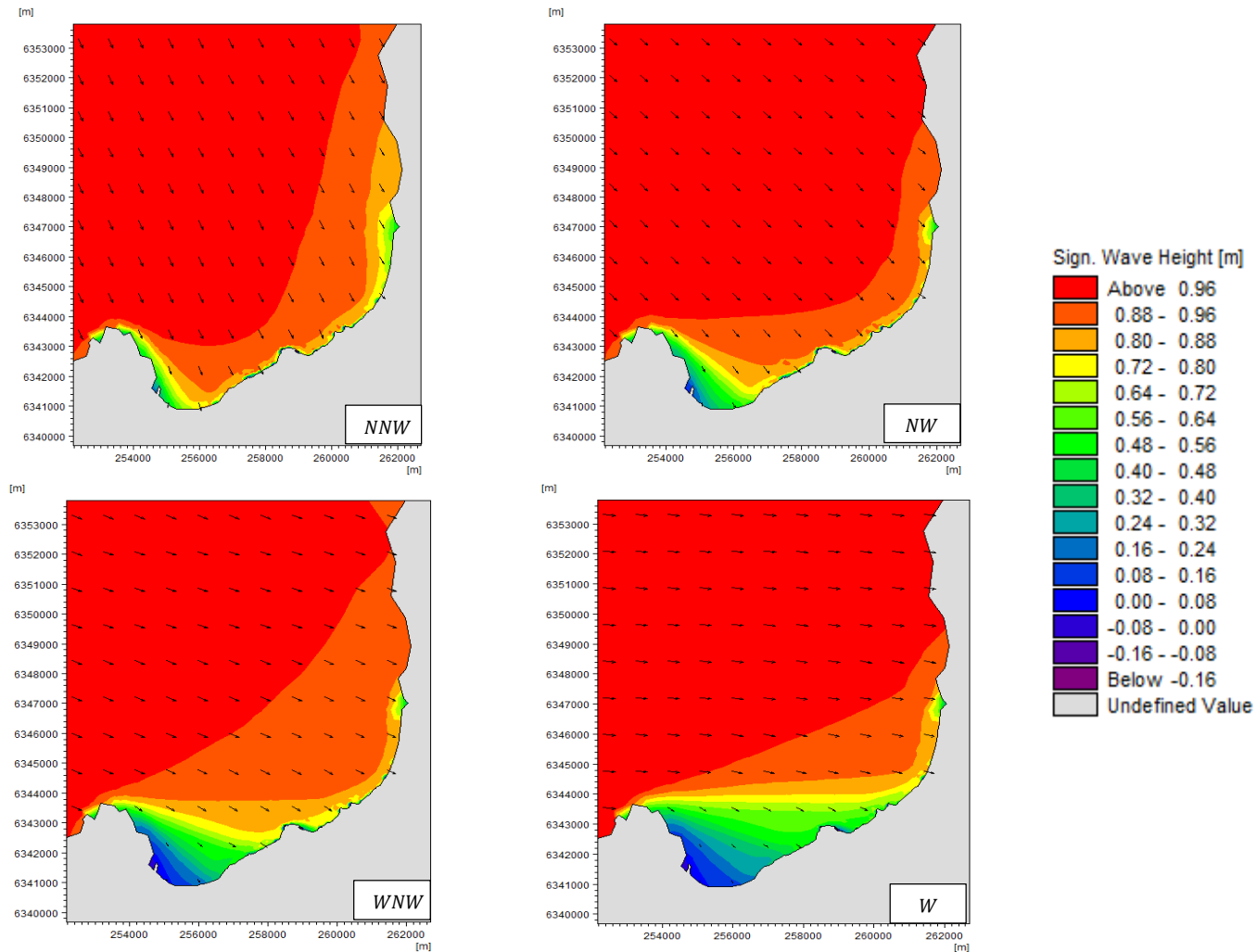


Figura 13-10 Periodo 5 [s], direcciones cuarto cuadrante.
Fuente: Elaboración propia

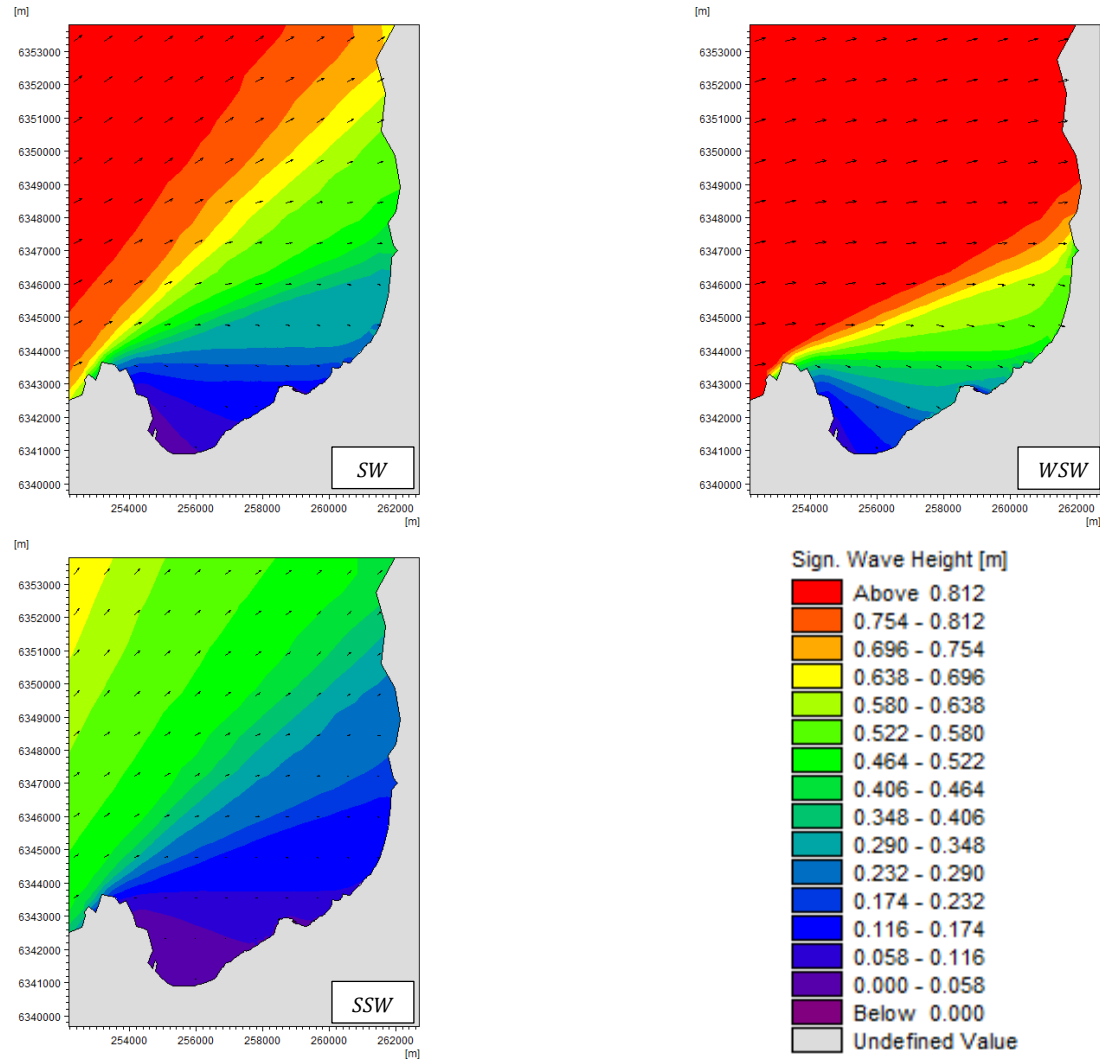


Figura 13-11 Periodo 5 [s], direcciones tercer cuadrante
Fuente: Elaboración propia

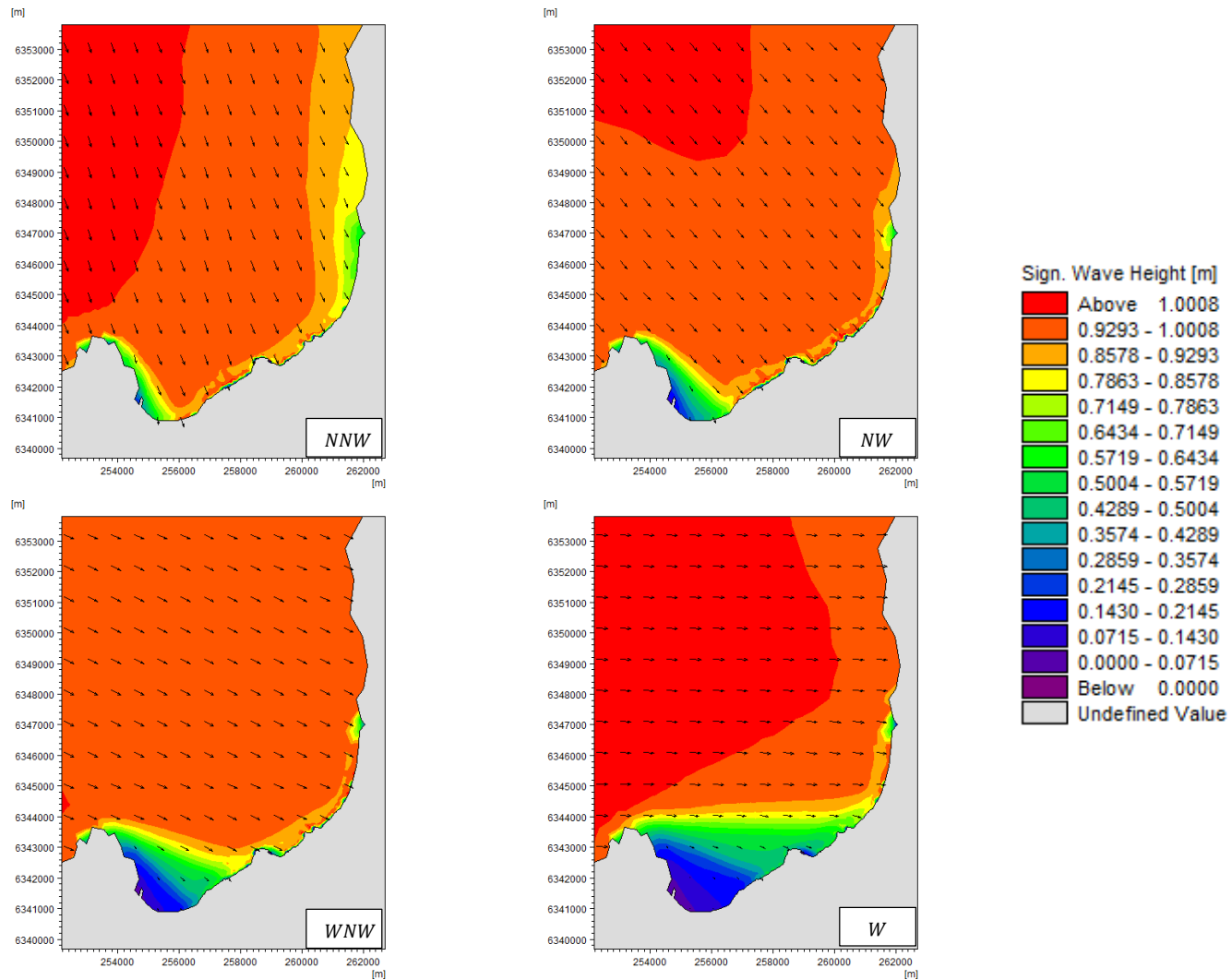


Figura 13-12 Período 7 [s], direcciones cuarto cuadrante.
Fuente: Elaboración propia

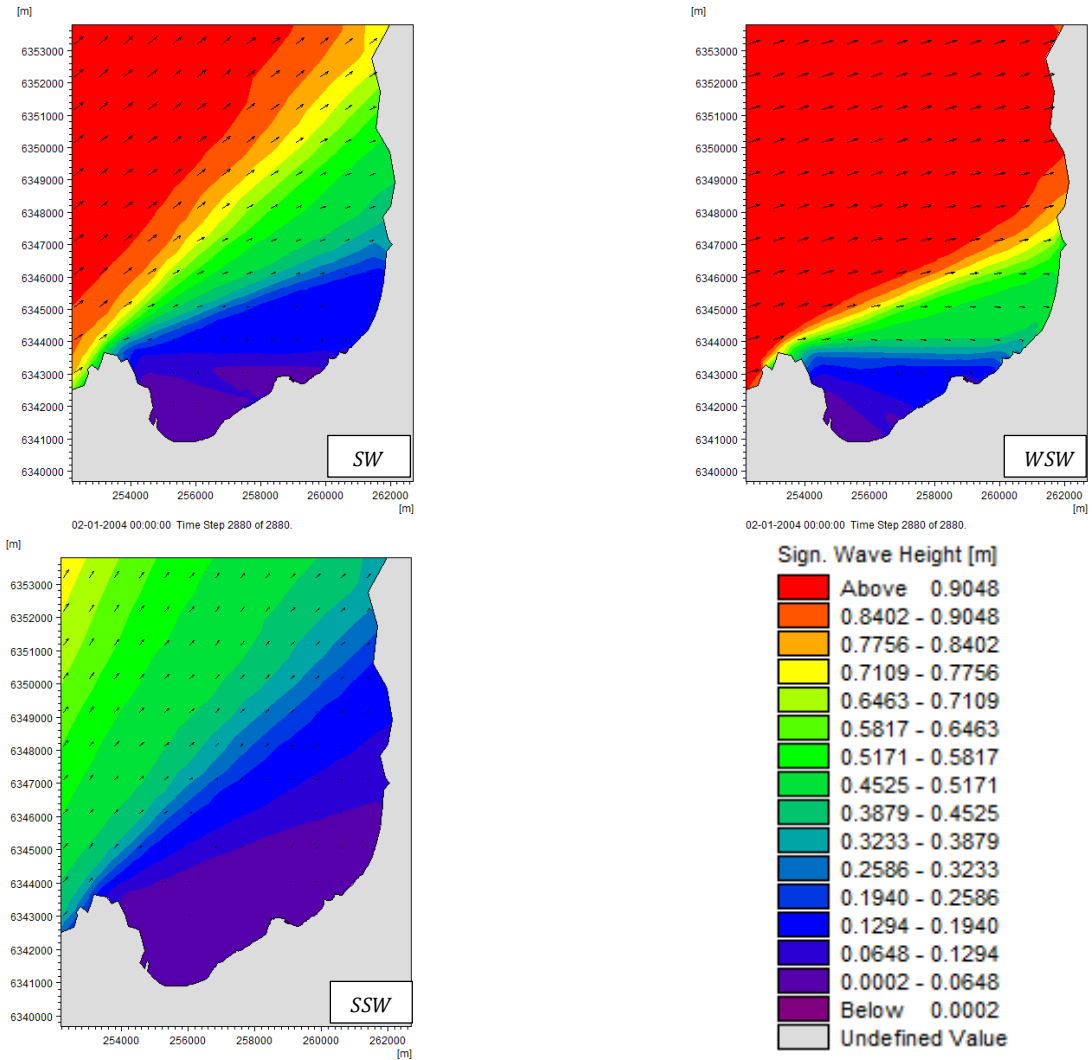


Figura 13-13 Período 7 [s], direcciones tercer cuadrante
Fuente: Elaboración propia

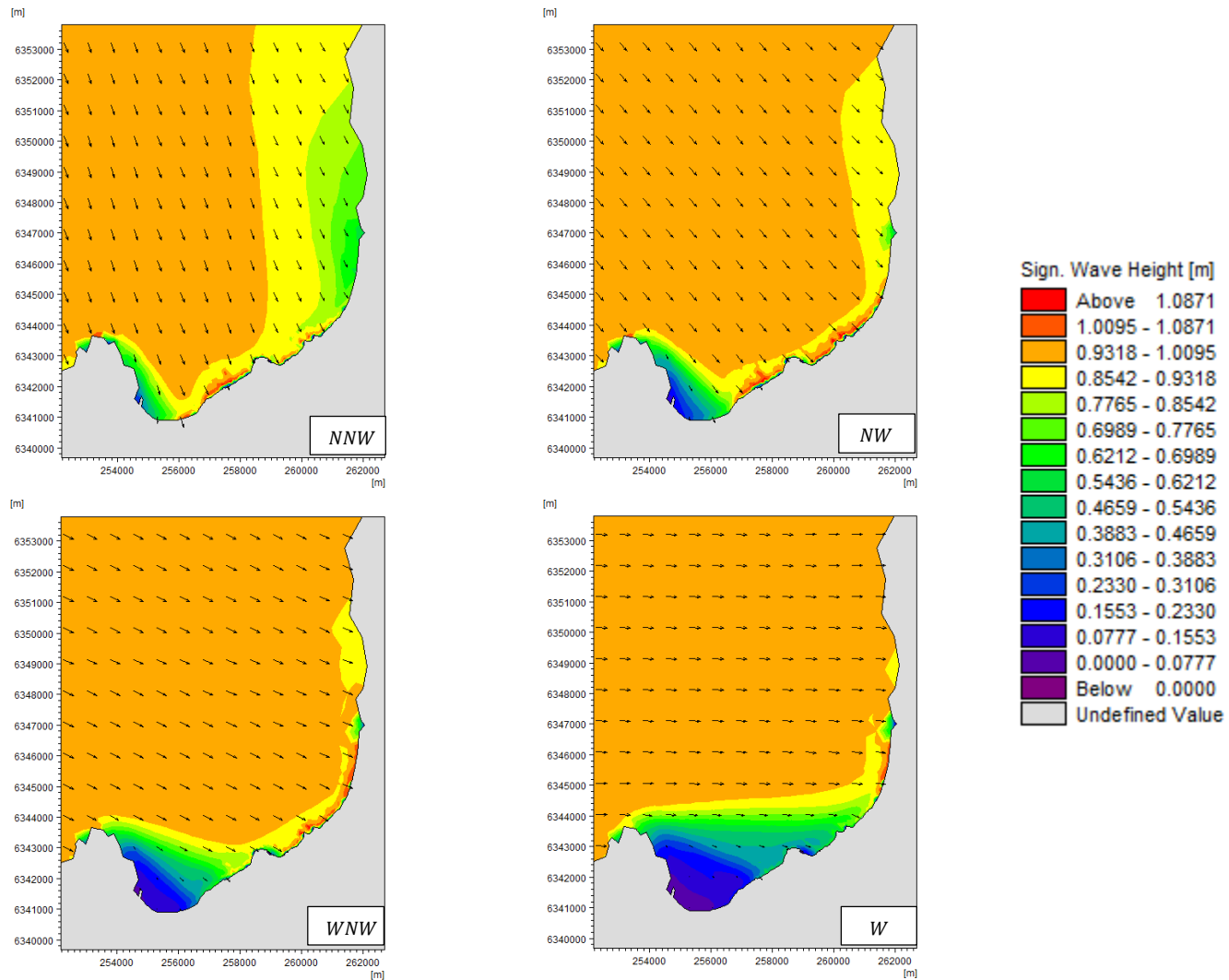


Figura 13-14 Periodo 9 [s], direcciones cuarto cuadrante.
Fuente: Elaboración propia

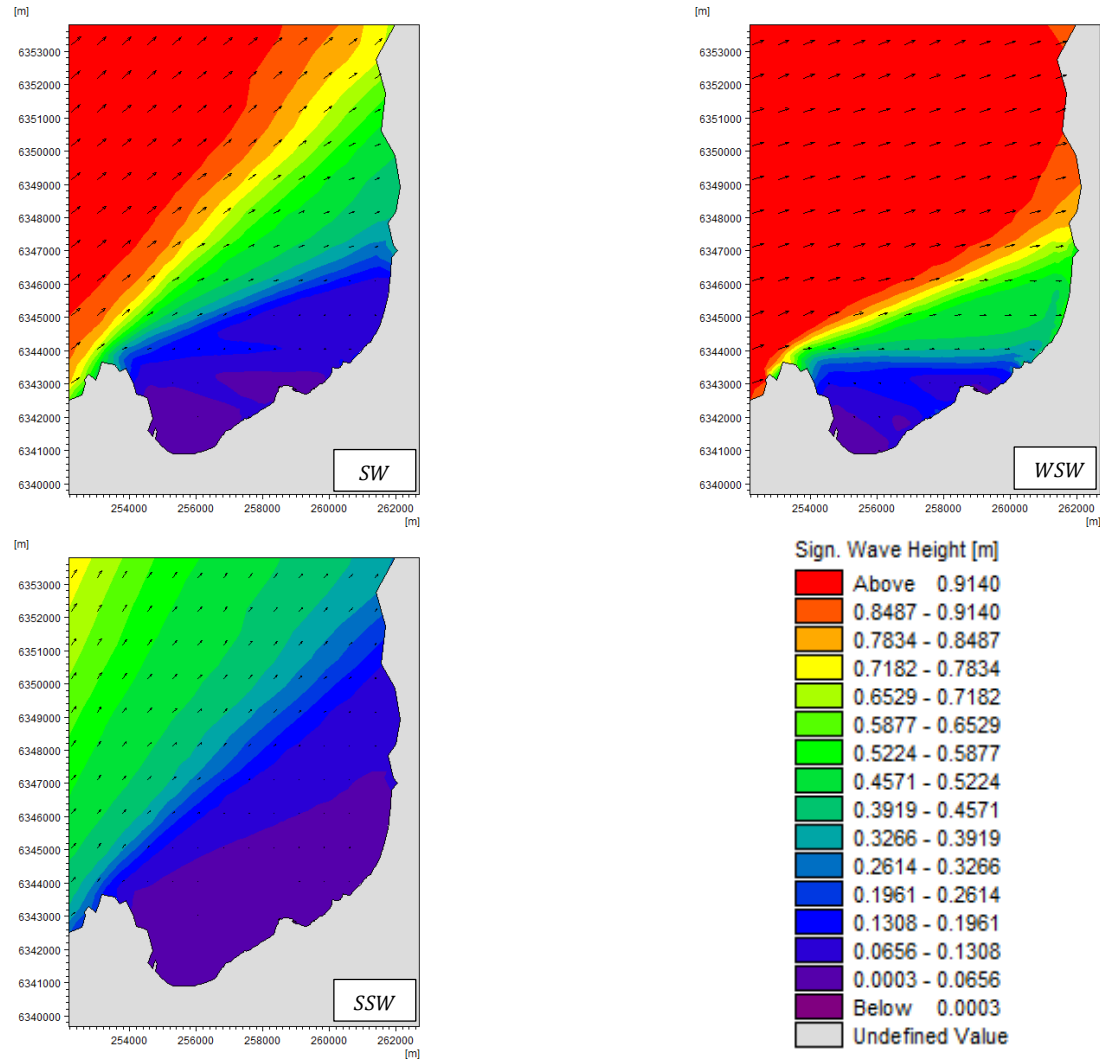


Figura 13-15 Periodo 9 [s], direcciones tercer cuadrante
Fuente: Elaboración propia

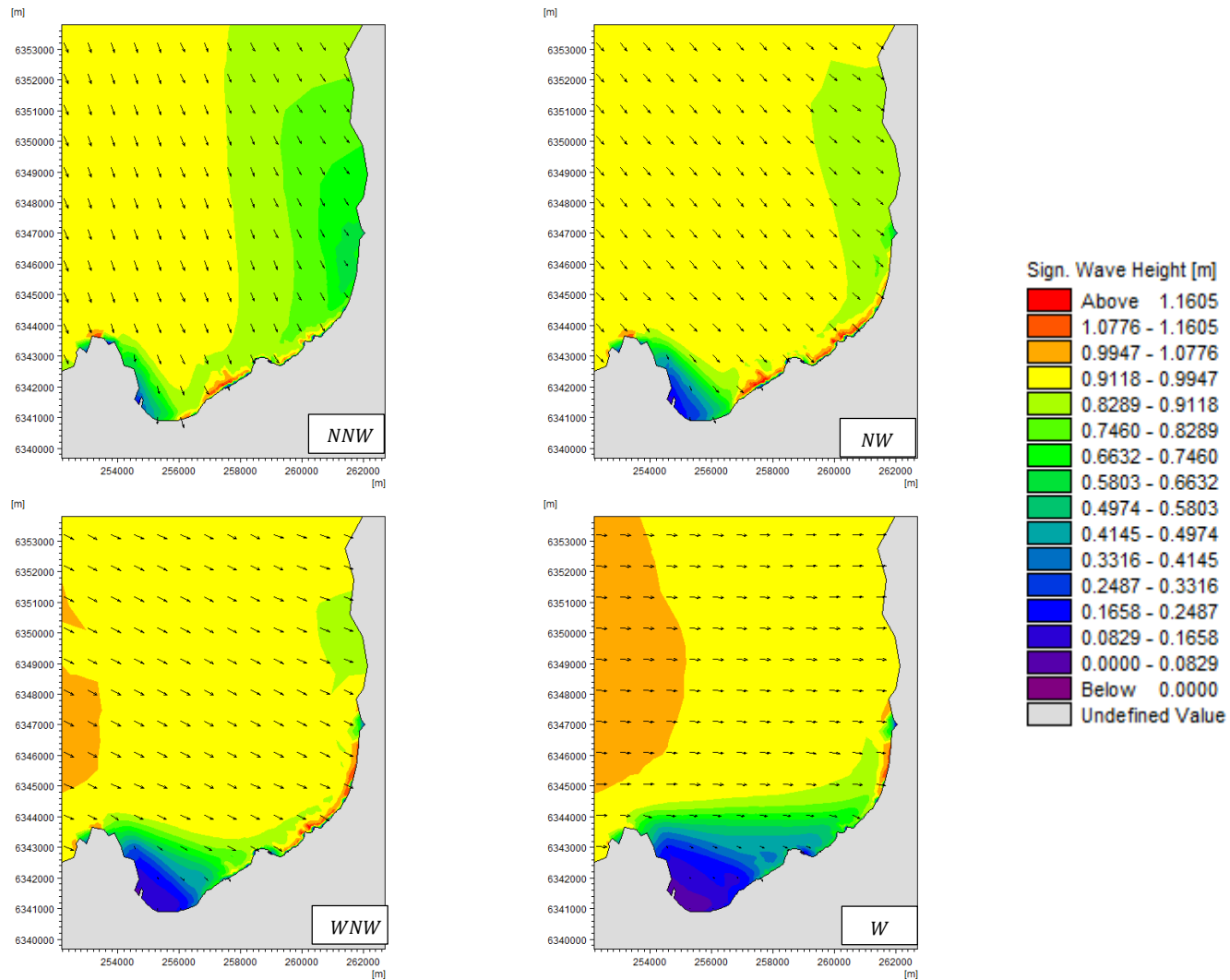


Figura 13-16 Periodo 11 [s], direcciones cuarto cuadrante.
Fuente: Elaboración propia

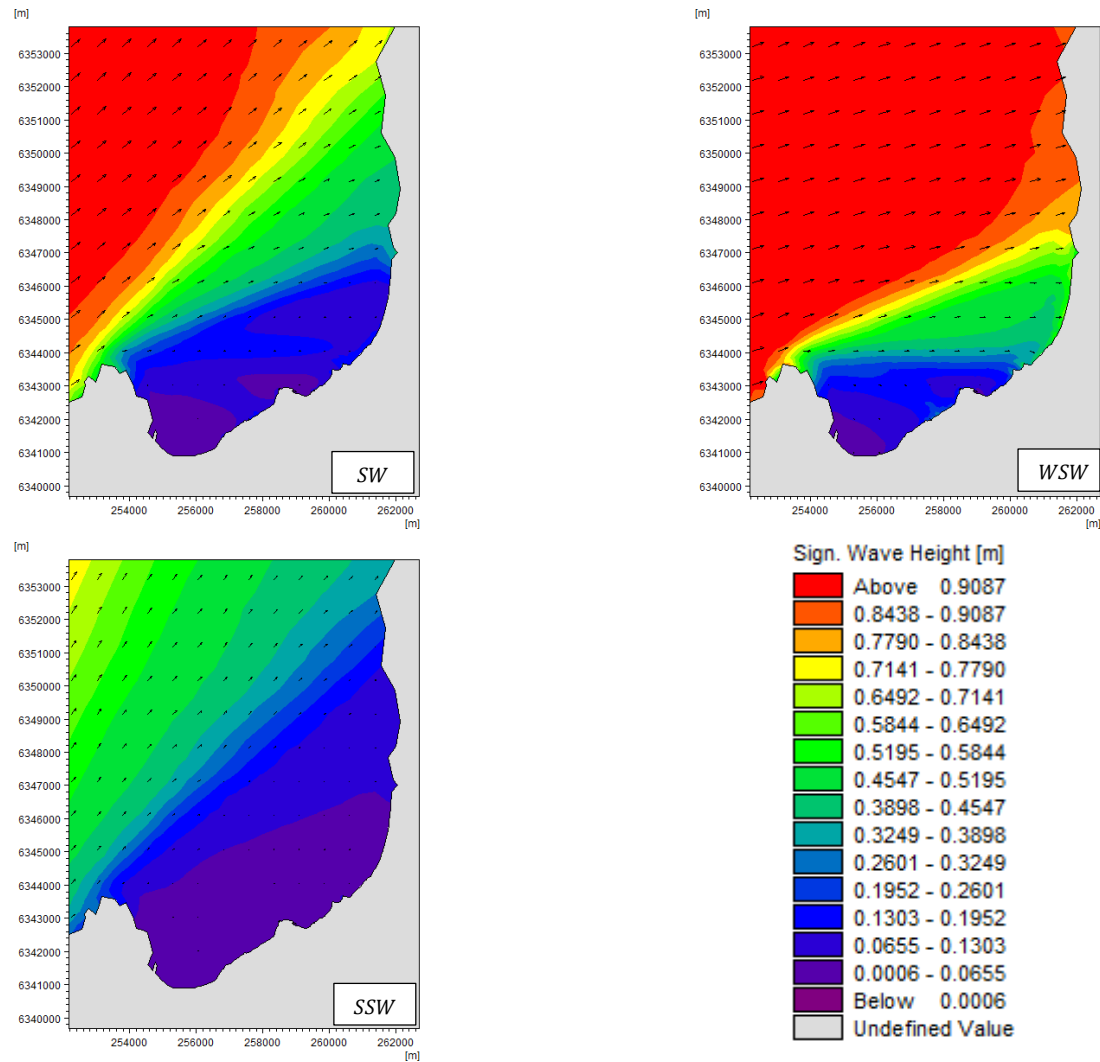


Figura 13-17 Período 11 [s], direcciones tercer cuadrante
Fuente: Elaboración propia

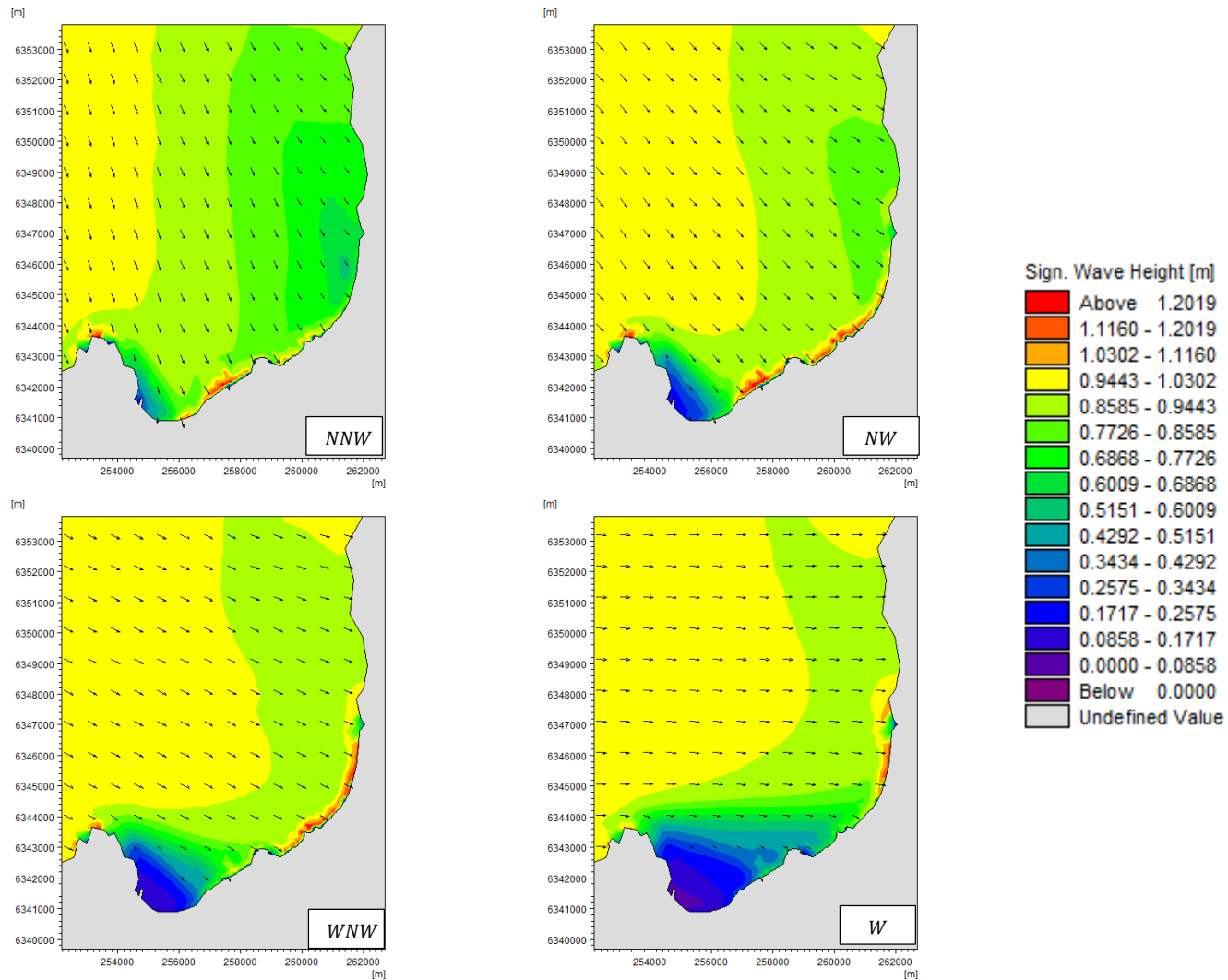


Figura 13-18 Periodo 13 [s], direcciones cuarto cuadrante.
Fuente: Elaboración propia

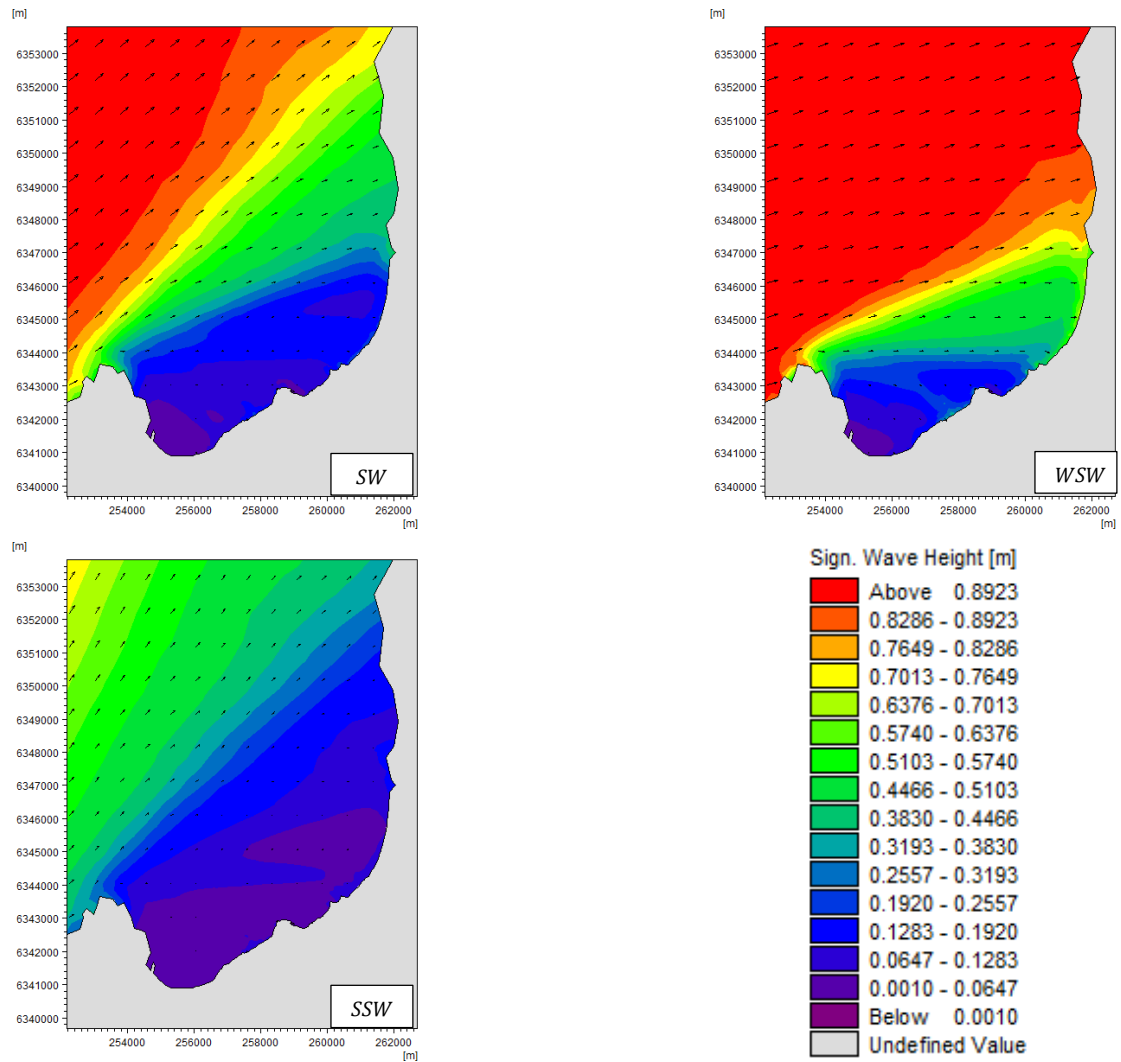


Figura 13-19 Período 13 [s], direcciones tercer cuadrante
Fuente: Elaboración propia

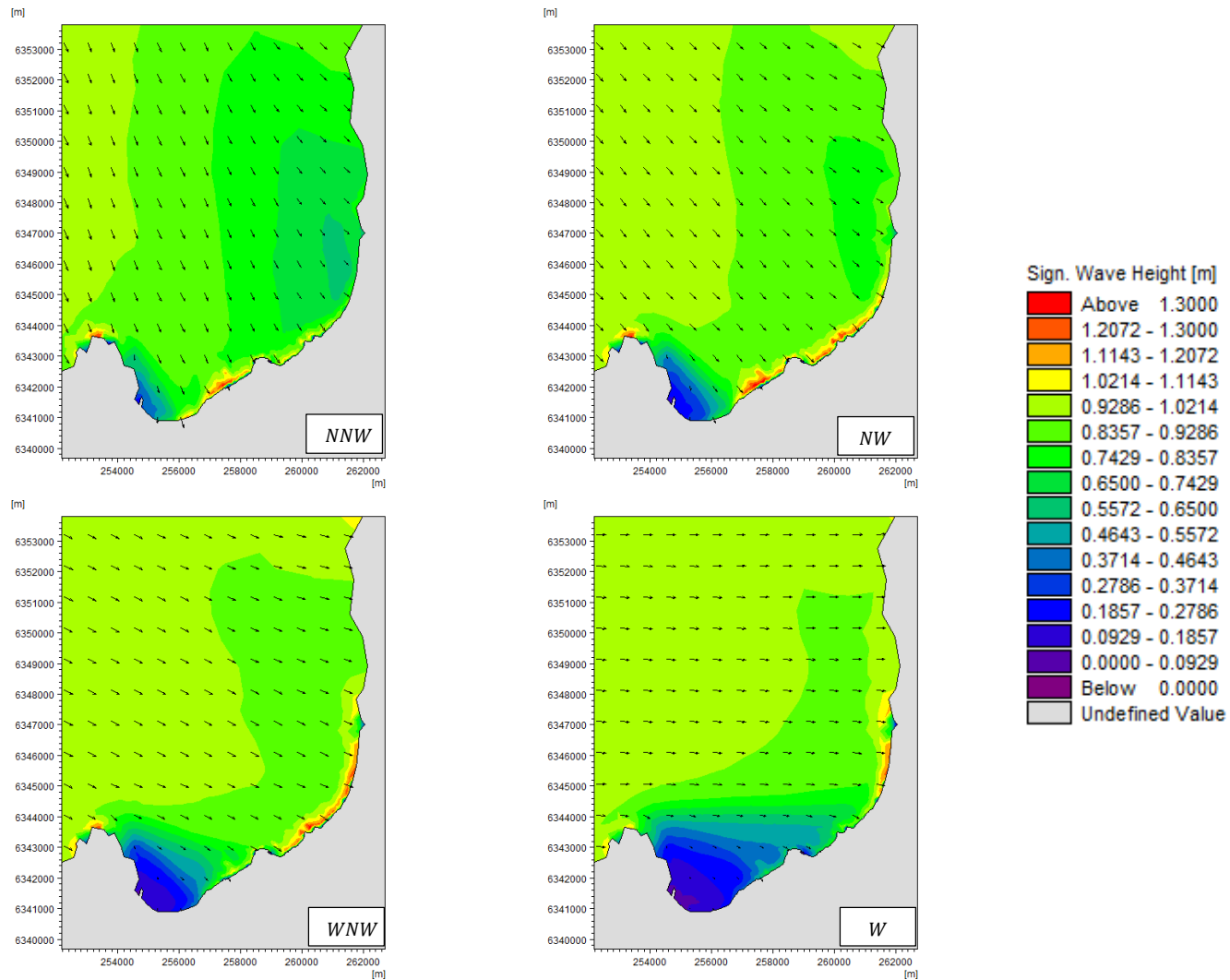


Figura 13-20 Periodo 15 [s], direcciones cuarto cuadrante.
Fuente: Elaboración propia

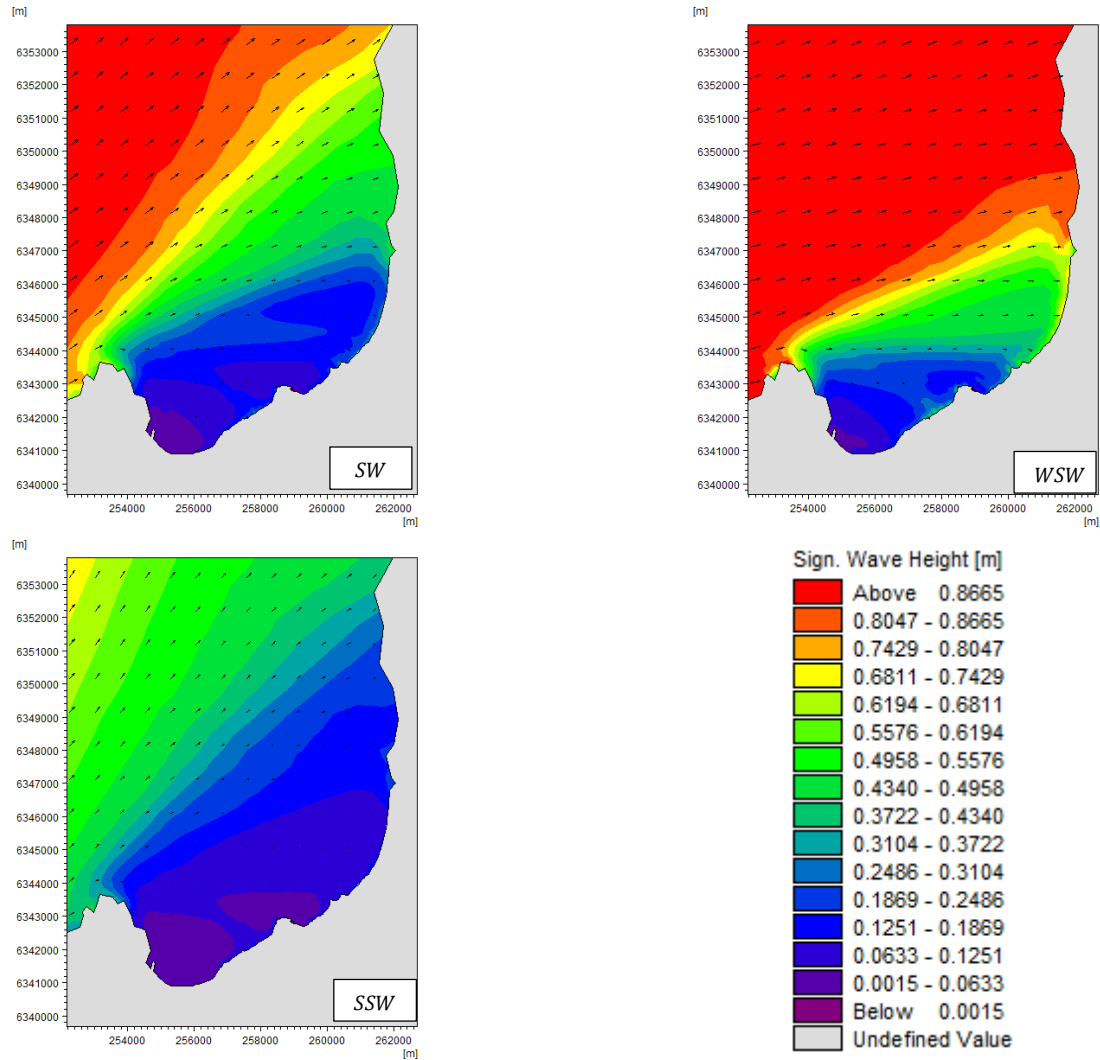


Figura 13-21 Período 15 [s], direcciones tercer cuadrante
Fuente: Elaboración propia

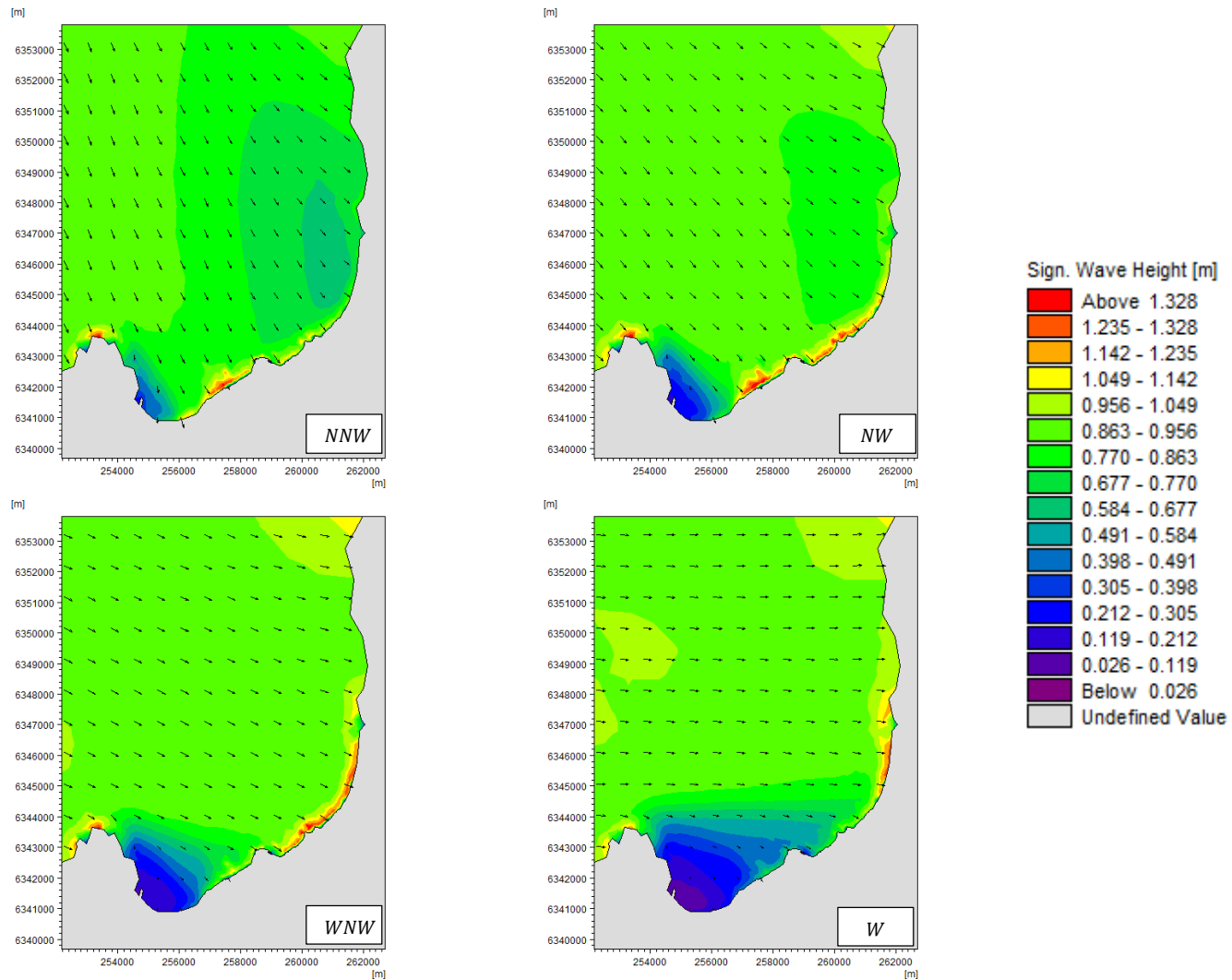


Figura 13-22 Periodo 17 [s], direcciones cuarto cuadrante.
Fuente: Elaboración propia

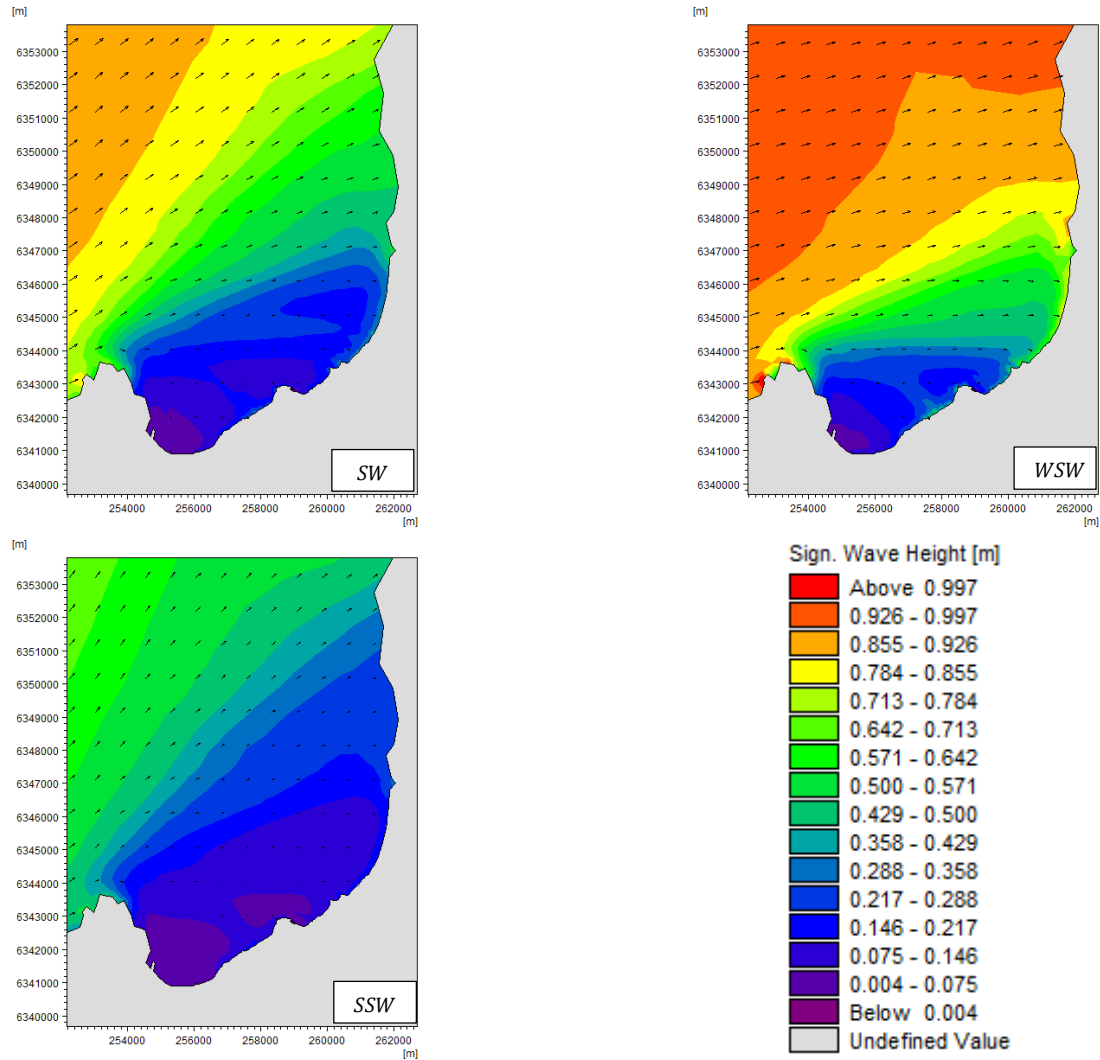


Figura 13-23 Período 17 [s], direcciones tercer cuadrante
Fuente: Elaboración propia

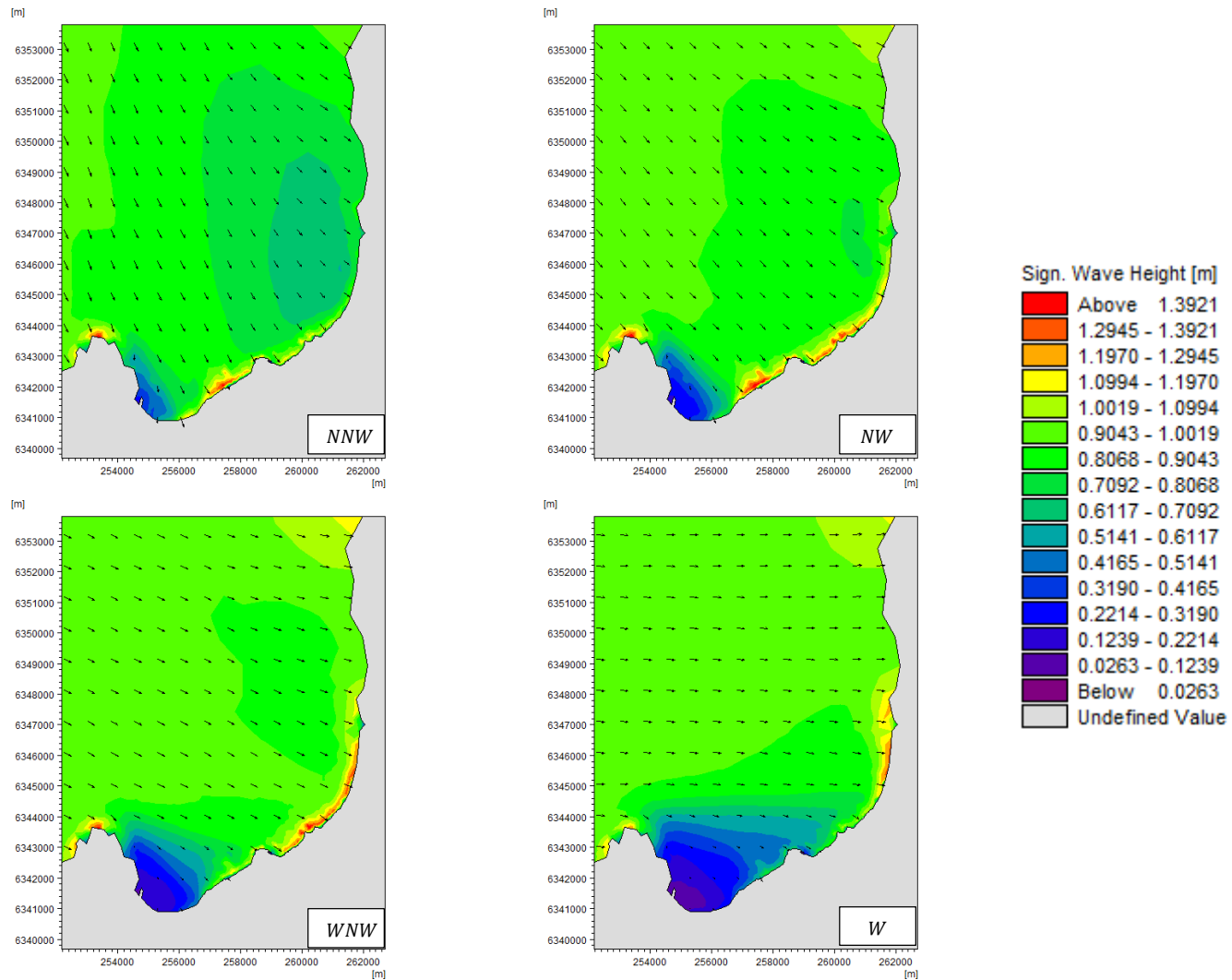


Figura 13-24 Periodo 19 [s], direcciones cuarto cuadrante.
Fuente: Elaboración propia

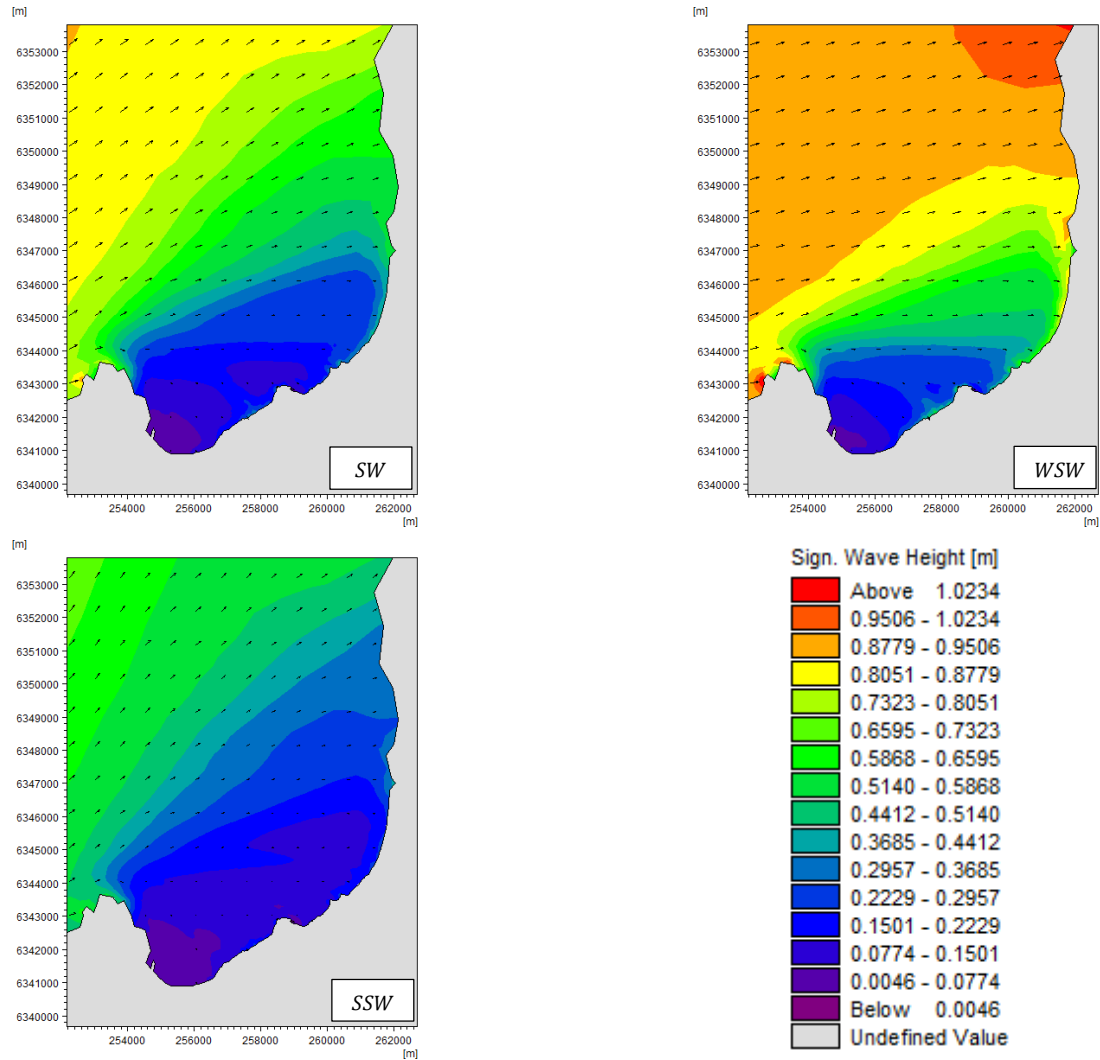


Figura 13-25 Periodo 19 [s], direcciones tercer cuadrante
Fuente: Elaboración propia

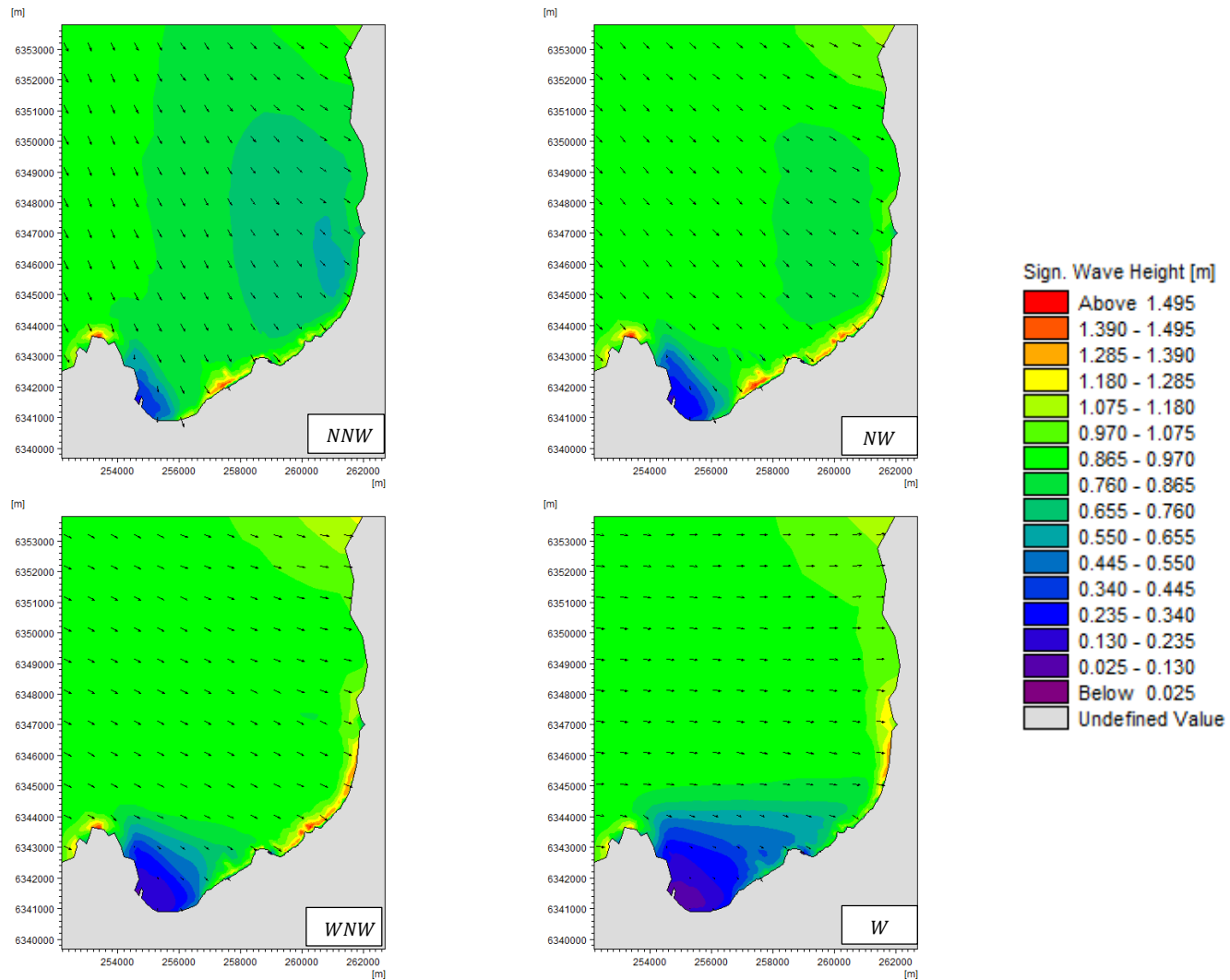


Figura 13-26 Periodo 21 [s], direcciones cuarto cuadrante.
Fuente: Elaboración propia

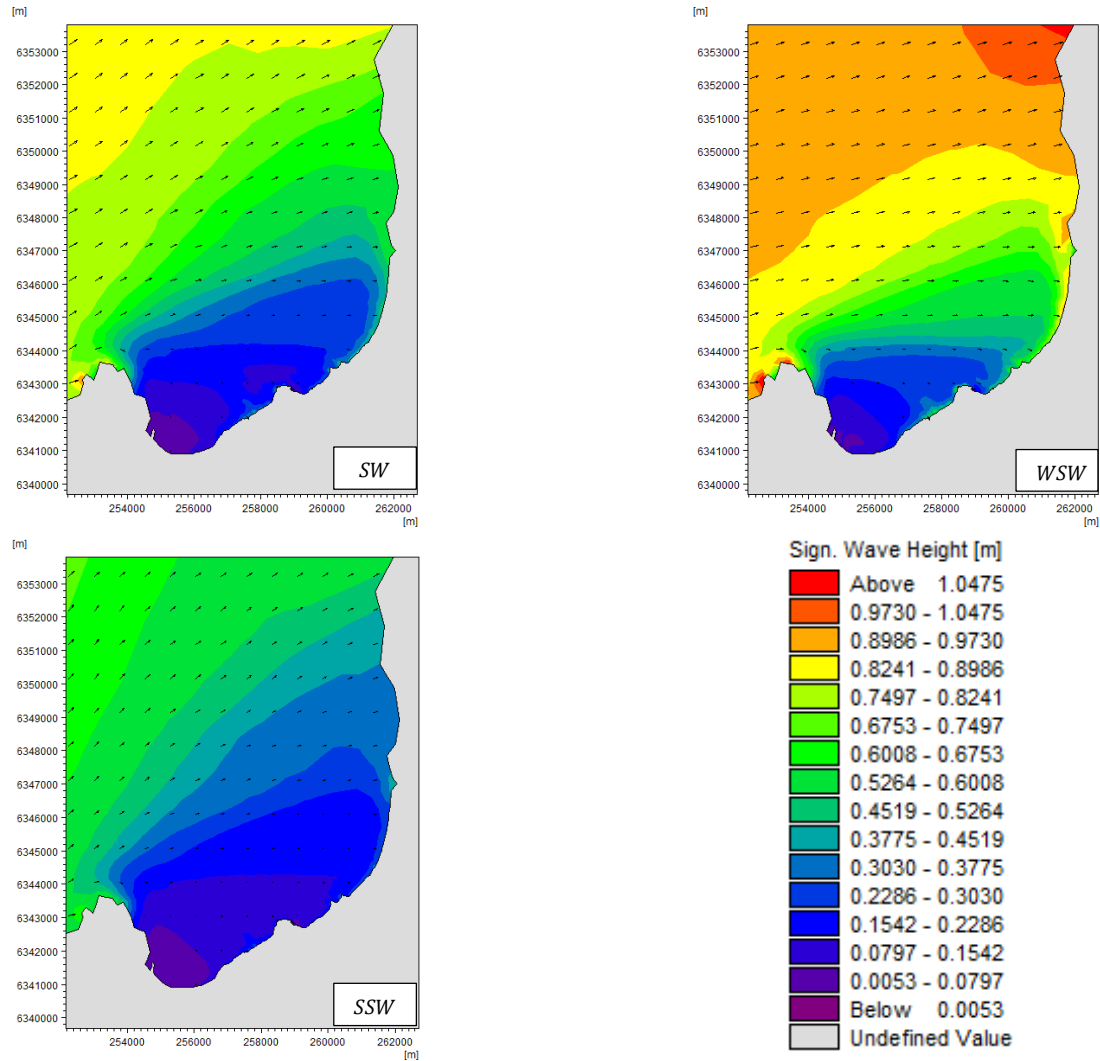


Figura 13-27 Período 21 [s], direcciones tercer cuadrante
Fuente: Elaboración propia

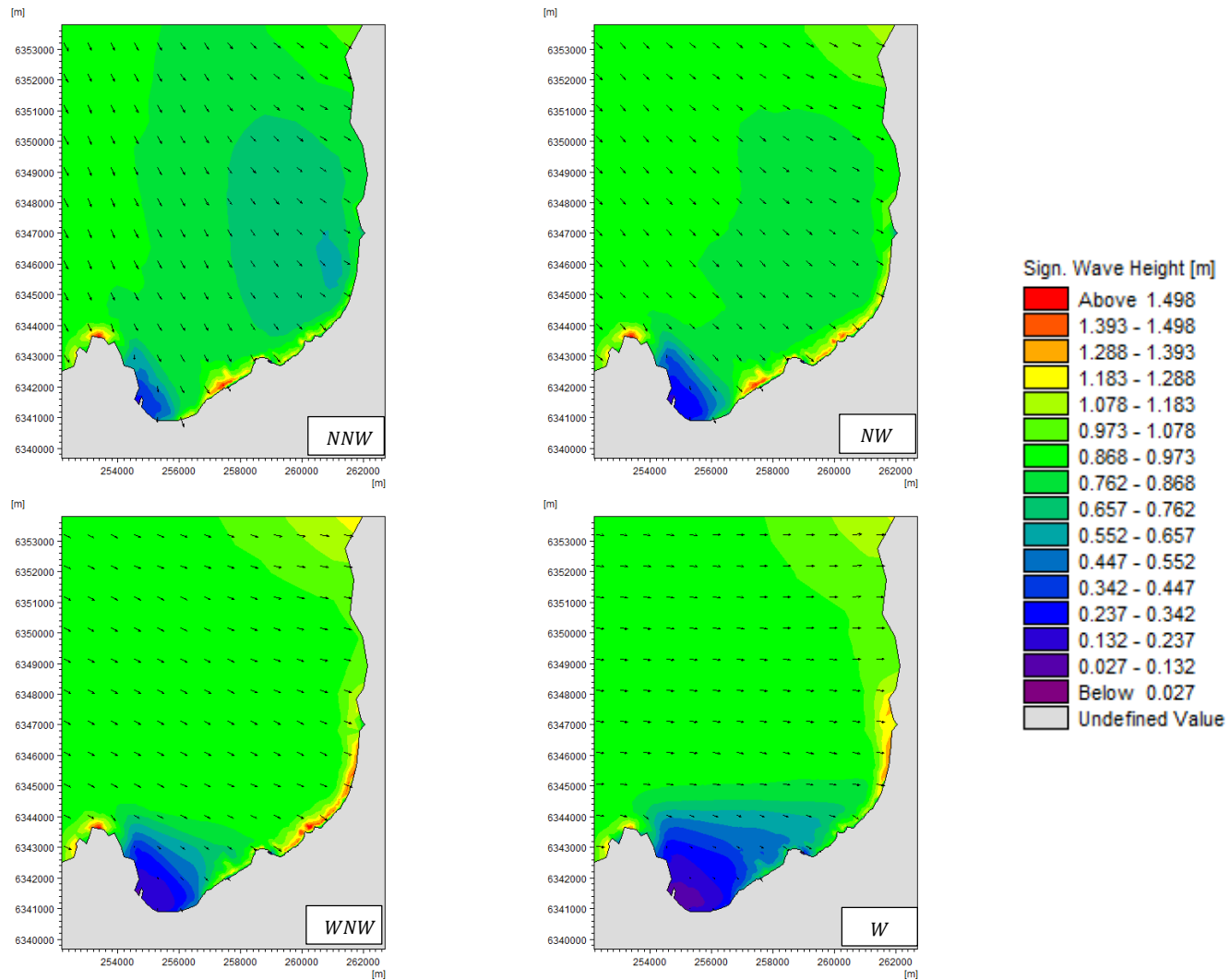


Figura 13-28 Periodo 23 [s], direcciones cuarto cuadrante.
Fuente: Elaboración propia

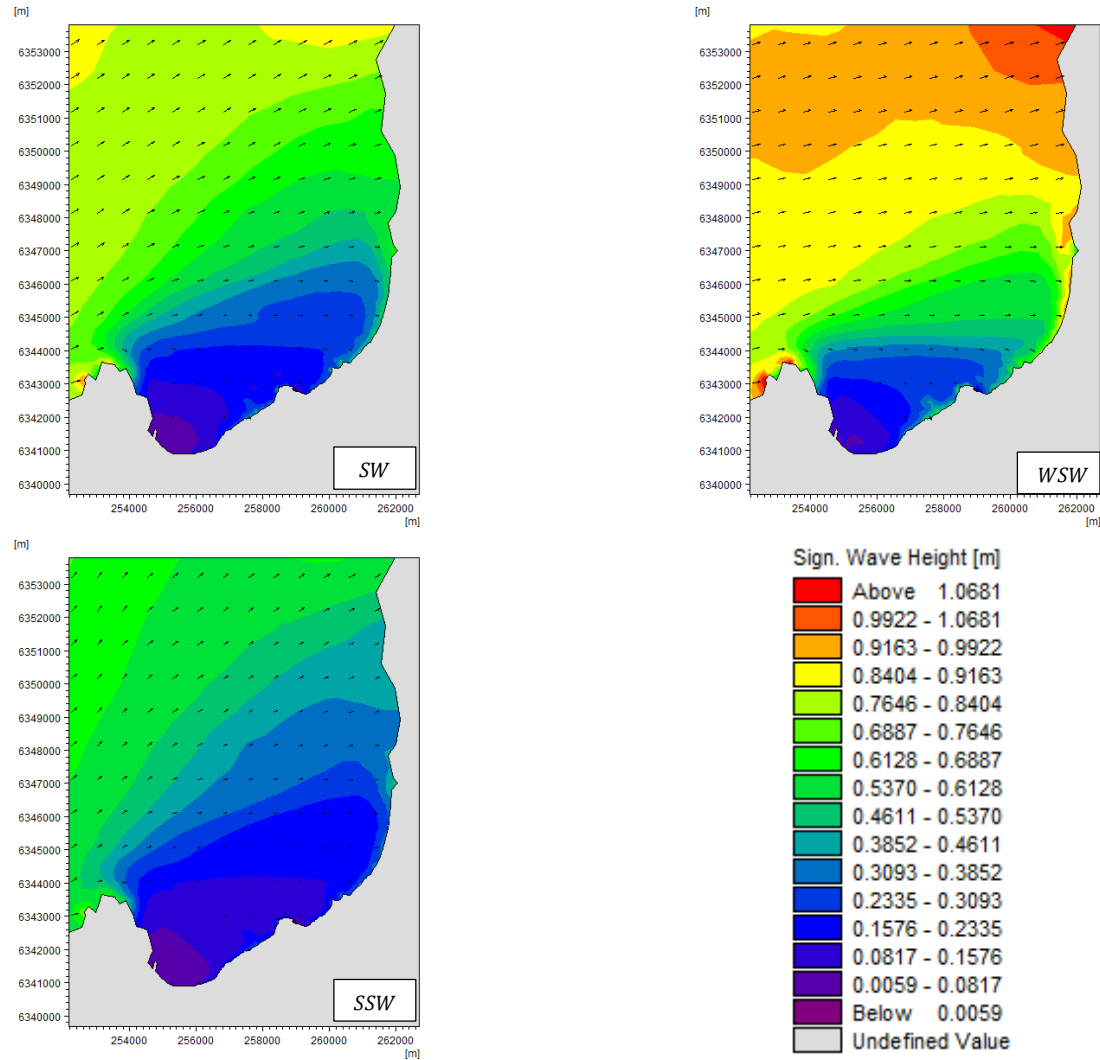


Figura 13-29 Periodo 23 [s], direcciones tercer cuadrante
Fuente: Elaboración propia

13.7 CAMPOS TENSORES DE RADIACIÓN SITUACIÓN ACTUAL

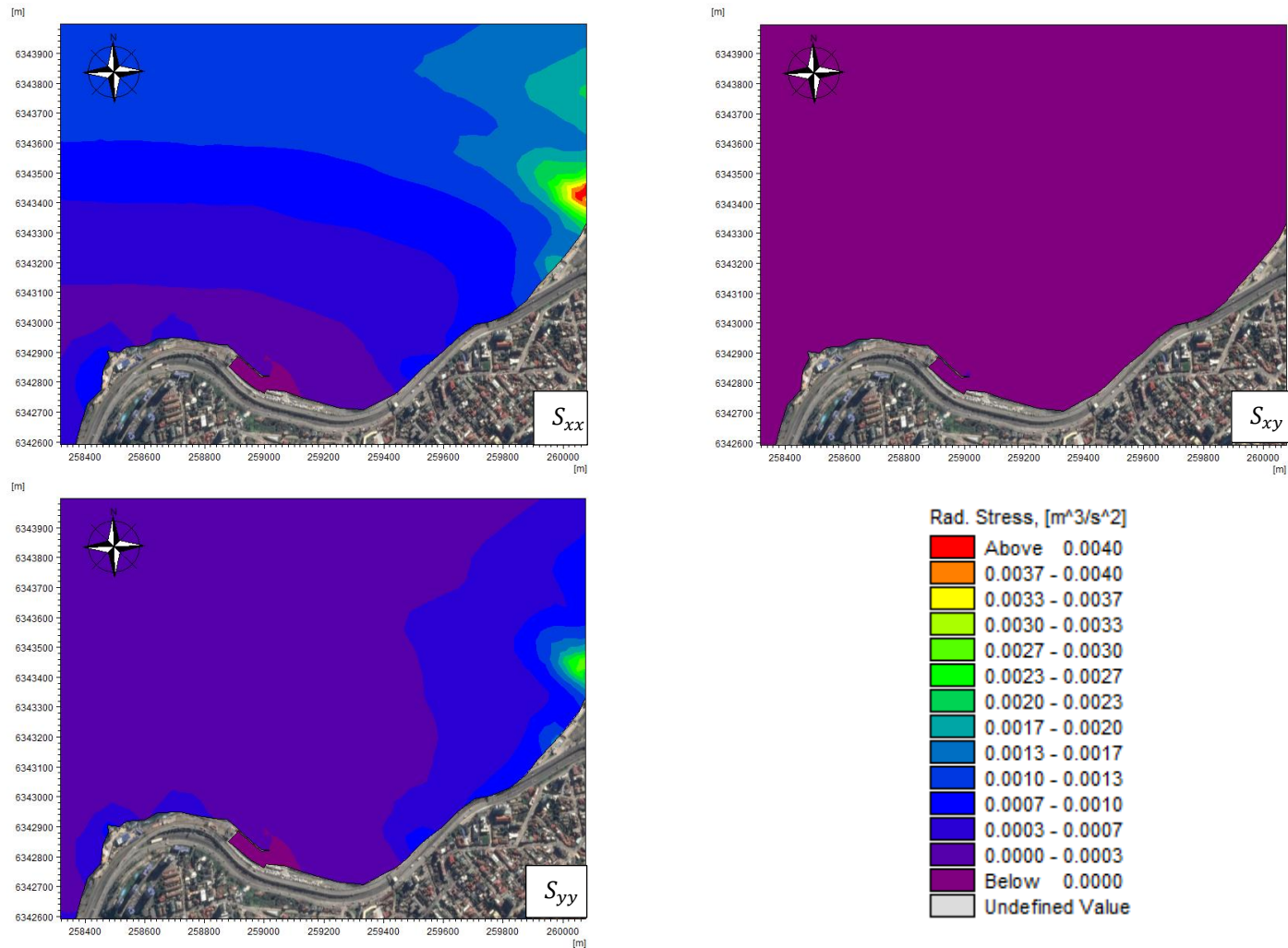


Figura 13-30 Tensores de radiación S_{xx} , S_{xy} y S_{yy} caso 2
Fuente: Elaboración propia

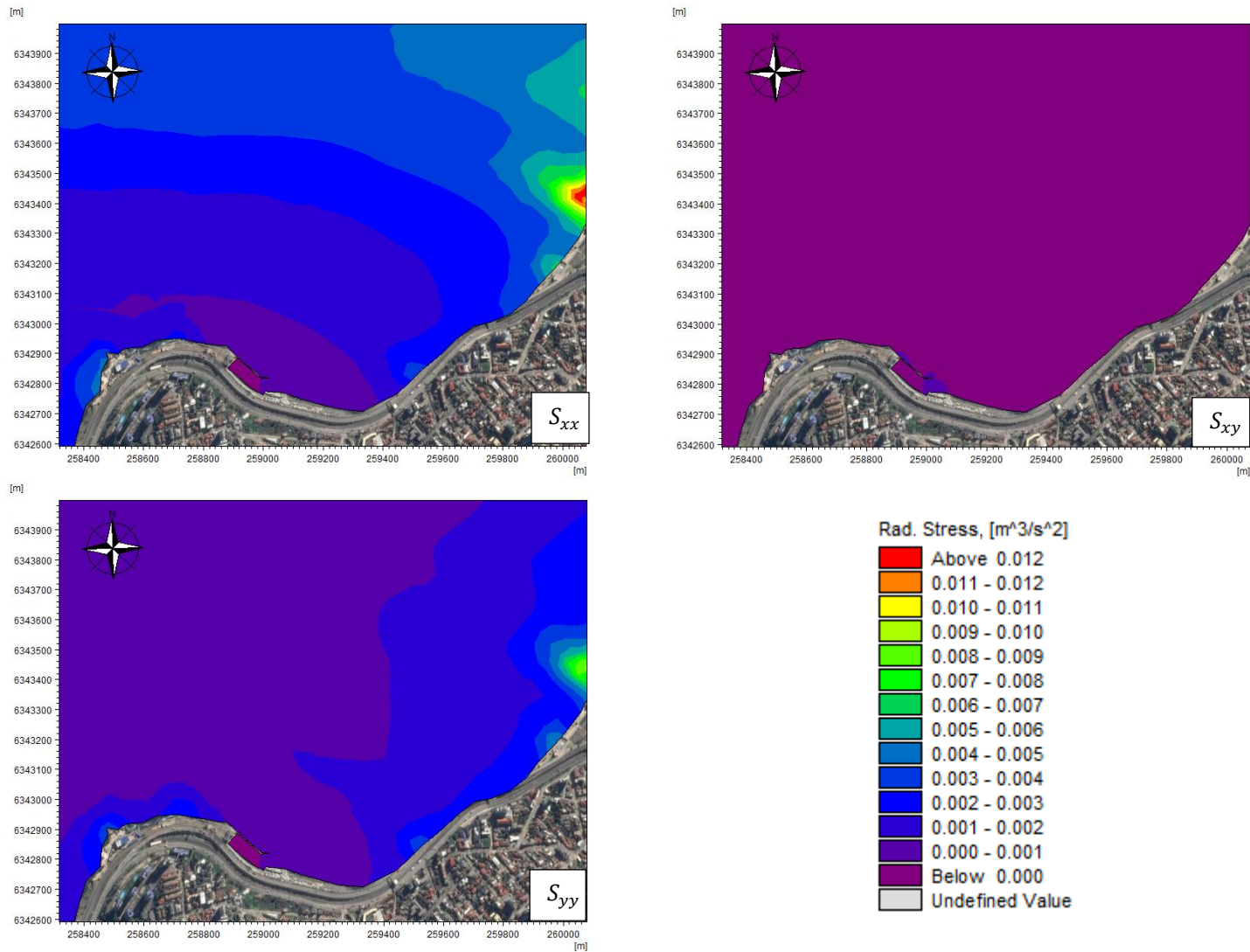


Figura 13-31 Tensores de radiación S_{xx} , S_{xy} y S_{yy} caso 3
Fuente: Elaboración propia

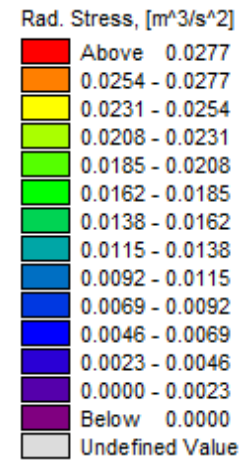
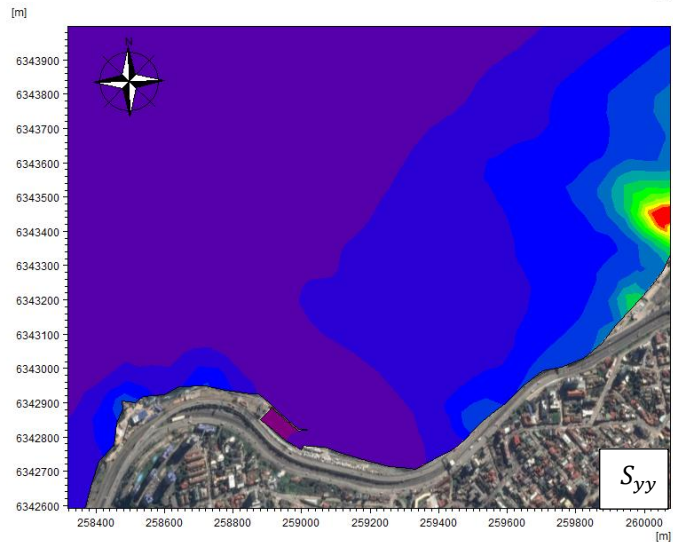
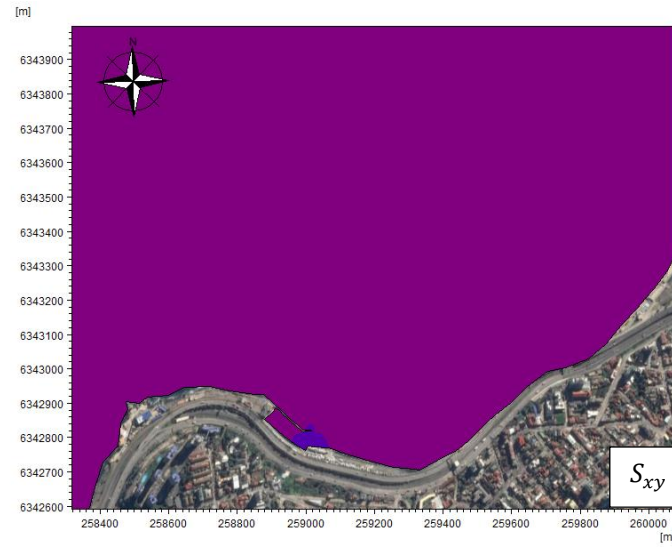
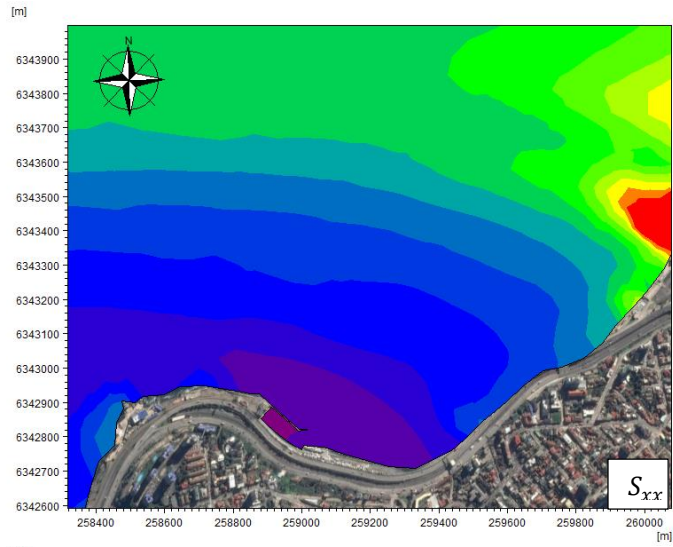


Figura 13-32 Tensores de radiación S_{xx} , S_{xy} y S_{yy} caso 4
Fuente: Elaboración propia

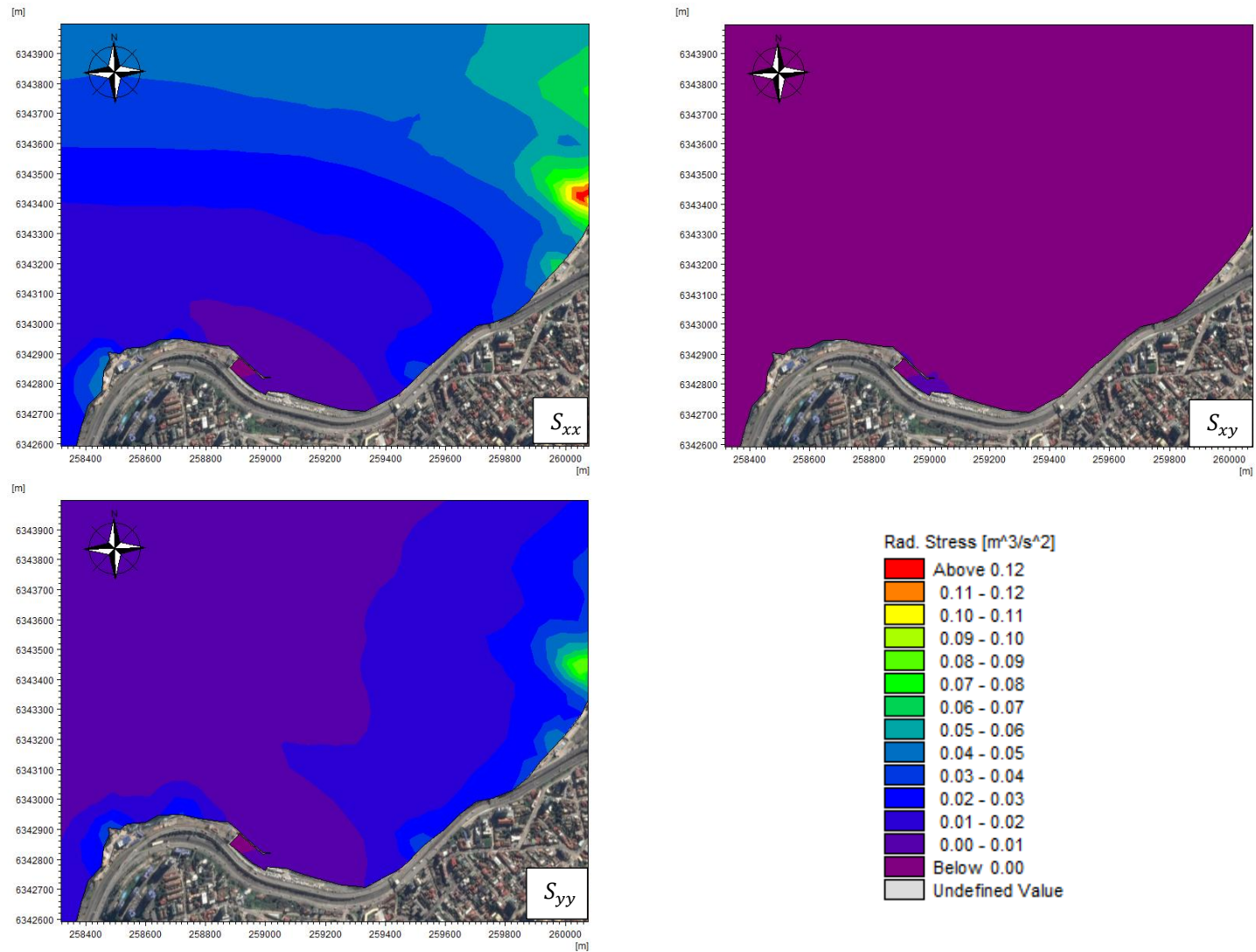


Figura 13-33 Tensores de radiación S_{xx} , S_{xy} y S_{yy} caso 5
Fuente: Elaboración propia

13.8 CAMPO TENSORES DE RADIACIÓN ALTERNATIVA N°1

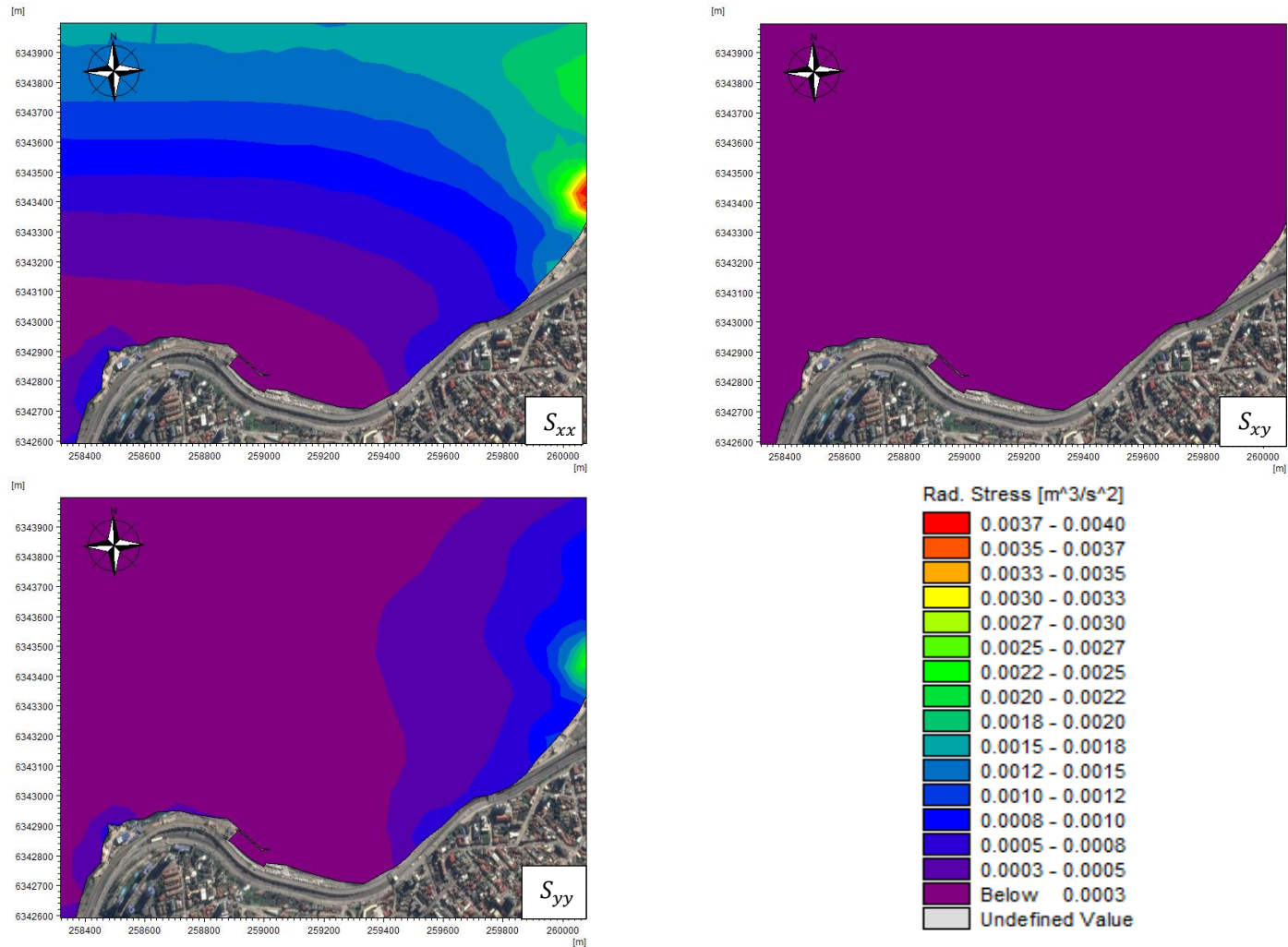


Figura 13-34 Tensores de radiación S_{xx} , S_{xy} y S_{yy} caso 2
Fuente: Elaboración propia

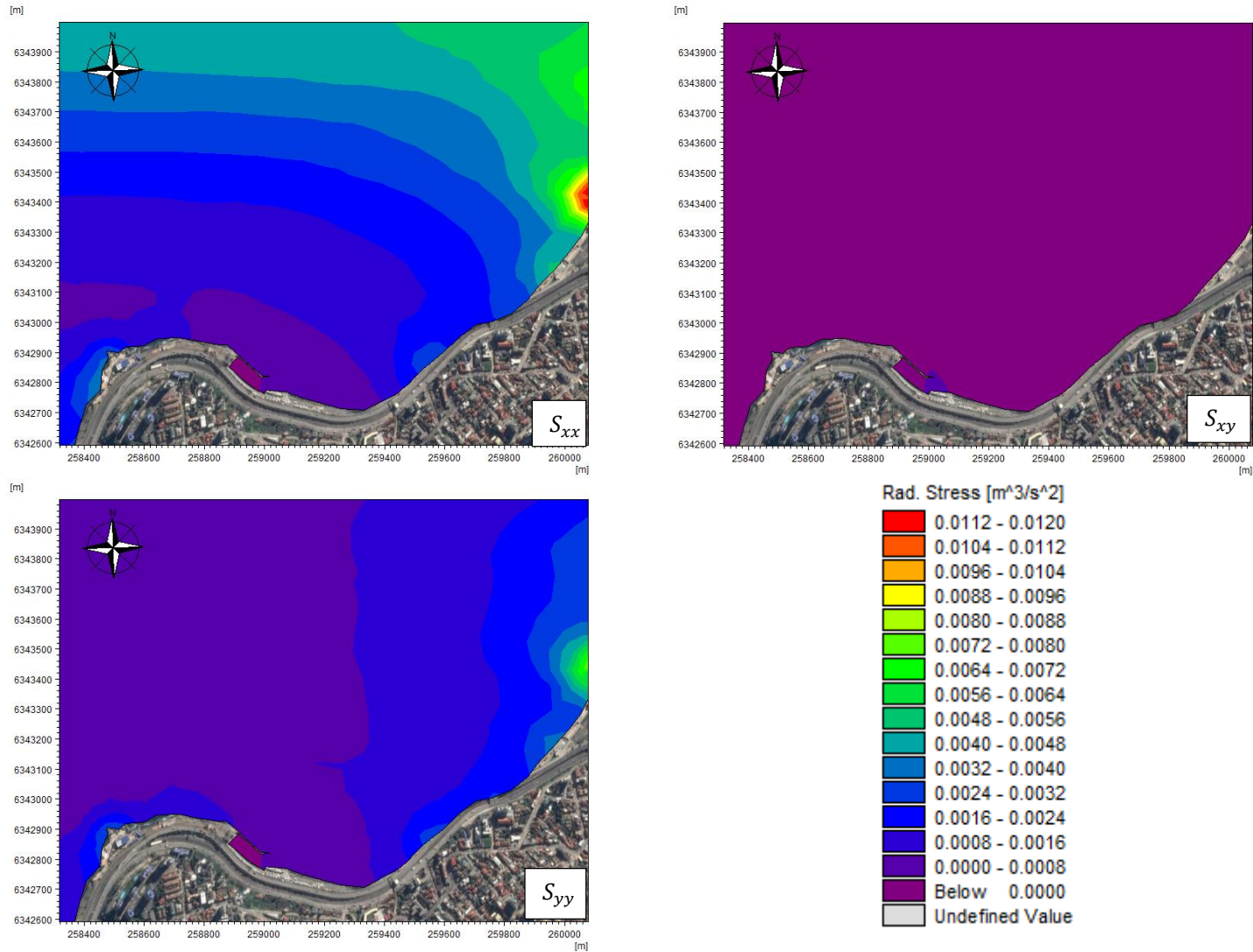


Figura 13-35 Tensores de radiación S_{xx} , S_{xy} y S_{yy} caso 3
Fuente: Elaboración propia

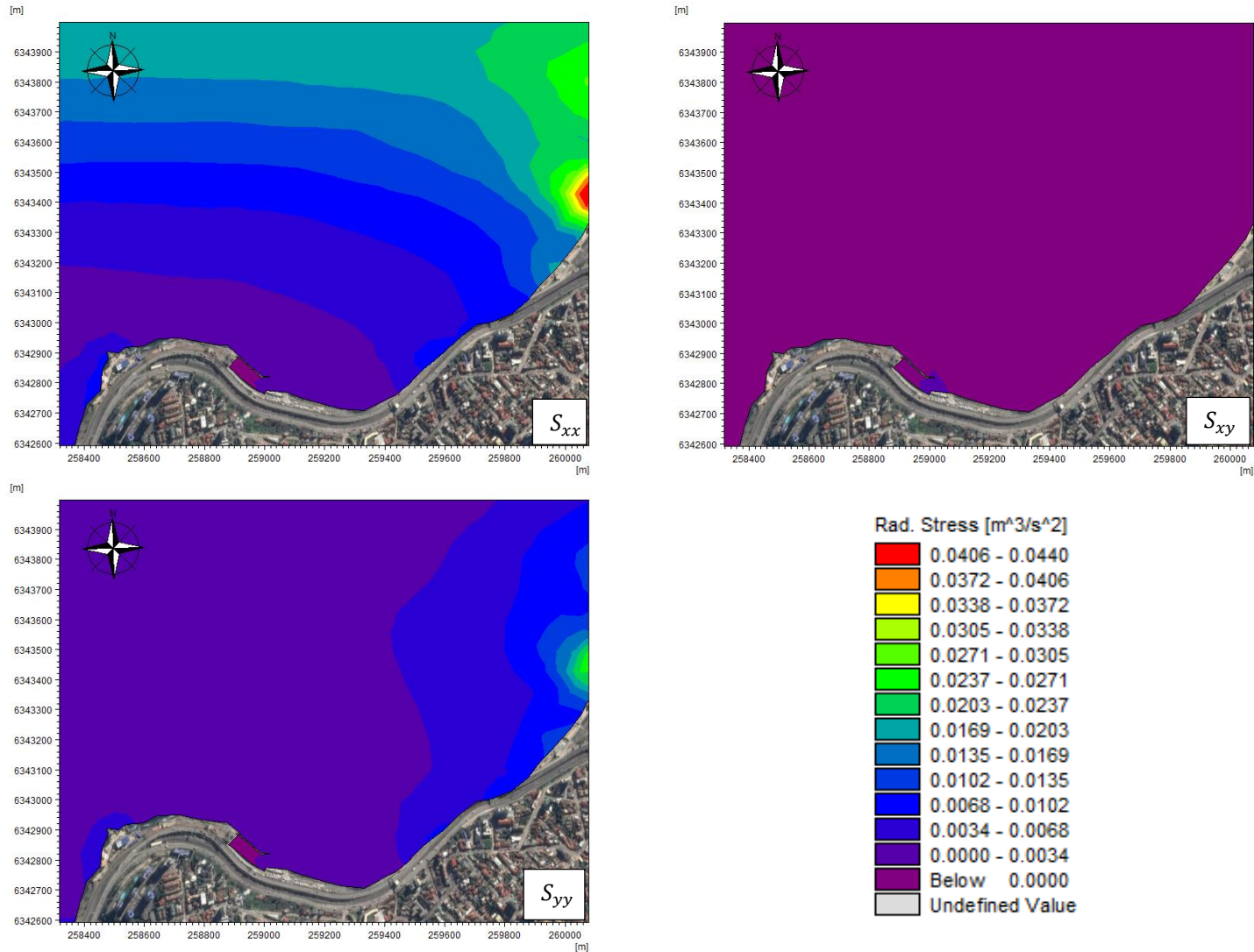


Figura 13-36 Tensores de radiación S_{xx} , S_{xy} y S_{yy} caso 4
Fuente: Elaboración propia

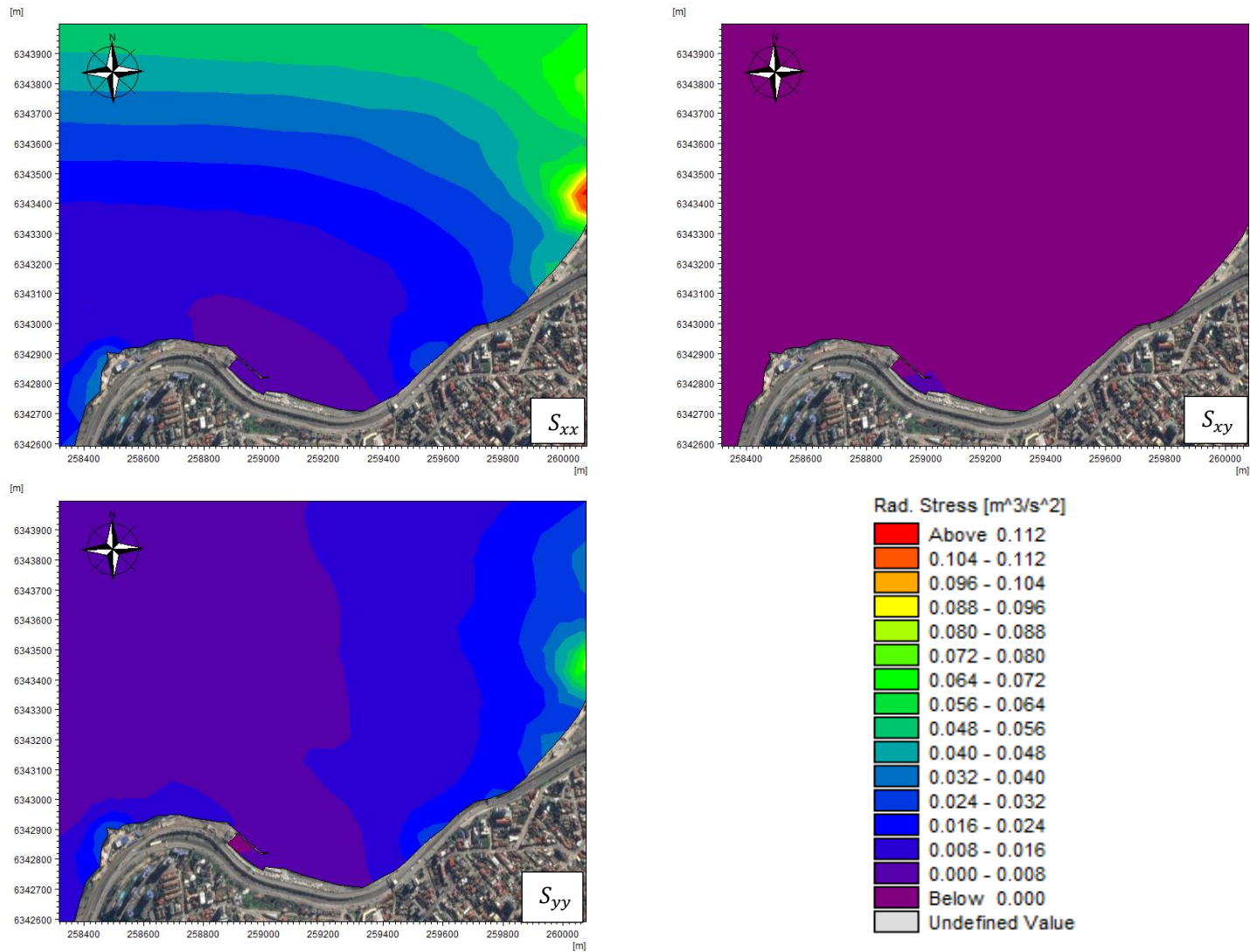


Figura 13-37 Tensores de radiación S_{xx} , S_{xy} y S_{yy} caso 5
Fuente: Elaboración propia

13.9 CAMPO TENSORES DE RADIACIÓN ALTERNATIVA N°2

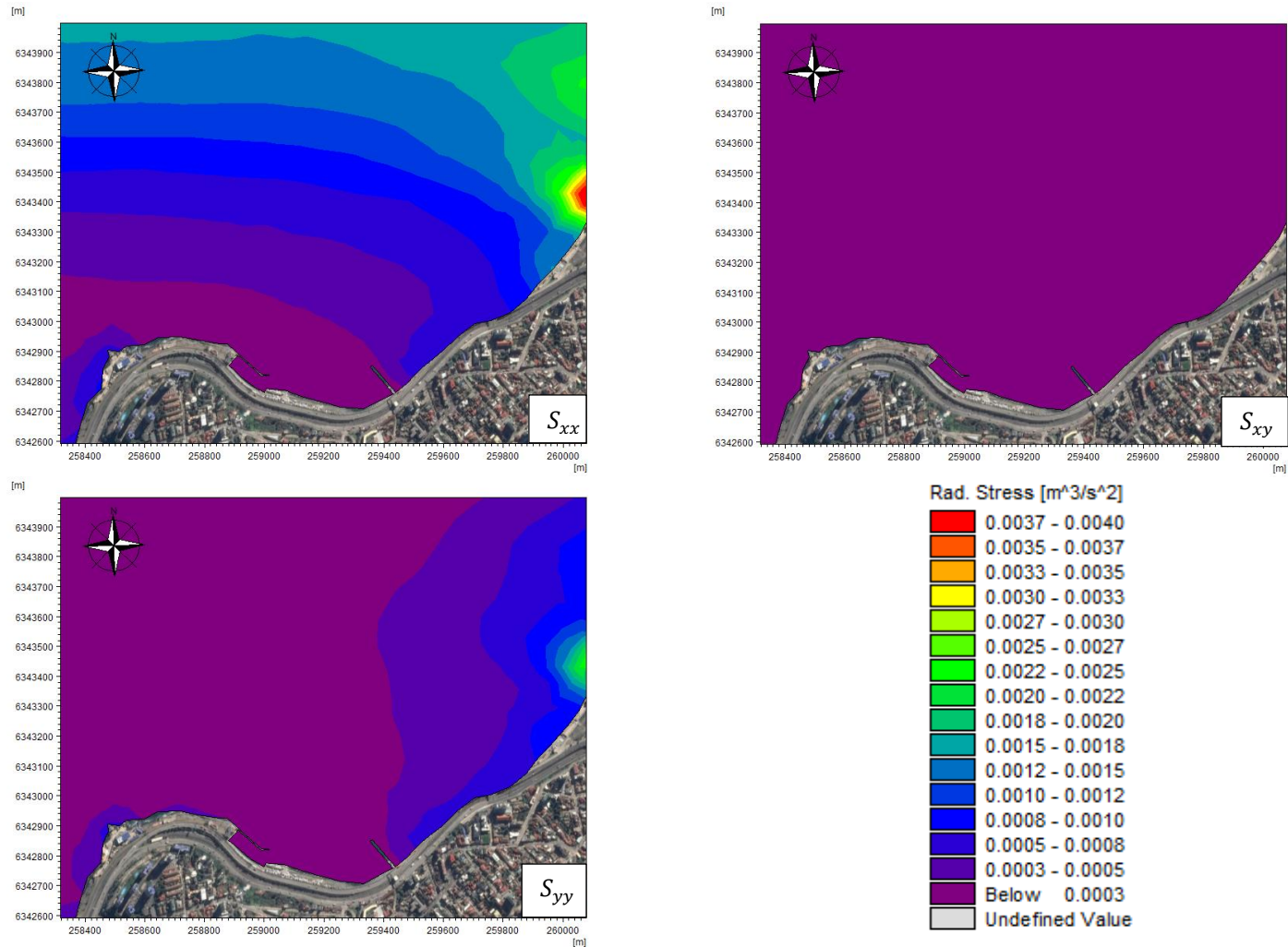


Figura 13-38 Tensores de radiación S_{xx} , S_{xy} y S_{yy} caso 2
Fuente: Elaboración propia

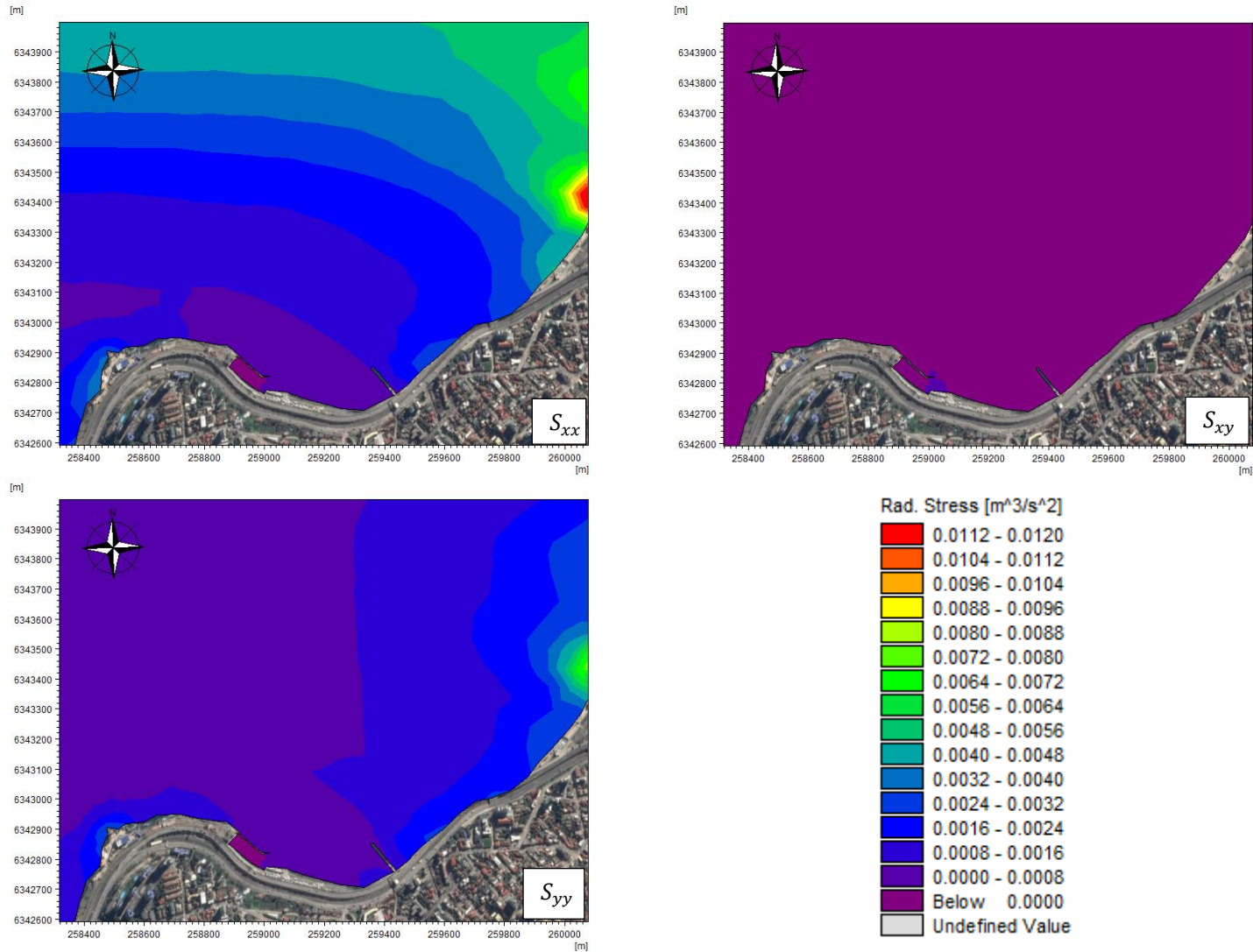


Figura 13-39 Tensores de radiación S_{xx} , S_{xy} y S_{yy} caso 3
Fuente: Elaboración propia

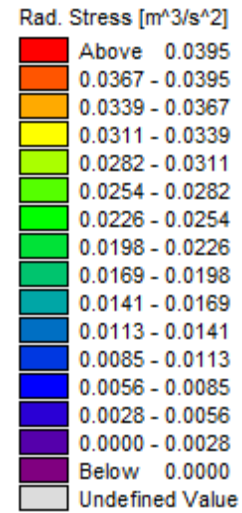
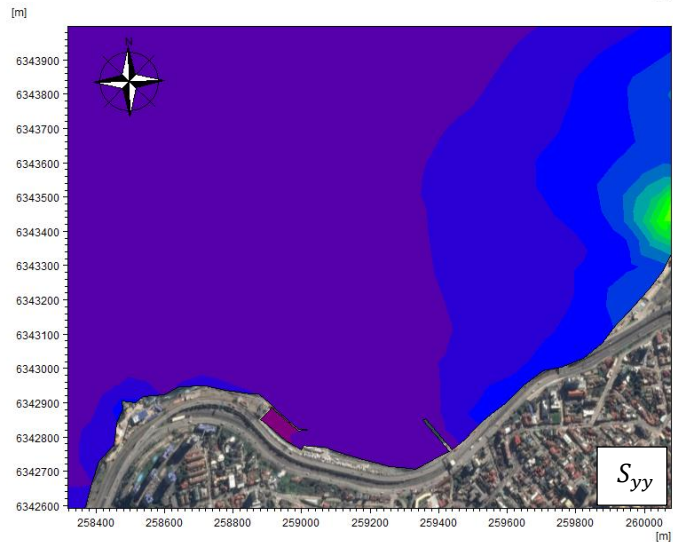
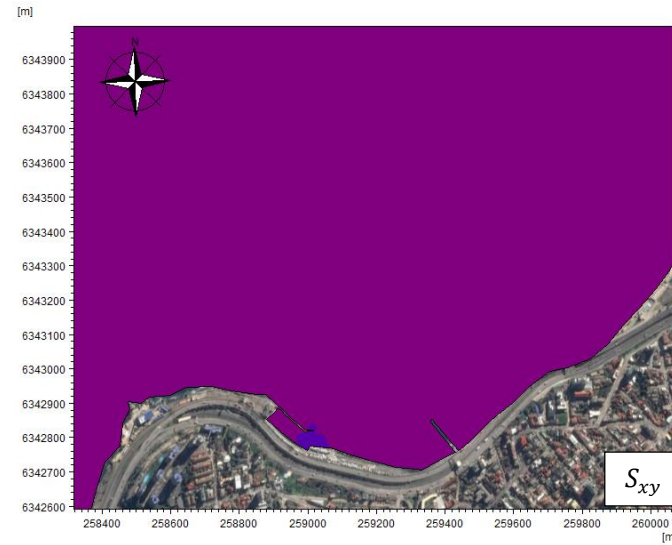
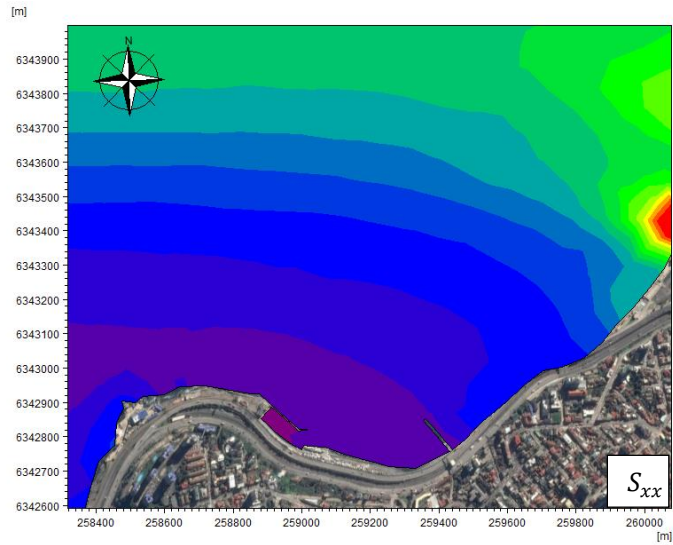


Figura 13-40 Tensores de radiación S_{xx} , S_{xy} y S_{yy} caso 4
Fuente: Elaboración propia

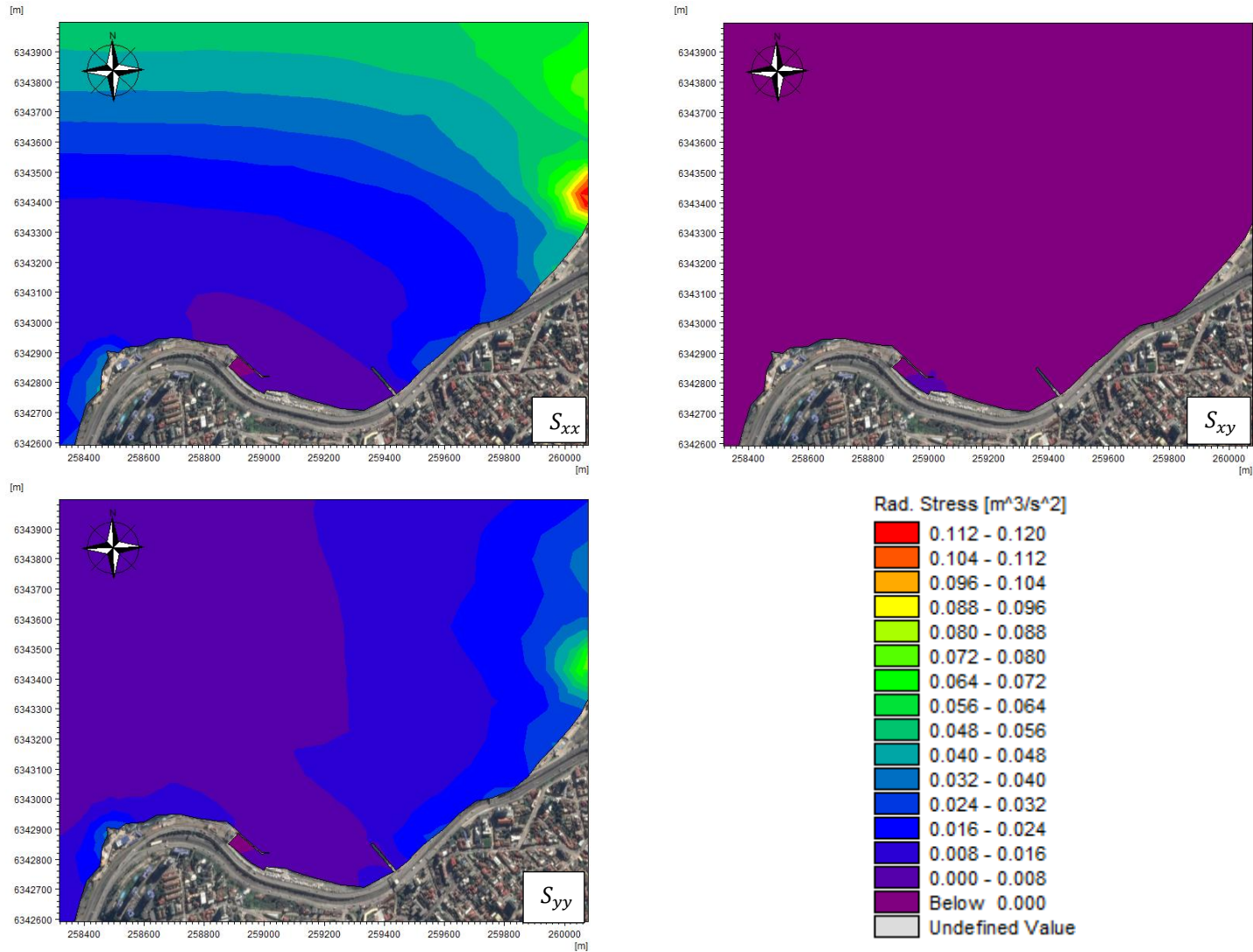


Figura 13-41 Tensores de radiación S_{xx} , S_{xy} y S_{yy} caso 5
Fuente: Elaboración propia

13.10 CAMPO DE CORRIENTES SITUACIÓN ACTUAL

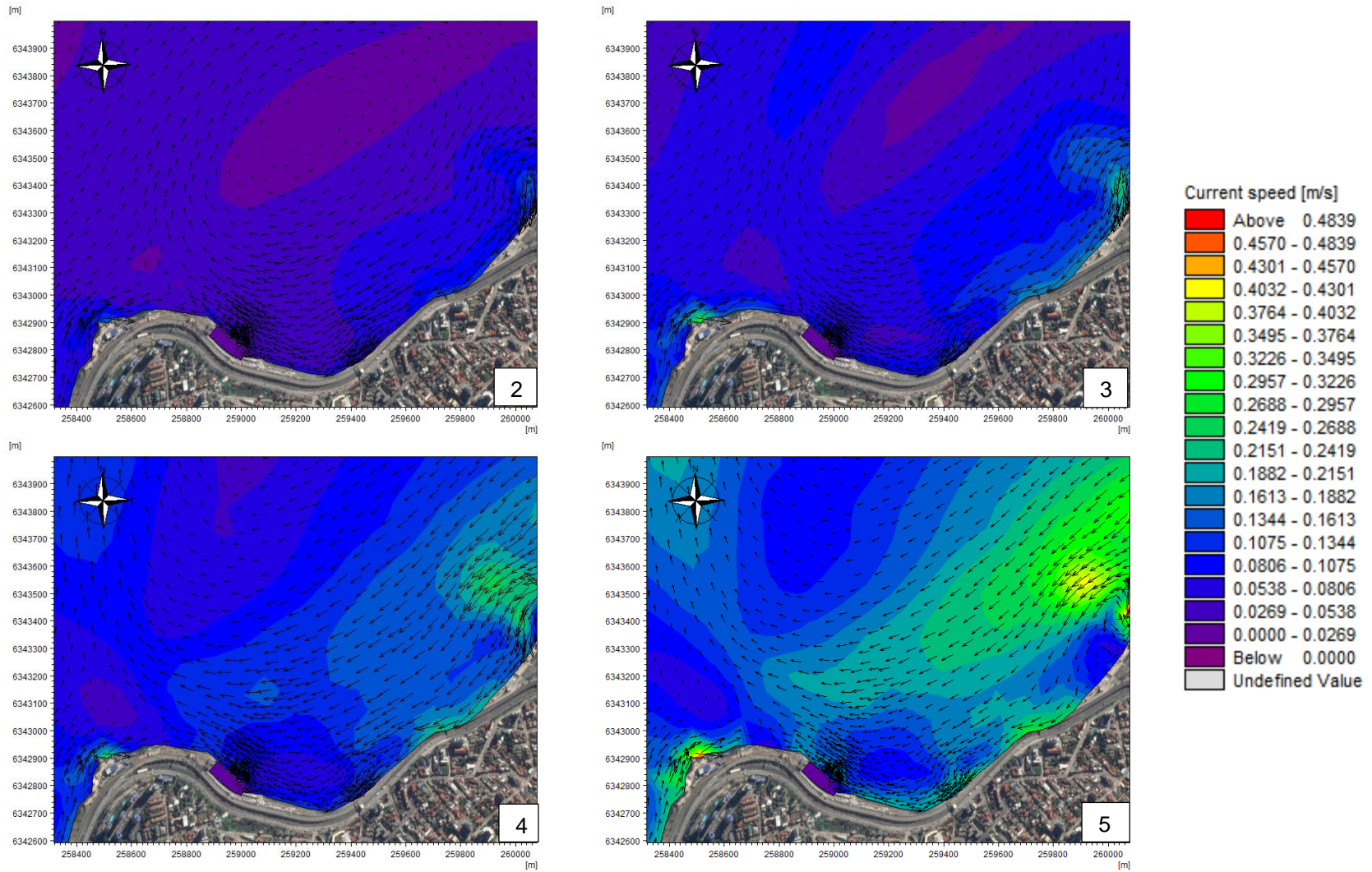


Figura 13-42 Corrientes casos 2, 3, 4 y 5
Fuente: Elaboración propia

13.11 CAMPO DE CORRIENTES ALTERNATIVA N°1

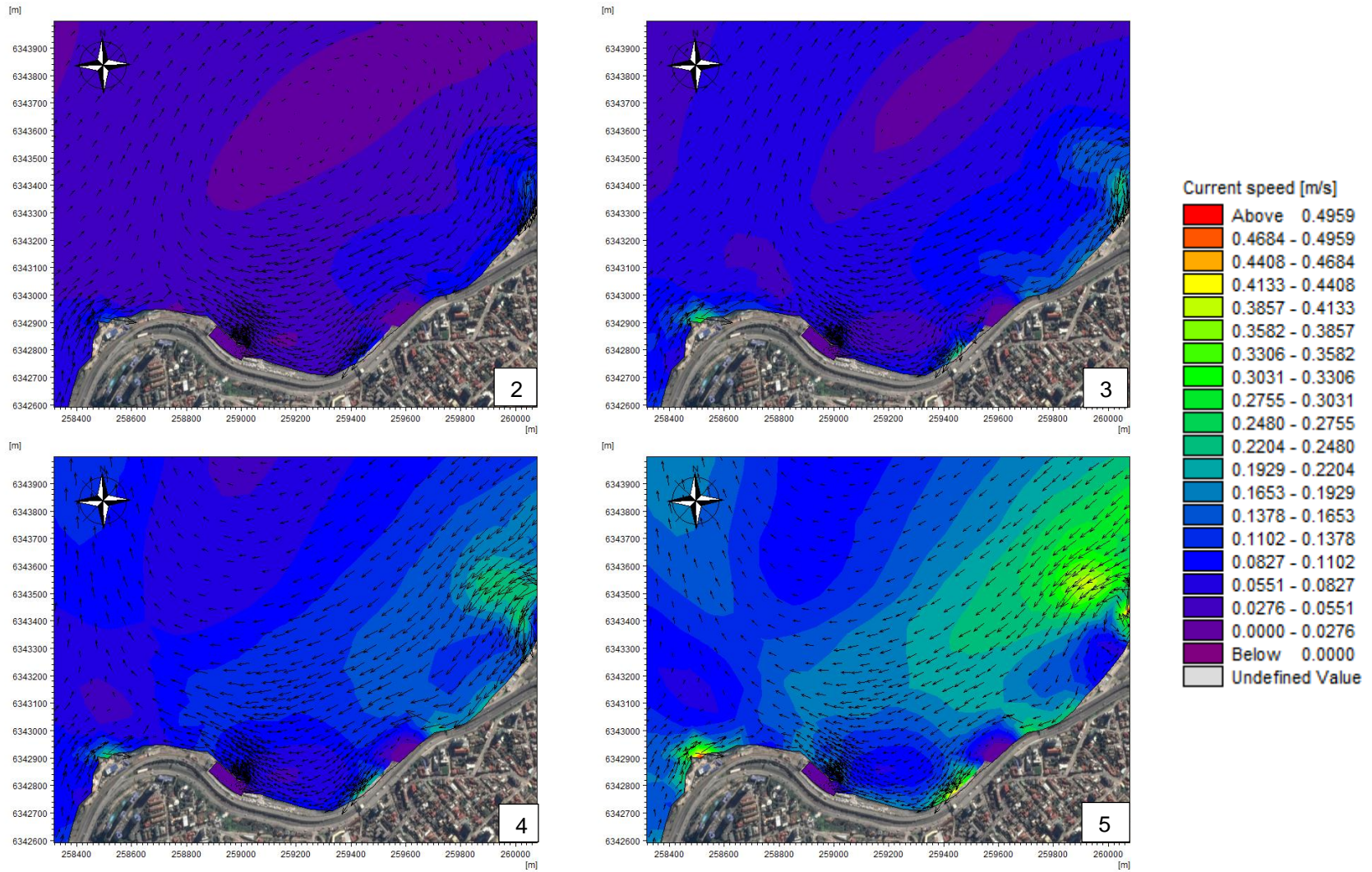


Figura 13-43 Corrientes casos 2, 3, 4 y 5
Fuente: Elaboración propia

13.12 CAMPO DE CORRIENTES ALTERNATIVA N°2

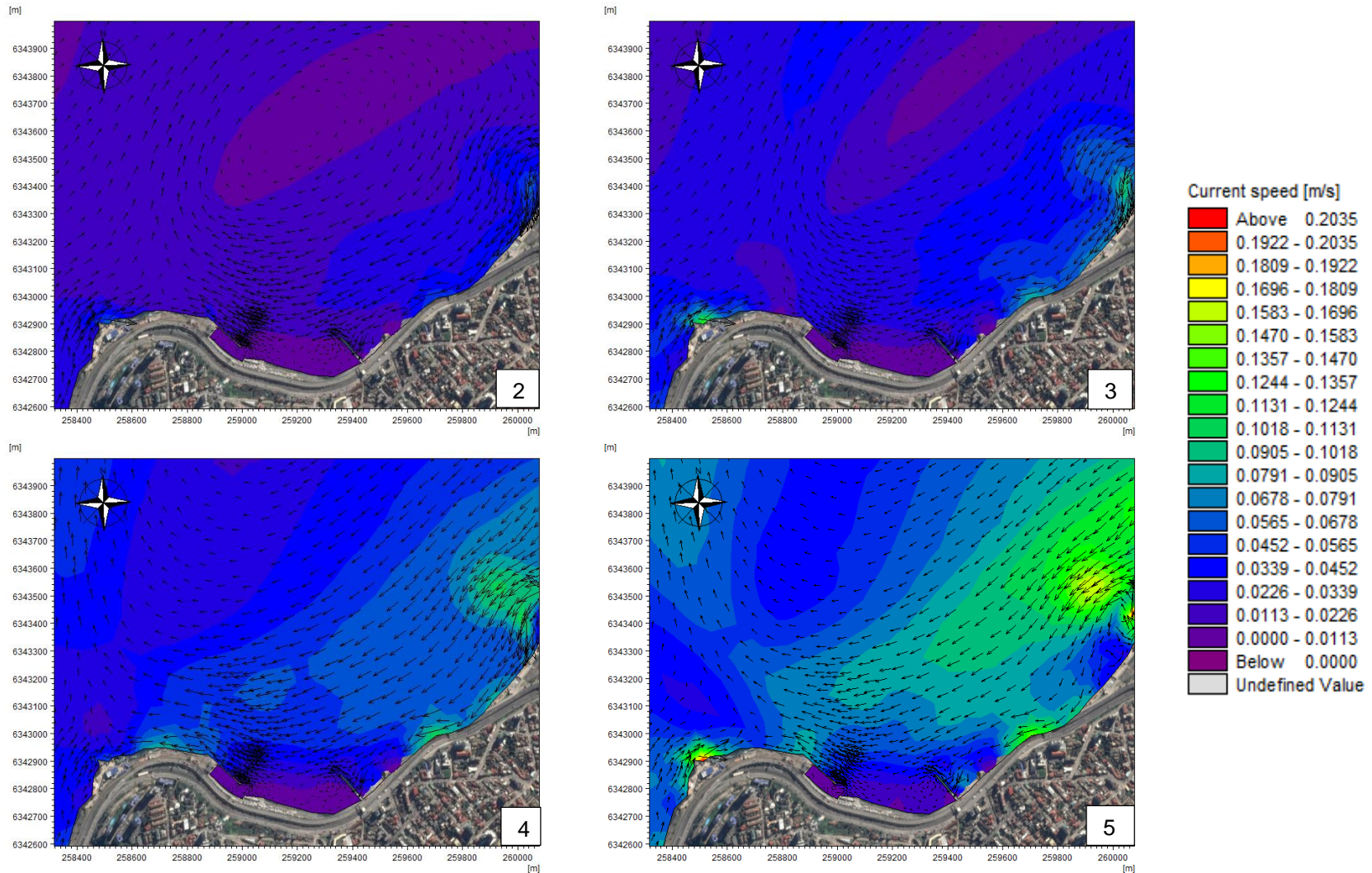


Figura 13-44 Corrientes casos 2, 3, 4 y 5
Fuente: Elaboración propia

13.13 CAMPO DE SEDIMENTOS ALTERNATIVA N°1

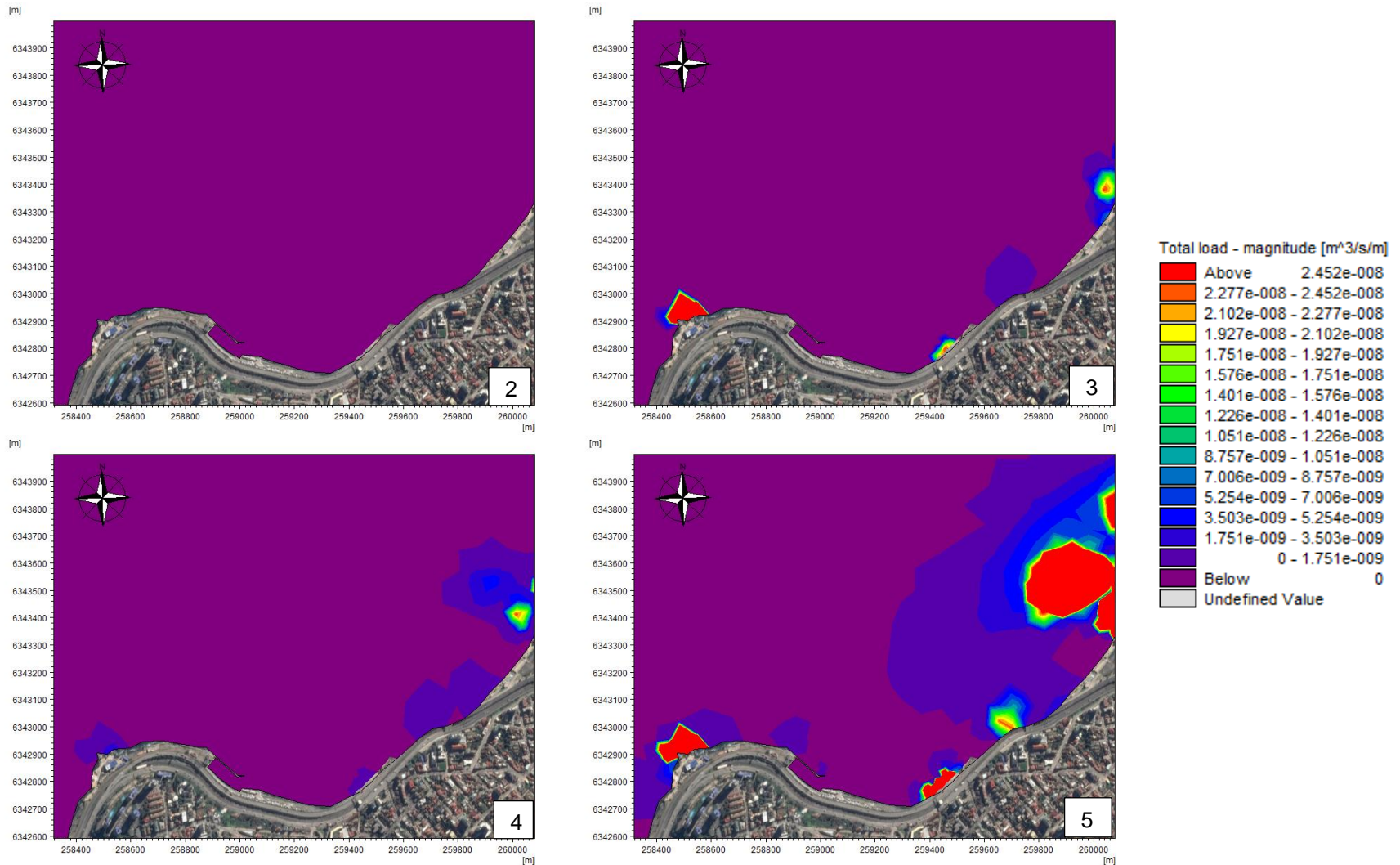


Figura 13-45 Campo de sedimentos caso 2, 3, 4 y 5
Fuente: Elaboración propia

13.14 CAMPO DE SEDIMENTOS ALTERNATIVA N°2

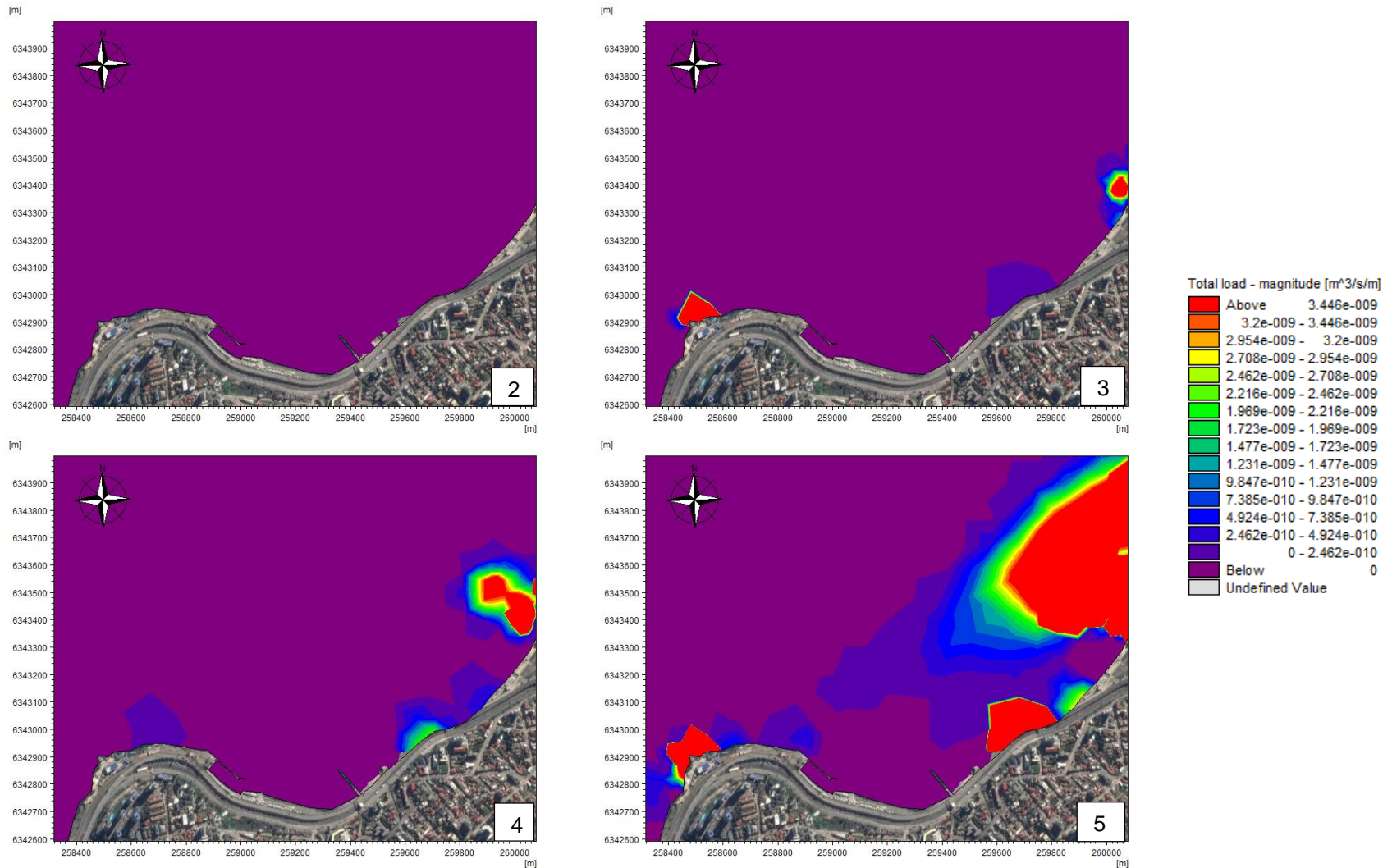
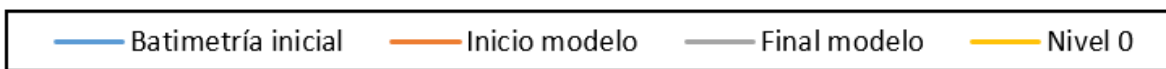
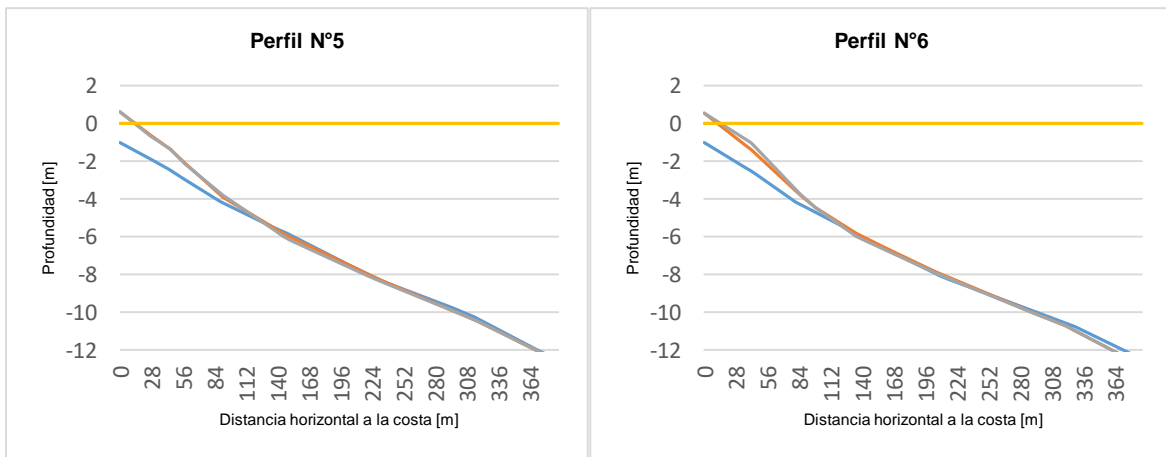
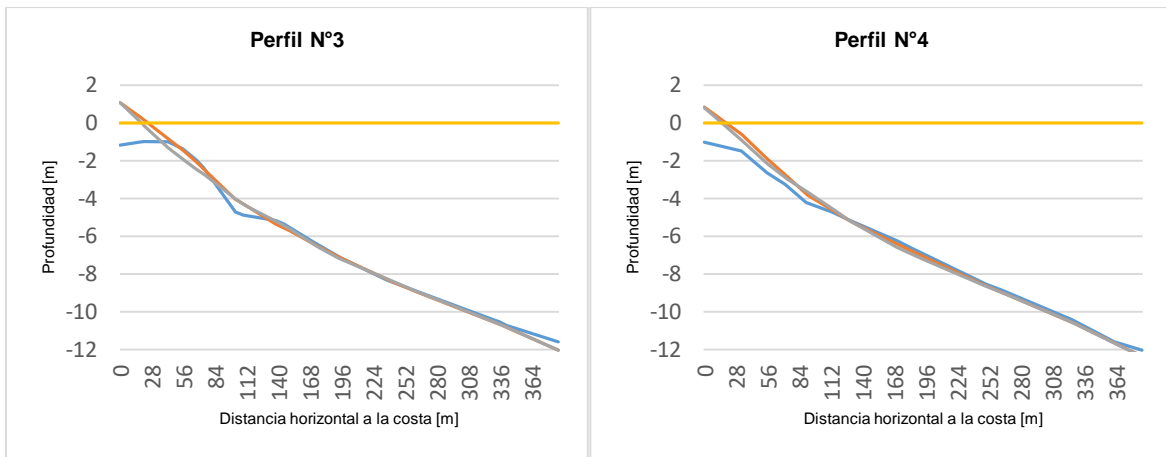
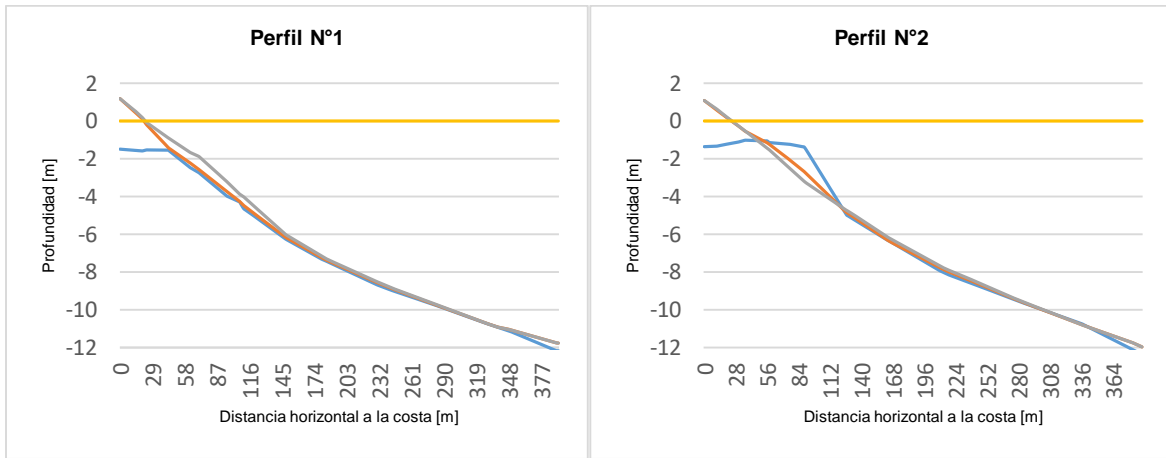


Figura 13-46 Campo de sedimentos caso 2, 3, 4 y 5
Fuente: Elaboración propia

13.15 PERFILES RECREO



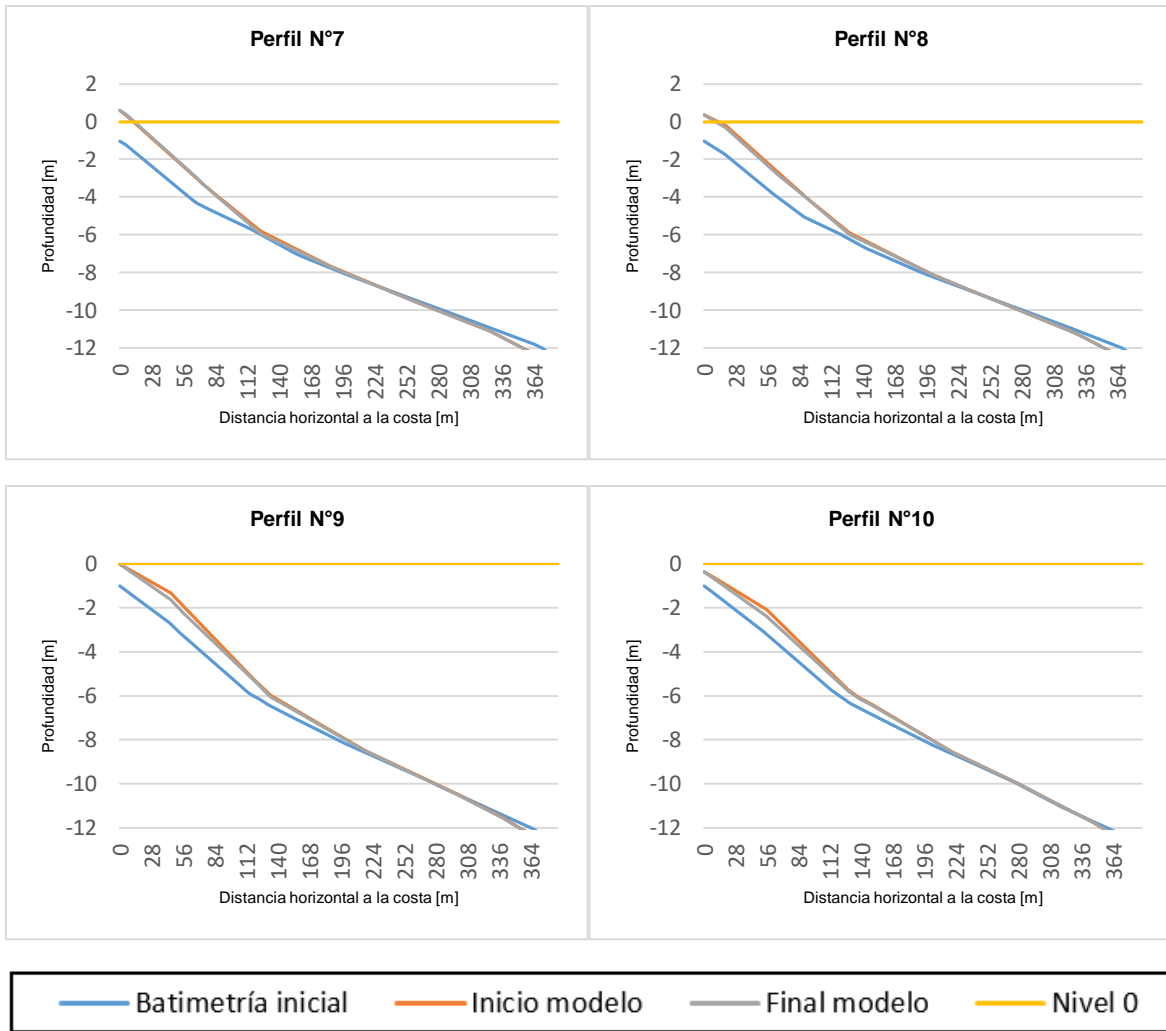
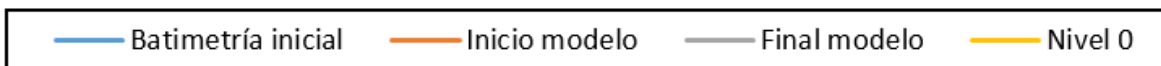
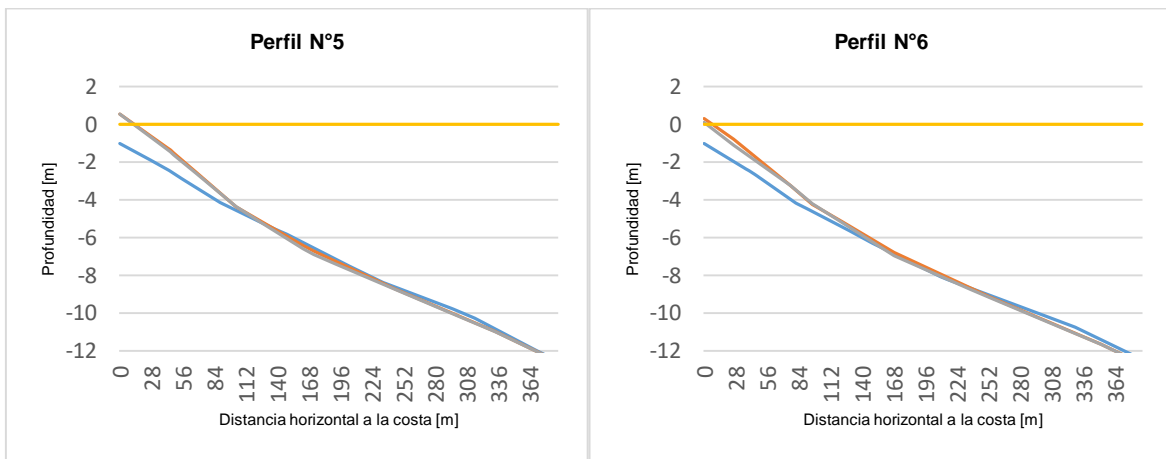
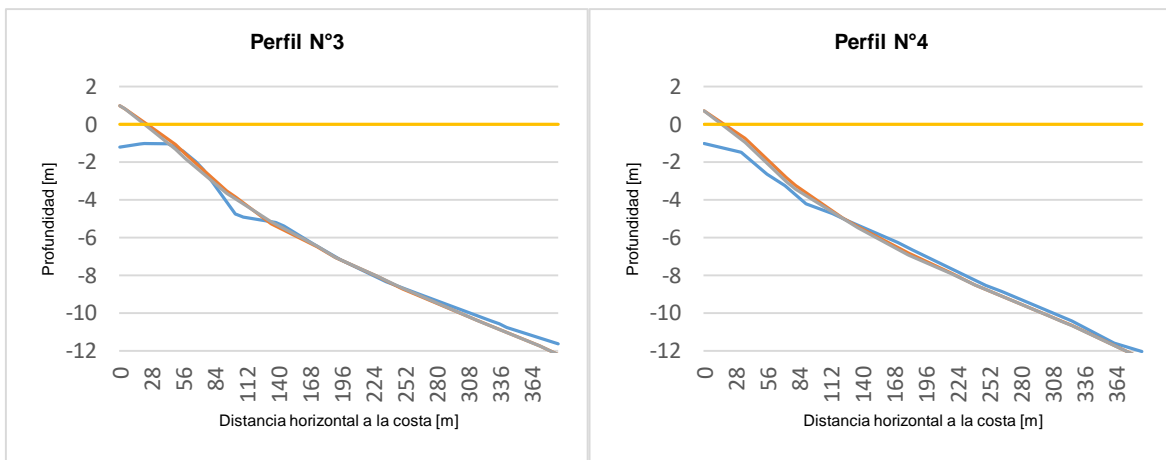
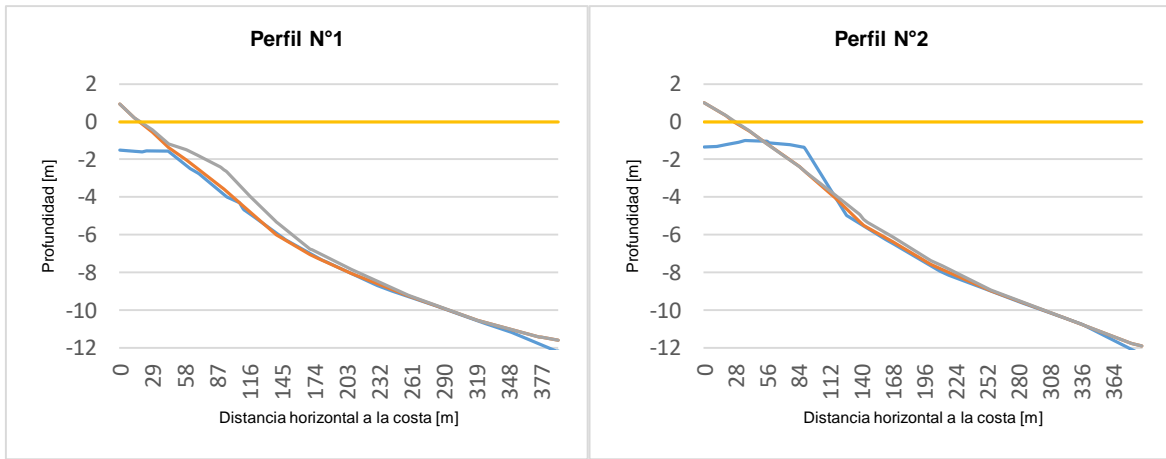


Figura 13-47 Perfiles Recreo, caso 1, alternativa N°1
Fuente: Elaboración propia



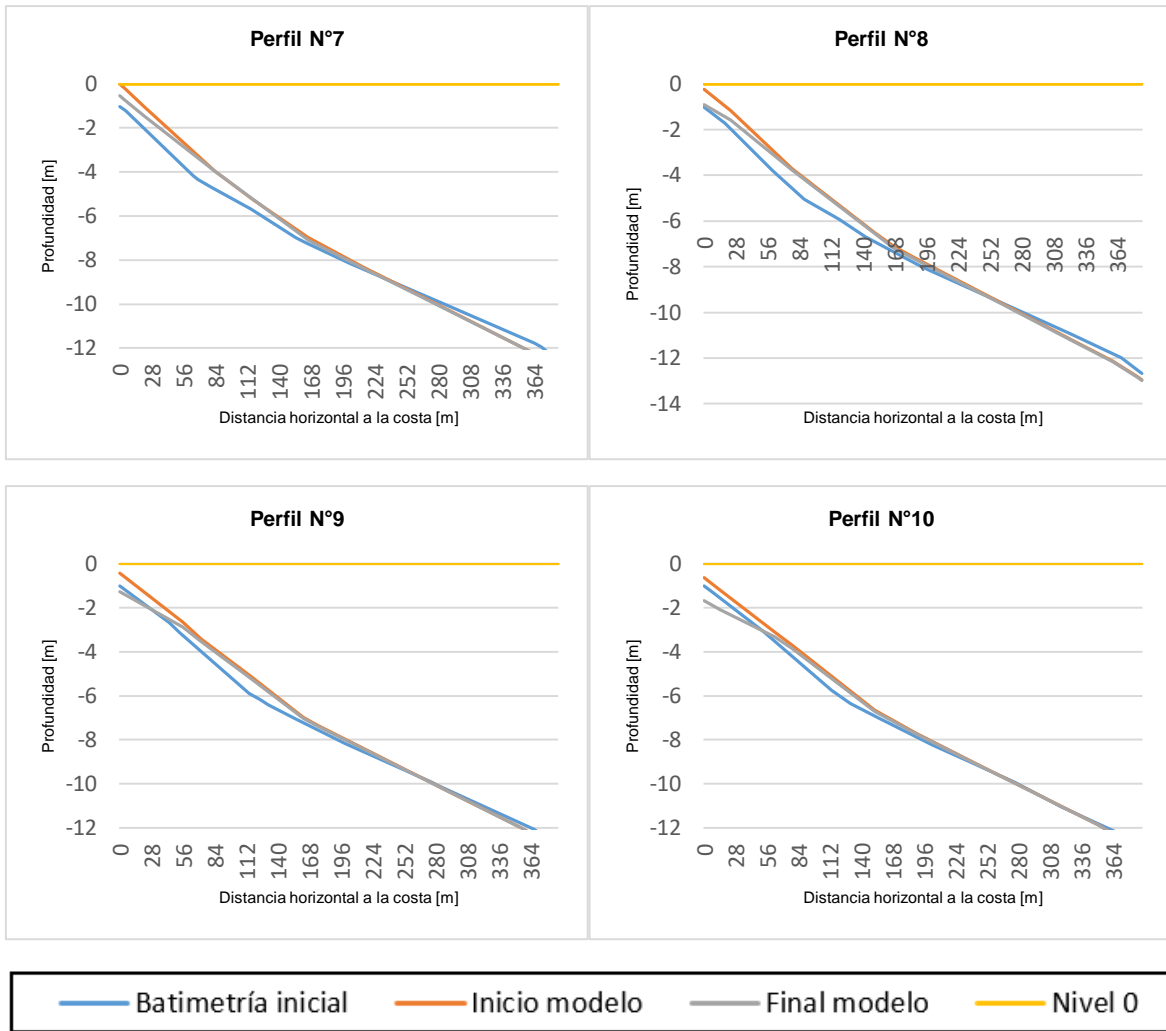
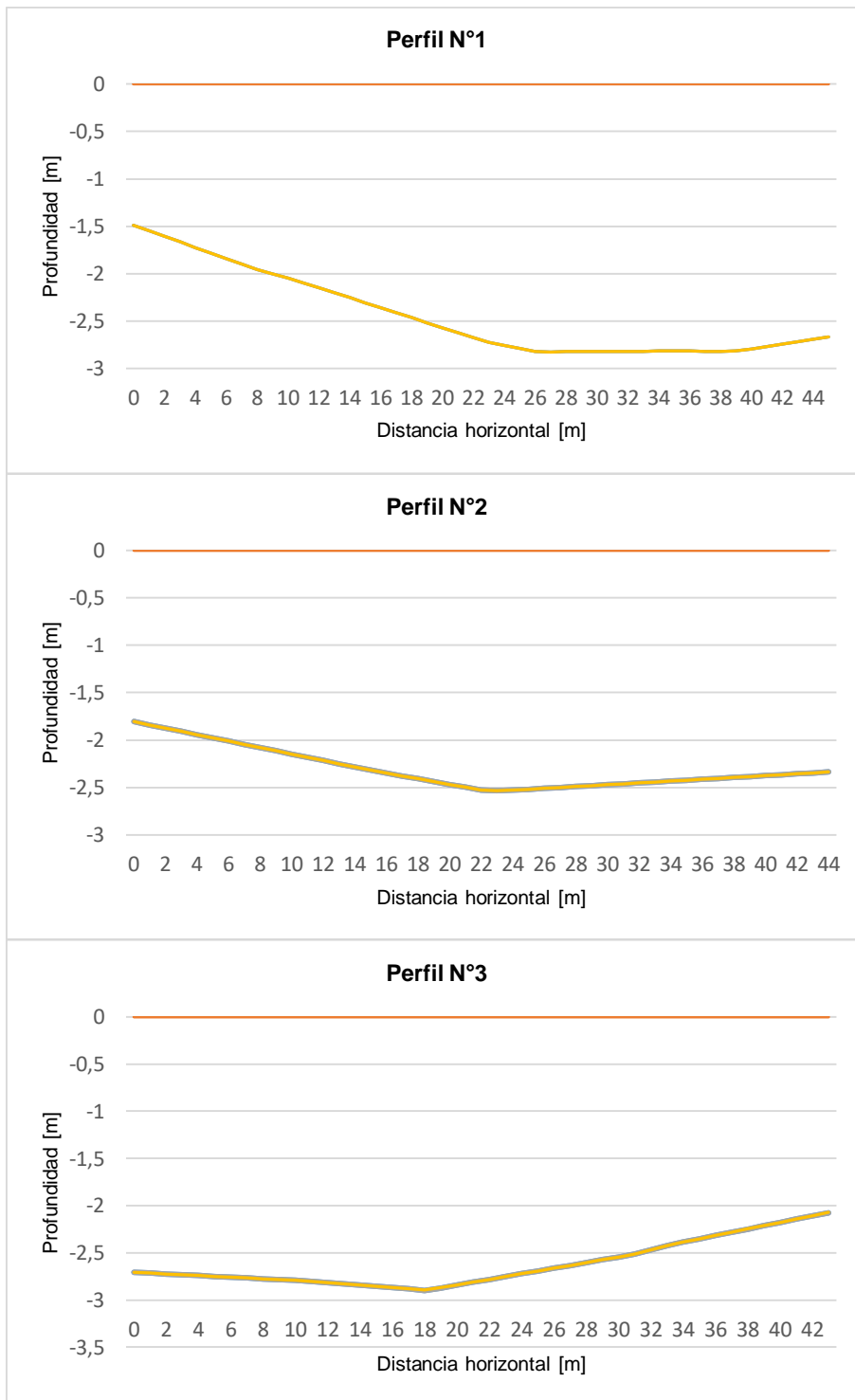


Figura 13-48 Perfiles Recreo, caso 1, alternativa N°2
Fuente: Elaboración propia

13.16 PERFILES CLUB DE YATES RECREO



— Inicio Modelo — Nivel 0 — Final modelo Escenario N°2 — Final modelo escenario N°3

Figura 13-49 Perfiles caso 1, alternativa N°1 y N°2, Club de Yates Recreo
Fuente: Elaboración propia

13.17 IMPACTO AMBIENTAL

Para una posible fase de ejecución del proyecto, es necesario que sea aprobado por la “Ley 19.300 sobre las bases generales del medio ambiente”, en donde se clasifica esta memoria de título como un estudio de impacto ambiental según el artículo 11.

La importancia de este estudio consiste disminuir el grado de degradación del hábitat causado por la alimentación de la playa, esta depende principalmente: A) el tiempo de ejecución; B) las características del sedimento depositado; C) la extensión geográfica del proyecto D) el tipo de sedimento de las dunas (Pezzuto, Resgalla, Abreu, & Menezes, 2004). Un ejemplo de la importancia de este estudio es lo ocurrido en el Balneario Camboriu ubicando al sur de Brasil, realizaron una alimentación de sedimentos a lo largo de la costa sin un estudio de impacto ambiental, lo que provocó composiciones de sedimentos diferentes a la original, cambios en la característica del sedimento el cual se hizo más grueso y gravoso, un aumento en el contenido de limo y arcillas, y cambios en la composición química de las aguas.

Un estudio de impacto ambiental de las características que conlleva la alimentación de una playa debe analizar tópicos como los que se tocan en el documento “Impacto ambiental de regeneración de playas: la Playa de Poniente (GIJÓN)” planteado por Juan Canteras, que aborda análisis tales como:

- Análisis de comunidades bentónicas¹⁴ en la zona de estudio: Este consiste en un muestreo cuantitativo y cualitativo de biocenosis¹⁵, con el fin de valorar las especies considerando el número de individuos, estado de conservación, frecuencia y rareza.
- Calidad de aguas: consiste en determinar las concentraciones de oxígeno, nitritos, nitratos y fosfatos, también precisar la demanda biológica de oxígeno. Estos parámetros se determinan a través de un análisis químico y microbiológico con muestras tomadas en la zona de estudio.
- Valorización de la avifauna: Se determina en función del valor especie y del valor espacio, en donde la primera posee como criterios de evaluación el estado de conservación, lista de especies en lista roja, uso de hábitat y abundancia. Por otro lado el valor espacio corresponde al número de especies, índice de especies y presencia de especies protegidas.
- Paisaje: corresponde a un análisis visual.
- Grado de aceptación social: Este factor se determina a través de una encuesta en la que se evalúa el grado de difusión del proyecto, conocimiento del mismo, críticas al proyecto y la idea de renegación de playa.

Finalmente proyectos de esta envergadura que conllevan creación o regeneración de playas deben contemplar los parámetros ambientales en cada una de sus fases y tomas de decisiones de tal manera de aminorar impactos negativos en el litoral y prevenir la posible pérdida de especies en peligro de extinción.

¹⁴ Conjunto de organismos que viven en los fondos acuáticos.

¹⁵ Conjunto de organismos, vegetales o animales que coexisten en un espacio determinado.

13.18 FORMULACIONES CERC Y QUEENS

Para determinar el transporte longitudinal de sedimentos, se optó utilizar las formulaciones propuestas por CERC (Coastal Engineering Research Center) y Quenns, donde el primero desarrolló dos formulaciones, la primera costas afuera (Ecuación 13-2) haciendo uso de tablas dinámicas y la segunda usando estimación de altura en rotura (Ecuación 13-3). Por otro lado la Ecuación 13-6 de Queens a diferencia de CERC, incorpora el periodo del oleaje y el diámetro característico del sedimento. Ambas expresiones se miden en m^3/s .

En esta memoria de título se calculó el transporte longitudinal de sedimentos para el clima extremo, con las formulaciones de CERC de altura en rotura y Queens.

$$Q_L = K \left(\frac{\rho \sqrt{g K_s}}{32(\rho_s - \rho)(1-p)\sqrt{\gamma}} \right) H_o^{5/2} \alpha_o \sin(2\alpha_o) \quad \text{Ecuación 13-2}$$

$$Q_L = K \left(\frac{\rho \sqrt{g}}{16(\rho_s - \rho)(1-p)\sqrt{\gamma}} \right) H_b^{5/2} \sin(2\alpha_b) \quad \text{Ecuación 13-3}$$

$$K = 0.05 + 2.6 \sin 2\alpha_b^2 + 0.007 \frac{u_{mb}}{w_f} \quad \text{Ecuación 13-4}$$

$$u_{mb} = \frac{\gamma}{2} \sqrt{g d_b} \quad \text{Ecuación 13-5}$$

$$Q_L = \frac{1.3 \cdot 10^{-3} \rho H_{sb}^3}{(1-p)\rho_s T_p} \left(\frac{H_{sb}}{L_{op}} \right)^{-1.25} m^{0.75} \left(\frac{H_{sb}}{d_{50}} \right)^{0.25} \sin(2\alpha_b)^{0.6} \quad \text{Ecuación 13-6}$$

Donde:

- Q_L : Transporte longitudinal de sedimentos
- K : Constante adimensional $K = 0.39$
- K_s : Coeficiente de asomeramiento
- ρ : Densidad agua de mar
- g : Gravedad
- ρ_s : Densidad del sedimento
- γ : Factor de rotura de oleaje
- H_b : Altura significativa en rotura
- H_o : Altura significativa
- α_b : Ángulo de incidencia de oleaje en rotura
- T_p : Periodo peak
- L_{op} : Longitud en aguas profundas
- m : pendiente
- d_{50} : diámetro característico de sedimento
- w_f : velocidad de sedimentación
- d_b : profundidad de rotura

13.19 DIRECCIÓN FLUJO MEDIO DE ENERGÍA

El flujo medio de energía (Ecuación 13-7) es “la magnitud que se emplea en el cálculo de la potencia disponible en un estado de mar” (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2011). Este parámetro que se compone de la energía (E) y celeridad de grupo (c_g), es significativo para el diseño del espigón, debido a que le da la orientación al cabezo de la estructura.

$$F = E \cdot c_g \quad \text{Ecuación 13-7}$$

Este se calculó en el punto de propagación de oleaje a 20 [m] (capítulo 6.6) mediante una ponderación de la energía que está asociada a cada intervalo de dirección y se obtuvo una dirección de flujo medio de energía equivalente a 297.4°, modificando la posición del cabezo inicial de la estructura.

13.20 EQUILIBRIO EN PLANTA

Para el cálculo del equilibrio en planta, existe el método iterativo Hsu & Evans (1989), el cual realiza un ajuste parabólico del tipo:

$$\frac{R}{R_0} = C_0 + C_1 \left(\frac{\beta}{\theta}\right) + C_2 \left(\frac{\beta}{\theta}\right)^2 \quad \text{Ecuación 13-8}$$

Donde R_0 , β y θ son variables geométricas que se representan en la Figura 13-50 y C_0 , C_1 , C_2 son coeficientes que dependen de β .

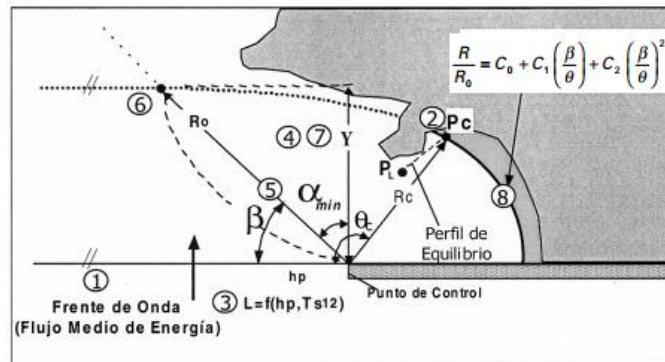


Figura 13-50 Esquema general del proceso de diseño de una playa por medio de formulaciones de equilibrio

Fuente: (Medina, Vidal, González, Galofré, & Bernabeu, 2001)

A continuación se presenta la Figura 13-51 en la cual se observa la dirección de flujo medio y el cálculo de los trazados de la parábola de Hsu, iniciando los trazos en el cabezo del espigón a 6 [m] de profundidad.

No se realizó este tipo de metodología en el modelo numérico, debido a que al formar una parábola de sedimento tal como se muestra en la imagen, es necesario que el área de los elementos de la malla numérica en la zona de estudio tenga que ser aún más finos, lo que conlleva un aumento de los tiempos de modelación.



Figura 13-51 Dirección flujo medio de energía
Fuente: Elaboración propia a partir de (Google Earth, 2018)

13.21 COEFICIENTE DE ESTABILIDAD DE HUDSON

Suggested K_D Values for use in determining armor unit weight¹.

No-Damage Criteria and Minor Overtopping							
Armor Units	n ³	Placement	Structure Trunk		Structure Head		Slope Cot θ
			K_D^2		K_D		
			Breaking Wave	Nonbreaking Wave	Breaking Wave	Nonbreaking Wave	
Quarrystone	2	Random	1.2	2.4	1.1	1.9	1.5 to 3.0 ⁵
Smooth rounded	>3	Random	1.6 ₄	3.2	1.4 ₄	2.3	
Smooth rounded	1	Random		2.8		2.3	
Rough angular	2	Random	2.0	4.0	1.9 1.6 1.3	3.2 2.8 2.3	1.5 2.0 3.0
Rough angular	>3	Random	2.2	4.5	2.1	4.2	5 5
Rough angular	2	Special	5.8	7.0	5.3	6.4	
Parallelepiped ⁷	2	Special ¹	7.0 - 20.0	8.5 - 24.0	--	--	
Tetrapod and Quadripod	2	Random	7.0	8.0	5.0 4.5 3.5	6.0 5.5 4.7	1.5 2.0 3.0
Tribar	2	Random	8.0	10.0	6.3 7.8 6.0	9.0 8.5 6.5	1.5 2.0 3.0
Dolos	2	Random	15.8 ⁸	31.8 ⁸	8.0 7.0	16.0 14.0	2.0 ⁹ 3.0
Modified cube	2	Random	6.5	7.5	-----	5.0	5
Hexapod	2	Random	8.0	9.5	5.0	7.0	5
Toskane	2	Random	11.0	22.0	--	--	5
Tribar	1	Uniform	12.0	15.0	7.5	8.5	5
Quarrystone (K_{RR}) Graded angular	-	Random	2.2	2.5	--	--	

Figura 13-52 Coeficiente de Estabilidad de Hudson
Fuente: Negro Valdecantos (2002)

13.22 COEFICIENTE DE CAPA

Table VI-5-51 Layer Coefficient and Porosity for Various Armor Units				
Armor Unit	n	Placement	Layer Coefficient k_d	Porosity P (percent)
Quarystone (smooth) ¹	2	Random	1.02	38
Quarystone (rough) ²	2	Random	1.00	37
Quarystone (rough) ²	≥3	Random	1.00	40
Quarystone (parallepiped) ³	2	Special	--	27
Quarystone ⁴	Graded	Random	--	37
Cube (modified) ¹	2	Random	1.10	47
Tetrapod ¹	2	Random	1.04	50
Tribar ¹	2	Random	1.02	54
Tribar ¹	1	Uniform	1.13	47
dolos ⁵	2	Random	0.94	56
Core-Loc ⁶	Vol. < 5 m ³	1	Random	60
	5 < Vol. < 12 m ³			63
	12 < Vol. < 22m ³			64
Accropod ⁷	Vol. < 5 m ³	1	Random	57
	5 < Vol. < 12 m ³			59
	12 < Vol. < 22m ³			62

¹ Hudson (1974)
² Carver and Davidson (1983)
³ Layer thickness is twice the average long dimension of the parallelepiped stones. Porosity is estimated from tests on one layer of uniformly placed modified cubes (Hudson 1974).
⁴ The minimum layer thickness should be twice the cubic dimension of the W_{50} riprap. Check to determine that the graded layer thickness is ≥ 1.25 the cubic dimension of the W_{max} riprap (see Equations VI-5-119 and VI-5-120).
⁵ Carver and Davidson (1977)
⁶ Turk and Melby (1997)
⁷ Accropod informational brochure

Figura 13-53 Coeficiente de capa
Fuente: USACE (2003)

13.23 CRITERIOS VALORIZACIÓN BORDE COSTERO

Tabla 13-1 Criterios valorización económica

VALOR	USO DE SUELO (PLANO REGULADOR)	OFERTA INMOBILIARIA	TIPO DE VECINDARIO	DENSIDAD CONSTRUCCIÓN	TIPOLOGÍA CONSTRUCTIVA
1	a. Suelo Silvestre con potencial agrícola o forestal.	a. Sin Interés comercial.	a. Predominancia estrato social bajo.	a. Alta densidad por metro cuadrado.	a. Material Ligero o Recuperado, madera baja calidad, Fonolita, Piso de Tierra.
	b. Fauna y flora endémica.	b. Rellenos sanitarios e industrias indeseadas (energía, minería, petroquímica, procesamiento de alimentos, etc.) aledaños.	b. Inseguridad ciudadana profunda.	b. Hacinamiento, problemas sanitarios, sin recolección de basura.	b. Servicio higiénico fuera de la casa.
	c. Distante a centros urbanos, acceso vial inexistente.	c. Terrenos agrícolas y/o forestales en mal estado, unidades productivas deterioradas (portuario, ferrocarril, etc.).	c. Sin intervención de fuerza pública.	c.	c. Iluminación natural sin electricidad.
		d. Oferta inmobiliaria inexistente, solo tasación fiscal referencial.	d. Ausencia de espacios de participación ciudadana.	d.	d. Sin jardín, especies vegetales silvestres.
2	a. Suelo Silvestre-Rural apto para actividad agrícola o forestal.	a. Bajo Interés comercial.	a. Presencia estrato social bajo y medio bajo.	a. Medianamente Alta densidad por metro cuadrado.	a. Madera, Planchas de Zinc, Piso de Madera sobre Apoyos.
	b. Fauna y flora endémica con bosque y praderas.	b. Rellenos sanitarios e industrias indeseadas (energía, minería, petroquímica, agroalimentaria, etc.) a poca distancia.	b. Inseguridad ciudadana profunda.	b. Hacinamiento moderado, problemas sanitarios ilegales.	b. Servicio higiénico dentro de la casa.
	c. Distante a centros urbanos, acceso vial deficiente.	c. Terrenos agrícolas y/o forestales en desuso, unidades productivas abandonadas (portuario, ferrocarril, etc.).	c. Con intervención esporádica de fuerza pública.	c.	c. Iluminación natural sin electricidad.
		d. Terrenos fiscales deshabitados, oferta inmobiliaria incipiente tanto para oficinas como residencial.	d. Espacios no establecidos de participación ciudadana.	d.	d. Jardín Básico, especies vegetales silvestres e introducidas.
3	a. Suelo Rural apto para actividad agrícola o forestal.	a. Regular Interés comercial.	a. Presencia estrato medio bajo y medio.	a. Normal densidad por metro cuadrado.	a. Madera y/o Hormigón, Piso de Madera sobre Apoyos o Radier de Hormigón, Planchas de Zinc y/o Fibra.
	b. Suelo Rural apto para zona inmobiliaria.	b. Industria no invasiva (financiera, comercio, hotelera, turística, etc.) a mediana distancia.	b. Inseguridad ciudadana medianamente controlada.	b. Hacinamiento controlado, recolección esporádica de basura.	b. Servicio higiénico dentro de la casa, acceso a red sanitaria (fosa séptica).
	c. Cercano a centros urbanos, acceso vial regular.	c. Terrenos agrícolas y/o forestales productivos, unidades productivas en desuso (portuario, ferrocarril, etc.).	c. Con intervención estable de fuerza pública.	c.	c. Iluminación con electricidad provista por generador propio o empalme básico.
	d. Presencia de actividad agrícola, forestal y otros tipos de unidades productivas (energía, minería, etc.)	d. Terrenos fiscales habilitados, oferta inmobiliaria residencial moderada, predominante para oficinas.	d. Espacios establecidos de participación ciudadana.	d.	d. Jardín Frontal Mantenido, especies vegetales silvestres e introducidas ordenadas.
4	a. Suelo Urbano-Rural apto para zona industrial.	a. Buen Interés comercial.	a. Presencia estrato medio y medio alto.	a. Moderada densidad por metro cuadrado.	a. Madera y/o Hormigón, Fundaciones de Hormigón.
	b. Suelo Urbano-Rural apto para zona residencial.	b. Industria no invasiva (financiera, comercio, hotelera, turística, etc.) cercana.	b. Inseguridad ciudadana controlada.	b. Sin hacinamiento, recolección de basura y establecido permanente.	b. Servicio higiénico dentro de la casa, acceso a red sanitaria (alcantarillado).
	c. Aledaño a centros urbanos, acceso vial.	c. Terrenos agrícolas y/o forestales productivos, unidades productivas en reconversión (portuario, ferrocarril, etc.).	c. Con intervención permanente de fuerza pública.	c.	c. Jardín Frontal y Posterior Bien Conservado, especies vegetales silvestres e introducidas ordenadas.
	d. Presencia de actividad comercial e industrial según actividad específica.	d. Terrenos fiscales habilitados, oferta inmobiliaria residencial predominante, moderada para oficinas.4	d. Espacios permanentes de participación e integración ciudadana.	d.	

VALOR	USO DE SUELO (PLANO REGULADOR)	OFERTA INMOBILIARIA	TIPO DE VECINDARIO	DENSIDAD CONSTRUCCIÓN	TIPOLOGÍA CONSTRUCTIVA
5	a. Suelo Urbano apto para zona industrial.	a. Alto Interés comercial.	a. Presencia estrato medio alto y alto.	a. Baja densidad por metro cuadrado.	a. Hormigón Predominante, Fundaciones de Hormigón.
	b. Suelo Urbano apto para zona residencial.	b. Industria no invasiva (financiera, comercio, hotelera, turística, etc.) aledaña.	b. Inseguridad ciudadana plenamente controlada.	b. Sin hacinamiento, recolección de basura y permanente.	b. Servicio higiénico, acceso a red sanitaria (alcantarillado), piscina.
	c. Suelo Urbano, acceso vialidad estructurante.	c. Unidades productivas en funcionamiento (portuario, ferrocarril, manufactura, industrial, etc.).	c. Con intervención permanente de fuerza pública.	c.	c. Jardín frontal y posterior excelentemente conservado con diseño y ordenamiento.
	d. Presencia de actividad comercial e industrial de todo tipo.	d. Oferta inmobiliaria residencial variada predominante, también para oficinas.	d. Espacios establecidos de participación ciudadana y actividades comunitarias.	d.	

Fuente: Viveros (2016)

Tabla 13-2 Criterios valorización ambiental

VALOR	HÁBITATS COSTEROS	ATRACTIVO ESCÉNICO	ÁREAS VERDES (PARQUES)
1	a. Inexistentes, sustitución total de paisajes.	a. Zona Costera Sin Vista al Mar	a. Sin acceso público.
	b. Daño irreversible	b. Industrialización e Infraestructura Portuaria sin libre acceso.	b. Terrenos eriazos con especies silvestres endémicas.
	c. Contaminación física y química marina irreparable.	c. Propiedades privadas de carácter industrial.	c. Cobertura vegetal sin conservación.
		d. Acopio de material portuario.	d. Sin mantención de terceros, solo riego natural.
2	a. Frágiles, sustitución avanzada de paisajes.	a. Zona costera con Vista Deficiente al Mar	a. Con acceso público.
	b. Daño parcialmente reversible.	b. Infraestructura Portuaria con acceso limitado.	b. Terrenos eriazos con especies silvestres e introducidas.
	c. Contaminación física y química marina parcialmente reparable.	c. Desarrollo inmobiliario en altura.	c. Cobertura vegetal en mal estado de conservación.
		d. Infraestructura vial que dificulta el acceso a la zona costera.	d. Sin mantención de terceros, solo riego natural.
3	a. Intervenidos, sustitución de paisajes.	a. Zona costera con Vista al Mar	a. Con acceso público y mobiliario básico.
	b. Daño reparable con planes de mitigación/recuperación.	b. Infraestructura Hotelera con vista privilegiada.	b. Terrenos con trazado básico y jardines de especies silvestres e introducidas.
	c. Contaminación marina física y química reparable.	c. Desarrollo inmobiliario en altura.	c. Cobertura vegetal en estado regular de conservación.
		d. Infraestructura vial que facilita el acceso a la zona costera.	d. Con mantención de terceros y riego natural.
4	a. Intervención Humana Menor, sustitución incipiente de paisajes.	a. Zona costera con Vista Completa al Mar	a. Con acceso público, mobiliario básico y juegos infantiles.
	b. Daño aislado y localizado.	b. Infraestructura y Balnearios de uso público con servicios y equipamiento.	b. Terreno con diseño y jardines con especies silvestres e introducidas.
	c. Contaminación marina física y química localizada.	c. Desarrollo Inmobiliario y Hotelero no invasivo.	c. Cobertura vegetal en buen estado de conservación.
	d. Reservas ecológicas delimitadas en tramitación.	d. Zona con flora y fauna marina silvestre.	d. Con mantención municipal y riego natural.
5	a. Sin Intervención Humana, no hay sustitución de paisajes.	a. Zona Costera con Acceso y Vista Completa al Mar	a. Con acceso público, mobiliario básico, juegos infantiles servicios higiénicos y máquinas de ejercicios.
	b. Sin daño en ecosistemas.	b. Infraestructura y Balnearios naturales de uso público.	b. Terreno con diseño y especies silvestres e introducidas.
	c. Contaminación marina física y química localizada.	c. Sin Desarrollo inmobiliario u Hotelero.	c. Cobertura vegetal en excelente estado de conservación.
	d. Zona de conservación marina y/o terrestre.	d. Zona con ecosistemas litorales protegidos.	d. Con mantención municipal y de la comunidad.

Fuente: Viveros (2016)

Tabla 13-3 Criterios valorización urbano-sociocultural

VALOR	RED VIAL	SISTEMAS DE TRANSPORTE PÚBLICO	EQUIPAMIENTO URBANO	INFRAESTRUCTURA, SERVICIOS DE USO PÚBLICO Y PATRIMONIO
1	a. Sólo permite acceso peatonal o usando tracción animal, con dificultad.	a. Inexistentes o distan más de 5.000[m].	a. Inexistente, solo construcciones sin urbanizar.	a. Inexistente.
	b. No hay factibilidad de acceso por vía marítima.	b. Muy mala calidad y seguridad.	b. Dificultades sanitarias uso de norias o pozos inseguros.	b. Grandes extensiones de terreno deshabitadas.
	c. No hay acceso por vía aérea en kilómetros a la redonda.		c. Sin acceso a agua potable ni electricidad.	c. Casas aisladas distantes entre sí.
2	a. Se dispone de acceso peatonal sin dificultad.	a. Distan más de 1.000 [m].	a. Deficiente, incipiente urbanización.	a. Deficiente, infraestructura pública precaria.
	b. Se puede acceder por vía marítima pero no cuenta con la infraestructura adecuada en cientos de metros.	b. Mala calidad, frecuencia esporádica.	b. Uso de norias o pozos seguros.	b. Sitio eriazado habilitado como espacio comunitario y/o acopio de productos.
	c. Factibilidad de acceso por vía aérea solo con helicóptero		c. Sin acceso a agua potable ni electricidad.	c. Lugar de culto religioso a gran distancia.
				d. Escuela pública básica a gran distancia.
3	a. Se dispone de acceso peatonal sin dificultad o con vehículo todo terreno (4X4).	a. Infraestructura básica para Transporte Público.	a. Básico, existe urbanización.	a. Básico, infraestructura pública funcionando.
	b. Se puede acceder por vía marítima pero cuenta con infraestructura básica de desembarco.	b. Rutas permanentes frecuencia normalizada.	b. Uso de norias o pozos seguros, camión municipal con agua apta para consumo humano.	b. Consultorio, Bomberos y FF.AA esporádicos y a gran distancia.
	c. Factibilidad de acceso por vía aérea solo con helicóptero y en aeródromo a una distancia moderada.	c. Servicio con recorrido único.	c. Sin acceso a electricidad.	c. Lugar de culto religioso cercano y club deportivo local.
				d. Instituciones de educación de todo nivel a gran distancia.
4	a. Se dispone de acceso peatonal y de todo tipo de vehículo sin dificultad.	a. Terminales y/o paraderos permanentes.	a. Básico, urbanización típica de ciudad.	a. Básico, infraestructura pública presente.
	b. Se puede acceder por vía marítima pero cuenta con infraestructura de desembarco más servicios a las naves.	b. Cobertura de rutas con número mayor de servicios.	b. Acceso a servicios básicos garantizados.	b. Consultorio, Bomberos y FF.AA cercano y estable.
	c. Factibilidad de acceso por vía aérea solo en aeródromo a aldeaño.		c. Entidades públicas y privadas de atención a la comunidad.	c. Lugar de culto religioso variado y cercano, club deportivo local con infraestructura comunitaria y/o patrimonial.
			d. Ciclovías, parques e infraestructura deportiva de acceso público.	d. Instituciones de educación de todo tipo y nivel cercanas.
5	a. Vías peatonales seguras y de alta calidad.	a. Muy buena calidad y seguridad.	a. Completo, urbanización típica de metrópolis.	a. Completo, infraestructura pública de todo tipo.
	b. Acceso a autopistas de alta calidad y factibilidad de estacionamientos.	b. Facilidad de acceso via Transporte Público desde todos los puntos de la ciudad.	b. Acceso a servicios básicos complementarios (Red Wi - Fi, Redes de Gas, etc.)	b. Acceso a servicios públicos, FF.AA y Bomberos muy cercanos y en gran número.
	c. Acceso aéreo con aeropuerto y por vía marítima con infraestructura existente.		c. Acceso a servicios de recreación (parques, balnearios públicos, teatros, cine, etc.)	c. Acceso a servicios municipales y gubernamentales, instituciones de educación pública y privada.
			d. Ciclovías, parques e infraestructura deportiva de acceso público.	d. Patrimonio urbano con acceso público.

Fuente: Viveros (2016)

13.24 PRESUPUESTO DOP

Tabla 13-4 Presupuesto construcción playa artificial playa el Salitre

DESIGNACIÓN						
ÍTEM	TIPO	NOMBRE ÍTEM NOMBRE SUB-ÍTEM NOMBRE PARTIDA	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
1	I	ACTIVIDADES GENERALES				
1.1	S	INSTALACIÓN DE FAENAS	1	GL	45,538,500	45,538,500
-	-	-				45,538,500
2	I	TRABAJOS INICIALES				
2.1	S	DESARME MOLO EXISTENTE				
2.1.1	P	EXTRACCIÓN DE ENROCADO EXISTENTE EN MOLO	4,895	M3	12,943	63,355,985
2.1.2	P	RETIRO DE ROCAS EXISTENTES A BOTADERO	503	M3	11,242	5,654,726
2.2	S	PERFILAMIENTO DE AFLORAMIENTO ROCOSO	300	M3	32,250	9,675,000
2.3	S	DEMOLICIONES Y RETIROS OBRAS TERRESTRES	1	GL	23,266,833	23,266,833
-	-	-				101,952,544
3	I	OBRAS DE ABRIGO				
3.1	S	MOLO NORTE				
3.1.1	P	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN MANTA ANTISOCAVACIÓN	4,402	M2	9,685	42,633,370
3.1.2	P	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE GEOTUBO GT1000, C 10.70M, L=20.0M	1	UN	4,697,014	4,697,014
3.1.3	P	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE GEOTUBO GT1000, C 10.70M, L=22.0M	2	UN	4,949,462	9,898,924
3.1.4	P	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE GEOTUBO GT1000, C 10.70M, L=25.0M	6	UN	5,328,134	31,968,804
3.1.5	P	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE GEOTUBO GT1000, C 13.70M, L=25.0M	1	UN	6,303,717	6,303,717
3.1.6	P	RELLENO DE GEOTUBOS CON ARENA SOBRE AGUA	1,397	M3	2,261	3,158,097
3.1.7	P	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE GEOTEXTIL DE PROTECCIÓN GEOTUBOS	1163	M2	3,207	3,728,331
3.1.8	P	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE ROCAS DE 0.3 A 0.5 TON, FILTRO	1,180	M3	46,620	55,011,600
3.1.9	P	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE GEOTEXTIL DE SEPARACIÓN	700	M2	1,597	1,117,900
3.1.10	P	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE ROCAS DE 2 A 4 TON, CORAZA	2,229	M3	63,735	142,088,576
3.1.11	P	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE ROCAS DE 4 A 6 TON, CORAZA	1,920	M3	71,763	137,764,960
3.1.12	P	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE ROCAS DE 6 A 8 TON, CORAZA	1,853	M3	74,116	137,299,890
-	-	-				575,691,185
3.2	S	MOLO SUR				
3.2.1	P	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN MANTA ANTISOCAVACIÓN	2,164	M2	9,685	20,958,340
3.2.2	P	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE GEOTUBO GT1000, C 15.20M, L=20.0M	1	UN	5,889,905	5,889,905
3.2.3	P	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE GEOTUBO GT1000, C 15.20M, L=25.0M	1	UN	6,791,512	6,791,512
3.2.4	P	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE GEOTUBO GT1000, C 12.20M, L=20.0M	11	UN	5,094,635	56,040,985
3.2.5	P	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE GEOTUBO GT1000, C 12.20M, L=25.0M	5	UN	5,815,929	29,079,645
3.2.6	P	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE GEOTUBO GT1000, C 16.8M, L=20.0M	10	UN	6,287,526	62,875,260
3.2.7	P	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE GEOTUBO GT1000, C 16.8M, L=25.0M	5	UN	7,693,987	38,469,935
3.2.8	P	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE GEOTUBO GT1000, C 16.8M, L=22.0M	2	UN	6,684,237	13,368,474
3.2.9	P	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE GEOTUBO GT1000, C 16.8M, L=24.0M	3	UN	7,080,941	21,242,823
3.2.10	P	RELLENO DE GEOTUBOS CON ARENA SOBRE AGUA	7,984	M3	2,261	18,050,987
3.2.11	P	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE GEOTEXTIL DE PROTECCIÓN GEOTUBOS	4637	M2	3,207	14,870,285
3.2.12	P	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE ROCAS DE 0.3 A 0.5 TON, FILTRO	4,174	M3	46,620	194,609,223
3.2.13	P	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE GEOTEXTIL DE SEPARACIÓN	2,478	M2	1,597	3,957,238
3.2.14	P	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE ROCAS DE 2 A 4 TON, CORAZA	590	M3	63,735	37,626,595
3.2.15	P	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE ROCAS DE 4 A 6 TON, CORAZA	343	M3	71,763	24,607,533
3.2.16	P	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE ROCAS DE 6 A 8 TON, CORAZA	4,934	M3	74,116	365,651,286
3.2.17	P	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE ROCAS DE 8 A 10 TON, CORAZA	7,479	M3	78,202	584,833,657
3.2.18	P	COLOCACIÓN DE ROCAS EXISTENTES	4,527	M3	16,915	76,574,205
-	-	-				1,575,497,887
3.3	S	MOLO SUMERGIDO				
3.3.1	P	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE ROCAS DE 8 A 10 TON	1,908	M3	73,920	141,039,360
3.3.2	P	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE GEOTEXTIL DE SEPARACIÓN	530	M2	1,597	846,410
-	-	-				141,885,770
4	I	OBRAS DE PLAYA				
4.1	S	NIVELACIÓN DE PLAYA CON ARENAS EXISTENTES				
4.1.1	P	NIVELACIÓN DE PLAYA EXISTENTE BAJO AGUA	7230	M3	12,790	92,471,700
4.1.2	P	NIVELACIÓN DE PLAYA EXISTENTE SOBRE AGUA	3170	M3	4,102	13,003,340
-	-	-				105,475,040
4.2	S	TRASLADO DE ARENAS EXISTENTES A BOTADERO AUTORIZADO				
4.2.1	P	EXTRACCIÓN, TRASLADO Y DEPOSITACIÓN EN BOTADERO DE ARENAS SOBRE AGUA	2,750	M3	11,585	31,858,750
-	-	-				31,858,750
4.3	S	COLOCACION DE NUEVAS ARENAS				
4.3.1	P	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE GEOCOMPUESTO DE SEPARACIÓN DE ARENAS	28,400	M2	1,971	55,976,400
4.3.2	P	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE ARENAS DE EMPRÉSTITO	28,400	M3	13,316	378,174,400
-	-	-				434,150,800
4.4	S	ELEMENTOS DE SEGURIDAD DE PLAYA				
4.4.1	P	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE BOYARINES	1	GL	1,207,500	1,207,500
4.4.2	P	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE SEÑALÉTICA	1	GL	1,726,200	1,726,200
-	-	-				2,933,700
5	I	OBRAS TERRESTRES				
5.1	S	MUROS DE CONFINAMIENTO				
5.1.1	P	EXCAVACIÓN	3,610	M3	2,762	9,970,820
5.1.2	P	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE GEOTEXTIL BASE ROCAS	4,273	M2	1,281	5,473,382
5.1.3	P	BASE ENROCADO DE 10 A 30 KG	787	M3	37,513	29,531,040
5.1.4	P	MURO HORMIGÓN ARMADO H30	801	M3	303,126	242,758,002
5.1.5	P	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE ROCAS DE 60 A 100 KG, FILTRO	325	M3	45,561	14,825,322
5.1.6	P	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE ROCAS DE 0.6 A 1 TON, CORAZA	1,258	M3	62,542	78,672,833
-	-	-				381,231,399
5.2	S	RELLENOS DE OBRAS TERRESTRES CON ARENAS EXISTENTES				
5.2.1	P	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE GEOCOMPUESTO DE SEPARACIÓN DE ARENAS	9,700	M2	1,971	19,118,700
5.2.2	P	EXTRACCIÓN Y TRASLADO DE ARENA SOBRE AGUA	6250	M3	4,530	28,312,500
5.2.3	P	RELLENO GRANULAR (e=0.50M)	4850	M3	9,310	45,153,500
-	-	-				92,584,700
Nota : Precios Unitarios incluyen GG y Utilidades.						
SUBTOTAL						3,485,866,576
I.V.A.						662,314,649
TOTAL						4,148,181,225
VALORES PROFORMA						
ÍTEM	TIPO	DESIGNACIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
6	I	VALORES PROFORMA				
6.1	S	PERMISOS DE CONSTRUCCIÓN	1	GL	500,000	500,000
SUBTOTAL						500,000
TOTAL						4,148,681,225

Fuente: (DOP, 2018)