



Memoria del proyecto para optar al Título de  
Ingeniero Civil Oceánico

**“PROPUESTAS DE ALTERNATIVAS PARA LA  
REVALORIZACIÓN DEL BORDE COSTERO EN EL  
PARQUE SAN MARTÍN”**

**Sebastián Ignacio Collarte Videla**

SEPTIEMBRE 2020

## PROPUESTAS DE ALTERNATIVAS PARA LA REVALORIZACIÓN DEL BORDE COSTERO EN EL PARQUE SAN MARTÍN

Sebastián Ignacio Collarte Videla

**COMISIÓN REVISORA**

**NOTA**

**FIRMA**

PROFESOR GUÍA  
Mauricio Reyes Gallardo

---

---

PROFESOR INTEGRANTE  
Patricio Winckler Grez

---

---

PROFESOR INTEGRANTE  
Francisco Molteni Pérez

---

---

## **DECLARACIÓN**

*Este trabajo, o alguna de sus partes, no ha sido presentado anteriormente en la Universidad de Valparaíso, institución universitaria chilena o extranjera u organismo de carácter estatal, para evaluación, comercialización u otros propósitos. Salvo las referencias citadas en el texto, confirmo que el contenido intelectual de este Proyecto de Título es resultado exclusivamente de mis esfuerzos personales.*

*La Universidad de Valparaíso reconoce expresamente la propiedad intelectual del autor sobre esta Memoria de Titulación. Sin embargo, en caso de ser sometida a evaluación para los propósitos de obtención del Título Profesional de Ingeniero Civil Oceánico, el autor renuncia a los derechos legales sobre la misma y los cede a la Universidad de Valparaíso, la que estará facultada para utilizarla con fines exclusivamente académicos.*

*Mauricio Reyes Gallardo.  
Profesor Guía.*

*Sebastián Collarte Videla.  
Alumno Memorista.*

## **AGRADECIMIENTOS**

*En primer lugar, quiero agradecer a mis padres que me dieron la oportunidad de estudiar y me entregaron todas las herramientas necesarias para ello. Los amo mucho y estaré eternamente agradecido por todo.*

*A mi abuela (Yayita) que infinitas veces me regalaba con sus ricos platos de comida en esas largas tardes/noches de estudio. Sin ella todo sería muy distinto. Te amo yayita.*

*A mis amigos de carrera Marcos Véliz, Ricardo Parra y María Inés Charlín, en ellos encontré el apoyo, la confianza y la entretención en cada momento. Me llevo una hermandad para toda la vida.*

*A mi amigo de toda la vida Sebastian Báez (Yiyi) por su cariño, preocupación y gran amistad. Son muchos los momentos juntos desde primero básico hasta el día de hoy. Sin duda los amigos son la familia que uno elige. Te quiero mi perrito.*

*A mi pareja Constanza, el amor de mi vida y madre de mi hijo, gracias por acompañarme en este camino, por tus consejos, por la preocupación y el amor inconmensurable que me entregas siempre. Te amo mucho, sigamos adelante en este proyecto tan lindo que es nuestra familia.*

*Por último, a mi hijo Vicente que es la luz del hogar. No tengo palabras para expresar todo el amor que siento por ti, simplemente llegaste a cambiarnos la vida. Te amo mucho hijo mío, por ti vamos a dar todo.*

## **DEDICATORIA**

*Sé un buen leñador de ti mismo  
Pódate sin piedad  
Hasta ser un alto y sencillo árbol  
Verás entonces la belleza insigne que es la sencillez  
La nobleza con que el árbol simple apunta al cielo,  
o sea a lo eterno  
El escaso rumor que los vientos adversos arrancan de ti.  
Es decir, la tremenda potencia con que resistes la adversidad.  
Gabriela Mistral*

## **CONTENIDO**

RESUMEN.....	12
1 INTRODUCCIÓN.....	13
2 OBJETIVOS.....	15
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	15
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	15
3 ALCANCES Y LIMITACIONES .....	15
3.1 ALCANCES.....	15
3.2 LIMITACIONES.....	15
3 MARCO TEÓRICO .....	16
3.1 REVALORIZACIÓN.....	16
3.1.1 MÉTODO DE VALORIZACIÓN.....	16
3.1.2 JERARQUIZACIÓN DEL VALOR .....	17
3.2 CONDICIONES NATURALES.....	18
3.2.1 MAREA ASTRONÓMICA.....	18
3.2.2 MAREA METEOROLÓGICA.....	19
3.2.3 ANÁLISIS ARMÓNICO .....	19
3.2.4 VALORES NO ARMÓNICOS DE LA MAREA .....	21
3.3 OLEAJE .....	21
3.3.1 CLASIFICACIÓN DE LAS ONDAS .....	21
3.3.2 ANÁLISIS A MEDIO PLAZO .....	23
3.3.3 ANÁLISIS A LARGO PLAZO .....	23
3.3.4 TRANSFORMACIÓN DEL OLEAJE EN LA PROPAGACIÓN .....	25
3.3.5 CRITERIOS DE DISEÑO.....	27
3.3.6 SWAN.....	29
3.4 LAS PLAYAS .....	30
3.4.1 MORFODINÁMICA DEL LITORAL.....	31
3.4.2 ESTADOS MORFODINÁMICOS DE EVOLUCIÓN DE LAS PLAYAS.....	32
3.4.3 EVOLUCIÓN NATURAL DE LAS PLAYAS .....	33
3.4.4 EVOLUCIÓN COSTERA.....	34
3.5 SISTEMA DE MODELADO COSTERO .....	35
3.5.1 MODELO A CORTO PLAZO.....	35

4 METODOLOGÍA DE LA ASIGNACIÓN DEL VALOR .....	36
5 METODOLOGÍA DE ESTUDIO.....	42
5.1 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO Y PERFILES TRANSVERSALES .....	43
5.2 TRANSFERENCIA AL MODELO PETRA.....	45
5.3 PROPAGACIÓN DE LOS TEMPORALES.....	45
5.3.1 RESULTADOS DE LA PROPAGACIÓN DE LOS TEMPORALES .....	53
6 CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO .....	57
6.1 ANÁLISIS ARMÓNICO.....	57
6.2 ANÁLISIS NO ARMÓNICO .....	60
6.3 MAREA METEOROLÓGICA .....	61
6.4 ESTUDIO DE OLEAJE .....	63
6.4.1 CLIMA DE OLEAJE MEDIO EN AGUAS PROFUNDAS .....	64
6.4.2 CLIMA DE OLEAJE EXTREMO EN AGUAS PROFUNDAS.....	65
6.5 VIDA ÚTIL, RIESGO Y PERIODO DE RETORNO .....	70
6.5.1 VIDA ÚTIL.....	70
6.5.2 RIESGO.....	70
6.5.3 PERIODO DE RETORNO.....	71
6.6 TRANSFERENCIA DE OLEAJE.....	71
6.6.1 TRANSFERENCIA DE OLEAJE 3ER CUADRANTE .....	73
6.6.2 TRANSFERENCIA DE OLEAJE 4TO CUADRANTE .....	78
7 NIVELES DE DISEÑO .....	84
7.1 SETUP DEL OLEAJE .....	84
7.2 ALTURA DE DISEÑO AL PIE DE LA ESTRUCTURA .....	86
7.3 NIVELES DE DISEÑO PARA LA ESCOLLERA.....	86
8 DISEÑO DE ESTABILIDAD DE LA ESCOLLERA.....	88
8.1 CORAZA .....	89
8.2 FILTRO .....	92
8.3 NÚCLEO .....	94
8.4 PIE DE APOYO.....	94
9 ALTERNATIVA COMPLEMENTARIA: BANDERA AZUL .....	99
9.1 IMPLEMENTACIÓN BANDERA AZUL .....	99
10 DISCUSIÓN.....	101

11 CONCLUSIONES .....	102
12 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	104
13 ANEXO .....	108

## **FIGURAS**

Figura 1- 1: Zona de estudio, Parque San Martín .....	13
Figura 1- 2: Playa el Sol posterior a la marejada del 8/08/2015 .....	14
Figura 3- 1: Trazado de ruta .....	17
Figura 3- 2: Pleamar y bajamar en sicigia .....	18
Figura 3- 3: Playa El Sol luego de las marejadas del 08/08/2015 .....	19
Figura 3- 4: Planos de referencia de la marea .....	21
Figura 3- 5: Gráfica de clasificación de ondas .....	23
Figura 3- 6: Asomeramiento.....	25
Figura 3- 7: Difracción.....	26
Figura 3- 8: Diagrama de secuencia del modelo SWAN .....	30
Figura 3- 9: Áreas de una playa idealizada .....	31
Figura 3- 10: Playa disipativa.....	32
Figura 3- 11: Playa reflectiva .....	33
Figura 3- 12: Perfil de erosión y acreción.....	35
Figura 3- 13: Procesos del software Petra .....	36
Figura 4- 1: Parque San Martín, vista en planta .....	37
Figura 4- 2: Parque San Martín, vista desde sur a norte .....	37
Figura 4- 3: Parque San Martín, vista desde norte a sur .....	38
Figura 4- 4: Muelle Vergara, atractivo escénico .....	39
Figura 4- 5: Tipología constructiva, áreas verdes.....	40
Figura 4- 6: Componentes del Valor, tramos 27 y 28 .....	42
Figura 5- 1: Diagrama explicativo de procesos .....	43
Figura 5- 2: Playa El Sol .....	44
Figura 5- 3: Perfiles transversales.....	44
Figura 5- 4: Ubicación del nodo desde el cual se extrajeron los parámetros de resumen	46
Figura 5- 5: Mallas batimétricas .....	47
Figura 5- 6: Perfil transversal con berma (AR) .....	51
Figura 5- 7: Perfil transversal con berma y laja (LA) .....	51
Figura 5- 8: Perfil transversal con intervención humana:.....	52

Figura 5- 9: Perfil inicial vs Perfil ARS3.....	54
Figura 5- 10: Perfil inicial vs Perfil ARS3M.....	55
Figura 5- 11: Retroceso de la línea de costa, Perfil AR.....	56
Figura 5- 12: Retroceso de la línea de costa, Perfil ARM.....	56
Figura 6- 1: Estación de medición SHOA.....	57
Figura 6- 2: Análisis armónico de Viña del Mar mes de agosto.....	58
Figura 6- 3: Análisis armónico de Viña del Mar mes de marzo.....	58
Figura 6- 4: Marea meteorológica de Viña del Mar mes de agosto .....	59
Figura 6- 5: Marea meteorológica de Viña del Mar mes de marzo .....	59
Figura 6- 6: Constituyentes Armónicas .....	60
Figura 6- 7: Planos de marea.....	61
Figura 6- 8: Distribución de probabilidad.....	62
Figura 6- 9: Bandas de confianza .....	63
Figura 6- 10: Zona de interés.....	64
Figura 6- 11: Distribución probabilística Weibull.....	67
Figura 6- 12: Bandas de confianza Weibull 3er cuadrante .....	68
Figura 6- 13: Distribución probabilística Weibull.....	69
Figura 6- 14: Bandas de confianza Gumbel 4to cuadrante .....	69
Figura 6- 15: Ubicación de Nodos.....	73
Figura 6- 16: Transferencia de oleaje dirección WSW, malla 200x200 .....	75
Figura 6- 17: Transferencia de oleaje dirección WSW, malla 100x100 .....	76
Figura 6- 18: Transferencia de oleaje dirección WSW, malla 25x25 .....	76
Figura 6- 19: Transferencia de oleaje dirección W, malla 200x200 .....	78
Figura 6- 20: Transferencia de oleaje dirección W, malla 100x100 .....	78
Figura 6- 21: Transferencia de oleaje dirección W, malla 25x25.....	79
Figura 6- 22: Transferencia de oleaje dirección WNW, malla 200x200 .....	81
Figura 6- 23: Transferencia de oleaje dirección WNW, malla 100x100 .....	81
Figura 6- 24: Transferencia de oleaje dirección WNW, malla 25x25 .....	82
Figura 6- 25 Transferencia de oleaje dirección WNW, malla 200x200 .....	84
Figura 6- 19: Transferencia de oleaje dirección WNW, malla 100x100 .....	84
Figura 6- 19: Transferencia de oleaje dirección WNW, malla 25x25 .....	85
Figura 7- 1: Wave setup.....	86
Figura 7- 2: Determinación del coeficiente de shoaling .....	87
Figura 8- 1: Escollera con una vida útil de 20 años.....	97
Figura 8- 2: Escollera con una vida útil de 50 años.....	98

Figura 8- 3: Layout planta escollera.....	99
Figura 9- 1: Logo Bandera Azul.....	100
Figura 10- 1: Comparación de perfiles.....	103
Figura 13- 1: Histograma de direcciones 3er cuadrante.....	115
Figura 13- 2: Histograma de periodos 3er cuadrante.....	116
Figura 13- 3: Histograma de alturas 3er cuadrante.....	115
Figura 13- 4: Histograma de periodos 4to cuadrante.....	115
Figura 13- 5: Histograma de direcciones 4to cuadrante.....	115
Figura 13- 6: Histograma de alturas 4to cuadrante.....	115
Figura 13- 7: Coeficientes de estabilidad (Hudson).....	115
Figura 13- 8: Peso de los elementos de los filtros.....	115

## **TABLAS**

Tabla 3- 1: Clasificación de ondas.....	22
Tabla 3- 2: Criterios de diseño, vida útil.....	28
Tabla 3- 3: Criterios de diseño, riesgo.....	28
Tabla 4- 1: Valoración de los tramos, Muelle Vergara y Playa el Sol.....	41
Tabla 5- 1: Temporales que afectaron a Viña del Mar.....	45
Tabla 5- 2: Cartas náuticas.....	46
Tabla 5- 3: Mallas de cálculo.....	46
Tabla 5- 4: Temporal del 17/08/2012.....	48
Tabla 5- 5: Temporal del 29/05/2013.....	48
Tabla 5- 6: Temporal del 08/08/2015.....	49
Tabla 5- 7: Ficha de datos.....	50
Tabla 5- 8: Tabla de modelación, perfiles AR.....	51
Tabla 6- 1: Constituyentes Armónicas.....	58
Tabla 6- 2: Constituyentes armónicas.....	60
Tabla 6- 3: Planos de marea estación Valparaíso.....	61
Tabla 6- 4: Valores extremos de marea meteorológica.....	62
Tabla 6- 5: Periodos de retorno.....	63
Tabla 6- 6: Alturas de oleaje máximas 3er cuadrante.....	66
Tabla 6- 7: Periodos de retorno 3er cuadrante.....	67
Tabla 6- 8: Alturas de oleaje máximas 4to cuadrante.....	68
Tabla 6- 9: Periodos de retorno 4to cuadrante.....	69
Tabla 6- 10: Criterios de diseño, vida útil.....	70

Tabla 6- 11: Criterios de diseño, riesgo .....	70
Tabla 6- 12: Coordenadas nodos.....	72
Tabla 6- 13: Casos propagados del 3er cuadrante .....	73
Tabla 6- 14: Casos propagados del 4to cuadrante.....	73
Tabla 6- 15: Transferencia de oleaje para el 3er cuadrante (Tr:40 años) .....	74
Tabla 6- 16: Transferencia de oleaje para el 3er cuadrante (Tr: 100 años) .....	76
Tabla 6- 17: Transferencia de oleaje para el 4to cuadrante (Tr: 40 años) .....	79
Tabla 6- 18: Transferencia de oleaje para el 4to cuadrante (Tr: 100 años) .....	82
Tabla 7- 1: Estimación wave setup .....	85
Tabla 7- 2: Nivel de diseño, vida útil 20 años.....	87
Tabla 7- 3: Nivel de diseño, vida útil 50 años.....	87
Tabla 8- 1: Altura de diseño para una vida útil 20 años.....	89
Tabla 8- 2: Altura de diseño para una vida útil de 50 años.....	89
Tabla 8- 3: Peso de las rocas en el tronco de la escollera .....	89
Tabla 8- 4: Peso de las rocas en el cabezo de la escollera.....	90
Tabla 8- 5: Espesor de la coraza .....	90
Tabla 8- 6: Cantidad de elementos aproximados para la escollera .....	91
Tabla 8- 7: Berma de coronamiento de la escollera .....	92
Tabla 8- 8: Pesos de los elementos de los filtros .....	92
Tabla 8- 9: Espesor medio de los filtros .....	93
Tabla 8- 10: Cantidad de elementos aproximados para los filtros de la escollera .....	94
Tabla 8- 11: Peso de los elementos del núcleo de la escollera .....	94
Tabla 8- 12: Dimensiones del pie de la escollera .....	94
Tabla 8- 13: Peso del pie de la escollera .....	95
Tabla 8- 14: Tabla de resumen .....	95
Tabla 13- 1:Tabla de incidencia altura v/s dirección 3er y 4to cuadrante.....	108
Tabla 13- 2: Tabla de incidencia periodo v/s dirección 3er cuadrante .....	109
Tabla 13- 3: Tabla de incidencia altura v/s dirección 3er cuadrante .....	109
Tabla 13- 4: Tabla de incidencia altura v/s periodo 3er cuadrante.....	110
Tabla 13- 5: Tabla de incidencia periodo v/s dirección 4to cuadrante .....	112
Tabla 13- 6: Tabla de incidencia altura v/s dirección 4to cuadrante .....	112
Tabla 13- 7: Tabla de incidencia altura v/s periodo 4to cuadrante.....	113

## **RESUMEN**

El Parque San Martín, al igual que muchos sectores de la zona costera de la Región de Valparaíso, ha sido afectado por marejadas extremas capaces de producir severos impactos morfodinámicos y estructurales, provocando pérdidas de valor. Este proyecto estudia esa problemática y propone alternativas para evitar o compensar tales pérdidas, mediante una metodología estructurada en cuatro etapas.

La primera etapa identifica en detalle las características del sector. La segunda parte tiene como objetivo determinar las consecuencias de las marejadas en la playa El Sol. En la tercera etapa se elaboran estudios de las condiciones naturales y la última etapa se enfoca en la elaboración de propuestas de revalorización del Parque San Martín.

En la primera parte del proyecto la caracterización detallada del sector permite realizar el estudio de valorización para conocer los puntos altos y bajos de sus características ambientales, económicas y urbano-socioculturales.

En la segunda etapa se caracterizan las consecuencias de las marejadas en la playa El Sol, se consideraron tres temporales que causaron daños a la infraestructura costera de Viña del Mar, obtenidos de estudios previos. Para este trabajo se ha construido un modelo con el software Petra, a partir del cual se obtienen resultados de retroceso de línea de costa y erosión del perfil de playa a corto plazo.

La tercera etapa apunta a conocer las condiciones naturales del sector: clima operacional de oleaje, clima extremo de oleaje, marea astronómica, marea meteorológica y wave setup. Con sus resultados se determinan las condiciones de diseño de infraestructura costera en el sector.

El estudio finaliza con una protección rígida tipo escollera en talud, constituida por una coraza exterior de roca, un filtro de dos capas con rocas de dimensiones menores a la coraza, un núcleo y un pie de apoyo para la contención efectiva de la coraza y protección del terreno. A esta alternativa se le suma la incorporación de ciertos criterios del galardón Bandera Azul, con el fin de incorporar valor al territorio analizado.

## 1 INTRODUCCIÓN

En la bahía de Valparaíso se han realizado estudios para conocer el valor del borde costero (Viveros, 2017), con los cuales se ha logrado reconocer una distribución de los componentes del valor a lo largo de su costa.

El Parque San Martín se encuentra en la ciudad de Viña del Mar, al lado norte del Muelle Vergara, como se observa en la Figura 1- 1. El sector es valioso por su disponibilidad de espacios recreativos para la población, como zonas de áreas verdes, Muelle Vergara, máquinas de ejercicios, sector de playa, entre otros.



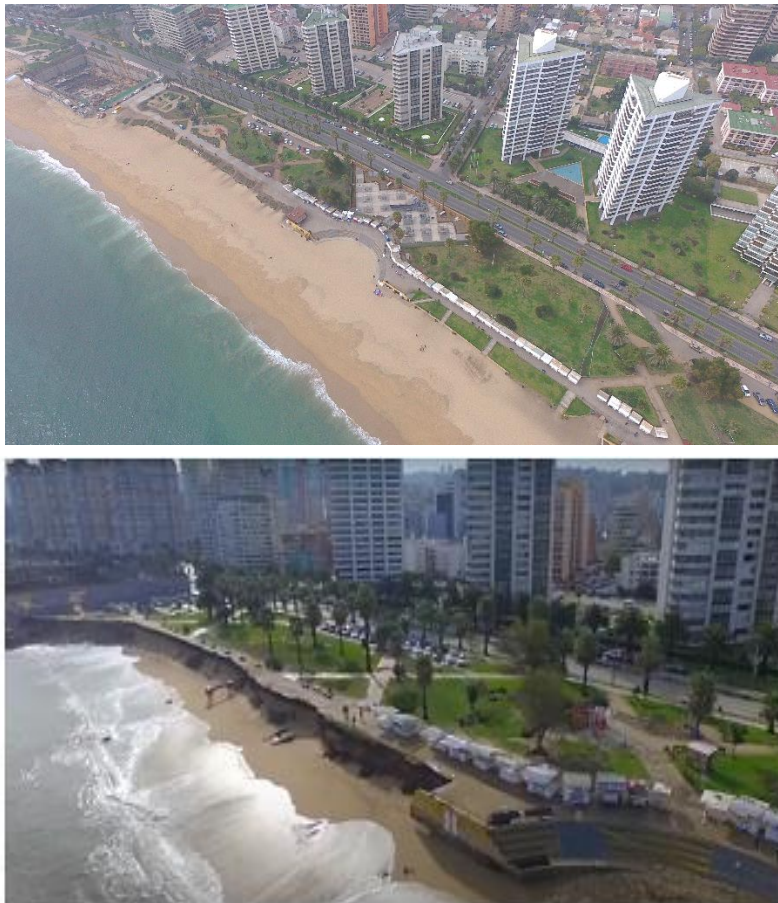
Figura 1- 1: Zona de estudio, Parque San Martín

Fuente: (Google Earth, 2019)

En el estudio de Campos (2016) se identificaron tres marejadas que causaron grandes daños a la ciudad de Viña del Mar y afectaron al Parque San Martín, ocurridas el 17 de agosto del 2012, el 29 de mayo del 2013 y el 8 de agosto del 2015.

Con los estudios citados, se establece la base a partir de la cual en este trabajo se desarrolla el estudio de las condiciones marítimas naturales y su impacto sobre el sector bajo análisis, mediante la modelación del perfil de la playa sometida a marejadas históricas. Esto se desarrolla utilizando el software de modelado costero Petra y tiene como objetivo principal conocer las consecuencias de las marejadas en la playa El Sol. Los resultados de estas modelaciones establecen los parámetros para el diseño de obras costeras como protección frente a marejadas futuras.

En general, esta memoria busca abarcar la problemática natural de las marejadas y su interacción con el borde costero, demostrando el daño que estas generan, su interacción con la infraestructura y su implicancia en la demora de la recuperación de las playas y, en consecuencia, su desvalorización en el tiempo (Figura 1- 2).



*Figura 1- 2: Playa el Sol antes y posterior a la marejada del 8/08/2015*

Fuente: Andaur (2017)

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

Proponer una alternativa de revalorización de la zona costera en el Parque San Martín en la ciudad de Viña del Mar.

### **2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar el valor de la zona costera en el sector del Parque San Martín.
- Analizar las condicionantes climáticas de diseño que afectan directamente al sector.
- Estimar el comportamiento morfodinámico del perfil de playa ante condiciones de oleaje extremo.
- Proponer una alternativa de revalorización del sector en estudio.

## **3 ALCANCES Y LIMITACIONES**

### **3.1 ALCANCES**

La zona de estudio y sus respectivos resultados están limitados solo al sector del Parque San Martín, incluyendo la playa El Sol.

No se consideran dentro de los parámetros de estudio los efectos asociados al cambio climático global ni aquellos relacionados con tsunamis.

En las modelaciones morfodinámicas del software Petra se consideran perfiles transversales de la playa. En uno de ellos se evaluó un supuesto perfil de laja que representa una parte rígida en la zona batimétrica, con el objetivo de visualizar las diferencias de los resultados del retroceso de la línea de costa y erosión. Está fuera del alcance de este estudio determinar con detalle la condición geológica de esa condición batimétrica.

Para el diseño de la escollera se consideró solo la ingeniería básica.

### **3.2 LIMITACIONES**

Los resultados del software de modelado costero Petra son específicos para la zona de estudio y preliminares para la propuesta de solución.

El software Petra es un modelo de evolución morfológica a corto plazo (horas-días).

## **3 MARCO TEÓRICO**

### **3.1 REVALORIZACIÓN**

Viveros (2017) propuso un método para medir el valor mediante un análisis multivariable y el uso de un software de información geográfica. En ese trabajo se realiza un acercamiento a la caracterización de los distintos tipos de sistemas que interactúan en la zona costera, considerando las cualidades particulares que inciden en el estado del Valor Ambiental, Económico y Urbano-Sociocultural del litoral (Viveros, 2017). El método de Viveros (2017) utiliza información geográfica disponible en software de libre acceso y observación en terreno, asignando valor mediante escalas cualitativas.

#### **3.1.1 MÉTODO DE VALORIZACIÓN**

El método de valorización que se utiliza en este trabajo, parte desde el uso de las herramientas de procesamiento de datos geográficos, con el objetivo de sectorizar el espacio territorial. Mediante la observación directa del sector en cuestión, se elabora una caracterización detallada del sistema urbano territorial existente, considerando la variedad de uso y actividades que se desarrollan en él.

La Figura 3- 1 muestra el trazado de ruta utilizado por Viveros (2017), donde se definen tramos específicos separados en 13 sectores (4 en la comuna de Valparaíso y 9 en Viña del Mar).

Luego de definir el trazado de ruta, Viveros (2017) determinó la sectorización del borde costero basado en la extensión territorial y sus características físicas. Se identificó que la zona costera posee características particulares originadas a partir de la evolución urbana, económica y socio-cultural de los habitantes que han desarrollado sus actividades en esta zona a través del tiempo (Viveros, 2017).

X|

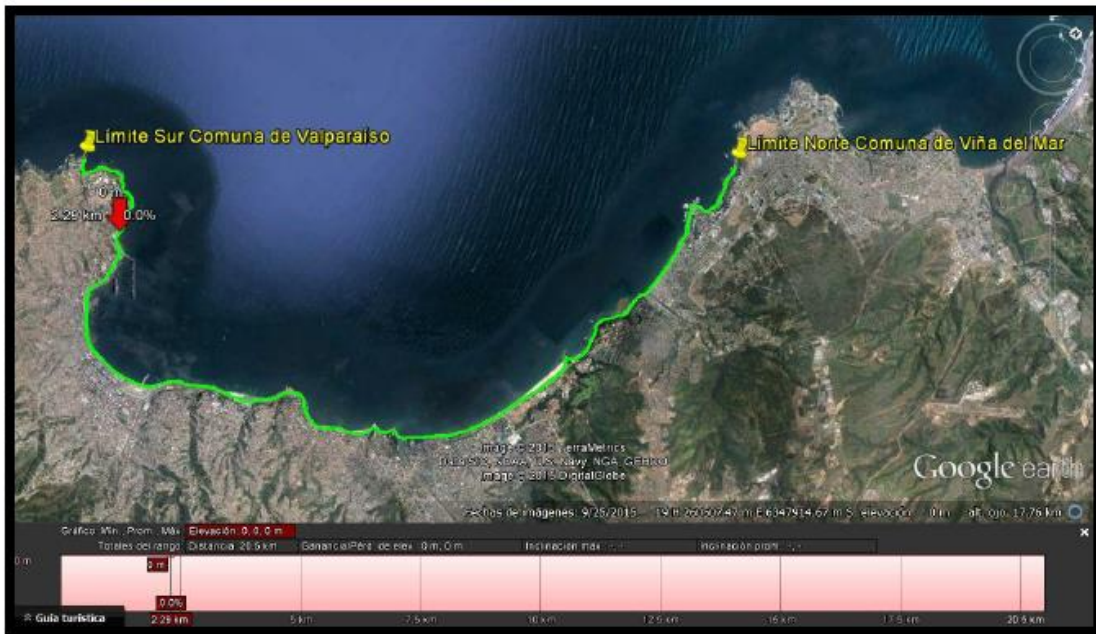


Figura 3- 1: Trazado de ruta

Fuente: Viveros (2017)

### 3.1.2 JERARQUIZACIÓN DEL VALOR

Para jerarquizar el valor del borde costero se separó en tres elementos fundamentales; Ambiental, Económico y Urbano-Sociocultural. Cada una de estas componentes se puede valorizar de forma cualitativa y cuantitativamente observando la superposición de actividades industriales, económicas, recreativas, turística, urbanas, etc.

Con la valoración se pretende ilustrar de manera descriptiva los elementos más relevantes que caracterizan el borde costero, considerando una múltiple interacción de variables que inciden en las cualidades y en el valor del espacio geográfico en estudio (Viveros, 2017).

Para la estimación del valor del borde costero, Viveros (2017) consideró un análisis del potencial inmobiliario e industrial sumado al uso urbano y turístico recreacional, que configura un espacio geográfico cuyo valor Ambiental, Económico y Urbano-Sociocultural es caracterizado a través de un análisis cualitativo de sus características y usos (Viveros, 2017).

## 3.2 CONDICIONES NATURALES

En este capítulo se describen las condicionantes naturales y sus respectivos estudios utilizados para desarrollar este proyecto. El estudio de marea astronómica se divide en análisis armónico y análisis no armónico, el primero de ellos permite conocer el plano al cual están referidas las profundidades de la localidad (nivel de reducción de sondas). El objetivo del segundo análisis, es conseguir los niveles de diseño para una posible solución. El estudio de marea meteorológica permite conocer la variación del nivel del mar a nivel local, debido a los cambios en la presión atmosférica y el viento. Por último, el estudio de oleaje extremo está orientado en definir algunos parámetros de diseño.

### 3.2.1 MAREA ASTRONÓMICA

La marea astronómica se define como un conjunto de movimientos regulares de ascenso y descenso del nivel del mar con periodos próximos a las 12 o 24 horas, que se producen por los efectos gravitacionales del sistema tierra-luna-sol (Cantabria, 2000).

Existen dos tipos de mareas importantes según las fuerzas gravitatorias:

1. Mareas vivas o de sicigias:, se generan cuando existe luna llena o nueva Figura 3-2). En ellas la fuerza gravitacional de la luna y el sol se combinan (coinciden en alineamiento sus fuerzas gravitatorias sobre la tierra), cuando esto ocurre, las pleamares son las más altas del mes y las bajamares son las más bajas del mes (SHOA, 1999).
2. Mareas muertas o de cuadratura: se generan en el cuarto creciente y menguante de la luna .Ambos astros, la luna y el sol, se orientan en ángulo recto; el resultado es una menor diferencia entre las pleamares y bajamares sucesivas (SHOA, 1999).



*Figura 3- 2: Pleamar y bajamar en sicigia*

Fuente: Mareas (2015)

### 3.2.2 MAREA METEOROLÓGICA

La marea meteorológica es la variación del nivel del mar debido a la presión atmosférica (efecto del barómetro invertido) combinada con la acción del viento. Se trata de un fenómeno con duración de horas a días, magnitudes de centímetros a varios metros y mayores en latitudes altas y en aguas someras (Winckler, 2002).

Existen diferentes factores que influyen en la intensidad de las marejadas. Uno de ellos es la intensidad de la tormenta, esto implica que mientras mayor sean los vientos, mayor será la marejada. La anchura e inclinación del fondo marino son factores importantes. Las marejadas más altas ocurren con plataformas continentales anchas y suavemente inclinadas, mientras que en plataformas más estrechas y con una gran inclinación, las marejadas son menos altas. Otros de los factores importantes, son el ángulo con que se aproxima a la costa, las características locales, el tamaño de la costa y el tamaño del ciclón. (Campos, 2016).

En Chile se logró identificar 201 eventos de marejadas que produjeron algún tipo de daño en el borde costero, entre los años 1823 a 2015 (Campos, 2016).

La Figura 3- 3 muestra las consecuencias de la marejada del 8 de Agosto del 2015 en la playa el Sol, en ella se puede observar el daño estructural y morfológico del evento extremo.



Figura 3- 3: Playa El Sol luego de las marejadas del 08/08/2015

Fuente: Municipalidad de Viña del Mar (2015)

### 3.2.3 ANÁLISIS ARMÓNICO

El análisis armónico de la marea corresponde a la obtención de las amplitudes de las constituyentes armónicas de la onda de marea, cuyo número dependerá de la extensión

del registro de los datos (Servicio Hidrográfico y Ocenográfico de la Armada, 2005). Este análisis produce un conjunto de constantes armónicas características de la zona.

El nivel de marea está dado por:

$$\eta(t) = \sum a_i \cos(w_i t + \phi_i)$$

Donde:

$\eta(t)$ : nivel de marea

$a_i$ : amplitud constituyente  $i$

$w_i$ : frecuencia constituyente  $i$

$\phi_i$ : desfase de los constituyentes

El nivel de reducción de sondas se define como:

$$NRS = Z_0 - (H_{M_2} + H_{S_2} + H_{N_2} + H_{K_1} + H_{O_1})$$

Donde:

$Z_0$  : nivel medio del mar

$H_{M_2}$  : semiamplitud constituyente lunar principal semidiurno

$H_{S_2}$  : semiamplitud constituyente solar principal semidiurno

$H_{N_2}$ : semiamplitud constituyente eclíptica mayor semidiurno

$H_{K_1}$ : semiamplitud constituyente lunisolar declinacional diurno

$H_{O_1}$  : semiamplitud constituyente lunar declinacional diurno

La herramienta utilizada para el cálculo de este análisis es T\_TIDE en Matlab (Jalón, 2013).

Los objetivos que se consiguen tras el análisis mediante T\_TIDE son:

- Descomposición de la variación del nivel del mar en la componente astronómica y la componente meteorológica.
- Descomposición de la marea astronómica en sus componentes armónicas.
- Selección de los armónicos principales.

Este análisis puede caracterizar el régimen de marea, si es semidiurna, mixta o diurna (CEM, 2002). Según la siguiente ecuación.

$$R = \frac{A(K_1) + A(O_1)}{A(M_2) + A(S_2)}$$

Donde R es Coeficiente de Courtier

$R \leq 0.25$ : Semidiurna

$0.25 \leq R \leq 1.50$ : Mixta

$0.15 \leq R$  Diurna

### 3.2.4 VALORES NO ARMÓNICOS DE LA MAREA

Los valores no armónicos de la marea corresponden al conjunto de parámetros que permiten describir el comportamiento de la marea en una localidad cualquiera, siendo inferidos directamente de las observaciones efectuadas en terreno (Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada, 1999).

Las observaciones del ascenso y descenso periódico del nivel del mar se realizan utilizando diversos tipos de mareógrafos automáticos o mediante dispositivos que requieren la atención constante de un observador que controle a intervalos discretos la altura de la marea (Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada, 1999).

La Figura 3- 4 muestra los diversos planos de marea establecidos por el SHOA.

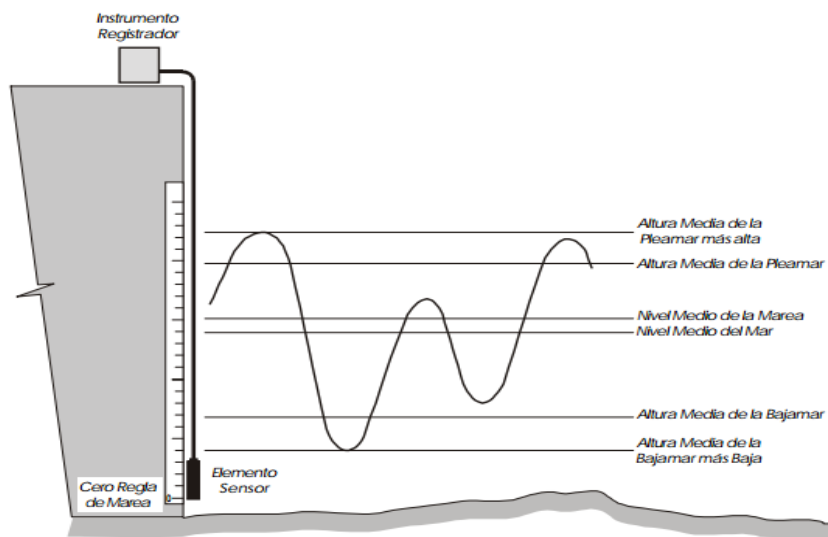


Figura 3- 4: Planos de referencia de la marea

Fuente: Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (1999)

## 3.3 OLEAJE

### 3.3.1 CLASIFICACIÓN DE LAS ONDAS

Según la definición física, una onda es una perturbación que avanza o se propaga en un medio material o incluso en el vacío. Las ondas contienen elementos característicos como

su amplitud, longitud, frecuencia y periodo. Esta definición se puede aplicar al oleaje, como ondas que se desplazan a través de mares, océanos, ríos, canales, etc. (Quezada, 2007). El oleaje se puede clasificar según su fuerza generadora, su periodo y la cantidad de energía que contiene. La Tabla 3- 1 muestra los distintos tipos de ondas según su periodo característico, longitud, altura, fuerza generadora y restauradora.

Tabla 3- 1: Clasificación de ondas

Nombre	Periodo (T)	Longitud (L)	Altura (H)	Fuerza generadora	Fuerza restauradora
Capilares	0 a 0.1 s	2 a 7 cm	1 a 2 mm	Viento	Tensión superficial
Ultragravedad	0.1 a 1 s	Centímetros	Centímetros	Viento	Tensión superficial y gravedad
Gravedad	1 a 30 s	De metros a cientos de metros	De centímetros a 15 m	Viento	Gravedad
Infragravedad	30 s a 30 min	100 a 200 m	Pequeña	Viento	Gravedad, fuerza de Coriolis
Periodo largo	5 min a 24 h	Pueden llegar a ser de escala planetaria	1 a 5 m	Sismo, derrumbes, atracción de cuerpos celestes	Gravedad, fuerza de Coriolis
Transmarea	Más de 24 h	-	0 a 12 m	Oscilaciones climáticas	Gravedad, fuerza de Coriolis

Fuente: Silva (2005)

Según Tabla 3- 1 enmarcada en rojo, se define una onda de oleaje cuyos periodos se encuentran entre 1 a 30 segundos, siendo el viento su principal fuente generadora. Por otro lado, la Figura 3- 5 muestra de manera gráfica las ondas en función a su energía y frecuencia, el recuadro rojo resalta las ondas de oleaje descritas anteriormente.

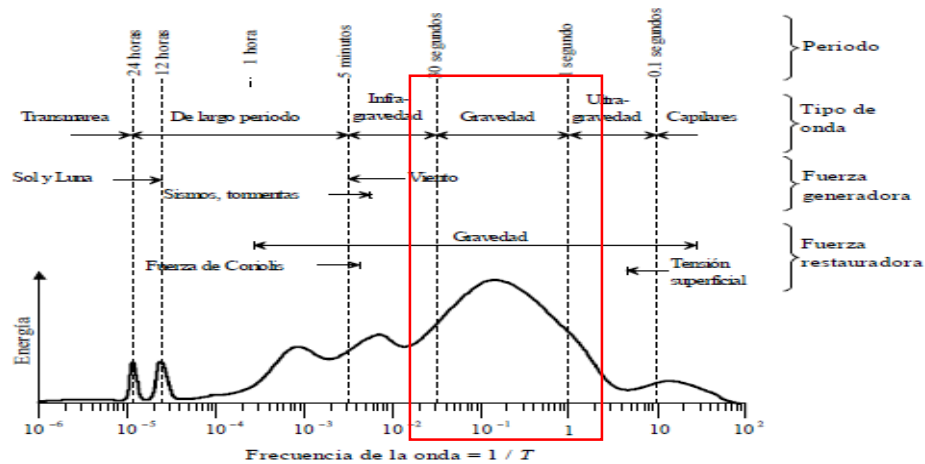


Figura 3- 5: Gráfica de clasificación de ondas

Fuente: Silva (2005)

### 3.3.2 ANÁLISIS A MEDIO PLAZO

El análisis a medio plazo tiene como objetivo determinar el comportamiento de los parámetros del oleaje en un año medio. Para efectos de ingeniería se utiliza como un verificador de la operatividad de la estructura. Se requieren datos históricos que corresponden a parámetros de resumen de altura, periodo y dirección del oleaje en todos sus estados de mar (de 1 a 3 horas) (Winckler, 2010).

Los resultados que se pueden conseguir de este análisis corresponden a histogramas o tablas de incidencia escalares y direccionales, rosas de oleaje, histogramas de altura de ola y estacionales (Winckler, 2010).

### 3.3.3 ANÁLISIS A LARGO PLAZO

El análisis a largo plazo busca predecir valores de los parámetros dentro de la vida útil de la estructura, elementos costeros, regeneración de playas, etc. Este análisis, también llamado *análisis de clima extremo de oleaje*, está asociado a la generación distante de oleaje que se propaga hasta la zona de estudio y, en algunos casos, también de generación local (Winckler, 2010).

Los valores extremos obtenidos mediante este análisis estadístico expresan la probabilidad de que cierto valor no sea superado, o minorado, en un periodo de tiempo prefijado.

El diseño de estructuras, elementos costeros, regeneraciones de playas, etc. están gobernados por valores extremos. Bajo este criterio se dispone de tres métodos de selección de data (parámetros de resumen) (Silva, 2005):

- **El método basado en los máximos de las series anuales (máximos anuales);** esta utiliza los valores máximos de cada año.

- **El método basado en los valores picos (sobre el umbral);** esta utiliza los picos de los temporales.
- **El método basado en series completas;** que emplea todos los valores registrados durante el periodo de observación.

Existen distribuciones estadísticas del oleaje que permiten estimar de manera confiable las funciones de probabilidad de la superficie libre, altura de ola, periodo y la altura conjunta ola-periodo (Silva, 2005). Entre las distribuciones que se ajustan adecuadamente se tienen: Log normal, Gamma, Weibull y Gumbel, entre otras (Isaacson, 1995).

Ejemplo de ecuaciones Gumbel y Weibull:

$$F = F_{X(x)} = P(X < x) = e^{(-e)^{-\left(\frac{x-B}{A}\right)}}$$

$$F = F_{X(x)} = P(X < x) = e^{(-e)^{-\left(\frac{x-B}{A}\right)^k}}$$

Donde:

X: característica de la altura de ola significativa  $H_S$ ,  $H_{\frac{1}{10}}$  o altura máxima  $H_{max}$ . dependiendo la cantidad de datos.

x: relación de X.

F = es la probabilidad de no excedencia de x (de frecuencia acumulada).

A, B, k: Distribución de parámetro A y B es la desviación estándar y X es promedio respectivo.

El análisis de Weibull se puede realizar haciendo uso de distintos valores de K, por ejemplo, K=0,75; K=1; K=1,4; K=2. Esto con el fin de poder hacer la elección de la mejor distribución de ploteo en base al factor de correlación que se obtenga y de esta forma poder representar el clima extremo en la zona de interés.

La altura de retorno para la distribución que resulte tener la mejor correlación se puede expresar con las siguientes ecuaciones:

**Gumbel:**

$$H_{retorno} = A - B \ln[-\ln(p_o)]$$

**Weibull:**

$$H_{retorno} = A + B[-\ln(1 - P_o)]^{(1/k)}$$

En ambos casos, (Po) se tiene según la ecuación:

$$P_o = 1 - \frac{1}{\frac{n^\circ \text{datos}}{n^\circ \text{años}} * T_r}$$

### 3.3.4 TRANSFORMACIÓN DEL OLEAJE EN LA PROPAGACIÓN

El clima de oleaje local propagado desde aguas profundas es afectado por las condiciones del fondo marino, siendo las más comunes la refracción, difracción, reflexión, shoaling y rompimiento. A continuación, se explican los fenómenos que afectan al oleaje en su acercamiento a la costa.

#### 3.3.4.1 SHOALING

El fenómeno de shoaling o asomeramiento es el aumento de la altura de las ondas y la disminución de su longitud producto del acercamiento del tren de ondas a la costa, debido a los efectos de fondo (Cantabria, 2000).

La Figura 3- 6 muestra la onda de oleaje propagándose a la costa, donde se puede observar que la onda es afectada por el fondo marino, disminuyendo su longitud y aumentando su altura.

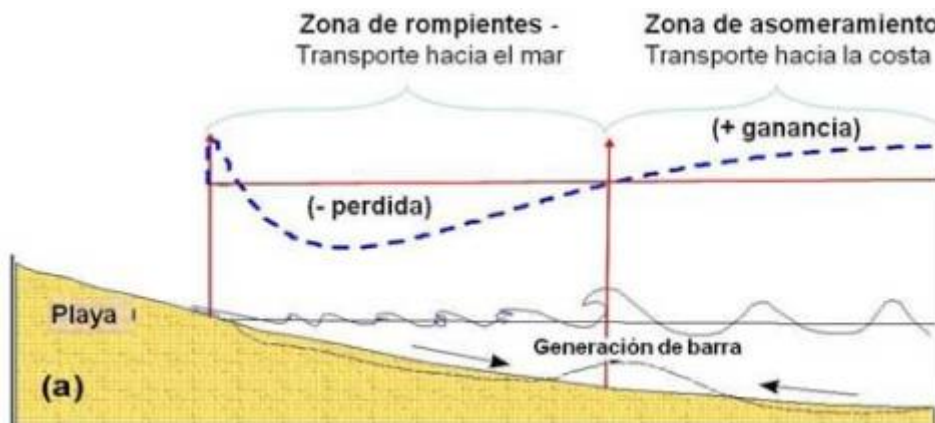


Figura 3- 6: Asomeramiento

Fuente: (Úbeda, 2016)

#### 3.3.4.2 REFRACCIÓN

La refracción se produce cuando trenes de olas ingresan oblicuamente sobre la costa encontrando un cambio de profundidad (Cantabria, 2000). Cuando las olas se aproximan en sentido oblicuo a la costa, comienzan a percibir cambios en el fondo, y desarrollan una desviación progresiva que les alinea paralelamente a los veriles. Este fenómeno afecta la dirección y la velocidad de propagación de la onda.

### 3.3.4.3 DIFRACCIÓN

La difracción del oleaje es un fenómeno que tiene lugar cuando el frente de ola se encuentra con un obstáculo al que rebasa, como muestra la Figura 3- 7. Tras el obstáculo se produce una zona de sombra en la que, en teoría, el mar debería encontrarse perfectamente en calma, sin embargo, se produce una transferencia lateral de energía del oleaje, en dirección del frente y sentido hacia la zona de sombras (Center, 1975).



*Figura 3- 7: Difracción*

Fuente: Perfect wave diffraction at the tip of the wave breaker (2018)

La Figura 3- 7 muestra el efecto de difracción producto de la morfología costera local.

### 3.3.4.4 REFLEXIÓN

La reflexión ocurre cuando el oleaje incidente interacciona con estructuras naturales y artificiales, en estos casos la energía de la ola no se disipa progresivamente y es reflejada. En playas reflejantes, donde los efectos de la reflexión son importantes la hidrodinámica en la zona de rompientes, así como la morfodinámica asociada puede verse afectada por efecto de la reflexión. La reflexión puede dar lugar a desplazamientos de la zona de rotura, cambios en el nivel de disipación en la playa, así como en el *set up*, sistema de corrientes y el transporte de sedimentos asociados (Cantabria, 2000) .

La reflexión nunca es perfecta, pues depende de las características de la superficie (rugosidad, permeabilidad y pendiente) y del peralte<sup>1</sup> de las olas.

---

<sup>1</sup> Relación existente entre la altura de ola y su longitud de ola correspondiente y es un indicador de la forma de la ola

### 3.3.4.5 ROMPIMIENTO

Cuando el oleaje comienza a aproximarse a la orilla aumenta su altura y al mismo tiempo comienza a disminuir su longitud volviéndose cada vez más esbelta. La esbeltez del oleaje en cierto momento se torna inestable, provocando el rompimiento de la ola. Al romper el oleaje disipa energía generando turbulencia y transportando sedimentos (Cantabria, 2000).

### 3.3.5 CRITERIOS DE DISEÑO

Para efectos de esta memoria el oleaje de diseño se basa en las Recomendaciones de Obras Marítimas y Portuarias (en adelante ROM). Las ROM reúnen la información y los criterios necesarios para las diferentes acciones que actúan sobre las distintas obras marítimas y portuarias. Estas recomendaciones están definidas para condiciones locales y medioambientales españolas, sin embargo, su contenido es extrapolable a cualquier otro lugar del mundo.

Existen tres conceptos fundamentales para los criterios generales de un proyecto, los cuales se definen a continuación.

#### 3.3.5.1 VIDA ÚTIL

La vida útil corresponde a un periodo que va desde la completa instalación de la estructura hasta su inutilización, desmontaje o cambio de uso. Generalmente la vida útil es definida por el mandante del proyecto y se separa en las siguientes hipótesis de trabajo (Dirección General de Puertos y Costas, 1990):

- a) Condiciones normales de operación: “La instalación marítima o portuaria funcionan sin limitaciones, no viéndose afectada por las condiciones medioambientales”.
- b) Condiciones extremas: “La instalación debe paralizar o limitar su operatividad mientras subsistan acciones medioambientales superiores a los límites de explotación. Esta condición está asociada a las más severas condiciones medioambientales para la cual está diseñada la obra”.
- c) Condiciones excepcionales: “La instalación está sometida como consecuencia de accidentes, mal uso, o condiciones medioambientales o de trabajo excepcionales, a acciones extraordinarias no usuales, aunque sí previsibles”.
- d) Reparación: “Incluye la reparación de la estructura o de la instalación marítima”.

En base a las hipótesis anteriores las ROM establecen que la vida útil mínima depende del tipo de obra a proyectar y de los niveles de seguridad requeridos. Los valores estimados se visualizan en la Tabla 3- 2.

Tabla 3- 2: Criterios de diseño, vida útil

TIPO DE OBRA	NIVEL DE SEGURIDAD		
	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
Infraestructura de carácter general	25	50	100
Infraestructura de carácter industrial	15	25	50

Fuente: Dirección General de Puertos y Costas (1990)

En la Tabla 3- 2 se muestran los niveles de seguridad asociados a infraestructuras de carácter general e industrial. Las primeras son aquellas obras que no están relacionadas a la explotación, como instalaciones industriales.

Según la misma fuente, existen tres tipos de niveles de seguridad, a saber:

- Nivel 1: Obras e instalación de intereses locales o auxiliares.
- Nivel 2: Para obras de interés general, con riesgo moderado de pérdidas de vida humana o daños medioambientales en caso rotura (obras en grandes puertos, emisarios de grandes ciudades).
- Nivel 3: Para obras de protección contra inundaciones o de carácter supranacional, con un riesgo elevado de pérdidas humanas o daños medioambientales en caso de rotura (defensa de núcleos urbanos o bienes industriales).

### 3.3.5.2 RIESGO

El riesgo corresponde a la probabilidad de presentación de un valor extremo de la variable durante un periodo de tiempo establecido. Los riesgos para una obra marítima o portuaria se separan en la fase de servicio y en la fase de construcción. Estos van desde la estimación de pérdidas humanas hasta la estimación de repercusiones económicas en caso de inutilización parcial o total (Dirección General de Puertos y Costas, 1990).

Tabla 3- 3: Criterios de diseño, riesgo

RIESGOS DE INICIACIÓN DE AVERÍAS		Reducida	Esperable
Repercusión económica en caso de inutilización de la obra	BAJA	0,5	0,3
	MEDIA	0,3	0,2
	ALTA	0,25	0,15
RIESGOS DE DESTRUCCIÓN TOTAL		Reducida	Esperable
Repercusión económica en caso de inutilización de la obra	BAJA	0,2	0,15
	MEDIA	0,15	0,10
	ALTA	0,10	0,05

Fuente: Dirección General de Puertos y Costas (1990)

La Tabla 3- 3 se separa en dos puntos; riesgos de iniciación de averías y riesgos de destrucción total, esta tabla define un riesgo según las características de deformabilidad y de posibilidad o facilidad de reparación de la estructura.

Para obras rígidas o de rotura frágil sin posibilidad de reparación se adopta el riesgo de destrucción total. Para obras flexibles, semirrígidas o de rotura en general reparable se define un riesgo de iniciación de averías.

La columna definida como reducida se refiere a que no es esperable que se produzcan pérdidas humanas en caso de rotura o daños. Por otro lado, la columna definida como esperable se refiere cuando es previsible que se produzcan pérdidas humanas en caso de rotura o daños. Las filas representan la repercusión económica en caso de inutilización de la obra. el cálculo final se desarrolla con la siguiente fórmula:

$$R = \frac{\text{Coste de pérdidas}}{\text{Inversión}}$$

$$\text{Baja} = R \leq 5$$

$$\text{Media} = 5 < R \leq 20$$

$$\text{Alta} = R > 20$$

### 3.3.5.3 PERIODO DE RETORNO

El periodo de retorno o recurrencia para un valor de la variable  $X = X_i$  es el intervalo medio de tiempo en que el valor extremo supera a  $X_i$ , una sola vez. El riesgo y el periodo de retorno tienen relación y se puede determinar mediante la siguiente fórmula (Dirección General de Puertos y Costas, 1990).

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{T_r}\right)^{L_f} \approx 1 - e^{-\left(\frac{L_f}{T_r}\right)}$$

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

Dónde:

$T_r$ : periodo de retorno.

$L_f$ : vida útil.

$R$ : riesgo.

### 3.3.6 SWAN

El software SWAN es un modelo de oleaje de tercera generación, utilizado para análisis de propagación del oleaje. Se usa preferiblemente en aguas poco profundas, debido a las formulaciones que utiliza, las cuales son más efectivas en lugares como lagos, estuarios, bahías, etc. (The Swan Team, 2015) .

El software tiene en cuenta la propagación del oleaje en tiempo y espacio, así como la refracción debido a las corrientes y a la profundidad. También realiza la interacción entre

tres y hasta cuatro olas con diferentes características, así como la difracción y disipación del oleaje debido a la vegetación (The Swan Team, 2015).

Sus principales salidas son la altura de ola, periodo pico, periodo medio, longitud de onda, velocidad de viento y la profundidad en todos los puntos de la malla (Lamazares, 2014). La Figura 3- 8 muestra la secuencia de trabajo del modelo SWAN. En ella se puede identificar los datos de entrada (*Input*) y los datos de salida (*Output*).

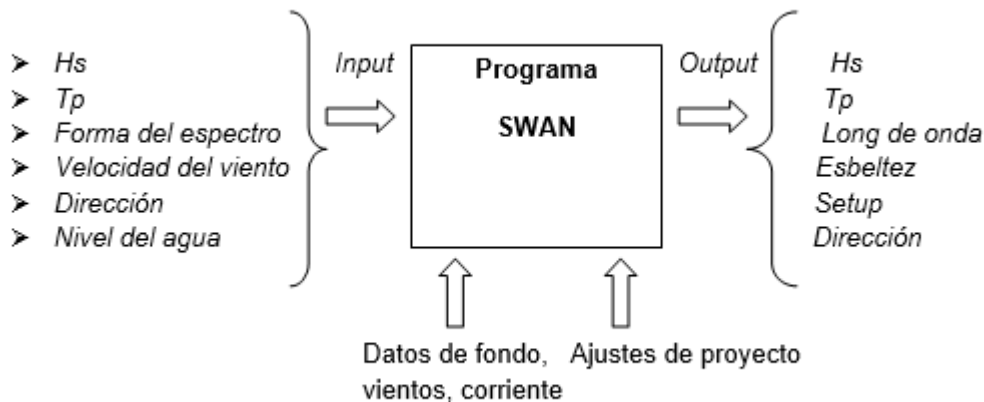


Figura 3- 8: Diagrama de secuencia del modelo SWAN

Fuente: Elaboración propia modificado de manual SWAN

### 3.4 LAS PLAYAS

Las playas o costas arenosas son sitios donde se acumulan arenas y ripios, es decir, lugares donde llegan importantes volúmenes de sedimentos (Benavente, 2015). La morfología de las playas varía tanto espacial como temporalmente, por lo que para su estudio debe tenerse en consideración prioritaria la hidrodinámica y la morfología del sector. Es importante conocer cómo se caracteriza una playa y su entorno. Para esto Komar (1998) propone un listado de terminologías que permiten describir el perfil de playa, asociada a la zona cercana a la playa o *nearshore*:

**Backshore:** Zona del perfil de la playa que se extiende hacia tierra desde la pendiente del *foreshore* hasta el punto en donde se asienta la vegetación o existe un cambio fisiográfico (acantilado o campo de dunas).

**Berm (Berma):** La sección levemente horizontal de la playa o *backshore* formada por depositación de sedimentos por efecto de las olas. Algunas playas presentan más de una berma separadas por un escarpe.

**Foreshore:** la parte en declinación del perfil de playa que une la cresta de la berma (o en su ausencia, el límite más bajo de la onda *swash* en marea alta) y la marca más baja del

agua producida por el *swash* en marea baja. Este término es también sinónimo de *beachface* pero generalmente es más inclusivo ya que contiene algo de la porción plana del perfil de playa sobre el *beachface*.

**Inshore:** la zona del perfil de playa que se extiende hacia el mar desde el *foreshore* justamente hacia la zona de rompiente.

**Offshore:** la porción comparativamente plana del perfil de playa que se extiende hacia el mar desde la zona de rompiente (*inshore*) al límite de la plataforma continental. Este término es también usado con referencia al agua y ondas hacia el mar desde la zona del *nearshore*.

**Breakerzone (Zona de Rompiente):** La sección de la zona del *nearshore* en la cual las ondas arriban desde el *offshore* haciéndose inestables y rompen con olas uniformes.

**Run-up:** Es la altura vertical máxima de la ola en tierra sobre el nivel del mar.

La Figura 3- 9 muestra de manera gráfica las terminologías anteriormente mencionadas para una playa idealizada.

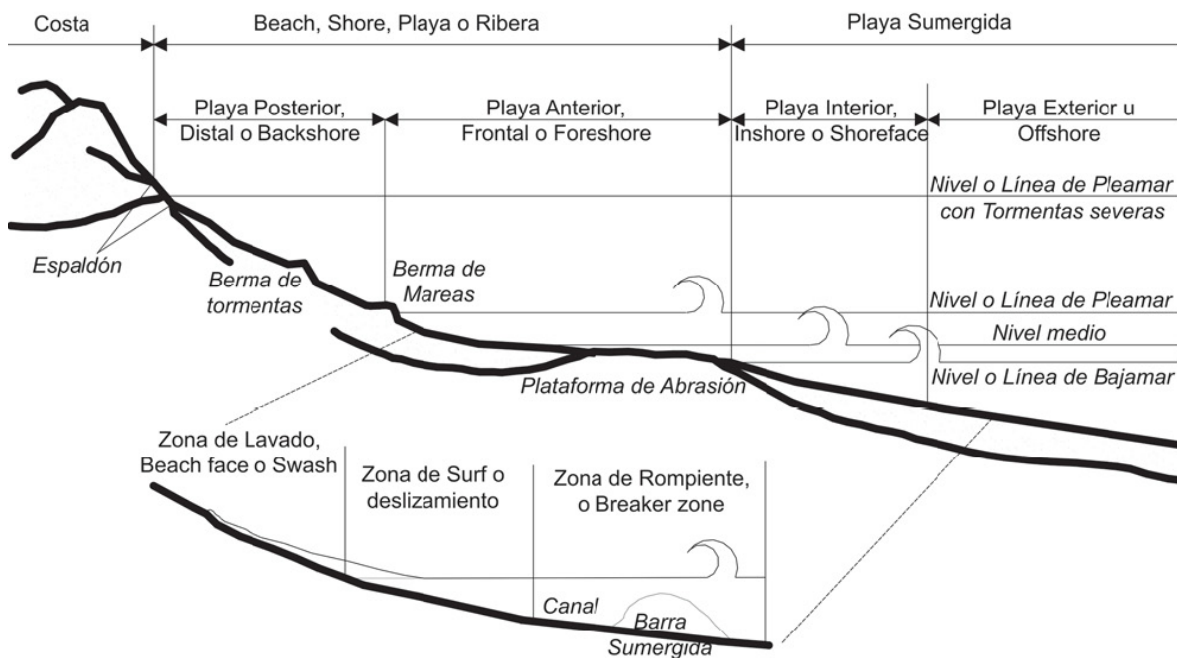


Figura 3- 9: Áreas de una playa idealizada

Fuente: Ubeda (2016)

### 3.4.1 MORFODINÁMICA DEL LITORAL

La morfodinámica del litoral está condicionada por los cambios topobatimétricos que sufren las playas producto de algunas condiciones medioambientales como el oleaje, corrientes y vientos (Sánchez, 1994). Uno de los objetivos principales de un estudio morfodinámico, es

predecir la evolución de las playas, simplificando algunos de los factores que controlan la dinámica costera.

Existen modelos numéricos de evolución de playas, modelos de una línea, de varias líneas, o modelos bidimensionales, que son aplicables a análisis de largo plazo y de gran escala. Sin embargo, los modelos no son completamente fiables, debido a que no resuelven la naturaleza aleatoria del fenómeno en estudio (Vidal, 1995).

Los modelos de evolución costera relacionan una serie de estados de playas con las características morfodinámicas e hidrodinámicas de la zona, con el objetivo de predecir su comportamiento (Vidal, 1995).

### 3.4.2 ESTADOS MORFODINÁMICOS DE EVOLUCIÓN DE LAS PLAYAS

Para entender la dinámica costera, es necesario saber que el oleaje es fundamental en cuanto a los cambios de playa. Sin embargo, en algunos casos, los procesos de disipación y reflexión toman un rol principal generando otros modos de movimiento, pudiendo ser mayores que el propio oleaje (Vidal, 1995).

Existen 6 tipos de playas, según su estado morfodinámico, las condiciones de oleaje y el tipo de sedimento que se encuentra en ellas. A continuación, se describen los dos tipos de playas más frecuentes.

- **Disipativas** (Figura 3- 10): las playas disipativas tienen una morfología prácticamente bidimensional con un perfil muy extendido, muy parecido a un perfil de temporal o de invierno (Vidal, 1995). Las corrientes de retorno son prácticamente nulas a excepción de playas con arrecifes rocosos, límites extremos de playa, etc. Se caracterizan por tener una pendiente suave ( $<2^\circ$ ) y un tamaño de grano menor a los 0.2 mm (Úbeda, 2016).

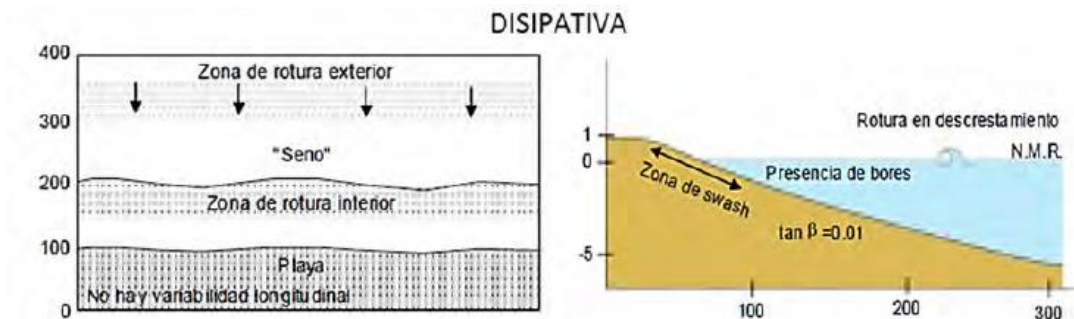


Figura 3- 10: Playa disipativa

Fuente: Ubeda (2016)

- **Reflejantes** (Figura 3- 11): las playas reflejantes se encuentran en el otro extremo de la escala de estados de playa. Las roturas se producen en voluta, colapso o en oscilación, se caracterizan por tener una pendiente elevada ( $>4^\circ$ ) y un tamaño de grano  $> 0.5$  mm (Úbeda, 2016).

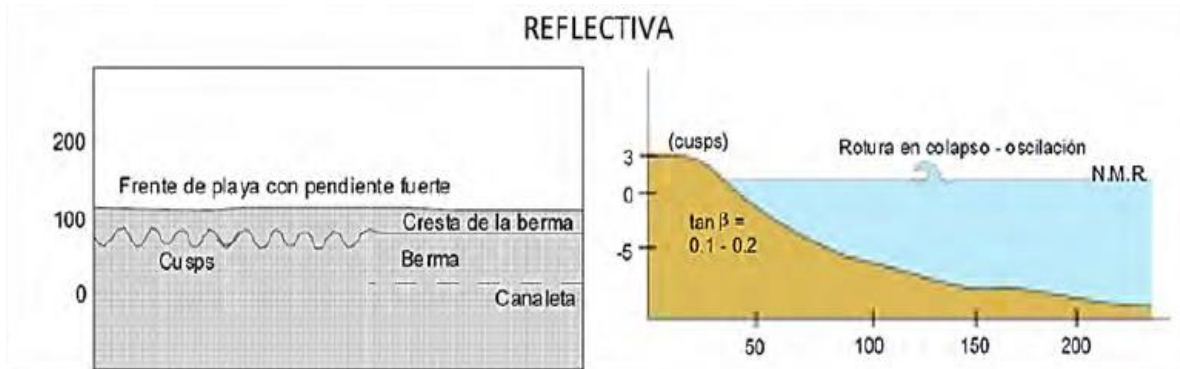


Figura 3- 11: Playa reflectiva

Fuente: Ubeda (2016)

### 3.4.3 EVOLUCIÓN NATURAL DE LAS PLAYAS

Estudiar la evolución del borde costero, tanto en condiciones naturales como bajo la influencia de obras costeras, supone analizar los procesos que ocurren en la zona de confluencia de tres medios: aire, mar y tierra (Sánchez, 1994).

El estudio de los procesos costeros implica conocer la evolución de las distintas escalas de tiempo y espacio. La determinación de dichas escalas se puede analizar en cada una de los componentes (hidrodinámicas y morfológicas), pero tiene cierto grado de subjetividad y dependerá exclusivamente de los intereses involucrados (Vidal, 1995).

En cada una de las diferentes escalas temporales, la respuesta morfodinámica será diferenciada, y es por esto que definirla es clave para analizar los distintos cambios morfológicos de la costa (Vidal, 1995). El problema surge cuando existen distintas escalas temporales de los diferentes agentes que inciden en la morfología costera, es decir, en qué grado son relevantes cada uno de los procesos.

Para estudiar la evolución de las playas, se debe considerar un análisis desde un punto de vista multiescalar, es decir, se debe promediar o filtrar desde el paso de una escala a otra, tanto temporal como espacial. Esto implica que un agente en una escala determinada será parte del proceso y en otra escala actuará de forma diferente (Sánchez, 1994).

En consecuencia, si un agente actúa de una manera despreciable en una escala temporal determinada, se considera como un “ruido” y tendrá un efecto residual en el proceso, ahora bien, si el agente es considerado como importante dentro de la escala temporal, a este se le considera como una “componente extrínseca”. Existen condiciones donde los agentes actúan en la misma escala temporal, en estos casos, los procesos están relacionados con las escalas temporales y actúan como “componentes del proceso” (Sánchez, 1994).

#### 3.4.3.1 CAMBIOS A LARGO PLAZO

La costa experimenta cambios a largo plazo, tanto en planta como en perfil, que determinan el balance total de sedimentos. Dichos cambios son producidos fundamentalmente por (Sánchez, 1994):

- Aporte sedimentario por parte de los ríos.
- Variaciones del nivel del mar.
- Los intercambios de sedimentos entre el perfil activo playa y la parte interna de la plataforma.
- Los intercambios de sedimentos en la playa inducidos por sobrepaso y viento.

#### 3.4.3.2 CAMBIOS A MEDIO PLAZO

Los cambios a medio plazo que experimenta la costa son de forma sistemática, se pueden considerar como la tendencia evolutiva de un tramo de costa con una escala espacial del orden de kilómetros a una escala temporal de varios años (Sánchez, 1994).

Los principales agentes que actúan en los cambios a medio plazo son; el oleaje dominante a lo largo del año y su capacidad de transportar sedimentos longitudinalmente y las variaciones de este a lo largo de la costa. Las componentes extrínsecas vienen siendo el aporte de sedimentos por parte de los ríos y el proceso de pérdida o ganancia de sedimentos en tramos específicos (Sánchez, 1994).

#### 3.4.3.3 CAMBIOS A CORTO PLAZO

Los cambios a corto plazo se experimentan en la zona más activa del perfil de playa (zona de rompiente), y se manifiestan en los avances y retrocesos de la línea de costa. Los principales agentes que actúan en los cambios a corto plazo son el oleaje y el viento, pero a diferencia de los cambios a medio plazo, estos agentes se consideran de manera estacional y/o cíclica (temporales). Esta escala temporal es inferior a un año y puede llegar a variaciones del orden de horas (Benavente, 2015).

### 3.4.4 EVOLUCIÓN COSTERA

#### 3.4.4.1 CAMBIOS DE PERFIL

A diferencia de los cambios en planta, los cambios del perfil de playa son provocados generalmente por el transporte transversal de sedimentos y se producen específicamente en la dirección normal a la costa, generalmente dependiendo del contenido energético del oleaje (Sánchez, 1994). Existen dos tipos de cambios de perfil que se describen a continuación:

- a) Perfil de erosión o tormentas: *“Específicamente se produce en los estados de tormenta, donde el oleaje actúa con un gran contenido energético sobre la playa, esto produce una erosión en el perfil y un retroceso de la línea de costa (dependiendo del contenido*

*energético y duración del temporal), también se genera un transporte del material hacia mar adentro, produciendo barras sumergidas que generan un suavizado en la pendiente del perfil. Estas barras operan como un filtro energético haciendo que las olas rompan antes de llegar a playa, actuando como una protección natural ante las olas de la tormenta, y a su vez se transforman en una reserva de sedimentos donde este es almacenado hasta que las condiciones de oleaje permitan su vuelta a la playa emergida” (Sánchez, 1994).*

- b) Perfil de acreción: *“Está asociado básicamente a la acción del oleaje de baja energía. Las barras transformadas en reserva producidas por el temporal comienzan a ser transportadas hacia la costa generando un aumento en la superficie del perfil, suelen tener pendientes elevadas y una berma amplia” (Sánchez, 1994).*

La Figura 3- 12 muestra el comportamiento de un perfil en erosión y de acreción.

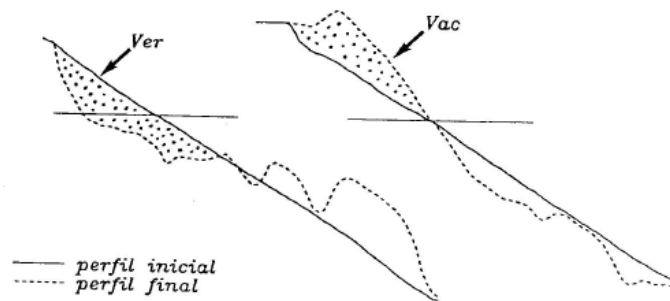


Figura 3- 12: Perfil de erosión y acreción

Fuente: Sánchez (1994)

### 3.5 SISTEMA DE MODELADO COSTERO

El Sistema de Modelado Costero integra una serie de modelos números específicos. La estructura general incorpora tres grandes módulos; Proceso de datos, modelos y post proceso de datos. El módulo de proceso de datos constituye todo lo relativo al análisis de oleaje, así como de la información batimétrica o del terreno en general. El módulo de modelos incluye diferentes herramientas para el cálculo de la propagación de oleaje, estudio de corrientes, transporte de sedimentos, evolución de la línea de costa, etc. Por último, el módulo de post procesos prepara los resultados para su representación gráfica (González, 2004).

#### 3.5.1 MODELO A CORTO PLAZO

El modelo a corto plazo contiene programas que permiten analizar sistemas costeros a una escala espacial y temporal de corto plazo. Se compone de modelos de evolución

morfodinámica en perfil 2DV (2 dimensiones en la vertical), y modelos de evolución morfodinámica en planta 2DH (2 dimensiones en la horizontal) (González, 2004).

El software Petra modela la evolución en el tiempo del perfil de playa. El modelo tiene en cuenta distintos procesos, permitiendo obtener la evolución del perfil después de la acción dinámica de un oleaje de temporal (González, 2004). La Figura 3- 13 muestra los procesos utilizados por el software Petra.

La magnitud del transporte es función de las características morfológicas del medio (sedimento y batimetría) y de las condiciones hidrodinámicas (oleaje y corrientes inducidas por el mismo). El objetivo de Petra es conocer la respuesta del perfil ante un evento de temporal en términos de retroceso de la línea de costa y de la forma final del perfil.

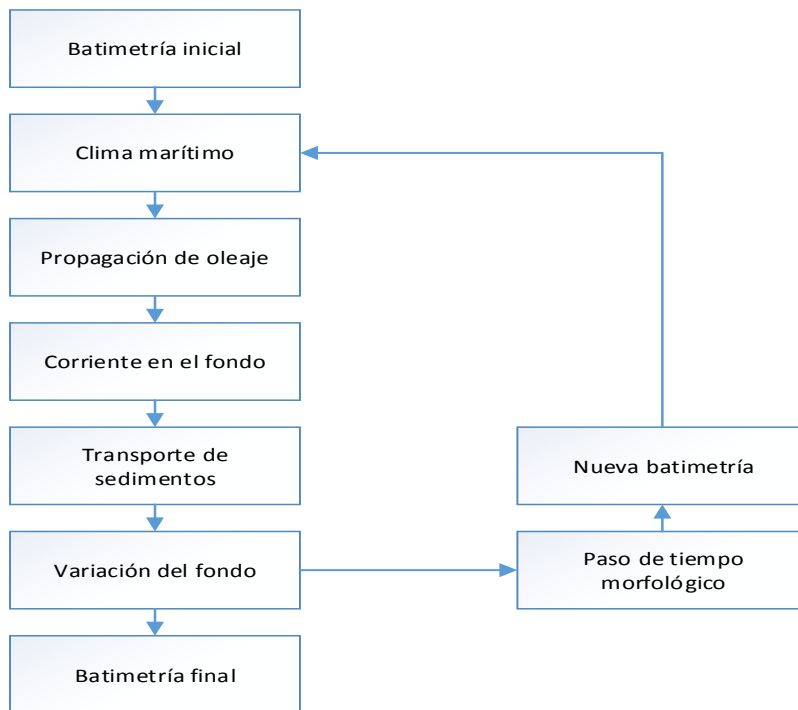


Figura 3- 13 Procesos del software Petra

Fuente: Elaboración propia a partir de Costas (2015)

## **4 METODOLOGÍA DE LA ASIGNACIÓN DEL VALOR**

El proceso de la asignación del valor fue utilizado en los distintos tramos mediante la metodología de Viveros (2017). Si bien es cierto, la asignación del valor considera los mismos parámetros de evaluación para los diferentes tramos, la valorización es única y exclusiva de cada sector.

La asignación del valor del sector Parque San Martín se realizó mediante las tablas de jerarquización evaluadas según la escala Likert. Para ello se caracterizó el valor de modo cualitativo para cada uno de los aspectos considerados mediante percepción humana. Este proceso fue posible a través de la observación directa de la configuración ambiental, económica y urbano-sociocultural del sector, considerando sus características y bondades. La Figura 4- 1 muestra el Parque San Martín de Viña del Mar desde una vista aérea. En los siguientes párrafos se desarrolla una breve descripción de los valores ambientales, económico y urbano-sociocultural del sector Parque San Martín.

El objetivo principal de la valorización es mostrar en detalle las características del sector, a través de la asignación de los valores. Este estudio permite conocer los puntos altos y bajos del Parque San Martín y con ello poder desarrollar una alternativa que contemple los valores más bajos.



*Figura 4- 1: Parque San Martín, vista en planta*

Fuente: Andaur (2017)



*Figura 4- 2: Parque San Martín, vista desde sur a norte*

Fuente: Andaur (2017)



*Figura 4- 3: Parque San Martín, vista desde norte a sur*

Fuente: Andaur (2017)

La Figura 4- 2 y la Figura 4- 3 muestran algunas de las características de la zona. Desde el punto de vista Ambiental el Parque San Martín tiene algunas bondades y particularidades únicas, a continuación, se describen algunas de ellas:

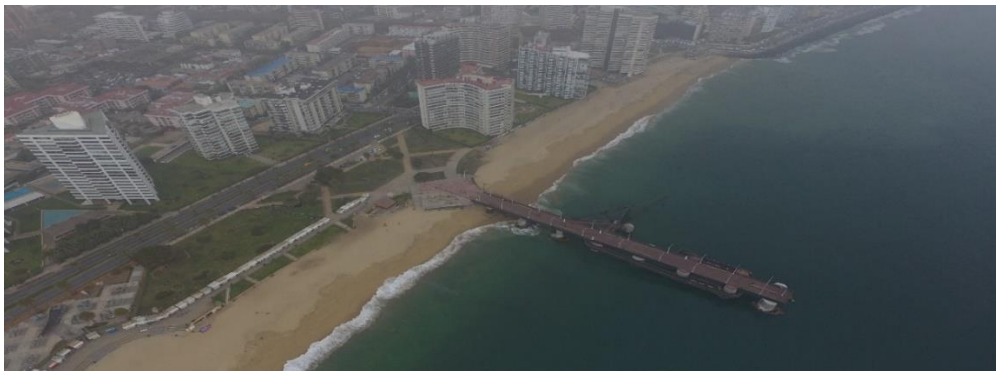
1. Hábitat costero: El Parque San Martín se encuentra dividido por la Avenida San Martín (Figura 4- 3), esta contiene un amplio desarrollo urbano, intervenido en gran parte por un desarrollo inmobiliario, lo que sustituye y altera ambientalmente las zonas protegidas para la conservación de la flora y fauna.
2. Atractivo escénico: El Parque se caracteriza por tener un borde costero con vista completa al mar y de fácil acceso de personas a la zona de playa. La mayor parte del borde costero incluye puestos de trabajo para los artesanos, lo que conlleva a que una gran cantidad de público transite por el sector.
3. Áreas verdes: El Parque San Martín cuenta con amplias áreas verdes con mantención municipal, cobertura en buen estado de conservación, de acceso público, juegos infantiles y jardines con especies mayoritariamente introducidas. Estas áreas verdes funcionan como espacios de para distintas actividades en un ambiente libre.

La Figura 4- 3 muestra de forma panorámica la tipología constructiva de las cercanías del Parque San Martín. Existen aspectos destacables en cuanto al valor económico de la zona. A continuación, se mencionan algunos de ellos.

1. Uso de suelo: El suelo urbano se encuentra con un índice alto en cuanto al potencial inmobiliario; existen zonas residenciales en las cercanías del Parque San Martín con un

fácil acceso a este. La densidad constructiva facilita la presencia de actividad comercial de todo tipo.

2. Oferta inmobiliaria: Las cercanías del Parque San Martín poseen un gran carácter habitacional y turístico; existen varias características que hacen de esta zona un lugar de gran oferta inmobiliaria: lo cercano que se encuentra del borde costero, la vista completa sobre el mar, el tipo de vecindario, lugar céntrico, etc.
3. Tipo de vecindario: El tipo de vecindario está asociado a la oferta inmobiliaria de la zona. El sector del Parque San Martín cuenta con una presencia de un estrato medio alto caracterizado por una alta seguridad ciudadana y con una intervención permanente de fuerza pública. Además, presenta grandes espacios de esparcimiento para la ciudadanía y actividades comunitarias.
4. Densidad constructiva: Principalmente la densidad constructiva del Parque San Martín está determinada por edificaciones, donde la cantidad de viviendas se encuentra proporcionada a los metros cuadrados del lugar.
5. Tipología constructiva: La tipología constructiva se asocia al tipo de edificación que presenta la zona. El Parque San Martín tiene una tipología principalmente de hormigones y fundaciones de hormigón, con un servicio higiénico, acceso a la red sanitaria y piscinas en su interior. En sus edificaciones presenta jardines frontales y posteriores excelentemente conservados con diseño y ordenamiento.



*Figura 4- 4: Muelle Vergara, atractivo escénico*

Fuente: Andaur (2017)



*Figura 4- 5: Tipología constructiva, áreas verdes*

Fuente: Andaur (2017)

El valor Urbano-Sociocultural engloba los sistemas urbano-territoriales destinado al uso específico de los habitantes (Viveros, 2017). A continuación, se presenta un resumen de las características del sector Parque San Martín para cada uno de los elementos que describen su valor Urbano-Sociocultural.

1. Red vial: El sector del Parque San Martín se destaca por tener un fácil acceso a sus dependencias. Este cuenta con vías peatonales seguras y semáforos en ambos extremos del sector, además colinda con una de las Avenidas principales de Viña del Mar, Avenida San Martín.
2. Sistema de transporte público: El principal transporte público para acceder al Parque San Martín son los buses que transitan por la calle principal de Viña del Mar, Avenida Libertad. La cercanía de esta calle principal con el Parque San Martín facilita la conectividad de los habitantes de zonas aledañas al borde costero.
3. Equipamiento urbano: Las zonas habitables del Parque San Martín (separadas por la Avenida San Martín) se encuentran con un equipamiento urbano adaptado a sus necesidades; todas cumplen con el acceso a servicios básicos y redes sanitarias. Además, el Parque San Martín cuenta con espacios públicos de uso recreativo como el sector de áreas verdes y máquinas para hacer ejercicios.
4. Infraestructura, servicio de uso público y patrimonio: La Municipalidad de Viña del Mar cuenta con un departamento de seguridad ciudadana, lo que ayuda a tener un entorno seguro. Las funciones que cumple son las de fiscalización, vinculación comunitaria, vigilancia especial en colegios y apoyo ante situaciones de emergencia.

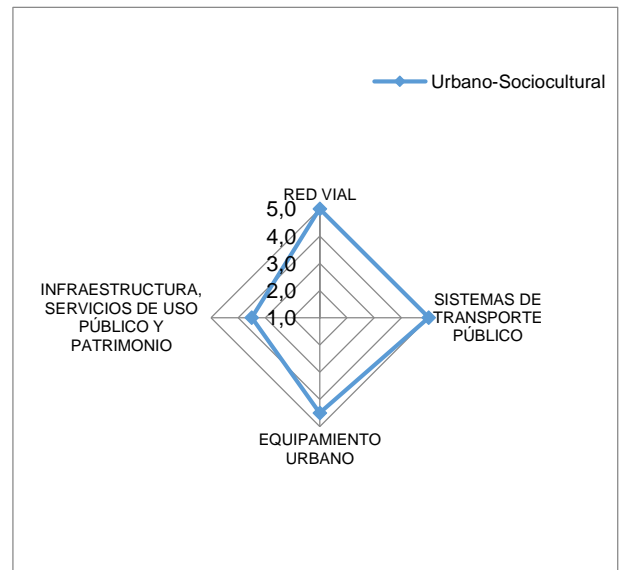
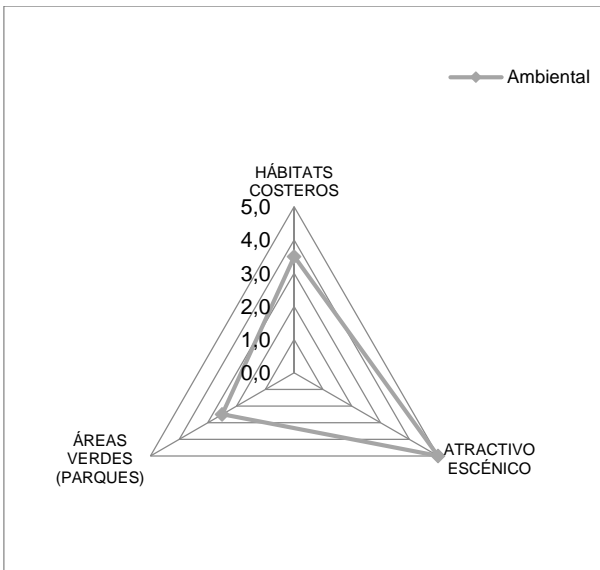
La Tabla 4- 1 muestra la valoración actual de los tramos según las tablas de criterios para la jerarquización y evaluadas según la escala Likert.

Tabla 4- 1: Valoración de los tramos, Muelle Vergara y Playa el Sol

<b>TRAMO 27</b> Muelle Vergara.	<b>12700</b>		HÁBITATS COSTEROS	ATRACTIVO ESCÉNICO		ÁREAS VERDES (PARQUES)		
		Ambiental	3	5		4		
			USO DE SUELO (PLANO REGULADOR)	OFERTA INMOBILIARIA	TIPO DE VECINDARIO	DENSIDAD CONSTRUCCIÓN	TIPOLOGÍA CONSTRUCTIVA	
		Económico	4	4	5	3	5	
			RED VIAL	SISTEMAS DE TRANSPORTE PÚBLICO	EQUIPAMIENTO URBANO	INFRAESTRUCTURA, SERVICIOS DE USO PÚBLICO Y PATRIMONIO		
Urbano-Sociocultural	5	3	5	4				
<b>TRAMO 28</b> Playa El Sol.	<b>13000</b>		HÁBITATS COSTEROS	ATRACTIVO ESCÉNICO		ÁREAS VERDES (PARQUES)		
		Ambiental	2	3		3		
			USO DE SUELO (PLANO REGULADOR)	OFERTA INMOBILIARIA	TIPO DE VECINDARIO	DENSIDAD CONSTRUCCIÓN	TIPOLOGÍA CONSTRUCTIVA	
		Económico	4	4	5	4	5	
			RED VIAL	SISTEMAS DE TRANSPORTE PÚBLICO	EQUIPAMIENTO URBANO	INFRAESTRUCTURA, SERVICIOS DE USO PÚBLICO Y PATRIMONIO		
Urbano-Sociocultural	5	3	4	3				

Fuente: Viveros (2017)

Los resultados de la Tabla 4- 1 se muestran a continuación en gráficos de radar.



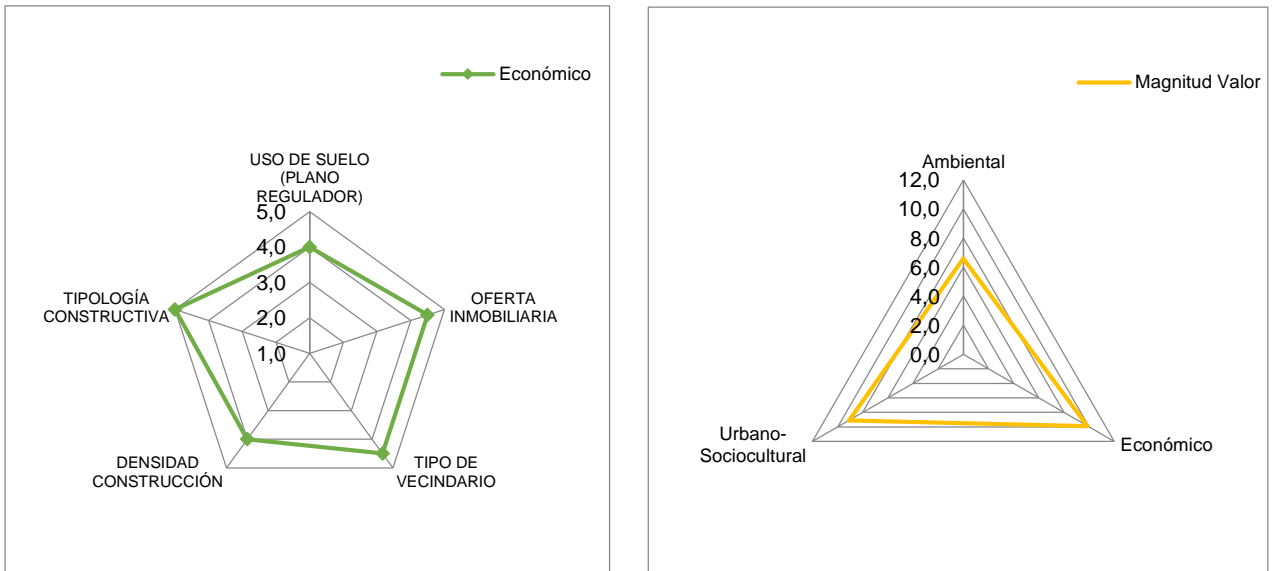


Figura 4- 6: Componentes del Valor, tramos 27 y 28

Fuente: Viveros (2017)

## **5 METODOLOGÍA DE ESTUDIO**

En este capítulo se describe la metodología empleada para la propagación de temporales en el software Petra. Los procesos se separan en tres partes: Obtención de los perfiles transversales de la Playa el Sol, propagación de los temporales que afectaron a la ciudad de Viña del Mar y simulación de las marejadas en el software Petra.

Estos resultados ayudan a comprender de manera general cómo actúan las marejadas en una playa y la consecuencia de un temporal en cuanto a la erosión del perfil transversal y al retroceso de la línea de costa. En la Figura 5- 1 se presenta un diagrama explicativo de los procesos utilizados.

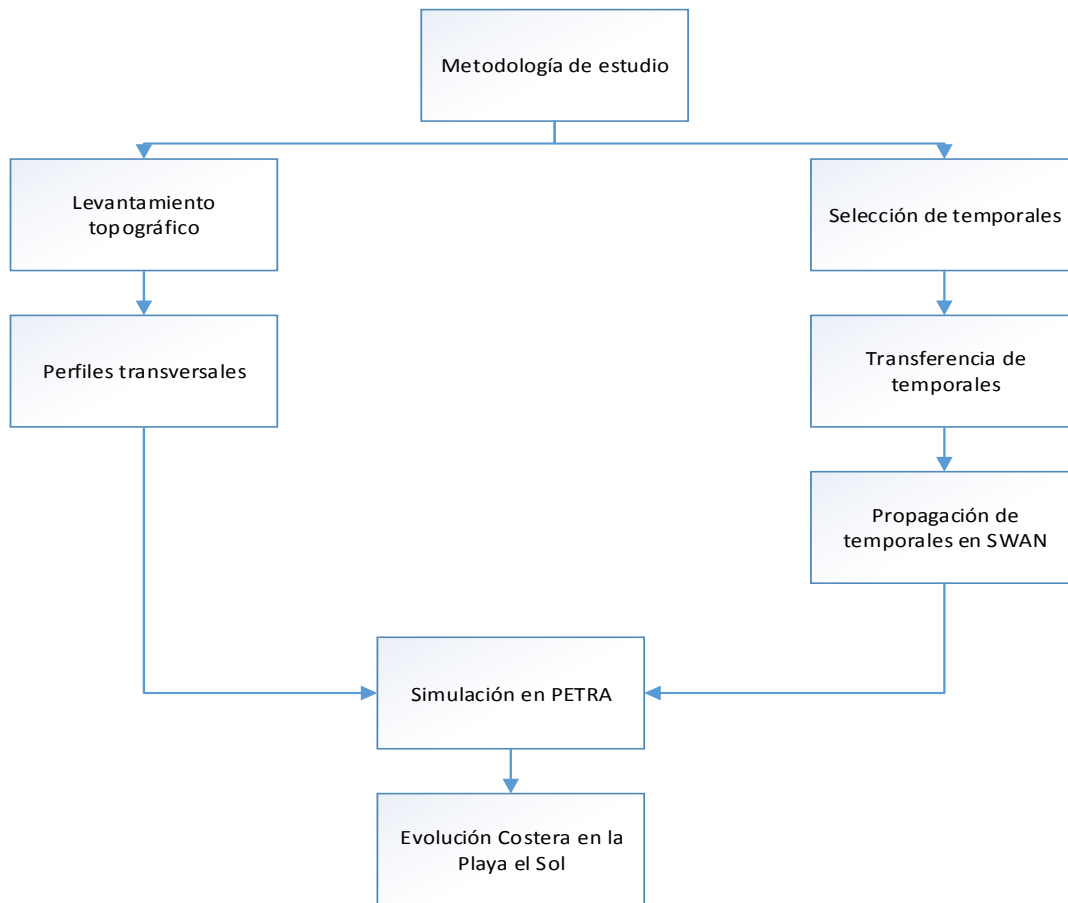


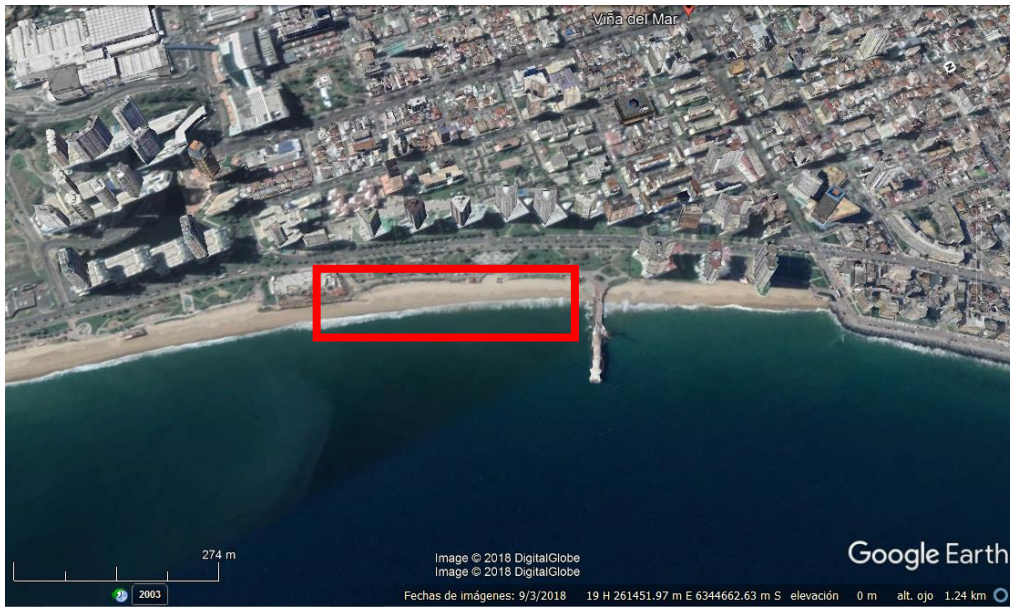
Figura 5- 1: Diagrama explicativo de procesos

Fuente: Elaboración propia

## 5.1 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO Y PERFILES TRANSVERSALES

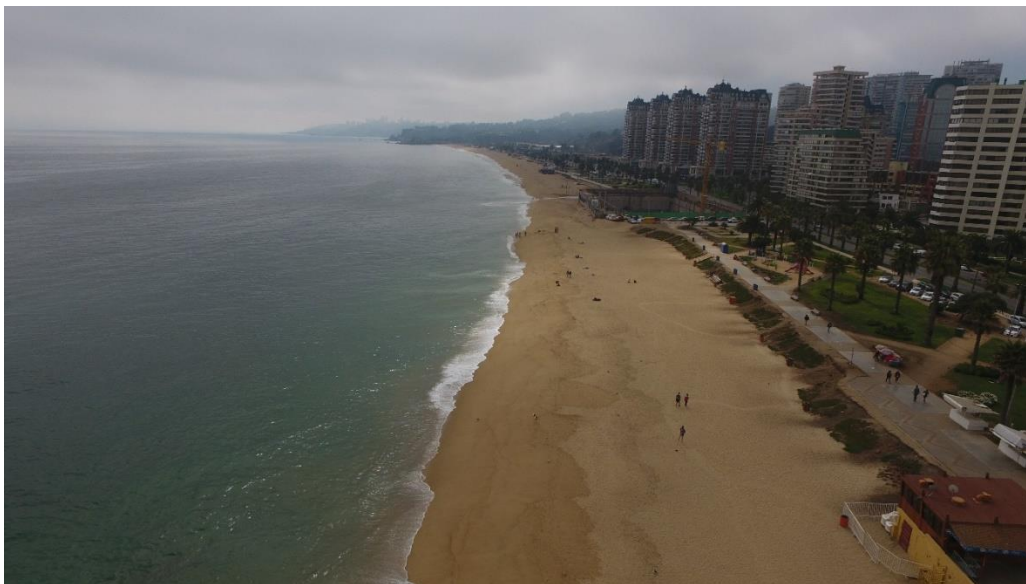
El levantamiento topográfico en un sector de la Playa el Sol fue realizado por la Secretaría de Planificación (SECPLA) de la Municipalidad de Viña del Mar 8 (Figura 5- 2 y Figura 5- 3). Estas mediciones fueron efectuadas antes de las marejadas ocurridas el 8 de agosto de 2015.

Para la obtención de los perfiles transversales se utilizó el software AutoCAD Civil 3D. Este permite seleccionar polilíneas desde una superficie topográfica, para así conseguir la pendiente de estos perfiles transversales. Se seleccionaron 10 polilíneas separadas cada 10 metros, con el objetivo de identificar ciertas diferencias en sus pendientes (Figura 5-3).



*Figura 5- 2: Playa El Sol*

Fuente: Google Earth (2018)



*Figura 5- 3: Perfiles transversales*

Fuente: Elaboración propia con datos de Andaur (2017)

Una vez seleccionados los 10 perfiles transversales del levantamiento topográfico, se compararon sus pendientes y se eliminaron 9 de ellos, esto debido a la mínima variación que existía. Esto permitió utilizar aquella pendiente más característica de la zona y facilitar

el proceso de análisis del perfil de playa. La pendiente de los perfiles transversales es uno de los parámetros iniciales para realizar la simulación en el software Petra.

## 5.2 TRANSFERENCIA AL MODELO PETRA

Para realizar la transferencia al modelo Petra, las mediciones topográficas fueron llevadas al sistema de referencia del nivel de reducción de sondas, para lo que se consideró que la última medición fue del run-up Debido a la escasa información batimétrica del sector, se agregó una línea de tendencia con mayor ajuste al perfil seleccionado, con el fin de obtener las mediciones bajo la superficie de agua.

Petra considera algunos parámetros como la porosidad del lecho marino, la cual se consideró de 0.4[mm], el tamaño de arena Dn50 con un valor de 0,4[mm], la densidad de la arena con un valor de 2650 [kg/m<sup>3</sup>] y la densidad del agua con un valor de 1025[kg/m<sup>3</sup>]

## 5.3 PROPAGACIÓN DE LOS TEMPORALES

La selección de temporales se realizó a partir del daño producido a la infraestructura costera de la ciudad de Viña del Mar (Campos, 2016). Estos temporales con su respectiva fecha, parámetros de oleaje y efectos se describen en la Tabla 5- 1.

*Tabla 5- 1: Temporales que afectaron a Viña del Mar*

Día	Mes	Años	Hs[m]	Tm[s]	Dm[°]	Daños
17	Agosto	2012	4.02	12.1	253	Perdidas en bienes municipales
29	Mayo	2013	3.92	12.2	237	Daños en Av. Perú
8	Agosto	2015	6.36	9.9	340	Diversos daños a infraestructura costera

Fuente: Campos (2016)

El objetivo de la propagación de temporales extremos a 20 metros de profundidad es obtener las condiciones de oleaje en aguas poco profundas para introducirlas como parámetro inicial al software Petra. El modelo que se utilizó para la propagación de oleaje es el software SWAN. Este modelo permite propagar el oleaje espectral desde aguas profundas a aguas con menor profundidad. La batimetría utilizada proviene de las cartas náuticas del Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA).

Los parámetros de resumen en aguas profundas son las salidas del modelo Global Wave Watch III, desde el nodo que muestra la Figura 5- 4.



Figura 5- 4: Ubicación del nodo desde el cual se extrajeron los parámetros de resumen

Fuente: Google Earth (2019)

La Tabla 5- 2 muestra las cartas náuticas del SHOA que proporcionan la información batimétrica de la zona de interés.

Tabla 5- 2: Cartas náuticas

Carta N°	Nombre
4000	Bahía de Coquimbo a Bahía Valparaíso
5000	Bahía Valparaíso a Golfo Arauco
4320	Bahía Quintero a Bahía Valparaíso

Fuente: Elaboración propia

Se generó una malla de cálculo de resolución baja de 200x200[m] definida como malla principal, que considera condiciones de aguas profundas. A partir esta, se generó un primer anidado con una resolución de 100x100[m] y un segundo anidado de 25x25[m]. En la Tabla 5- 3 se presentan las coordenadas en UTM de las mallas batimétricas.

Tabla 5- 3: Mallas de cálculo

Resolución [m]	Límite O [UTM]	Límite S [UTM]	Límite E [UTM]	Límite N [UTM]
200x200	202690	6443500	277490	6414100
100x100	246090	6340300	268690	6357500
25x25	255870	6340950	262470	6346150

Fuente: Elaboración propia

La Figura 5- 5 muestra las distintas mallas batimétricas. La Figura 5- 5 A muestra la malla de mayor resolución, la Figura 5- 5 B muestra la malla de resolución 100x100[m] y Figura 3-4 C la malla de 25x25[m].

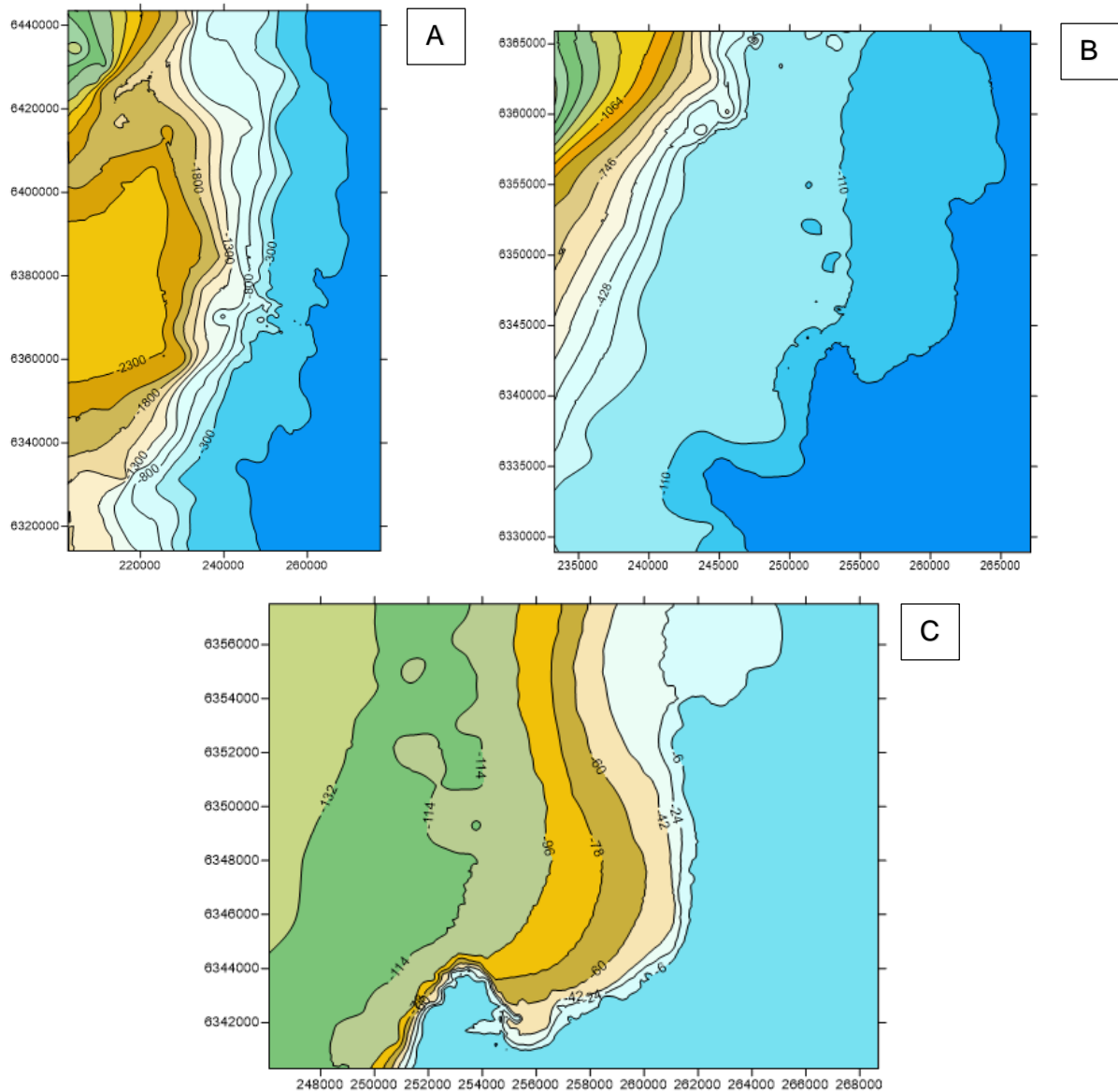


Figura 5- 5: Mallas batimétricas

Fuente: Elaboración propia

Como parámetro inicial del software Petra se debe considerar una duración del temporal. El criterio utilizado para todos los temporales fue de un  $H_{m0}$  mínimo de 3[m], es decir, el inicio y el término del temporal debe tener como mínimo una altura en aguas profundas de 3[m]. En la Tabla 5- 4, Tabla 5- 5 y Tabla 5- 6, se muestran la duración de temporales, la altura en aguas profundas, periodo pico y dirección.

Tabla 5- 4: Temporal del 17/08/2012

Año	Mes	Día	Hora	Hm0 [m]	Tp[s]	Dir [°]
2012	8	15	18	3,07	12,29	W
2012	8	15	21	3,35	12,29	W
2012	8	16	0	3,75	12,29	W
2012	8	16	3	4,07	12,29	W
2012	8	16	6	4,36	13,52	W
2012	8	16	9	4,89	13,52	W
2012	8	16	12	4,8	13,52	W
2012	8	16	15	4,75	14,87	W
2012	8	16	18	4,66	14,87	W
2012	8	16	21	4,51	13,52	WSW
2012	8	17	0	4,11	13,52	WSW
2012	8	17	3	3,83	13,52	WSW
2012	8	17	6	3,54	12,29	WSW
2012	8	17	9	3,23	12,29	WSW
2012	8	17	12	3,01	12,29	WSW

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5- 5: Temporal del 29/05/2013

Año	Mes	Día	Hora	Hm0 [m]	Tp [s]	Dir [°]
2013	5	27	18	3,19	13,52	W
2013	5	27	21	3,46	13,52	W
2013	5	28	0	3,68	14,87	W
2013	5	28	3	3,79	14,87	WSW
2013	5	28	6	3,84	14,87	WSW
2013	5	28	9	3,91	14,87	WSW
2013	5	28	12	3,96	14,87	WSW
2013	5	28	15	4,03	13,52	WSW
2013	5	28	18	4,10	13,52	WSW
2013	5	28	21	4,13	13,52	WSW
2013	5	29	0	4,23	13,52	SW
2013	5	29	3	4,34	13,52	SW
2013	5	29	6	4,40	13,52	SW
2013	5	29	9	4,29	13,52	SW
2013	5	29	12	4,12	13,52	SW
2013	5	29	15	3,84	13,52	SW
2013	5	29	18	3,68	13,52	SW
2013	5	29	21	3,42	12,29	SW
2013	5	30	0	3,16	12,29	SW

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5- 6: Temporal del 08/08/2015

Año	Mes	Día	Hora	Hm0[m]	Tp[s]	Dirección[°]
2015	8	8	3	3,01	16,36	NNW
2015	8	8	6	3,85	8,4	NNW
2015	8	8	9	4,71	9,24	NNW
2015	8	8	12	5,52	10,16	NNW
2015	8	8	15	6,05	11,18	NNW
2015	8	8	18	6,13	11,18	NNW
2015	8	8	21	5,56	11,18	NNW
2015	8	9	0	4,86	11,18	NNW
2015	8	9	3	4,56	13,52	WSW
2015	8	9	6	4,49	13,52	WSW
2015	8	9	9	4,62	13,52	WSW
2015	8	9	12	4,27	12,29	WSW
2015	8	9	15	3,93	12,29	WSW
2015	8	9	18	3,67	12,29	WSW
2015	8	9	21	3,34	12,29	WSW

Fuente: Elaboración propia

Para obtener los datos de aguas someras se consideró un nodo cercano a la zona de estudio. La profundidad del nodo se definió a una profundidad de 20[m].

Otro de los parámetros iniciales del software Petra es el rango de marea o carrera de marea. Los datos se obtuvieron a través de Sea level station monitoring facility (2017) desde la estación Valparaíso\_CL. Para la obtención de estos rangos se consideró la diferencia entre la Pleamar más alta y la Bajamar más baja de la duración del temporal, en la Tabla 5- 7 se presentan los resultados.

Para entender el procedimiento de la evolución costera, se ha preparado una ficha de datos representada en la Tabla 5- 7 para la descripción de los casos analizados. La tabla describe la duración, altura significativa, periodo medio y dirección media, de todas las marejadas analizadas. En total se realizaron 12 casos de modelación morfodinámica a corto plazo en la Playa el Sol, Viña del Mar (Figura 5- 2). 12 de los casos representan el comportamiento de la playa en su estado actual, es decir, sólo con la berma existente. Los otros 6 casos representan el comportamiento de la playa con estructuras rígidas, agregando un muro al término de la berma (Figura 5- 8).

Existen dos tipos de perfiles utilizados para la modelación. El primero representado en la Figura 5- 6, es un perfil transversal que comienza con una berma de aproximadamente 50 metros, seguido del perfil de playa de aproximadamente 35 metros, para terminar con un perfil batimétrico (compuesto solo de arena, en adelante Perfiles AR). El segundo perfil transversal representado en la Figura 5- 7, tiene las mismas medidas que el primero, diferenciándose en su perfil batimétrico, que consta con un tramo de perfil de laja o roca (en adelante Perfiles LA). La Figura 5- 7 muestra una superficie que sobresale del perfil batimétrico denominado "Perfil de laja", este representa una posible zona rígida natural sólida que se encuentra sobre la arena sumergida del perfil batimétrico, de aproximadamente 15 metros de longitud transversal y 6 metros de alto.

Tabla 5- 7 Temporal del 08/08/2015

		Ficha de datos					
		Casos	Marejada	Duración marejada [hrs]	Hs[m], Tm[s], Dm°	Rango de marea[m]	*Sigla del perfil
Perfiles sin intervención humana	1	17-08-2012	36	4,02-12,1-253°	0.88	ARS1	
	2	17-08-2012	36	4,02-12,1-253°	0.88	LAS1	
	3	29-05-2013	48	3,92-12,2-237°	1.12	ARS2	
	4	29-05-2013	48	3,92-12,2-237°	1.12	LAS2	
	5	08-08-2015	42	6,36-9,9-340°	1.04	ARS3	
	6	08-08-2015	42	6,36-9,9-340°	1.04	LAS3	
Perfiles con intervención humana	7	17-08-2012	36	4,02-12,1-253°	0.88	ARS1M	
	8	17-08-2012	36	4,02-12,1-253°	0.88	LAS1M	
	9	29-05-2013	48	3,92-12,2-237°	1.12	ARS2M	
	10	29-05-2013	48	3,92-12,2-237°	1.12	LAS2M	
	11	08-08-2015	42	6,36-9,9-340°	1.04	ARS3M	
	12	08-08-2015	42	6,36-9,9-340°	1.04	LAS3M	

Fuente: Elaboración propia

\*La sigla del perfil se separa en dos grandes partes según su forma; **AR**: Es el perfil de playa sin perfil de laja, **LA**: Es el perfil de playa con perfil de laja. **S1, S2, S3**: Son las distintas marejadas que afectan al perfil. **M**: Son los perfiles con intervención humana (muro al término de la berma). Ejemplo: El perfil **ARS2M** sería un perfil transversal sin perfil de laja, afectado por la marejada del 29/05/2013, con un muro al término de la berma.

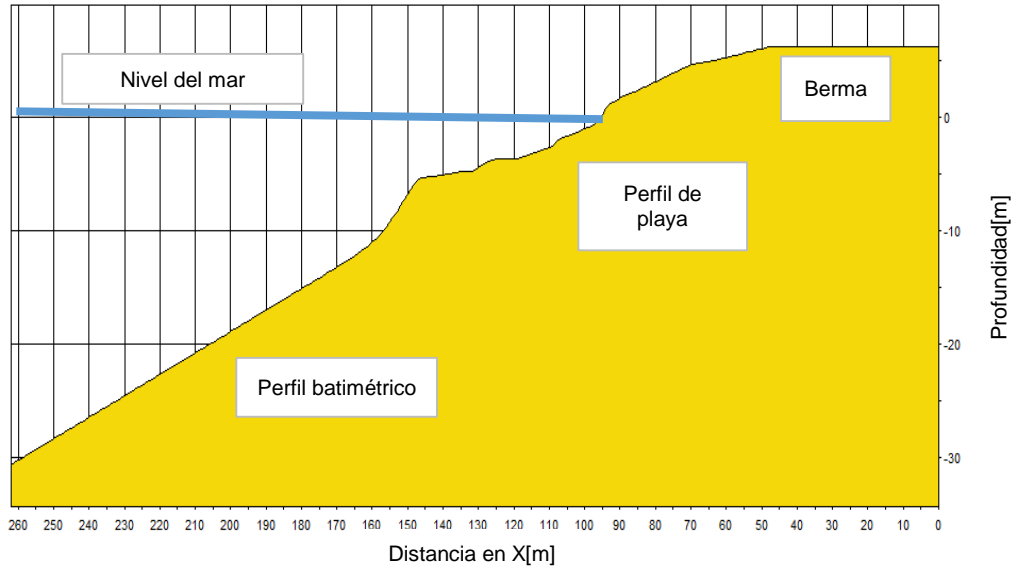


Figura 5- 6: Perfil transversal con berma (AR)

Fuente: Elaboración propia modificado de GIOC (2000)

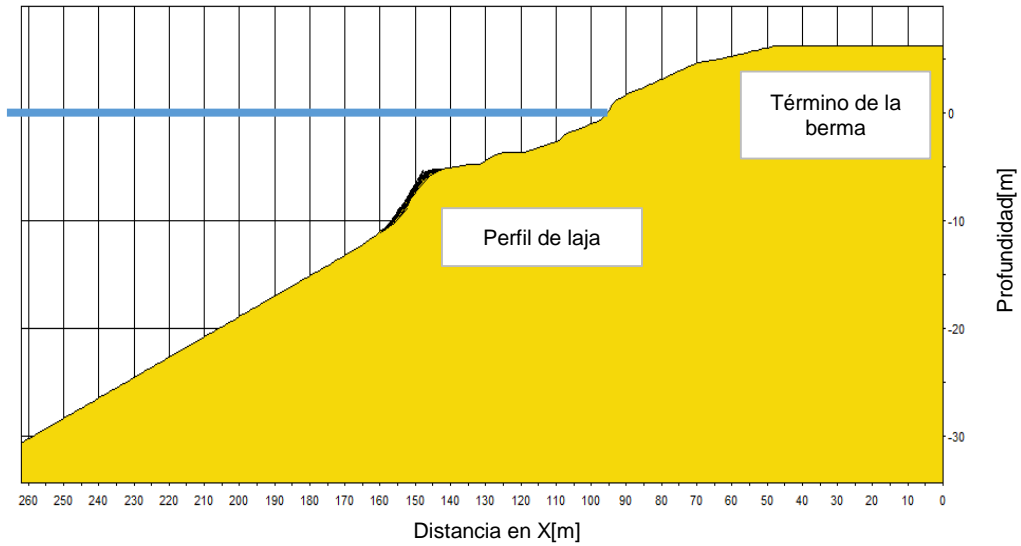
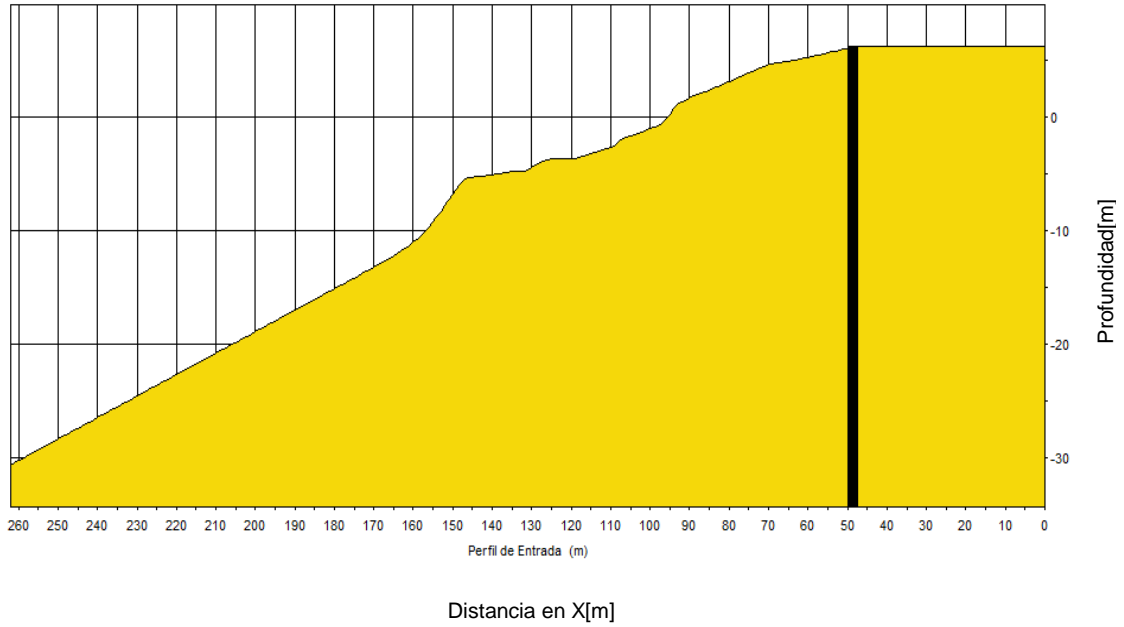


Figura 5- 7: Perfil transversal con berma y laja (LA)

Fuente: Elaboración propia modificado de GIOC (2000)



*Figura 5- 8: Perfil transversal con intervención humana:*

Fuente: Elaboración propia modificado de (GIOC, 2000)

La Figura 5- 8 muestra el perfil transversal con intervención humana, que para efectos del software fue incorporada como una protección de tablestacado.

### 5.3.1 RESULTADOS DE LA PROPAGACIÓN DE LOS TEMPORALES

En la Tabla 5- 8 se muestran los datos de entrada de los perfiles AR, sometidos a las tres marejadas descritas anteriormente. El objetivo de modelar los tres eventos extremos, es diferenciar la magnitud de cada una de las marejadas e identificar cuál es la evolución del perfil en cuanto a la erosión y retroceso de la línea de costa. Se realizó la misma modelación para los perfiles con intervención humana (en adelante ARM).

*Tabla 5- 8 Tabla de modelación, perfiles AR*

Marejada	Rango de marea[m]	Sigla
17-08-2012	0.88	ARS1
29-05-2013	1.12	ARS2
08-08-2015	1.04	ARS3

Fuente: Elaboración propia

Se realizaron los 12 casos para evaluar la sensibilidad del perfil transversal y se obtuvieron para todos los casos la erosión y el retroceso de la línea de costa. Algunos de los resultados se mencionan a continuación:

- Luego de las marejadas los perfiles ARM tienden a tener una menor erosión en su perfil transversal en comparación con los perfiles AR. Es decir, en el corto plazo un muro tipo tablestaca actúa como una protección, evitando un porcentaje de erosión en la berma.
- La marejada del 08-08-2015 causó un mayor cambio en el perfil transversal en comparación con las otras.
- La socavación máxima con el muro tablestaca es de 6[m] aproximadamente.

La Figura 5- 9 muestra la diferencia entre el perfil inicial y el perfil luego de la marejada del 08-08-2015.

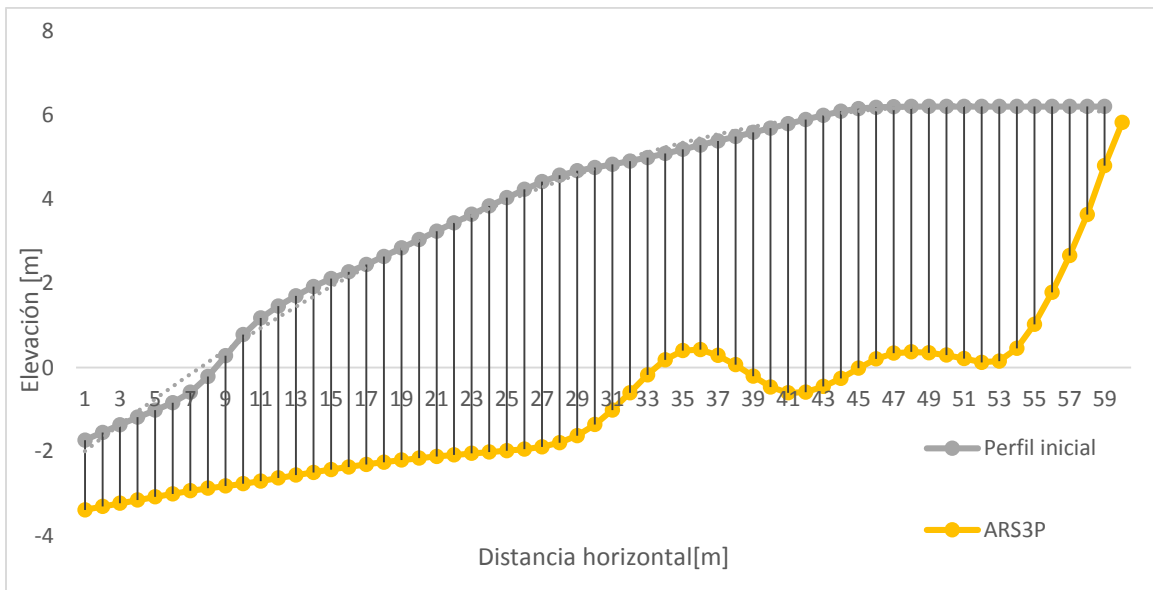


Figura 5- 9: Perfil inicial vs Perfil ARS3

Fuente: Elaboración propia

El gráfico anterior muestra la gran pérdida de material en el perfil de playa, siendo esta una de las consecuencias de la marejada. Se puede observar valores máximos de erosión vertical de aproximadamente 6 metros. Es importante señalar que el material no se pierde, si no que se transporta a la zona sumergida del perfil, sin embargo, si los eventos extremos de marejadas son más frecuentes e intensos, la recuperación del perfil en equilibrio demorará más, lo que provocará en consecuencia la disminución del área de playa.

La Figura 5- 10 muestra la diferencia entre el perfil inicial y el perfil con intervención humana luego de la marejada del 08-08-2015.

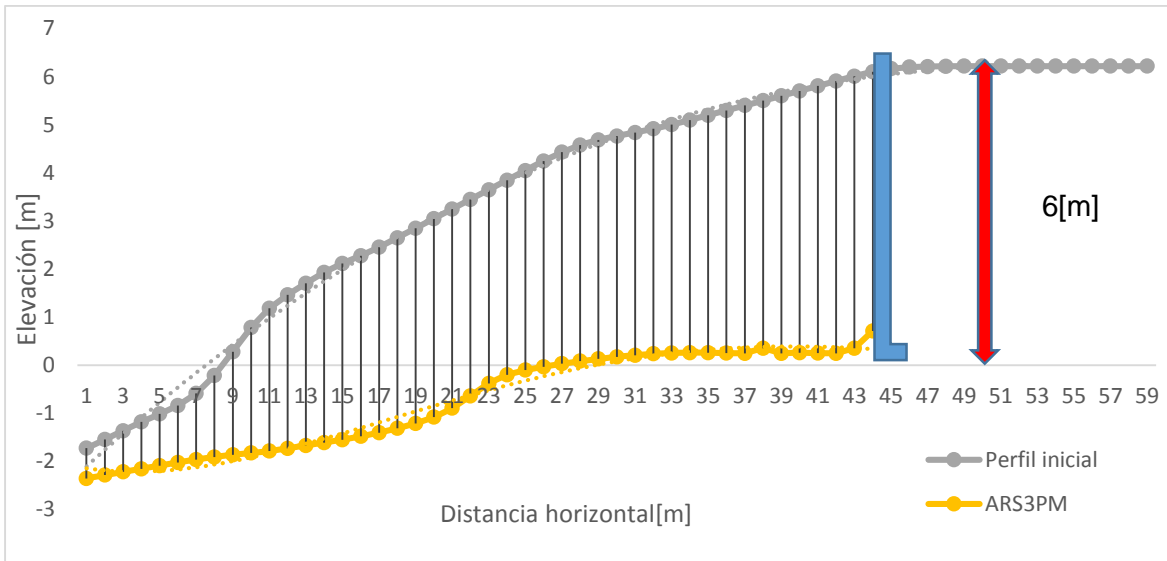


Figura 5- 10: Perfil inicial vs Perfil ARS3M

Fuente: Elaboración propia

En el gráfico anterior se puede observar la erosión del perfil inicial producida por la marejada del 08-08-2015. La tablestaca instalada actúa como una barrera que impide el proceso erosivo del perfil en el corto plazo, sin embargo, el muro no considera elementos disipativos, por lo que promueve la socavación, que pone en riesgo la estabilidad de la estructura. Un muro tipo tablestaca es una posible solución rígida que previene cierta parte de la erosión, pero está lejos de ser una solución para evitarla. En base a lo anterior y para una posible solución, se debe considerar elementos disipativos instalados en el talud.

Los siguientes gráficos muestran el retroceso de la línea de costa a medida que la marejada avanza en el tiempo. El retroceso de la línea de costa de la Figura 5- 12 es menor en comparación con el gráfico de la Figura 5- 11, es decir, el muro disminuye el retroceso de la línea de costa, alcanzando valores cercanos a los 20 metros. Sin embargo, hay que tener en cuenta que estos resultados muestran los cambios en el corto plazo sin considerar la tendencia evolutiva del tramo de costa, es decir, el balance total de los sedimentos.

Retroceso horizontal de la línea de costa

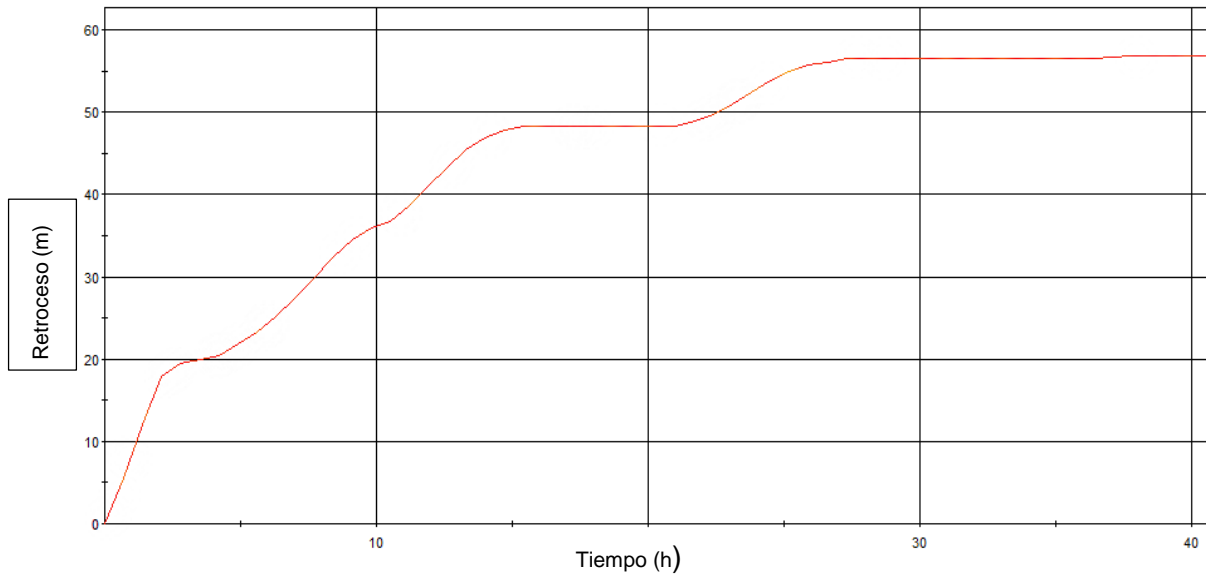


Figura 5- 11: Retroceso de la línea de costa, Perfil AR

Fuente: Elaboración propia

Retroceso horizontal de la línea de costa

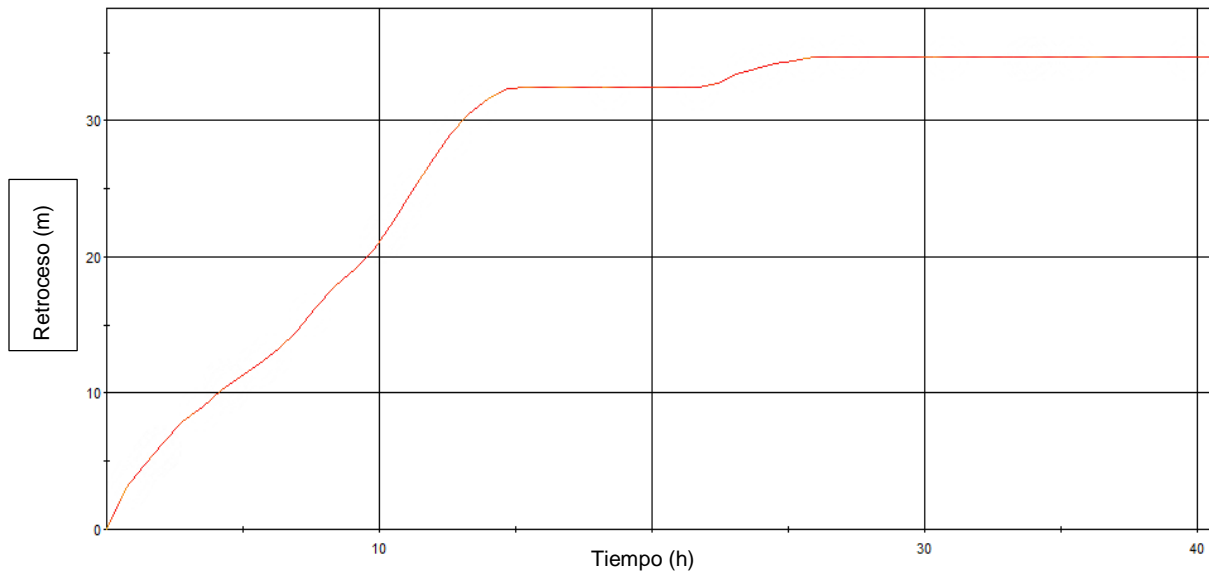


Figura 5- 12: Retroceso de la línea de costa, Perfil ARM

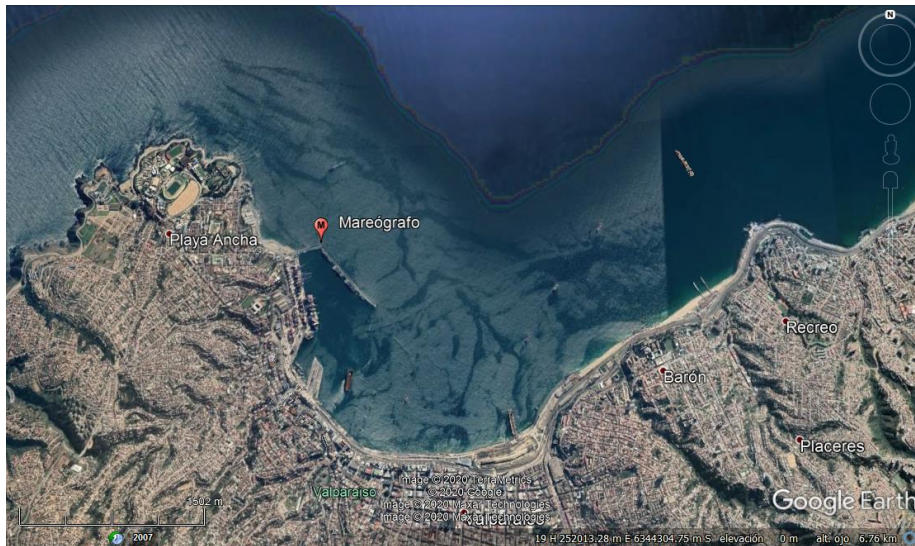
Fuente: Elaboración propia

En base a los resultados anteriores, se propone diseñar una escollera en talud con elementos disipativos, cuyo objetivo es evitar la socavación producto de los temporales y dar protección al Parque San Martín

## **6 CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO**

### **6.1 ANÁLISIS ARMÓNICO**

Para el estudio del nivel del mar se consideró un análisis armónico de la marea, con el objetivo de obtener el plano al cual están referidas las profundidades de una localidad (nivel de reducción de sondas). Se realizó el análisis de dos meses del año 2017 con registros obtenidos desde Sea level station monitoring facility (2017) a través de un mareógrafo ubicado en Valparaíso, como muestra la Figura 6- 1. Para la selección de los meses se consideraron los registros más limpios con mínimas pérdidas de datos.



*Figura 6- 1: Estación de medición SHOA*

Fuente: Google Earth (2007)

Para realizar el análisis armónico se utilizó la herramienta T\_Tide a través del software Matlab. Con este análisis se obtiene la descomposición de la variación del nivel del mar en la componente astronómica y meteorológica. Para la obtención de resultados se consideraron cinco constituyentes (Tabla 6- 1) más representativas (con mayor amplitud respecto a los resultados entregados).

Tabla 6- 1: Constituyentes Armónicas

Característica	Constituyentes Armónicas
Semidiurna	Principal Lunar (M2)
	Principal Solas (S2)
	Lunisolar (K2)
Diurna	Lunar Elíptica (N2)
	Principal Lunar (O1)

Fuente: Elaboración propia

Se realizó el estudio de dos meses del año 2017 para evaluar si existen grandes diferencias entre ambos resultados. A continuación, se presentan los resultados del análisis armónico, En el estudio también se consideró un análisis de marea meteorológica debido a los efectos del clima, que corresponde a la diferencia entre las mediciones realizadas por el mareógrafo y el análisis armónico.

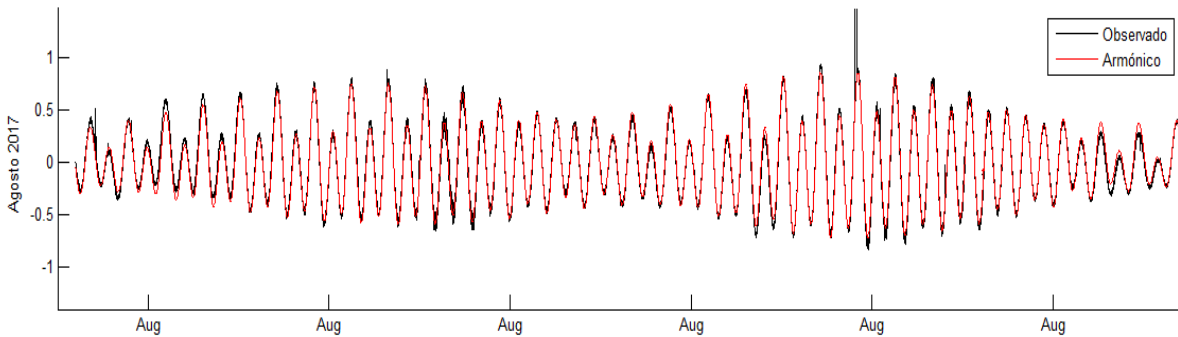


Figura 6- 2: Análisis armónico de Viña del Mar mes de agosto

Fuente: Elaboración propia con datos de Sea level station monitoring facility (2017)

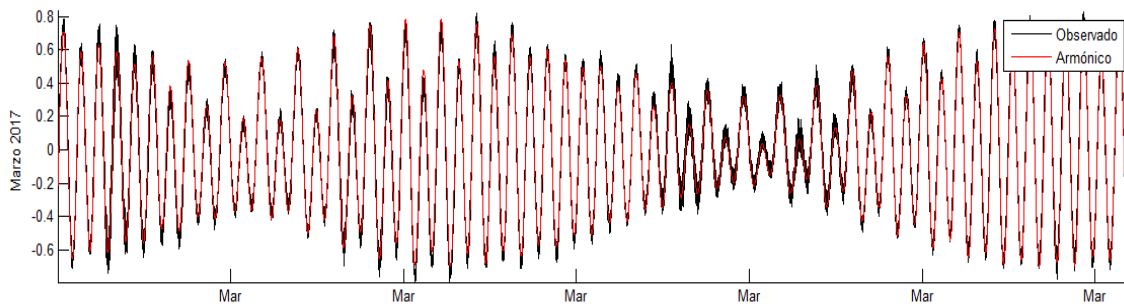


Figura 6- 3: Análisis armónico de Viña del Mar mes de marzo

Fuente: Elaboración propia con datos de Sea level station monitoring facility (2017)

Los gráficos anteriores muestran la data del mareógrafo (color negro) para los meses de agosto y marzo del año 2017. El color rojo representa el análisis armónico de la marea con todas las constituyentes armónicas asociadas. Los gráficos no presentan grandes anomalías que escapen de los rangos.

Residuo de marea armónica de Viña del Mar

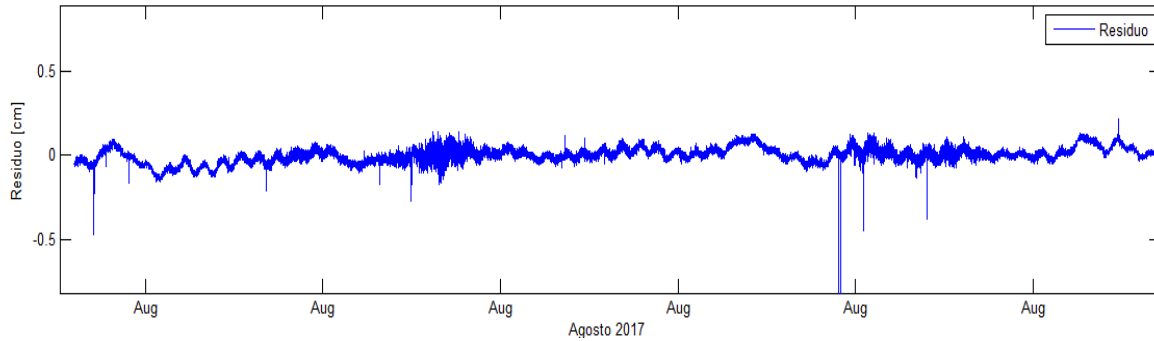


Figura 6- 4: Marea meteorológica de Viña del Mar mes de agosto

Fuente: Elaboración propia con datos de Sea level station monitoring facility (2017)

Residuo de marea armónica de Viña del Mar

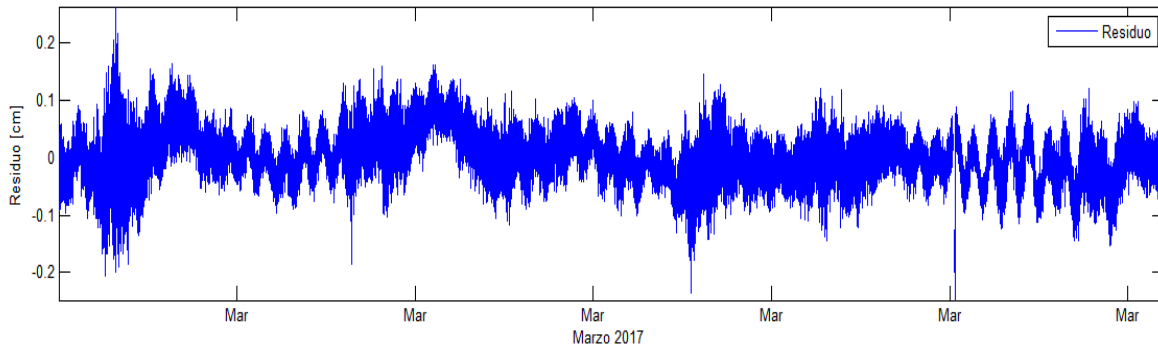


Figura 6- 5: Marea meteorológica de Viña del Mar mes de marzo

Fuente: Elaboración propia con datos de Sea level station monitoring facility (2017)

Los gráficos anteriores representan los efectos meteorológicos obtenidos a partir del registro. Si bien es cierto, hay algunos registros que se escapan de los rangos graficados, estos podrían ser debido a alguna mantención del dispositivo, pero no existen grandes efectos meteorológicos en el registro analizado.

La Tabla 6- 2 muestra las cinco constituyentes armónicas para los meses de marzo y agosto del 2017. El nivel de reducción de sondas es obtenido sumando las constituyentes.

Tabla 6- 2: Constituyentes armónicas

		Constituyentes Armónicas	
Agosto 2017	M2	0,427	
	S2	0,1586	
	K1	0,1573	
	O1	0,1004	
	N2	0,0847	
	NRS	0,928	
Marzo 2017	M2	0,4358	
	S2	0,1849	
	K1	0,1101	
	O1	0,1018	
	N2	0,0902	
	NRS	0,9228	

Fuente: Elaboración propia con datos de Sea level station monitoring facility (2017)

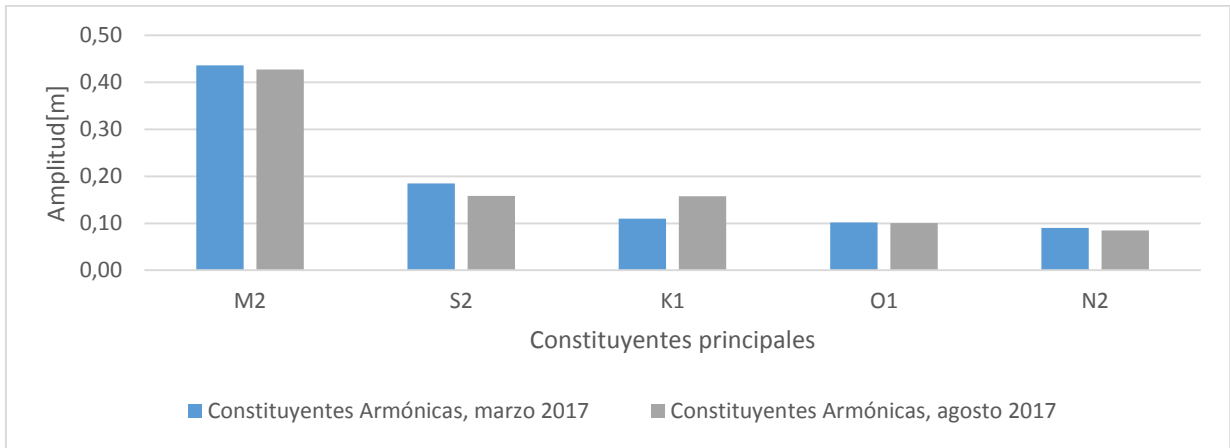


Figura 6- 6: Constituyentes Armónicas

Fuente: Elaboración propia con datos de Sea level station monitoring facility (2017)

Como se puede observar en la Tabla 6- 2 y en la Figura 6- 6, al comparar ambos resultados se puede concluir que la diferencia que existe es mínima, cercana a los 0.005[m] en el nivel de reducción de sondas. Sin embargo, para efectos de diseño, debe tenerse en cuenta la marea meteorológica de la localidad, ya que puede ocasionar que el nivel del mar se aparte notoriamente de los niveles previstos.

## 6.2 ANÁLISIS NO ARMÓNICO

Otro de los estudios realizados es el análisis no armónico de la marea. Su objetivo es obtener niveles de diseño para una posible obra de protección al Parque San Martín.

Para este análisis se consideró el mes mayo del año 2017. Al igual que el análisis armónico los registros se obtuvieron desde (Sea level station monitoring facility, 2017) a través de un mareógrafo ubicado en el puerto de Valparaíso. A continuación, se presentan los planos de marea para la estación ubicada en Valparaíso.

Tabla 6- 3: Planos de marea estación Valparaíso

Planos de marea	NRS[m]
Nivel medio de la marea	0,97
Promedio pleamares	1,37
Promedio pleamares más altas	1,51
Promedio bajamares	0,64
Promedio bajamares más bajas	0,60

Fuente: Elaboración propia con datos de Sea level station monitoring facility (2017)

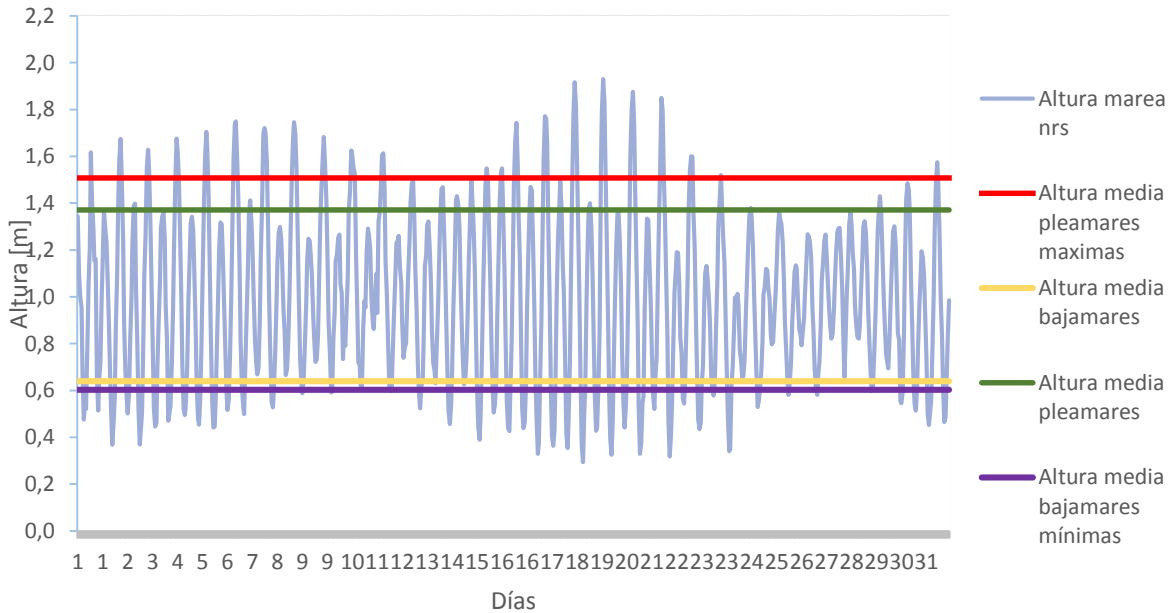


Figura 6- 7: Planos de marea

Fuente: Elaboración propia con datos de Sea level station monitoring facility (2017)

### 6.3 MAREA METEOROLÓGICA

Se realizó un análisis extremo de la marea meteorológica con el objetivo de determinar su comportamiento. Para determinar el mejor ajuste probabilístico consideraron las funciones Gumbel y Weibull, siendo Weibull la más acertada con un 0,9392 de correlación, para la selección de valores de marea meteorológica se estableció un valor sobre el umbral y se

consideró como mínimo una diferencia de 48 horas de ocurrencia, esto con la finalidad de que no se seleccione un valor de marea meteorológica de la misma tormenta.

A continuación, se presenta los 21 datos extremos seleccionados ordenados en forma descendente.

Tabla 6- 4: Valores extremos de marea meteorológica

Año	Mes	Día	Hora	MM[m]
2016	7	13	17:00	0,74
2009	2	11	6:00	0,72
2009	6	15	2:00	0,69
2015	9	17	2:00	0,64
2010	2	27	11:00	0,62
2011	3	12	13:00	0,53
2010	8	9	10:00	0,53
2008	6	16	14:00	0,45
2008	12	13	3:00	0,45
2011	6	18	13:00	0,44
2011	7	14	19:00	0,41
2008	12	17	6:00	0,41
2012	5	27	6:00	0,40
2016	7	13	20:00	0,37
2008	6	18	15:00	0,37
2008	12	11	2:00	0,37
2011	5	28	15:00	0,37
2012	8	1	14:00	0,36
2013	3	31	1:00	0,36
2011	7	10	22:00	0,35
2011	4	8	19:00	0,34

Fuente: Elaboración propia con datos de Sea level station monitoring facility (2017)

La distribución de probabilidades Weibull arrojó un valor de correlación de  $R^2 = 0,9392$  como se presenta en la Figura 6- 8.

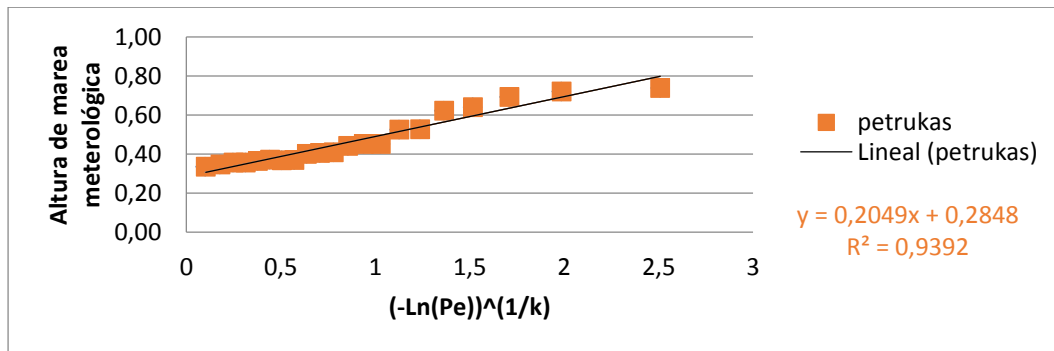


Figura 6- 8: Distribución de probabilidad

Fuente: Elaboración propia

Desde el análisis probabilístico se puede pronosticar las alturas de marea meteorológica con periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50, 70 y 100 años como muestra la Tabla 6- 5.

Tabla 6- 5: Periodos de retorno

Tr	MM[m] Weibull	MM[m] max	MM[m] min
2	0,538	0,617	0,458
5	0,652	0,768	0,535
10	0,729	0,872	0,585
20	0,801	0,970	0,632
50	0,891	1,092	0,689
70	0,922	1,135	0,709
100	0,955	1,180	0,730

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 6- 5 presenta los valores de marea meteorológica con sus límites máximos y límites mínimos para todos los periodos de retorno anteriormente mencionados. El límite superior tiene un 95% de probabilidad de que no sea superada en el futuro. La Figura 6- 9 muestra las bandas de confianza del análisis probabilístico Weibull.

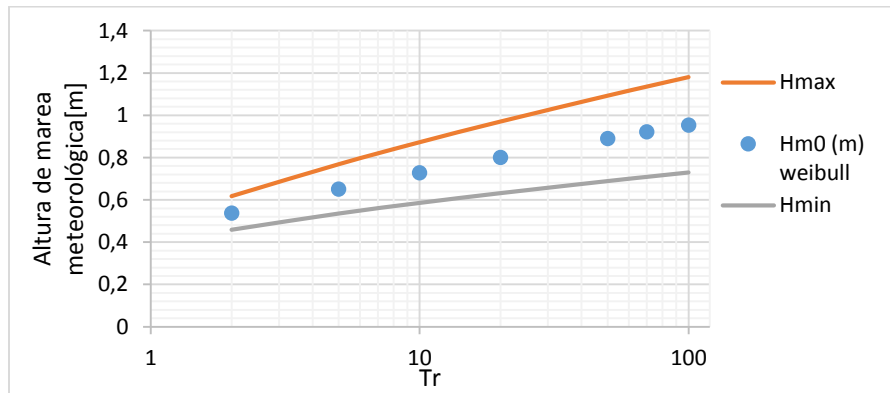


Figura 6- 9: Bandas de confianza

Fuente: Elaboración propia con datos de Sea level station monitoring facility (2017)

## 6.4 ESTUDIO DE OLEAJE

Para el estudio de oleaje se utilizó la base de datos de aguas profundas con mediciones cada 3 horas y parámetros de resumen de (Hs, Tp, Dir p) entre los años 1980 y 2015 obtenida desde “Un Atlas de oleaje para Chile” (Beyá J., 2016). En la Figura 5- 4 del capítulo 5.3 se puede encontrar la ubicación de la estación de medición.

La zona de interés se encuentra expuesta geográficamente al oleaje dominante proveniente desde el 4to cuadrante, sin embargo, está protegida del oleaje reinante que viene desde el 3er cuadrante ( $180^\circ$  a  $270^\circ$ ) llegando debilitado por la difracción que se produce en Punta de Ángeles (Figura 6- 10). Para el estudio de oleaje se consideró un análisis a medio plazo (estudio de clima operacional) y un análisis a largo plazo (estudio de clima extremo), para ambos cuadrantes.



Figura 6- 10: Zona de interés

Fuente: Google Earth (2018)

#### 6.4.1 CLIMA DE OLEAJE MEDIO EN AGUAS PROFUNDAS

El objetivo de realizar un análisis operacional de oleaje en aguas profundas, es identificar las alturas, periodos y direcciones más frecuentes, a su vez permite conocer de qué direcciones y periodos son las mayores alturas. Con lo anterior se obtiene una información preliminar del clima de oleaje que sirve para complementar los estudios posteriores.

Se construyeron tablas de incidencia para ambos cuadrantes de altura significativa v/s dirección, altura significativa v/s periodo peak, y dirección v/s periodo peak.

A continuación, se presentan algunas conclusiones del 3er cuadrante basadas en las tablas de incidencias ubicadas en el Anexo:

- El 78% de los periodos están entre los 11[s] y 15[s].
- Las direcciones más frecuentes están entre los  $210^\circ$  y los  $259^\circ$
- El 94% de las alturas significativas están entre 1 [m] y 3.5[m].
- Las mayores alturas significativas de olas se presentan en las direcciones  $200^\circ$  a  $260^\circ$ .
- Las mayores alturas significativas se asocian a los periodos entre los 11[s] a 17[s].

A continuación, se presentan algunas conclusiones del 4to cuadrante basadas en las tablas de incidencias ubicadas en el Anexo:

- El 75% de los periodos se encuentra entre los 7[s] y 15[s].
- Más del 81% del oleaje en aguas profundas proviene del rango de direcciones entre 270° a 310°.
- El 76% de las alturas significativas están entre 1[m] y 3[m].
- Las mayores alturas significativas se presentan en las direcciones 310° a 370°.
- Las mayores alturas significativas se asocian a los periodos entre los 9[s] a 13[s].

#### 6.4.2 CLIMA DE OLEAJE EXTREMO EN AGUAS PROFUNDAS

Para el análisis de clima extremo se consideró el método POT (Peak Over Treshold). Para la selección de valores de altura se estableció un valor sobre el umbral y se consideró como mínimo una diferencia de 48 horas de ocurrencia; esto con la finalidad de que no se seleccione un valor de altura significativa de la misma tormenta. Se realizó un ajuste probabilístico de los valores extremos escogidos en aguas profundas, mediante diferentes distribuciones de probabilidad (Weibull, Gumbel, Log Normal) con el objetivo de obtener la mejor correlación ( $R^2$ ) para el comportamiento estadístico de los valores extremos.

Los resultados corresponden a estimaciones de los valores de altura significativas extremas para cada uno de los periodos de retorno 2, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 y 100 años, considerando bandas de confianza de 95% de confiabilidad, con el objetivo de disminuir la incertidumbre en la valoración de altura de ola de diseño.

##### 6.4.2.1 RESULTADOS CLIMA EXTREMO 3ER CUADRANTE

Para la selección de los valores de altura del 3er cuadrante se estableció un umbral mínimo de 5.1[m]. La Tabla 6- 6 muestra la clasificación de 21 mediciones de altura en aguas profundas que superan dicho valor.

Tabla 6- 6: Alturas de oleaje máximas 3er cuadrante

N°	Año	Mes	Día	Hora	Hm0 [m]	Tp[s]	Dp[°]
1	1988	8	13	9	6,5	14,9	262,5
2	1984	7	4	12	6,4	10,2	247,5
3	1987	7	24	15	6,3	13,5	247,5
4	2013	7	3	12	6,1	18,0	232,5
5	1997	6	21	18	5,9	16,4	232,5
6	2005	8	16	12	5,7	13,5	262,5
7	2003	10	31	6	5,7	10,2	217,5
8	2010	8	18	9	5,7	16,4	247,5
9	1987	7	26	0	5,4	14,9	247,5
10	2013	7	3	15	5,4	18,0	247,5
11	1994	6	18	0	5,4	18,0	232,5
12	1985	5	25	15	5,4	16,4	232,5
13	1981	8	2	21	5,3	16,4	232,5
14	1992	8	22	12	5,3	16,4	232,5
15	2010	6	14	21	5,3	14,9	232,5
16	2014	7	2	12	5,3	18,0	232,5
17	2010	8	18	15	5,2	16,4	247,5
18	2011	6	18	15	5,2	16,4	247,5
19	2014	7	2	6	5,2	18,0	232,5
20	1987	7	26	3	5,1	14,9	247,5
21	2006	6	8	0	5,1	13,5	262,5

Fuente: Elaboración propia con datos de Beyá J. (2016)

Para la serie de alturas seleccionadas la distribución de probabilidades que se ajusta de mejor manera es Weibull con una correlación de 0,956 como muestra la Figura 6- 11.

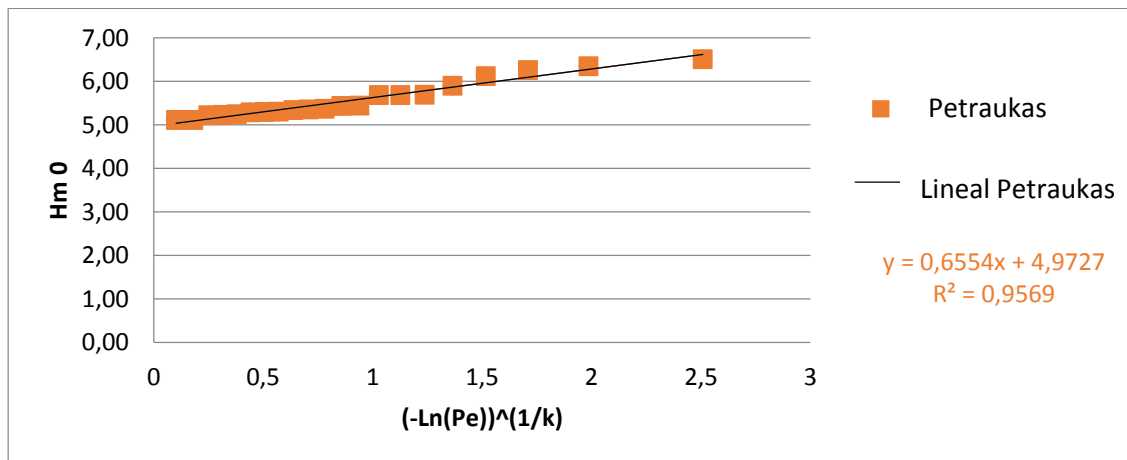


Figura 6- 11: Distribución probabilística Weibull

Fuente: Elaboración propia con datos de Beyá J (2016)

Desde el análisis probabilístico se puede pronosticar las alturas de ola en aguas profundas con periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 y 100 años como muestra la Tabla 6- 7.

Las bandas de confianza superior e inferior para todos datos seleccionados se calcularon a través de los coeficientes empíricos de desviación estándar para la altura significativa extrema de Goda (1988).

Tabla 6- 7: Periodos de retorno 3er cuadrante

3er cuadrante				
Tr	Hm0[m] Weibull	Hmax[m]	Hmin[m]	
2	5,2	5,5	4,8	
5	5,7	5,9	5,5	
10	6,0	6,3	5,7	
20	6,2	6,7	5,8	
30	6,4	6,9	5,8	
40	6,5	7,0	5,9	
50	6,5	7,2	5,9	
60	6,6	7,3	5,9	
70	6,6	7,3	5,9	
80	6,7	7,4	6,0	
90	6,7	7,5	6,0	
100	6,8	7,5	6,0	

Fuente: Elaboración propia con datos de Beyá J (2016)

La Tabla 6- 7 presenta los valores de altura significativa con sus límites superiores e inferiores para todos los periodos de retorno anteriormente mencionados. El límite superior tiene un 95% de probabilidad de que no sea superada en el futuro. La Figura 6- 12 ilustra la curva de ajuste y las bandas de confianza del análisis probabilístico Weibull.

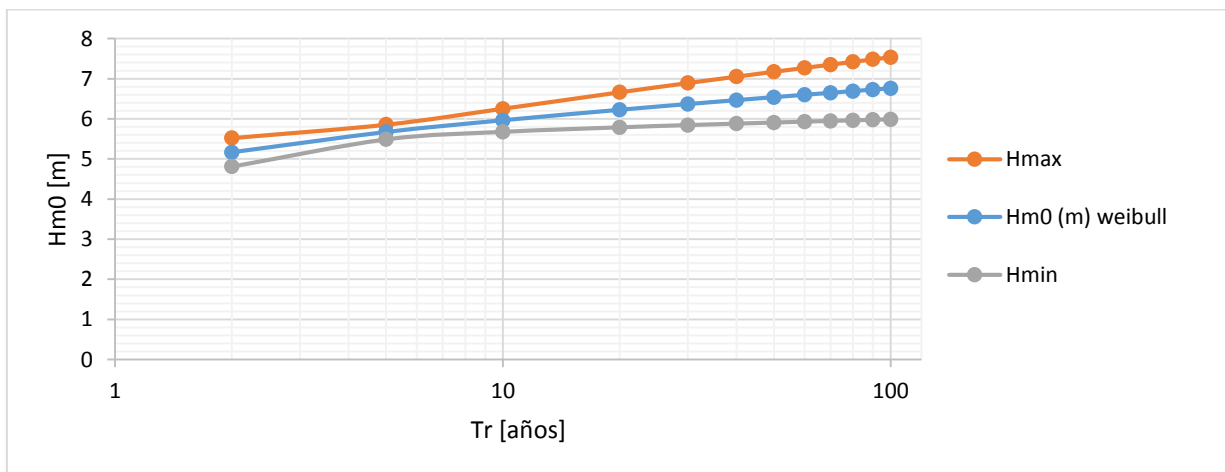


Figura 6- 12 Bandas de confianza Weibull 3er cuadrante

Fuente: Elaboración propia con datos de Beyá J (2016)

6.4.2.2 RESULTADOS CLIMA EXTREMO 4TO CUADRANTE

Para la selección de los valores de altura del 4to cuadrante se estableció un umbral mínimo de 4.2[m]. La Tabla 6- 8 muestra la clasificación de 21 mediciones de altura en aguas profundas que superan dicho valor.

Tabla 6- 8: Alturas de oleaje máximas 4to cuadrante

N°	Año	Mes	Día	Hora	Hm0[m]	Tp[s]	Dp[°]
1	1987	7	24	3	6,4	10,2	337,5
2	2015	8	8	18	6,1	11,2	337,5
3	1987	7	11	18	5,1	10,2	337,5
4	2012	5	27	3	5,0	11,2	277,5
5	1987	7	11	15	5,0	10,2	337,5
6	2005	5	3	18	4,8	9,2	337,5
7	2012	5	27	0	4,8	11,2	322,5
8	1989	7	26	6	4,8	9,2	322,5
9	1997	9	7	0	4,7	13,5	277,5
10	1982	8	12	15	4,7	9,2	322,5
11	1998	6	5	9	4,7	9,2	322,5
12	2006	6	7	15	4,6	11,2	277,5
13	1982	7	16	12	4,6	12,3	277,5
14	1997	6	11	9	4,5	9,2	337,5
15	1988	7	28	18	4,5	11,2	277,5
16	1992	6	5	18	4,4	9,2	307,5
17	2010	7	6	15	4,3	10,2	292,5
18	1980	4	26	18	4,2	8,4	322,5
19	2006	6	7	12	4,2	11,2	277,5
20	1996	6	12	6	4,2	11,2	292,5
21	1987	7	11	9	4,2	9,2	337,5

Fuente: Elaboración propia con datos de Beyá J (2016)

Para la serie de alturas seleccionadas la distribución de probabilidades que se ajusta de mejor manera es Weibull con una correlación de 0,933 como muestra la Figura 6- 11.

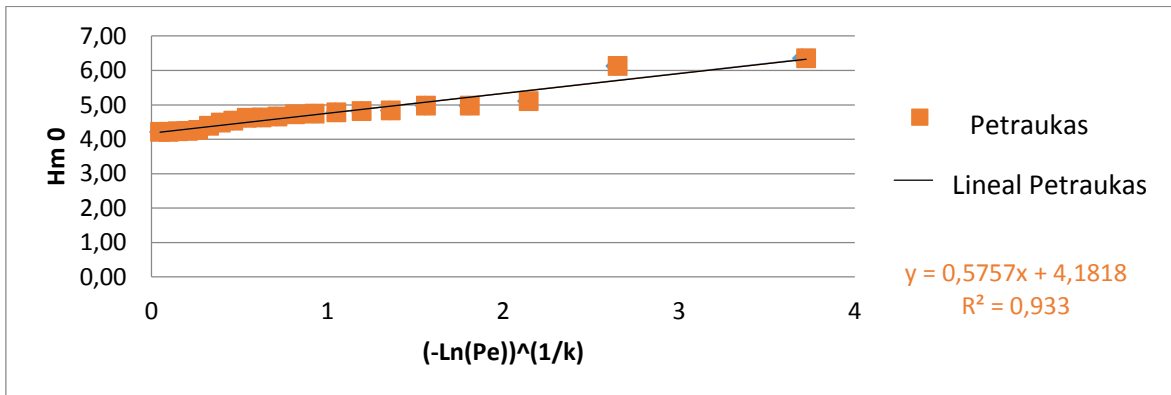


Figura 6- 11: Distribución probabilística Weibull

Fuente: Fuente: Elaboración propia con datos de Beyá J (2016)

Desde el análisis probabilístico se puede pronosticar las alturas de olas en aguas profundas con periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 y 100 años como muestra la Tabla 6- 9.

Tabla 6- 9: Periodos de retorno 4to cuadrante

Tr	Hm0 [m] Weibull	Hmax[m]	Hmin[m]
2	4,29	4,55	4,03
5	4,81	5,15	4,48
10	5,21	5,76	4,66
20	5,61	6,40	4,82
30	5,85	6,78	4,91
40	6,01	7,05	4,98
50	6,14	7,26	5,02
60	6,24	7,43	5,06
70	6,33	7,57	5,09
80	6,41	7,70	5,12
90	6,48	7,81	5,15
100	6,54	7,91	5,17

Fuente: Elaboración propia con datos de Beyá J (2016)

La Tabla 6- 9 presenta los valores de altura de ola con sus límites máximos y límites mínimos para todos los periodos de retorno anteriormente mencionados. El límite superior tiene un 95% de probabilidad de que no sea superada en el futuro. La Figura 6- 14 ilustra la curva de ajuste y las bandas de confianza del análisis probabilístico Weibull.

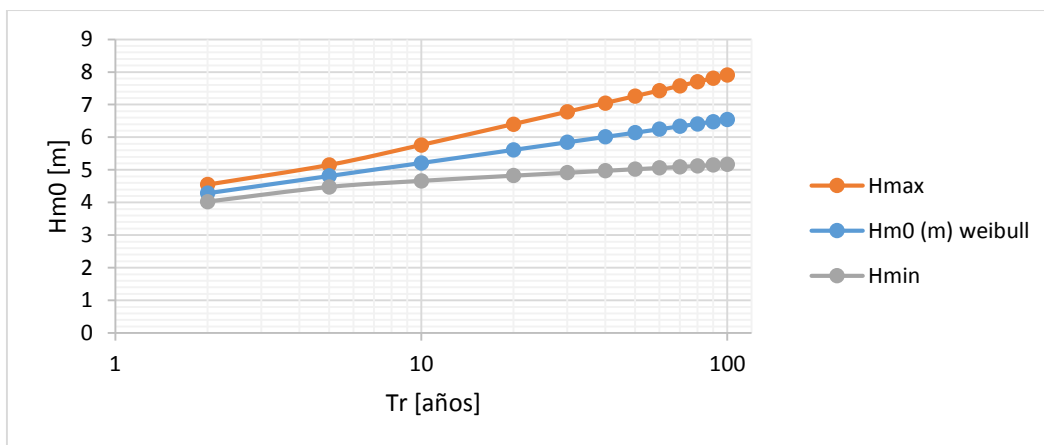


Figura 6- 14: Bandas de confianza Gumbel 4to cuadrante

Fuente: Elaboración propia con datos de (Beyá J., 2016)

## 6.5 VIDA ÚTIL, RIESGO Y PERIODO DE RETORNO

### 6.5.1 VIDA ÚTIL

La vida útil corresponde al tiempo en que se espera que la obra se mantenga operativa. El cálculo de esta variable se realizó a través de las recomendaciones de la Dirección General de Puertos y Costas (1990), donde se establece que la vida útil mínima depende del tipo de obra a proyectar y de los niveles de seguridad requeridos. Los valores estimados se visualizan en la Tabla 6- 10.

Tabla 6- 10: Criterios de diseño, vida útil

TIPO DE OBRA	NIVEL DE SEGURIDAD		
	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
Infraestructura de carácter general	25	50	100
Infraestructura de carácter industrial	15	25	50

Fuente: Dirección General de Puertos y Costas (1990)

Para el caso en estudio el proyecto corresponde a una obra de carácter general, la cual no está ligada a una explotación industrial. Por ello se considera un nivel 1 y 2 de seguridad con un bajo/medio riesgo de pérdidas humanas, que va asociado a una vida útil mínima de 20 y 50 años.

### 6.5.2 RIESGO

La definición de riesgo según la (Dirección General de Puertos y Costas, 1990) está en función del tipo de daño estructural admisible, las repercusiones económicas y de la posibilidad de pérdidas humanas como se puede apreciar en la Tabla 6- 11.

Tabla 6- 11 Criterios de diseño, riesgo

RIESGOS DE INICIACIÓN DE AVERÍAS		Reducida	Esperable
		BAJA	0,5
Repercusión económica en caso de inutilización de la obra	MEDIA	0,3	0,2
	ALTA	0,25	0,15
RIESGOS DE DESTRUCCIÓN TOTAL		Reducida	Esperable
		BAJA	0,2
Repercusión económica en caso de inutilización de la obra	MEDIA	0,15	0,10
	ALTA	0,10	0,05

Fuente: Dirección General de Puertos y Costas (1990)

Para el caso de una escollera ubicada en el Parque San Martín se consideró un nivel reducido. Las repercusiones económicas son de un nivel medio, ya que, la inversión sería medianamente alta, por otro lado, no afecta ningún medio de producción, lo que no produciría grandes repercusiones económicas. Además la posibilidad de pérdidas humanas es reducida, el coeficiente de riesgo sería 0.3 para una vida útil de 20 años y un coeficiente de 0,4 para una vida útil de 50 años.

### 6.5.3 PERIODO DE RETORNO

Utilizando las mismas recomendaciones en los dos puntos anteriores (vida útil y el riesgo), el periodo de retorno se define como:

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{T_r}\right)^{L_f} \approx 1 - e^{-\left(\frac{L_f}{T_r}\right)}$$

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

Dónde:

$T_r$  : Periodo de retorno.

$L_f$  : Vida útil.

$R$  : Riesgo.

Por lo tanto:

Con una vida útil de 20 años y un riesgo admisible de 0,30, el periodo de retorno que se obtiene es de 36,6 años. De modo conservador, se recomienda usar un periodo de retorno de 40 años para la altura de ola de diseño.

Con una vida útil de 50 años y un riesgo admisible de 0,40, el periodo de retorno que se obtiene es de 97,8 años. Se recomienda usar un periodo de retorno de 100 años para la altura de ola de diseño.

## 6.6 TRANSFERENCIA DE OLEAJE

Se realizó una transferencia de oleaje desde aguas profundas a aguas someras para el 3er y 4to cuadrante. El objetivo de esta transferencia espectral es obtener una altura de ola para un diseño de defensa costera. La transferencia se efectuó a través del modelo numérico SWAN, mediante la utilización de espectros tipo JONSWAP.

Para la transferencia de oleaje se utilizaron las mismas las cartas náuticas, mallas de cálculo y mallas batimétricas del capítulo 5.3

Se definieron tres nodos cercanos a la zona de estudio (Figura 6- 15) con el objetivo de obtener información espectral ( $H_{mo}$ ,  $T_p$ ,  $Dir_p$ ). Los nodos 1 y 2 se encuentran en el veril de los 30 metros. El nodo 3 está ubicado cerca de la zona de interés con la finalidad de obtener información valiosa para diseño de obras de protección. La Tabla 6- 12 muestra las coordenadas en UTM de los nodos.

Tabla 6- 12: Coordenadas nodos

Coordenadas UTM		
Nodo	Norte	Este
1	6344676	258308
2	6346634.75	260030.85
3	6344719.05	261299.43

Fuente: Elaboración propia



Figura 6-15: Ubicación de Nodos

Fuente: Google Earth (2018)

Para la transferencia de oleaje de ambos cuadrantes, se utilizaron alturas de ola asociadas a los periodos de retorno de 40 y 100 años. Mediante las tablas de incidencia del capítulo 6.4 se establecieron los periodos y direcciones asociadas a los resultados de las alturas de oleaje de cada periodo de retorno.

A continuación, se presentan los casos utilizados para la transferencia de oleaje en el 3er y 4to cuadrante.

Tabla 6- 13 Casos propagados del 3er cuadrante

3er cuadrante					
Vida útil 20 años			Vida útil 50 años		
Hmo [m]	Tp [s]	Dir	Hmo [m]	Tp [s]	Dir
7,3	15	SSW	7,5	18	W
		SW			SW
		WSW			WSW
	17	SSW		20	W
SW		SW			
		WSW			WSW

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6- 14: Casos propagados del 4to cuadrante

4to cuadrante					
Vida útil 20 años			Vida útil 50 años		
Hmo [m]	Tp [s]	Dir	Hmo [m]	Tp [s]	Dir
7,4	9	NNW	7,9	13	NNW
		NW			NW
		WNW			WNW
	11	NNW		15	NNW
NW		NW			
		WNW			WNW

Fuente: Elaboración propia

### 6.6.1 TRANSFERENCIA DE OLAJE 3ER CUADRANTE

En la transferencia de oleaje espectral del 3er cuadrante se realizaron 12 propagaciones con el software SWAN. La Tabla 6- 15 muestra los resultados de las propagaciones de oleaje para todos los nodos con un periodo de retorno de 40 años.

Tabla 6- 15: Transferencia de oleaje para el 3er cuadrante (Tr:40 años)

Datos de aguas profundas			Propagación SWAN			
Hs [m]	Tp [s]	Dir [°]	Nodos	Hs [m]	Tp [s]	Dir [°]
7.3	15	SSW	1	0.238	15.05	257.87
			2	0.27	15.05	276.65
			Sitio de interés	0.31	15.05	340
		SW	1	0.95	15.05	320.23
			2	0.90	15.05	326.43
			Sitio de interés	1.04	15.05	340.47
		WSW	1	2.12	15.05	359.3
			2	2.20	15.05	343.22
			Sitio de interés	2.64	15.05	340.13
7.3	17	SSW	1	0.32	18.19	359.25
			2	0.37	18.19	339.74
			Sitio de interés	0.39	18.19	339.74
		SW	1	1.04	18.19	359.27
			2	1.21	18.19	340.54
			Sitio de interés	1.12	16.55	339.72
		WSW	1	2.47	16.55	357.78
			2	2.84	16.56	342.52
			Sitio de interés	3.05	16.55	339.40

Fuente: Elaboración propia

En las Figuras 6- 16, 6- 17, 6- 18, se presentan los resultados de la propagación de oleaje para un periodo de retorno de 40 años desde aguas profundas para todas las mallas de cálculo con  $H_{m0} = 7,3$  [m],  $T_p = 17$ [s],  $Dir = WSW$ .

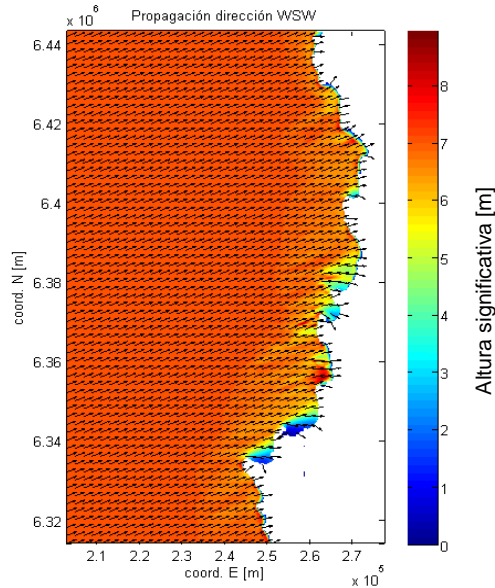


Figura 6- 16: Transferencia de oleaje WSW malla 200x200

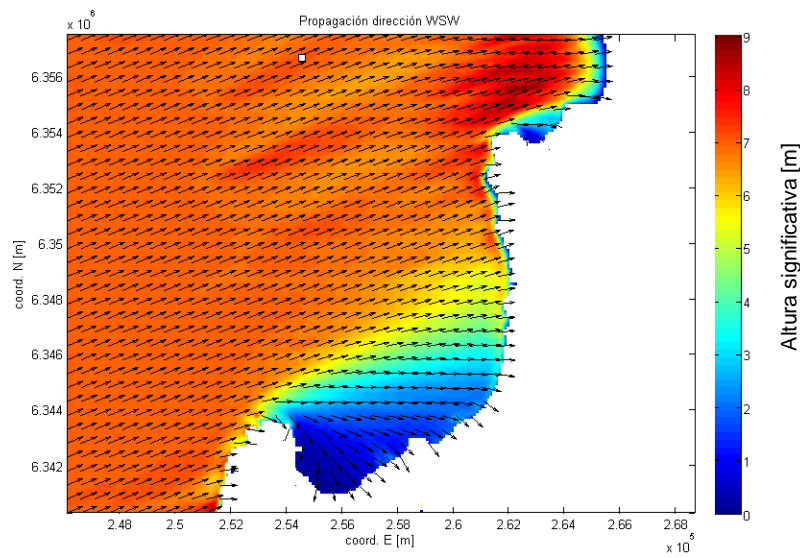


Figura 6- 17: Transferencia de oleaje WSW, malla 100x100

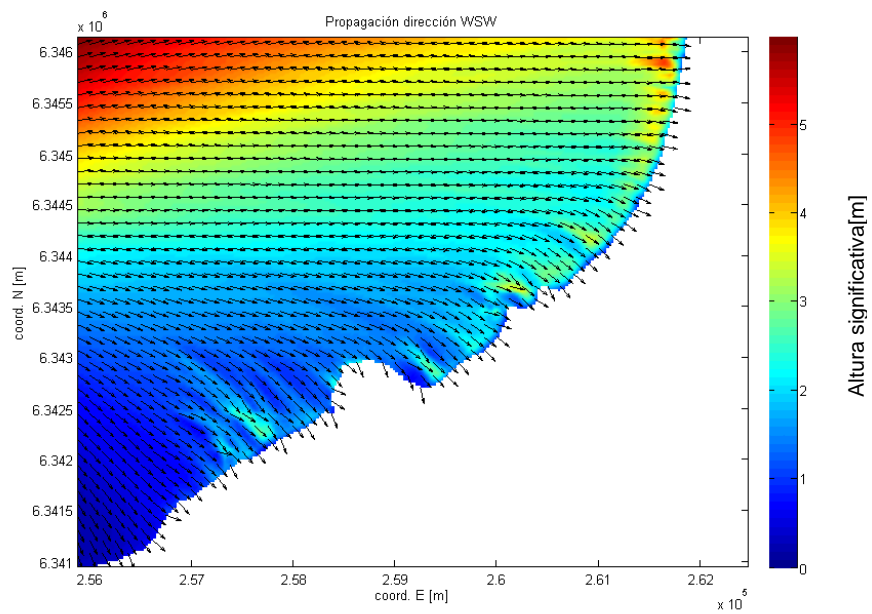


Figura 6- 18 Transferencia de oleaje WSW, malla 25x25

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 6- 6 muestra los resultados de las propagaciones de oleaje para todos los nodos con un periodo de retorno de 100 años.

Tabla 6- 6: Transferencia de oleaje para el 3er cuadrante (Tr: 100 años)

Datos de aguas profundas			Propagación SWAN			
Hs [m]	Tp [s]	Dir [°]	Nodos	Hs [m]	Tp [s]	Dir [°]
7.5	19	W	1	5.38	18.19	353.19
			2	5.02	18.19	350.34
			Sitio de interés	4.81	18.19	338.03
		WSW	1	2.40	18.19	356.86
			2	2.92	18.19	359.33
			Sitio de interés	2.85	20.00	339.05
		SW	1	1.21	20.00	358.23
			2	1.31	20.00	326.43
			Sitio de interés	1.17	20.00	339.39
7.5	21	W	1	4.16	20.00	350.29
			2	4.46	20.00	353.16
			Sitio de interés	4.29	20.00	337.95
		SW	1	0.95	20.00	358.00
			2	1.12	20.00	360.45
			Sitio de interés	0.98	20.00	339.35
		WSW	1	1.99	20.00	356.77
			2	2.42	20.00	340.22
			Sitio de interés	2.39	20.00	339.00

Fuente: Elaboración propia

En las Figuras 6- 19, 6- 20, 6- 21 , se presentan los resultados de la propagación de oleaje para un periodo de retorno de 100 años desde aguas profundas para todas las mallas de cálculo con  $H_{mo} = 7,5[m]$ ,  $T_p = 19[s]$ ,  $Dir = W$ .

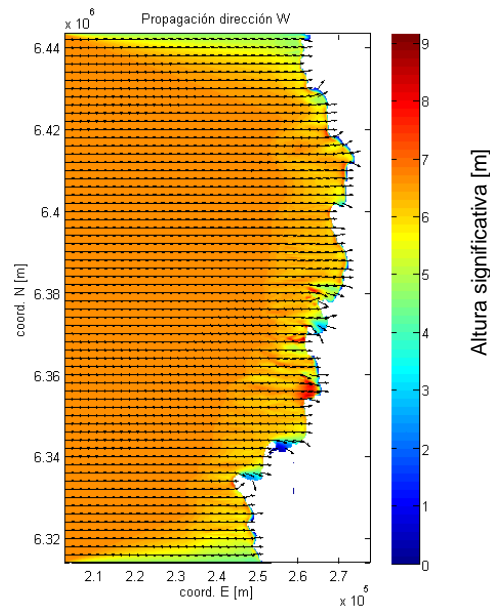


Figura 6- 19 Transferencia de oleaje W, malla 200x200

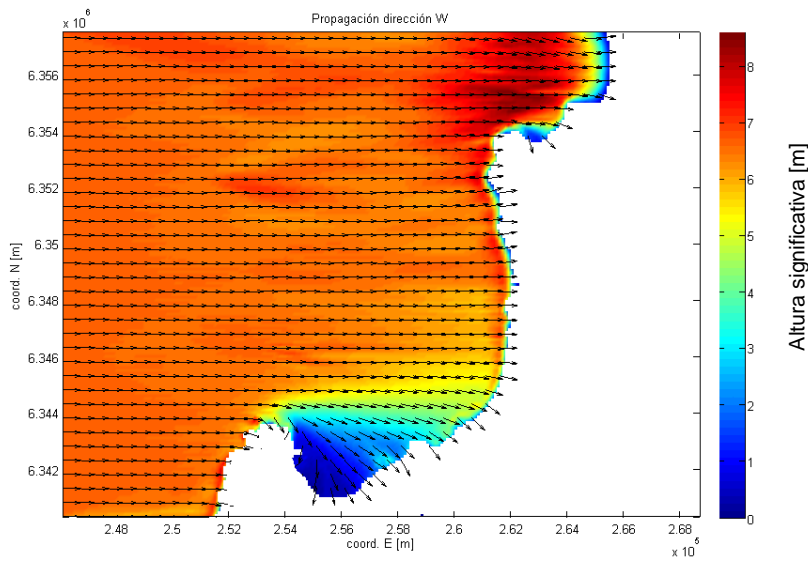


Figura 6- 20: Transferencia de oleaje W, malla 100x100

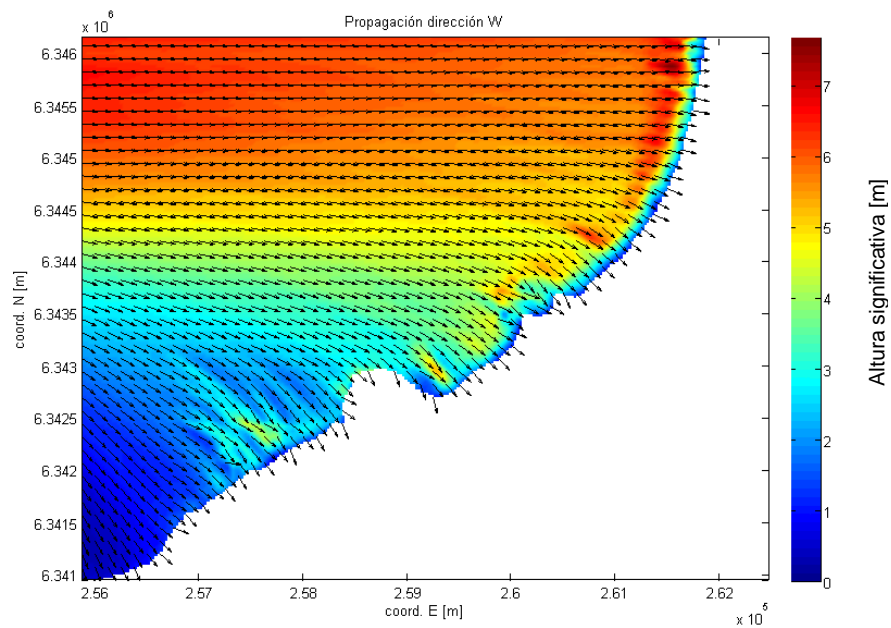


Figura 6- 21: Transferencia de oleaje dirección W, malla 25x25

Fuente: Elaboración propia

### 6.6.2 TRANSFERENCIA DE OLAJE 4TO CUADRANTE

En la transferencia de oleaje espectral del 4to cuadrante se realizaron 12 propagaciones desde el software SWAN. La Tabla 6- 17 muestra los resultados de las propagaciones de oleaje para todos los nodos con un periodo de retorno de 40 años.

Tabla 6- 17: Transferencia de oleaje para el 4to cuadrante (Tr: 40 años)

Datos de aguas profundas			Propagación SWAN			
Hs [m]	Tp [s]	Dir [°]	Nodos	Hs [m]	Tp [s]	Dir [°]
7.43	9	NNW	1	7.19	8.53	293.58
			2	6.96	8.53	294.50
			Sitio de interés	4.00	9.37	315.04
		NW	1	7.01	8.53	316.98
			2	6.95	8.53	318.75
			Sitio de interés	4.20	9.37	327.55
		WNW	1	7.37	9.37	337.37
			2	7.36	9.37	337.49
			Sitio de interés	4.31	9.37	335.36
7.43	11	NNW	1	6.78	11.33	295.18
			2	6.39	11.33	296.89
			Sitio de interés	4.22	11.33	319.17
		NW	1	6.74	11.33	318.17
			2	6.62	11.33	320.59
			Sitio de interés	4.49	11.33	328.82
		WNW	1	7.19	11.33	337.20
			2	7.16	11.33	337.50
			Sitio de interés	4.66	11.33	334.75

Fuente: Elaboración propia

En las Figuras 6- 22, 6- 23, 6- 24 se presentan los resultados de la propagación de oleaje para un periodo de retorno de 100 años desde aguas profundas para todas las mallas de cálculo con  $H_{mo} = 7,43[m]$ ,  $T_p = 11[s]$ ,  $Dir = WNW$ .

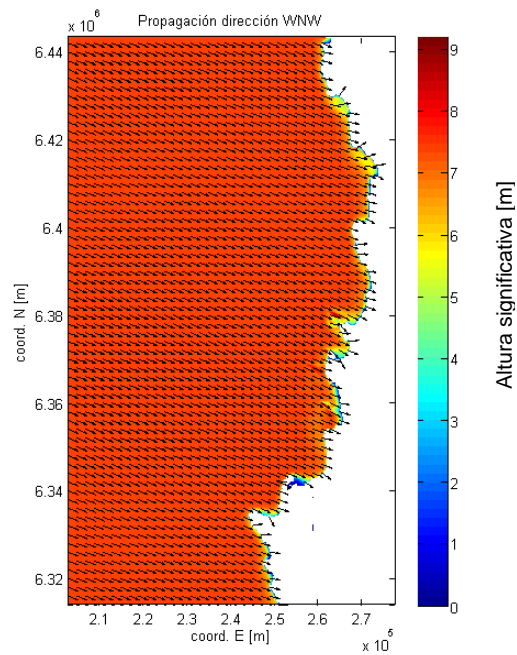


Figura 6- 22: Transferencia de oleaje WNW, malla 200x200

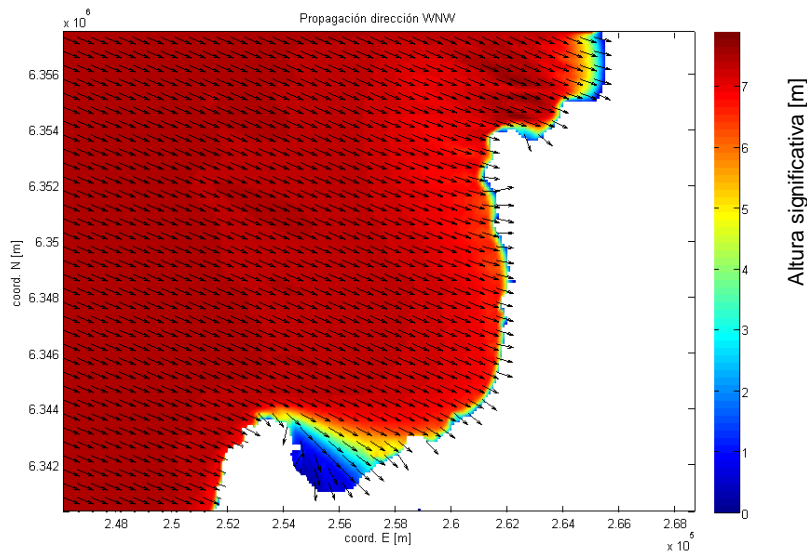


Figura 6- 23: Transferencia de oleaje WNW, malla 100x100

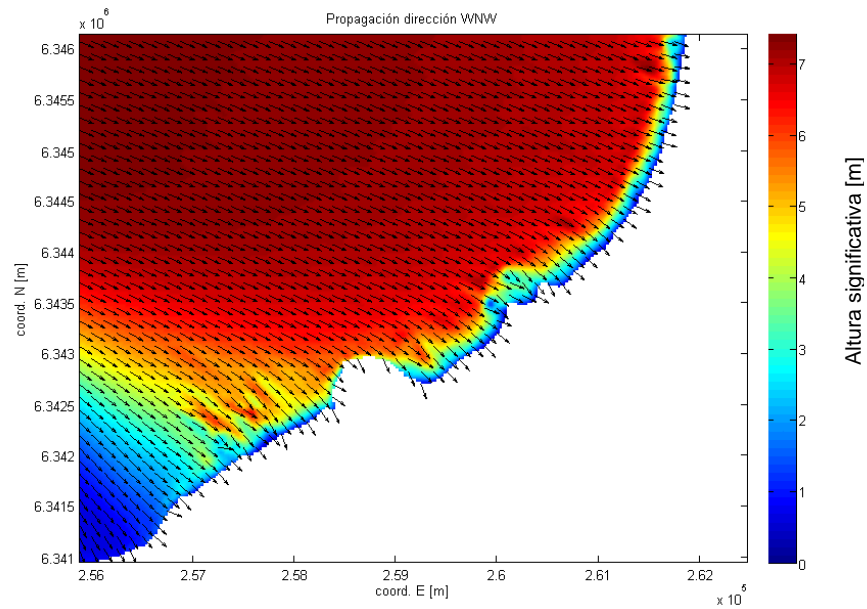


Figura 6- 24: Transferencia de oleaje dirección WNW, malla 25x25

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 6- 7 muestra los resultados de las propagaciones de oleaje para todos los nodos con un periodo de retorno de 100 años.

Tabla 6- 7: Transferencia de oleaje para el 4to cuadrante ( $T_r$ : 100 años)

Datos de aguas profundas			Propagación SWAN			
Hs [m]	Tp [s]	Dir [°]	Nodos	Hs [m]	Tp [s]	Dir [°]
7.9	13	NNW	1	6.74	12.45	297.36
			2	6.25	12.45	299.91
			Sitio de interés	4.57	12.45	322.22
		NW	1	6.86	12.45	319.52
			2	6.70	12.45	322.57
			Sitio de interés	4.84	12.45	329.71
		WNW	1	7.41	12.45	336.99
			2	7.38	12.45	337.56
			Sitio de interés	5.07	12.45	334.50
7.9	15	NNW	1	6.38	15.05	299.64
			2	5.91	15.05	302.96
			Sitio de interés	4.83	15.05	324.05
		NW	1	6.61	15.05	320.74
			2	6.43	15.05	324.24
			Sitio de interés	5.10	15.05	330.29
		WNW	1	7.17	15.05	337.66
			2	7.17	15.05	336.84
			Sitio de interés	5.33	15.05	334.28

Fuente: Elaboración propia

En las Figuras 6- 25, 6- 26, 6- 27, se presentan los resultados de la propagación de oleaje para un periodo de retorno de 100 años desde aguas profundas para todas las mallas de cálculo con  $H_{mo} = 7,9[m]$ ,  $T_p = 15[s]$ ,  $Dir = WNW$ .

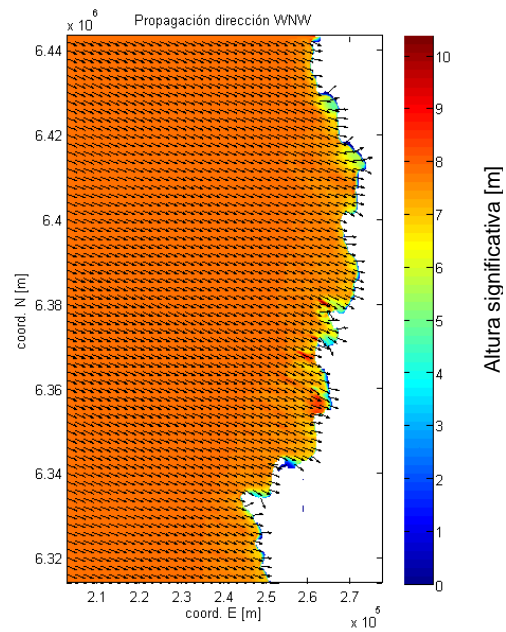


Figura 6- 25: Transferencia de oleaje WNW, malla 200x200

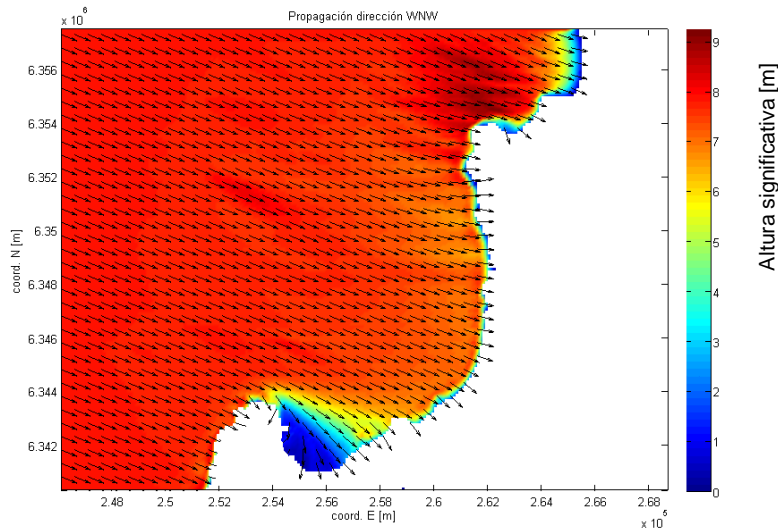


Figura 6- 26: Transferencia de oleaje WNW, malla 100x100

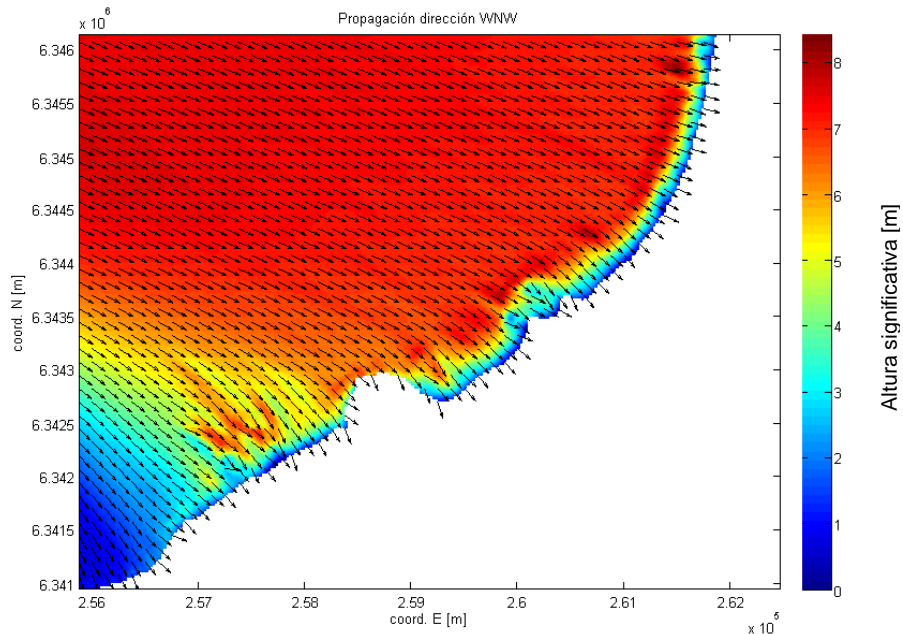


Figura 6- 27: Transferencia de oleaje dirección WNW, malla 25x25

Fuente: Elaboración propia

## **7 NIVELES DE DISEÑO**

### **7.1 SETUP DEL OLAJE**

La metodología utilizada para la obtención la elevación del nivel del mar producto de oleaje (wave setup) es la propuesta por Goda Y (2000). La Figura 7- 1 muestra la relación entre la altura de la ola en aguas profundas y la pendiente de fondo marino.

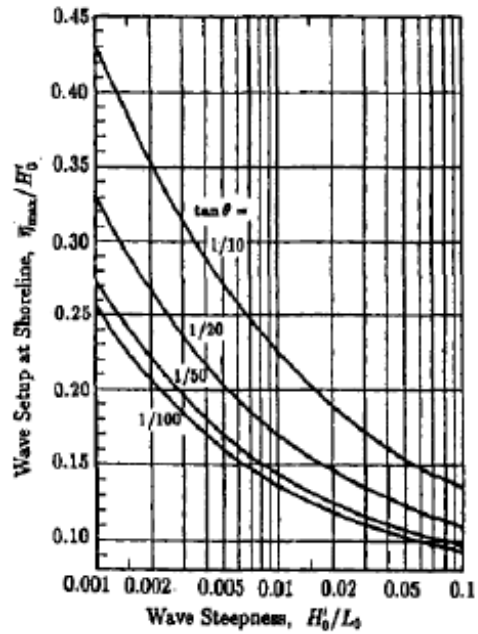


Figura 7- 1: Wave setup

Fuente: Goda (1985)

Para obtener el cálculo del wave setup, se consideró la mayor altura de ola entre ambos cuadrantes con su respectivo periodo peak. La Tabla 7- 1 muestra los parámetros utilizados para la obtención del setup del oleaje.

Tabla 7- 1: Estimación wave setup

$H'_o$	7.41[m]
$T_p$	12.45[s]
$L_o$	242[m]
$H'_o/L_o$	0.030
$N_{max}/H'_o$	0.12
$N_{max}$	0.88 [m]

Fuente: Elaboración propia

De los cálculos anteriores se obtiene una sobreelevación del nivel del mar de aproximadamente 0.88[m].

## 7.2 ALTURA DE DISEÑO AL PIE DE LA ESTRUCTURA

Se obtuvieron los resultados desde un nodo de aguas profundas a aguas intermedias (con sus respectivos parámetros de resumen). Posteriormente, se utilizaron las formulaciones de (Goda, 1985), donde se considera la interacción de oleaje-estructura entregando alturas de olas con efectos de shoaling y refracción. Esta altura es fundamental para el diseño de la obra.

La Figura 7- 2 la determinación para obtener el coeficiente de shoaling.

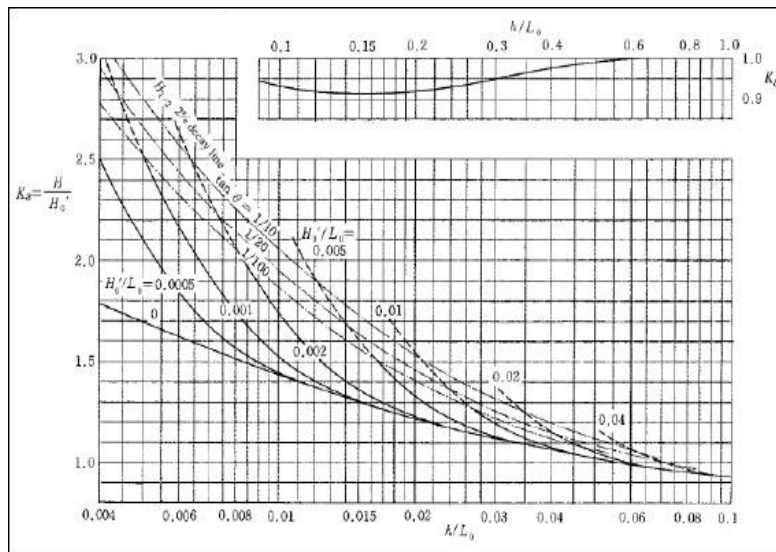


Figura 7- 2: Determinación del coeficiente de shoaling

Fuente: Goda (1985)

## 7.3 NIVELES DE DISEÑO PARA LA ESCOLLERA

De los estudios descritos anteriormente se puede concluir que el nivel del mar sufre continuas oscilaciones debido a los diferentes forzamientos atmosféricos, marinos, tectónicos y planetarios (Valenti, 2013). Es importante señalar que el movimiento tectónico cercano a las costas o el deslizamiento del fondo marino puede desencadenar tsunamis, caracterizados por su gran longitud de onda y su recorrido en largas distancias. Las oscilaciones más relevantes son el oleaje, la marea meteorológica y la marea astronómica. Por lo tanto, se puede definir el nivel de mar total como la suma sobre el nivel medio del mar de las sobreelevaciones causadas por la acción de oleaje, las mareas meteorológica y astronómica. Cada una de dichas contribuciones al nivel de mar tiene su escala temporal.

Una primera aproximación al nivel de diseño se puede lograr mediante la siguiente expresión (Beyá & Winckler, 2012).

$$C = + Z_{MA} + Z_{MMP} + W_{setup} + Z_{MM}$$

Donde:

$C$  : Nivel de diseño.

$Z_{MA}$  : Marea astronómica.

$Z_{MMP}$  : Marea meteorológica por variación de la presión atmosférica.

$W_{setup}$ : Set up del oleaje

$Z_{MMV}$  : Marea meteorológica por viento.

En las Tabla 7- 2 y 7- 3 se presentan las cotas de diseño para la protección tipo escollera.

Tabla 7- 2: Nivel de diseño, vida útil 20 años

Nivel de diseño, vida útil 20 años	
Nivel de reducción de sondas	0,92[m]
Marea astronómica	1,51[m]
Marea meteorológica	0,89[m]
Wave setup	0,88[m]
Cota de diseño	4,2[m]

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7- 3: Nivel de diseño, vida útil 50 años

Nivel de diseño, vida útil 50 años	
Nivel de reducción de sondas	0,92[m]
Marea astronómica	1,51[m]
Marea meteorológica	0,95[m]
Wave setup	0,88[m]
Cota de diseño	4,26[m]

Fuente: Elaboración propia

Para la determinación del nivel de diseño se consideraron ambas vidas útiles de las obras de protección. La diferencia de las cotas diseño viene dada específicamente de la marea meteorológica, para una vida útil de 20 años se utilizó un valor de 0,89 [m] asociada a un periodo de retorno de 40 años, en cambio para una vida útil de 50 años se ocupó un valor de 0,95[m] asociado a un periodo de retorno de 100 años.

## **8 DISEÑO DE ESTABILIDAD DE LA ESCOLLERA**

El objetivo de este diseño es la protección del Parque San Martín evitando la socavación producto de las marejadas y la consecuente pérdida de valor del sector. El diseño de esta obra costera está constituido por una coraza exterior de roca, un filtro de doble capa con rocas de dimensión menores a la coraza, y un núcleo. Aparte se cuenta con un pie de apoyo para la contención efectiva de la coraza y protección del terreno.

Las características principales del diseño propuesto dependen de interacción del oleaje incidente, donde se puede comportar de manera disipativa o parcialmente reflejante.

Se propone un diseño tipo escollera y se utiliza la alternativa de rocas de canteras, para lo cual se considera el criterio de uso general para rompeolas convencionales, utilizando la fórmula de Hudson (1974) para la estabilidad de enrocados:

$$W = \frac{H^3 \rho_s}{K_d \cot \alpha \left( \frac{\rho_s}{\rho_w} - 1 \right)^3}$$

Donde:

$W$ : Peso de la roca [ton].

$H$ : Altura significativa espectral.

$\rho_s$ : Densidad del material [ton/m<sup>3</sup>].

$\rho_w$ : Densidad del agua [ton/m<sup>3</sup>].

$K_d$ : Coeficiente de estabilidad.

$\alpha$ : Ángulo del talud con respecto a la horizontal.

Hudson propone considerar la altura significativa  $H_s$  o  $H_{\frac{1}{10}}$ . Para este análisis se utilizó la altura significativa  $H_s$  mediante la expresión:

$$H_s = \sqrt{2} H_{rms}$$

Esta expresión supone que la distribución estadística de las alturas individuales dentro de un estado de mar fuera de la rompiente sigue una distribución Rayleigh. Esta expresión entrega un factor de seguridad para el diseño de la escollera.

Las Tabla 8- 1 y 8- 2 muestran la altura de diseño para cada vida útil.

Tabla 8- 1: Altura de diseño para una vida útil 20 años

Vida útil 20 años	
$H_s$ (20 m de prof)	4,66[m]
$T_p$	11[s]
Dir	WNW
Cuadrante	4to
$H_{rms}$ (al pie de la obra)	3,25m]

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8- 2: Altura de diseño para una vida útil de 50 años

Vida útil 50 años	
$H_s$ (20 m de prof)	5,33[m]
$T_p$	15[s]
Dir	WNW
Cuadrante	4to
$H_{rms}$ (al pie de la obra)	3,56[m]

Fuente: Elaboración propia

La Figura 13- 7 (ubicada en el Anexo) muestra los valores sugeridos del coeficiente de estabilidad de los elementos de armadura.

Para la escollera de protección se propone utilizar dos capas de rocas tipo angular (rough angular), con una colocación aleatoria (random). La escollera se divide en dos grandes partes; estructura de tronco (structure trunk) y estructura de cabezo (structure head), para ambas partes los cálculos se realizaron con un oleaje rompiente (breaking wave). Para ambas vidas útiles se considera el mismo diseño.

## 8.1 CORAZA

A continuación en las Tabla 8- 3 y 8- 4, se presentan los cálculos donde se determina el peso de los elementos de la coraza para ambas vidas útiles.

Tabla 8- 3: Peso de las rocas en el tronco de la escollera

Tronco de la escollera	Cálculo del peso de las rocas (Hudson)		
	Parámetros	Vida útil 20 años	Vida útil 50 años
H		3,25 m	3,56 m
ps		2700 kg/m <sup>3</sup>	2700 kg/m <sup>3</sup>
pw		1025 kg/m <sup>3</sup>	1025 kg/m <sup>3</sup>
KD		2	2
cota		2	2
Dn50		1,38 m	1.5 m
M50		7,08 Ton	9,31 Ton

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8- 4: Peso de las rocas en el cabezo de la escollera

Cabezo de la escollera	Cálculo del peso de las rocas (Hudson)		
	Parámetros	Vida útil 20 años	Vida útil 50 años
H		3,25 m	3,56 m
ρs		2700 kg/m <sup>3</sup>	2700 kg/m <sup>3</sup>
ρw		1025 kg/m <sup>3</sup>	1025 kg/m <sup>3</sup>
KD		1,9	1,9
cota		2	2
Dn50		1,40m	1.53 m
M50		7,45Ton	9,79 Ton

Fuente: Elaboración propia

El espesor de la coraza se calculó mediante la expresión:

$$r_c = n * K_{\Delta} \left( \frac{W}{\rho_s} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Donde:

$r_c$  : Espesor medio coraza.

$n$  : Número de rocas en espesor.

$\Delta k$  : Coeficiente de capa,  $\Delta k = 1,02$  según (Shore Protection Manual, 1984).

$W$  : Peso de la roca en la coraza.

$\rho_s$  : Densidad roca o elemento prefabricado.

Los resultados del espesor de la coraza se muestran en la Tabla 8- 5.

Tabla 8- 5: Espesor de la coraza

Espesor de coraza de la escollera		
Parámetros	Vida útil 20 años	Vida útil 50 años
N	2	2
$\Delta k$	1.02	1.02
W	7,08 Ton	9,31 Ton
ρs	2700 kg/m <sup>3</sup>	2700 kg/m <sup>3</sup>
$r_c$	3.28 m	3.77 m

Fuente: Elaboración propia

Para la obtención de números de rocas aproximados para cubrir el área de diseño, se utilizó la siguiente formulación:

$$\frac{N_r}{A} = n k_{\Delta} \left(1 - \frac{P}{100}\right) \left(\frac{\rho_s}{W}\right)^{\frac{2}{3}}$$

Donde:

- $N_a$  : Número de elementos por unidad de área.
- $A$  : Superficie de cálculo.
- $P$  : Permeabilidad.
- $n$  : Número de rocas en espesor.
- $K_{\Delta}$  : Coeficiente de capa.
- $W$  : Peso roca o elemento prefabricado coraza.
- $\rho_s$  : Densidad roca o elemento prefabricado.

La cantidad de elementos aproximados para la escollera se presentan en la Tabla 8- 6.

Tabla 8- 6: Cantidad de elementos aproximados para la escollera

Parámetros	Espesor de coraza de la escollera	
	20 años de vida útil	50 años de vida útil
A	2861 m <sup>2</sup>	2861m <sup>2</sup>
P	38%	38%
n	2	2
ps	2700 kg/m <sup>3</sup>	2700 kg/m <sup>3</sup>
W	7,08Ton	9,31 Ton
K $\Delta$	1.02	1.02
Na	1914	1598

Fuente: Elaboración propia

La berma de coronamiento depende de las características constructivas, accesibilidad y mantenimiento de la sección de la escollera, para la obtención del ancho mínimo de coronamiento se utilizó la siguiente formulación:

$$B = n k_{\Delta} \left(\frac{W}{\rho_s}\right)^{\frac{1}{3}}$$

Donde:

- $B$  : Ancho mínimo coronamiento.
- $n$  : Numero de rocas mínimas (se recomienda 3 unidades como mínimo).
- $K_{\Delta}$  : Coeficiente de capa.

$W$  : Peso medio roca.

$\rho_s$  : Densidad del elemento.

Los resultados del ancho de la coraza se muestran en la Tabla 8- 7.

Tabla 8- 7: Berma de coronamiento de la escollera

Ancho de coraza de la escollera		
Parámetros	20 años de vida útil	50 años de vida útil
n	3	3
$\rho_s$	2700 kg/m <sup>3</sup>	2700 kg/m <sup>3</sup>
W	7,08 Ton	9,31Ton
$K\Delta$	1,02	1.02
B	5,74 m	6,91 m

Fuente: Elaboración propia

## 8.2 FILTRO

Para evitar la pérdida o el lavado del material del núcleo, se utilizan filtros de rocas y geotextil entre el núcleo y la coraza. En este caso se recomiendan dos capas de filtros para asegurar así una mayor permeabilidad y evitar que las piedras pequeñas del núcleo salgan por los vacíos de la capa secundaria (filtro 2), y que los elementos de ésta a su vez, no vayan a salir a través de la coraza. Estos elementos se deducen a partir de la siguiente formulación.

$$\text{Filtro 1: } \frac{W}{10}$$

$$\text{Filtro 2: } \frac{W}{200}$$

En la Figura 13- 8 (ubicada en el Anexo) se muestra de manera gráfica las especificaciones de los pesos para la escollera de protección.

Las especificaciones de los pesos para los filtros se muestran en la Tabla 8- 8.

Tabla 8- 8: Pesos de los elementos de los filtros

Alternativas de layout (Roca)	Filtro 1	Filtro 2
20 años de vida útil [W=7,08 Ton]	708 Kg	35,4 Kg
50 años de vida útil [W=9,31Ton]	931 Kg	46,55 Kg

Fuente: Elaboración propia

Para obtener el espesor de filtro se recomienda un mínimo de dos unidades de rocas. El espesor se calculó mediante la formulación:

$$r_f = n * K_{\Delta} \left(\frac{W}{\rho_s}\right)^{\frac{1}{3}}$$

Donde:

- $r_f$  : Espesor medio del filtro.
- $n$  : Número de rocas en espesor.
- $\Delta k$  : Coeficiente de capa,  $\Delta k = 1,02$  según la recomendación de Shore Protection Manual (1984).
- $W$  : Peso de la roca en el filtro.
- $\rho_s$  : Densidad de la roca.

Los resultados del espesor de los filtros se muestran en la Tabla 8- 9.

Tabla 8- 9: Espesor medio de los filtros

Alternativas de layout [Roca]	Filtro 1	Filtro 2
20 años de vida útil [W=7,08 Ton]	1.3 m	0.48 m
50 años de vida útil [W=9,31Ton]	1,43 m	0.52 m

Fuente: Elaboración propia

El número de elementos de filtro se obtiene según:

$$\frac{N_r}{A} = n k_{\Delta} \left(1 - \frac{P}{100}\right) \left(\frac{\rho_s}{W}\right)^{\frac{2}{3}}$$

Donde:

- $N_a$  : Número de elementos por unidad de área.
- $A$  : Superficie de cálculo.
- $P$  : Permeabilidad.
- $n$  : Número de rocas en espesor.
- $K_{\Delta}$  : Coeficiente de capa.
- $W$  : Peso roca o elemento prefabricado coraza.
- $\rho_s$  : Densidad roca o elemento prefabricado.

Tabla 8- 10: Cantidad de elementos aproximados para los filtros de la escollera

Alternativas de layout [Roca]	Filtro1	Filtro 2
20 años de vida útil [W=7,08 Ton]	8831	65080
50 años de vida útil [W=9,31Ton]	7358	54221

Fuente: Elaboración propia

### 8.3 NÚCLEO

El núcleo es el elemento que ocupa mayor volumen en la escollera de ambas estructuras, y se calcula mediante la siguiente formulación:

$$Nucleo: \frac{W}{4000}$$

Los resultados de los pesos de los elementos de la escollera se presentan en la Tabla 8-11.

Tabla 8- 11: Peso de los elementos del núcleo de la escollera

Alternativas de layout [Roca]	Núcleo
20 años de vida útil [W=7,08 Ton]	1,77 Kg
50 años de vida útil [W=9,31Ton]	2,32 Kg

Fuente: Elaboración propia

### 8.4 PIE DE APOYO

El espesor del pie de la berma se determina mediante la expresión:

$$Altura\ de\ berma\ h_p = 2 * r$$

$$Berma\ del\ pie\ B_p = 3 * r$$

Donde

$r$  = espesor del pie.

La Tabla 8- 12 muestra las dimensiones del pie de la escollera.

Tabla 8- 12: Dimensiones del pie de la escollera

Alternativas de layout [Roca]	$h_p$	$B_p$
20 años de vida útil [W=7,08 Ton]	2,6 m	3,9 m
50 años de vida útil [W=9,31Ton]	2,86 m	4,29 m

Fuente: Elaboración propia

Para el peso del pie de la estructura se recomienda utilizar dos capas de elementos de coraza, como muestra la Tabla 8- 13.

Tabla 8- 13: Peso del pie de la escollera

Alternativas de layout [Roca]	$W_p$
20 años de vida útil [W=7,08 Ton]	7,08 Ton
50 años de vida útil [W=9,31Ton]	9,31 Ton

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 8- 14 muestra un resumen de los resultados.

Tabla 8- 14: Tabla de resumen

Pesos de los elementos		
Elementos	Vida útil 20 años	Vida útil 50 años
Coraza del tronco	7,08 Ton	9,31 Ton
Coraza del cabezo	7,45 Ton	9,79 Ton
Filtro1	708 Kg	931 Kg
Filtro2	35,4 Kg	46,55 Kg
Núcleo	1,77 Kg	2,32 Kg
Pié	7,08 Ton	9,31 Ton
Dimensiones		
Elementos	Vida útil 20 años	Vida útil 50 años
Coraza Dn50	2.1 m	2.4 m
Espesor de la coraza	3.28 m	3,77 m
Berma de coraza	5,74 m	6,91 m
Espesor del filtro 1	1.3 m	1.43 m
Espesor del filtro 2	0.48 m	0.52 m
Altura del pié	2,6 m	2,86 m
Berma del pié	3,9 m	4,29 m
Número de elementos		
Elementos	Vida útil 20 años	Vida útil 50 años
Coraza	1914	1598
Filtro 1	8831	7358
Filtro 2	65080	54221

Fuente: Elaboración propia

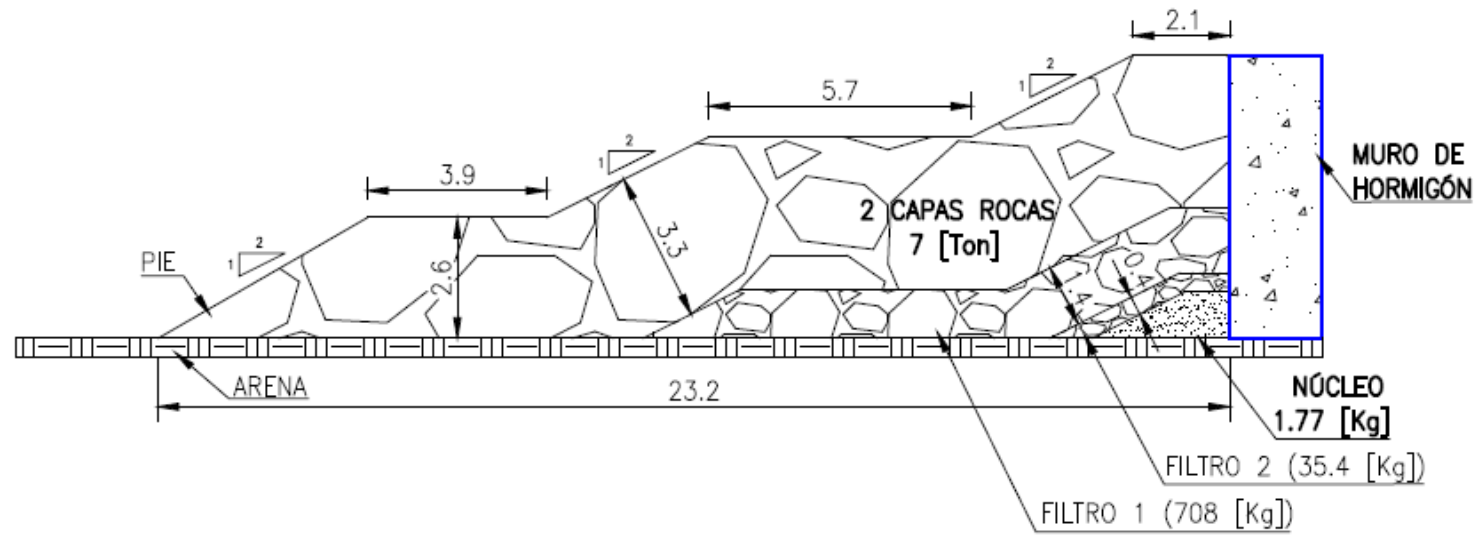


Figura 8- 1: Escollera con una vida útil de 20 años

Fuente: Elaboración propia

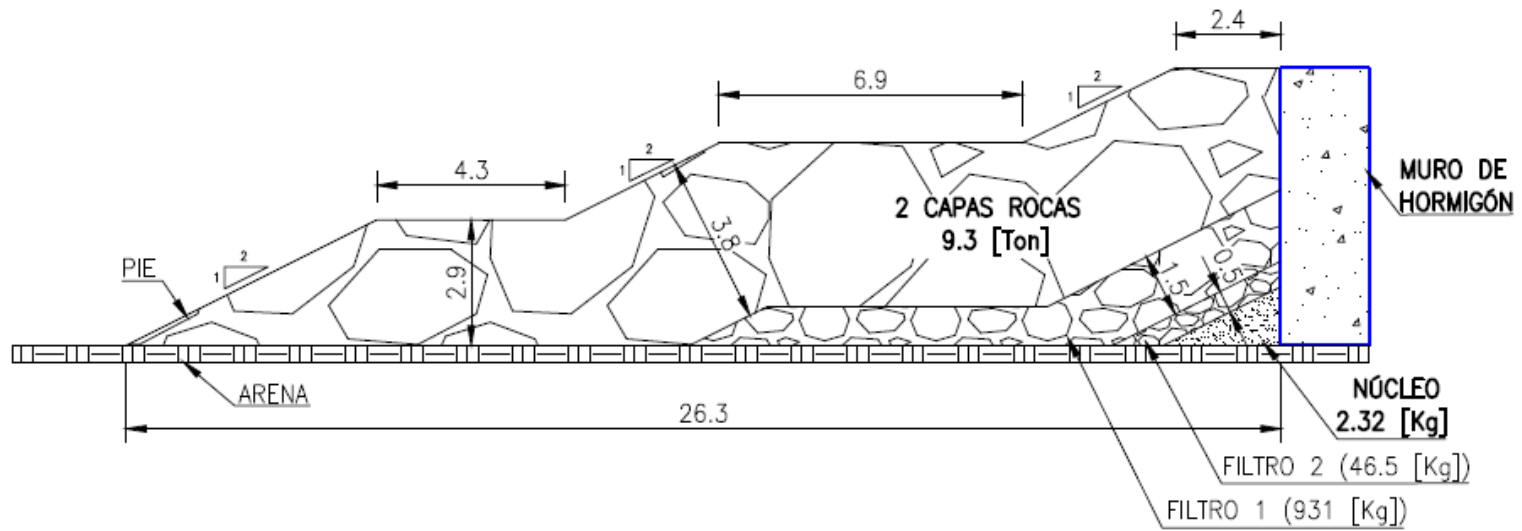


Figura 8- 2: Escollera con una vida útil de 50 años

Fuente: Elaboración propia

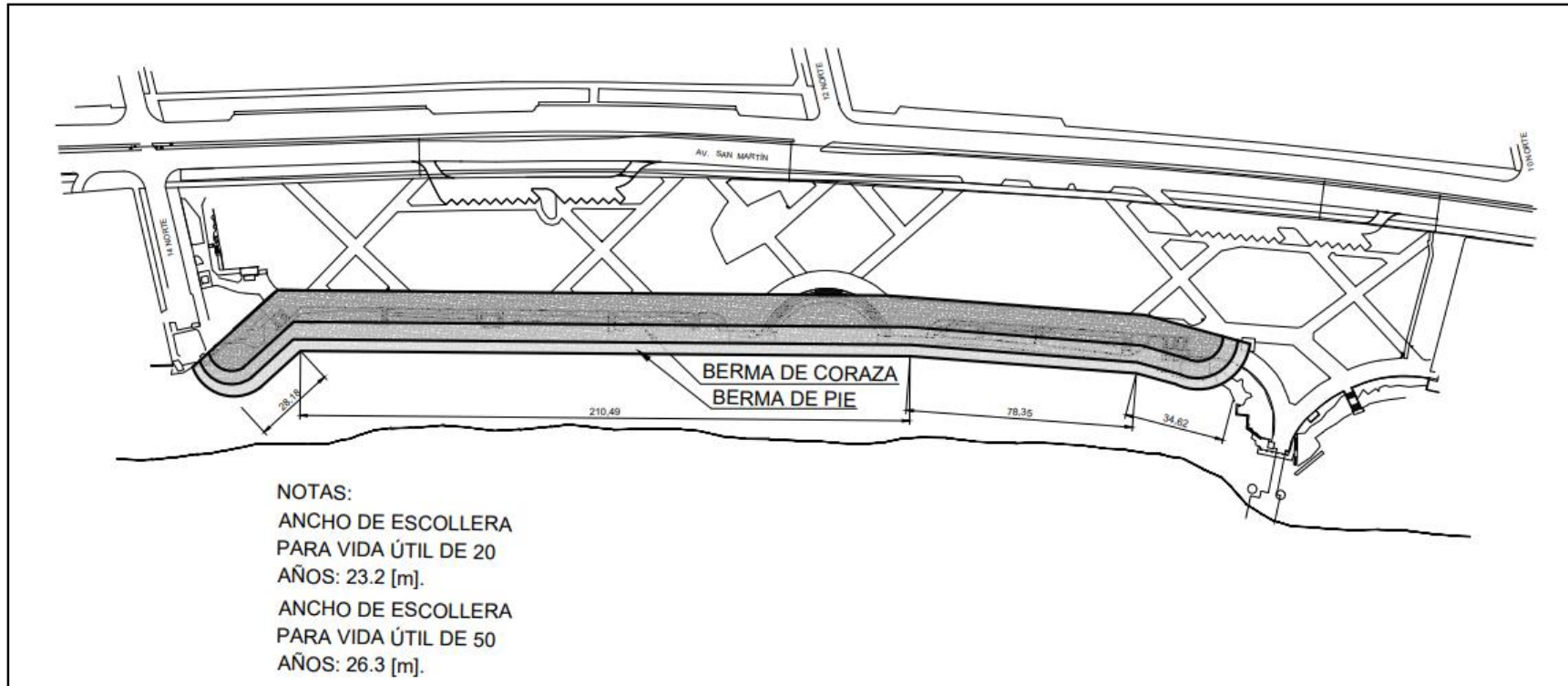


Figura 8- 3: Layout planta escollera

Fuente: Elaboración propia

## **9 ALTERNATIVA COMPLEMENTARIA: BANDERA AZUL**

Este programa tiene como objetivo promover el desarrollo sostenible de las zonas litorales, a través de la exigencia de unos estándares elevados en la calidad de las aguas de baño, la seguridad, la gestión ambiental y la información y educación para la sostenibilidad.



*Figura 9- 1: Logo Bandera Azul*

Fuente: (Wikipedia, s.f)

En Chile no existe ninguna playa con este galardón ambiental mundial, por lo que en las siguientes páginas se pretende instruir de manera general la implementación del programa de Bandera Azul, mediante una guía de interpretación de los criterios de concesión de este reconocimiento.

### **9.1 IMPLEMENTACIÓN BANDERA AZUL**

El programa Bandera Azul se caracteriza por impartir una serie de criterios que ayudan a mejorar el desarrollo sostenible de la playa.

Existen cuatro categorías donde el programa se esfuerza en promover el desarrollo sostenible de las zonas litorales, estos son:

1. Información y Educación Ambiental
2. Calidad de Agua
3. Gestión Ambiental
4. Seguridad y Servicios.

Cada una de estas categorías tiene asociados criterios obligatorios que las playas deben cumplir para ser galardonadas con la Bandera Azul.

En este caso, se han seleccionado cinco criterios imperativos del programa de Bandera Azul, para incorporarlos como una solución complementaria a las alternativas de protección y revalorización del borde costero.

A continuación, se presentan los cinco criterios con sus respectivas soluciones que ayudaran a mejorar la calidad de la playa.

1. **“El ayuntamiento debe demostrar que se ofrecen al público, como mínimo, cinco actividades de información y educación ambiental”.**

**Solución:**

Existen diversas actividades que aumentan el grado de conciencia y el cuidado del medio ambiente marino. La idea es poder ofrecer a la comunidad distintas actividades recreativas de educación ambiental, las cuales implican participaciones pasivas, activas, actividades regladas de formación, publicaciones y materiales divulgativos. Cada una de ellas debe ser parte del programa de temporada estival, con horarios predeterminados.

2. **La playa debe estar limpia**

**Solución:**

En Chile el concesionario de la playa es el encargado de mantenerla en perfectas condiciones en cuanto a la limpieza, y por su parte, el municipio ayuda a mantener limpios los sectores cercanos a las playas.

Existen varias soluciones para la mantener la playa libre de basura, una de ellas es instalar basureros de distintos colores en la zona de playa, esto permitirá que los turistas tomen conciencia sobre la separación de los residuos sólidos urbanos. Otra de las soluciones que ya se está implementando en la ciudad de Viña del Mar, es la entrega de pequeños basureros reutilizables con el distintivo de “Yo limpio mi playa”.

3. **“El municipio promueve la utilización de medios de transporte sostenible, alternativos al vehículo privado, en el área de playa, tales, como la bicicleta, el acceso a pie o al transporte público”.**

**Solución:**

Una de las soluciones es incorporar dispensadores de bicicletas y scooter, esto permitirá una serie de beneficios como: un traslado por la zona costera de manera sostenible, libre de contaminación y de fácil de acceso. La idea es proporcionar un estacionamiento de bicicletas y scooters, en el caso de estos últimos se incorporará un sector para su recarga eléctrica.

**4. “Accesos fáciles y seguros”.**

**Solución:**

Las playas concesionadas en Chile generalmente tienen un buen acceso, sin ir más lejos, las playas de Viña del Mar poseen un paseo costero que permiten la entrada a las playas. Pero en Chile solo existen 29 playas inclusivas para personas en situación de discapacidad. La idea es que la playa integre una ruta de aproximación, conectada con la parada de buses, una zona de estacionamientos accesible y señalizados, y una red de paseos que ingresen a la arena a través de un recorrido liso y pavimento en buen estado. Todo esto permitiría el fácil acceso a las personas con situación de discapacidad.

**5. “Debe estar expuesta al público informaciones sobre los ecosistemas litorales, espacios naturales sensibles (Espacio Naturales Protegidos) y especies protegidas en esa zona costera”.**

**Solución:**

La playa concesionada debe informar a sus visitantes sobre su propio ecosistema sensibles, por ejemplo; mediante paneles instalados cercanos a la playa o en la misma playa, entregando información para las buenas prácticas en la zona costera. Esto debido a que generalmente las playas y el litoral son considerados como un espacio de ocio y esparcimiento más que como un entorno natural

## **10 DISCUSIÓN**

Del trabajo elaborado se pueden desglosar algunos puntos para su discusión:

La batimetría utilizada en este trabajo tiene poca precisión e incorpora incertidumbre en el sitio de interés. Es importante tener mediciones topo-batimétricas precisas, ya que el oleaje sufre modificaciones causadas por el fondo marino. Se sugiere realizar un levantamiento batimétrico multihaz y topográfico en el sitio de interés, esto permite obtener información morfológica, identificar presencia de zonas de lajas o rocosas y conseguir perfiles longitudinales y transversales.

El modelo utilizado para la propagación de temporales Petra resuelve la evolución morfológica del perfil transversal de la playa, sin embargo, es un modelo a corto plazo de escalas de horas- días. Los resultados entregan información exclusivamente de la respuesta del perfil ante eventos de marejada. Se sugiere llevar el análisis a escalas temporales de largo plazo, incorporando el transporte de sedimentos longitudinalmente y transversalmente, la acción del oleaje dominante y la caracterización del perfil de equilibrio.

Los temporales seleccionados se basaron exclusivamente en el daño causado y no en la potencia, ni duración. Es posible que la respuesta de la playa sea diferente según cada escenario. Se podría incorporar el análisis de estos escenarios en estudios posteriores, para disminuir la incertidumbre sobre eventuales cambios en la socavación al pie, erosiones y retrocesos de línea de costa.

En este trabajo no se analizan los agravantes ligados al cambio climático, es importante integrarlos y cuantificarlos en potenciales intervenciones reales de la zona costera. Según expertos, en Chile el cambio climático afecta directamente en el aumento de la frecuencia e intensidad de las marejadas (Tele trece, 2018). La erosión costera es consecuencia de esto y encontrar soluciones que abarquen esas problemáticas es de urgencia.

El diseño de esta escollera puede causar impactos físicos referidos al movimiento de agua y sedimentos. Es posible que estas intervenciones disminuyan el movimiento de agua y sedimentos a lo largo de la línea de costa. Hay que tener en consideración que las playas son lugares de amortiguación, de carácter frágil y no necesariamente una solución rígida como una escollera es la mejor opción. Se recomienda evaluar soluciones blandas y amigables con la naturaleza.

## **11 CONCLUSIONES**

La presente tesis tuvo como objetivo principal proponer una alternativa de revalorización de la zona costera en el Parque San Martín. Se aplicó una metodología que consiste en asignar valores al sector, en base a sus características ambientales, económicas y urbano-socioculturales. Los resultados muestran que el sector tiene niveles relativamente altos en su valorización económica y urbano-sociocultural, pero deficiente en la variable ambiental. En base a lo anterior se ha propuesto una solución que incremente el valor del sector y al mismo tiempo proteja al Parque San Martín, en condiciones climáticas adversas.

Se utilizaron las cartas náuticas del Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada, las cuales no tienen la resolución suficiente para hacer este estudio a nivel conceptual. En caso de hacerse un estudio de ingeniería de detalle, se recomienda desarrollar una batimetría de precisión. Una característica detectada, fue la presencia de un escarpe a 50 metros de la línea de alta marea, que fue caracterizado como un perfil de laja (o zonas rocosas) en el modelo numérico. Los resultados de los perfiles sin intervención humana y el perfil de laja, muestran una diferencia cercana a los 5 [m] de erosión (Figura 10- 1 A). Esta restricción física depende de su dimensión, la cual puede interrumpir en el desarrollo del perfil de equilibrio de la playa. Es por esto que, tener claridad e identificar correctamente la tipología del sitio de estudio servirá para entender la evolución del perfil y posibles proyectos futuros.

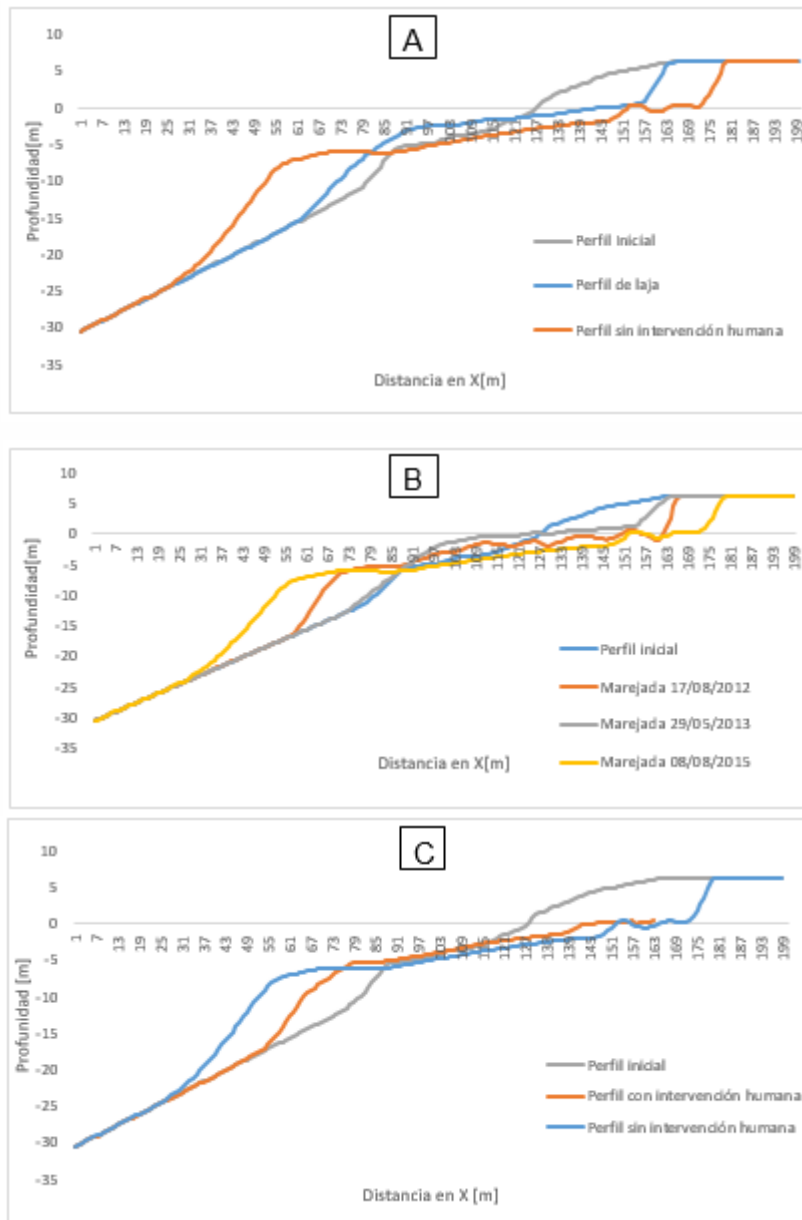


Figura 10- 1: Comparación de perfiles

Las propagaciones de los temporales muestran que la marejada que produce mayor daño al perfil transversal es la del 8 de agosto del 2015 (Figura 10- 1 B), con erosiones verticales de aproximadamente 6 [m] y un retroceso de la línea de costa cercano a los 58 [m], en el peor momento de la marejada. Se evaluó la simulación de esta marejada con un muro al término del perfil transversal (Figura 10- 1 C). La reacción de la estructura ante el temporal arrojó valores cercanos a los 6 [m] de erosión al pie de la obra y un retroceso de la línea de

costa de 35 [m]. Asociado a esto, se concluye que un muro vertical no es una solución acorde a las consecuencias instantáneas de las marejadas, ya que no presenta elementos disipativos para evitar la socavación al pie. Por tal motivo, se propone el diseño de una escollera.

De los estudios de las condiciones naturales se determinaron los niveles de diseño para una escollera de 20 y 50 años de vida útil, con una cota de 4,2[m] y 4,26[m] respectivamente. Se propuso diseñar una escollera en talud constituida por una coraza exterior de roca, un filtro de dos capas con rocas de dimensiones menores a la coraza, un núcleo y un pie de apoyo para la contención efectiva de la coraza y protección del terreno. La protección está diseñada para una altura de ola al pie de la estructura de 3,25[m] para la escollera de menor vida útil y de 3,56[m] para la de mayor vida útil.

La escollera en talud es una solución que cumple con las condiciones propuestas, pero tiene desventajas como: una pérdida considerable del área de playa, las posibles reflexiones ante marejadas menores y el impacto ambiental que genera. Desde ese análisis, un muro vertical actúa mejor, pero tiene deficiencias ante marejadas extremas como la socavación al pie, las reflexiones y la consecuente pérdida de arena. Con la solución de protección existirá un aumento en la revalorización de la componente Urbano-sociocultural y Económica.

La solución de implementar criterios del galardón internacional Bandera Azul tiene como objetivo principal aumentar el valor ambiental del sector y busca concientizar a la gente respecto a la importancia de las playas, proteger el ambiente y promover el desarrollo sostenible de estas. Es paradójico que Chile teniendo alrededor de 6435 km de longitud de costa no cuente con playas premiadas por el galardón Bandera Azul.

## **12 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Andaur, A. (2017). Viña del Mar.

Benavente, N. (2015). *Relación dinámica asociadas al litoral-playas-dunas*. Santiago.

Beyá J., Á. M. (2016). *Un Atlas de oleaje para Chile*. Valparaíso, Chile, Escuela de Ingeniería Civil Oceánica - Universidad de Valparaíso: Primera edición.

Beyá, J., & Winckler, P. (2012). *Inundaciones costeras, mas allá de los tsunamis*. Valparaíso.

BordeMar. (2014). *Caracterización del régimen de mareas para la localidad de Chañaral*. Valparaíso.

Campos, R. (2016). *Análisis de marejadas históricas y recientes en las costas de Chile*. Valparaíso.

- Cantabria, U. d. (2000). *Documento de referencia, Dinámicas*. Cantabria.
- CEM. (2002). *Chapter 5, Water level and long waves*.
- Center, U. A. (1975). *Shore protection manual* .
- Costas, G. d. (2015). *Modelo de evolución del perfil transversal de playa* . Cantabria.
- Department of the Army. (1984). *Shore Protection Manual*. Washington.
- Dirección General de Puertos y Costas. (1990). *Recomendación para obras marítimas*. Madrid: Mopu.
- España, G. d. (2012). *Recomendaciones para obras marítimas*.
- Gangas, M. J. (2013). *Ingeniería de Costas*. Valparaíso.
- GIOC, G. d. (2000). *Sistema de modelado costero*, Petra. Cantabria.
- Goda. (1985). *Technical Standars for Port and Harbour Facilities*. Japan.
- Goda, Y. (1988). *On the Methology of Selecting Desing Wave Height*.
- Goda, Y. (2000). *Random seas and design of marine structure*.
- González, M. (2004). *Sistema de Modelado Costero*.
- Google Earth. (2007). *Mapa de Valparaíso, Chile en Google Earth*.
- Google Earth. (9 de Marzo de 2018). *Fotografía de Viña del Mar, Chile en Google Earth*.
- Google Earth. (2018). *Fotografía del Oceano Pacífico, Chile en Google Earth*.
- Google Earth. (8 de Octubre de 2019). *Fotografía de Viña del Mar, Chile en Google Earth*.
- Google Earth Pro, Terra Metrics, Digital Globe. (2018). *Propuestas de alternativas para la revalorización del borde costero en el Parque San Martín*. Valparaíso: Universidad Valparaíso.
- Isaacson. (1995). *long-term distributions of ocean waves*.
- Jalón, I. (11 de Enero de 2013). *ANÁLISIS DE ARMÓNICOS DE MAREA ASTRONÓMICA CON T\_TIDE*. Obtenido de [https://fluyendolibremente.wordpress.com/2013/01/11/analisis-de-armonicos-de-marea-astronomica-con-t\\_tide/comment-page-1/](https://fluyendolibremente.wordpress.com/2013/01/11/analisis-de-armonicos-de-marea-astronomica-con-t_tide/comment-page-1/)

- Kamphuis, W. (2010). *Introduction to Coastal engineering and Management*.
- Lamazares, R. (2014). *Acoplamiento óptimo entre modelos matemáticos de generación y propagación de oleaje*.
- Mareas. (2015). *Mareas*.
- Metz, J. (2019). *Guía oficial de texas para la temporada de huracanes*. Texas. Obtenido de National Oceanic and Atmospheric Administration Web site: <https://www.nhc.noaa.gov/>
- Municipalidad de Viña del Mar. (Agosto de 2015). Daños marejadas. Viña del Mar, Chile.
- Perfect wave diffraction at the tip of the wave breaker* . (24 de Julio de 2018). Obtenido de [https://www.reddit.com/r/Physics/comments/91eymd/perfect\\_wave\\_diffraction\\_at\\_the\\_tip\\_of\\_the\\_wave/](https://www.reddit.com/r/Physics/comments/91eymd/perfect_wave_diffraction_at_the_tip_of_the_wave/)
- Quezada. (2007). *Estudio de erosión costera y regeneración de espacios litorales. Una aplicación en playa el Papagayo, Quintero*. Viña del Mar.
- Quezada, M. (2007). *Mareas*.
- Repetto, A. (2010). *Metodología para la simulación aleatoria de temporales*.
- Ruiz, A. L. (2013). *Transporte de sedimentos. Regeneración de playas*. Granada.
- Sánchez, A. (1994). *Ingeniería de playas*. Barcelona.
- Sea level station monitoring facility. (2017). *Sea level station monitoring facility*. Obtenido de <http://www.ioc-sealevelmonitoring.org/>
- Servicio Hidrográfico y Ocenográfico de la Armada. (1999). *Método oficial para el cálculo de los valores no armónicos de la marea*.
- Servicio Hidrográfico y Ocenográfico de la Armada. (2005). Análisis armonico. En S. H. Armada, *Especificaciones técnicas para mediciones y análisis oceanograficos*.
- SHOA. (1999). *Instrucciones Ocenográficas*.
- SHOA. (1999). *Método oficial para el calculo de los valores no armónicos de la marea*.
- Silva, R. (2005). *Análisis y descripción estadística del oleaje*.
- Tele trece. (4 de Noviembre de 2018). *Efectos en las costas chilenas*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=w5la0dd87e0>

- The Swan Team. (2015). *SWAN User Manual*. Holanda.
- Úbeda, I. L. (2016). *Clasificación morfológica de las playas y modelado del perfil transversal en Valencia, Alicante y Murcia*. Alicante.
- Valenti, G. (2013). *Evaluación de vulnerabilidad de la costa catalana al impacto de tormentas partir del rebase de oleaje*. Barcelona.
- Vidal, C. (1995). *Modelos de morfodinámica de playas*. Cantabria.
- Viveros, Á. (2017). *Desarrollo de una metodología para la valorización del borde costero Valparaíso-Viña del Mar mediante análisis multivariable y uso de software de información geográfica*.
- Wikipedia. (s.f). *Bandera Azul*. Obtenido de [https://es.wikipedia.org/wiki/Bandera\\_Azul](https://es.wikipedia.org/wiki/Bandera_Azul)
- Winckler, P. (2002). *COI 504, V.02- Hidráulica Marítima Mareas*. Valparaíso .
- Winckler, P. (2008). *Propagacion de Oleaje*. Valparaíso.
- Winckler, P. (2010). *Oleaje Irregular*. Valparaíso.
- Winckler, P. (2010). *Oleaje regular*. Valparaíso.

## **13 ANEXO**

A continuación, se presentan los resultados del clima de oleaje medio en aguas profundas. La Tabla 13-1 muestra los resultados de periodo v/s dirección del 3er y 4to cuadrante.

*Tabla 13- 1: Tabla de incidencia altura v/s dirección 3er y 4to cuadrante*

Intervalos de direcciones [°]	Intervalos de periodos [s]											Total	Frec %	Frec Ac %
	<5	5-7	7-9	9-11	11-13	13-15	15-17	17-19	19-21	21-23	23-25			
180-190		4	11	1								16	0%	0%
200-210	6	328	399	480	2183	1920	204	85	19			5624	5%	5%
210-220		848	2628	3410	16388	26051	4267	1205	343	35	15	55190	53%	58%
230-240		198	328	813	9102	17258	3280	970	217	30	1	32197	31%	89%
240-250		21	32	420	3305	3184	496	141	27	1		7627	7%	96%
260-270		2	39	444	1568	615	67	31	2			2768	3%	98%
270-280		5	31	249	306	48	19	11	2			671	1%	99%
290-300		6	24	88	34	14	4	2				172	0%	99%
300-310		3	26	21	5	158	134	103	45	15		510	0%	100%
320-330		20	37	20	9	32						118	0%	100%
330-340		33	74	32	4	4	1					148	0%	100%
350-360		9	25	12	3	2	1					52	0%	100%
Total	6	1477	3654	5990	32907	49286	8473	2548	655	81	16	105093		
Frec %	0%	1%	3%	6%	31%	47%	8%	2%	1%	0%	0%			
Frec Ac %	0%	1%	5%	11%	42%	89%	97%	99%	100%	100%	100%			

Fuente: Elaboración propia con datos de (Beyá J., 2016)

La Tabla 13- 1 muestra en color rojo el oleaje reinante en aguas profundas. Se puede observar que cerca del 84% del oleaje es proveniente del 3er cuadrante, porcentaje que corresponde a direcciones entre 210° y 240°. Por otro lado, los datos de color azul muestran el oleaje proveniente desde el 4to cuadrante con frecuencia cercana al 4%.

Los periodos del oleaje en aguas profundas más frecuentes del 3er y 4to cuadrante son de 11[s] a 15[s] con un 78%.

A continuación, se presentan resultados del clima medio del 3er cuadrante.

Tabla 13- 2: Tabla de incidencia periodo v/s dirección 3er cuadrante

Intervalos de direcciones[°]	Intervalos de periodos [s]											Total	Frec %	Frec Ac%
	<5	5-7	7-9	9-11	11-13	13-15	15-17	17-19	19-21	21-23	23-25			
180-190		4	11	1								16	0%	0%
200-210	6	328	399	494	2185	1920	204	85	19			5640	5%	5%
210-220		848	2628	3410	16389	26051	4267	1205	343	35	15	55191	53%	59%
230-240		198	328	813	9103	17258	3280	972	220	30	1	32203	31%	90%
240-250		23	32	420	3309	3184	496	141	27	1		7633	7%	97%
260-270		2	39	444	1568	615	67	31	2			2768	3%	100%
Total	6	1403	3437	5582	32554	49028	8314	2434	611	66	16	103451		
Frec %	0%	1%	3%	5%	31%	47%	8%	2%	1%	0%	0%			
Frec Ac %	0%	1%	5%	10%	42%	89%	97%	99%	100%	100%	100%			

Fuente: Elaboración propia con datos de (Beyá J., 2016)

Tabla 13- 3: Tabla de incidencia altura v/s dirección 3er cuadrante

Intervalo de direcciones[°]	Intervalo de alturas[m]										Total	Frec %	Frec Ac%	
	0,5-1	1-1,5	1,5-2	2-2,5	2,5-3	3-3,5	3,5-4	4-4,5	4,5-5	5-5,5				
180-190				4	1	9	2					16	0%	0%
200-210	138	1141	1805	1312	768	338	130	6	2			5640	5%	5%
210-220	278	4519	12989	15932	12392	6433	2128	438	77	5		55191	53%	59%
230-240	221	3082	8498	8708	6618	3391	1266	321	82	16		32203	31%	90%
240-250	173	1334	2082	1810	1103	718	270	96	38	9		7633	7%	97%
260-270	73	482	789	693	410	170	95	26	27	3		2768	3%	100%
Total	883	10558	26163	28459	21292	11059	3891	887	226	33		103451		
Frec %	1%	10%	25%	28%	21%	11%	4%	1%	0%	0%				
Frec Ac %	1%	11%	36%	64%	84%	95%	99%	100%	100%	100%				

Fuente: Elaboración propia con datos de (Beyá J., 2016)

Tabla 13- 4: Tabla de incidencia altura v/s periodo 3er cuadrante

Intervalos de periodos[s]	Intervalos de alturas[m]										Total	Frec %	Frec Ac%	
	0,5-1	1-1,5	1,5-2	2-2,5	2,5-3	3-3,5	3,5-4	4-4,5	4,5-5	5-5,5				
<5		6										6	0%	0%
5-7	3	38	365	770	214	13						1403	1%	1%
7-9	5	97	356	880	1256	747	91	5				3437	3%	5%
9-11	95	1058	1648	1083	848	547	244	46	11	2		5582	5%	10%
11-13	394	4422	10835	9925	5120	1513	302	27	13	3		32554	31%	42%
13-15	276	3809	10366	13090	11939	6690	2322	422	97	17		49028	47%	89%
15-17	61	700	1659	1878	1517	1318	805	283	87	6		8314	8%	97%
17-19	29	324	658	649	342	205	114	90	18	5		2434	2%	99%
19-21	20	90	233	168	54	22	10	14				611	1%	100%
21-23		10	34	13	2	4	3					66	0%	100%
23-25		4	9	3								16	0%	100%
Total	883	10558	26163	28459	21292	11059	3891	887	226	33		103451		
Frec %	1%	10%	25%	28%	21%	11%	4%	1%	0%	0%				
Frec Ac %	1%	11%	36%	64%	84%	95%	99%	100%	100%	100%				

Fuente: Elaboración propia con datos de (Beyá J., 2016)

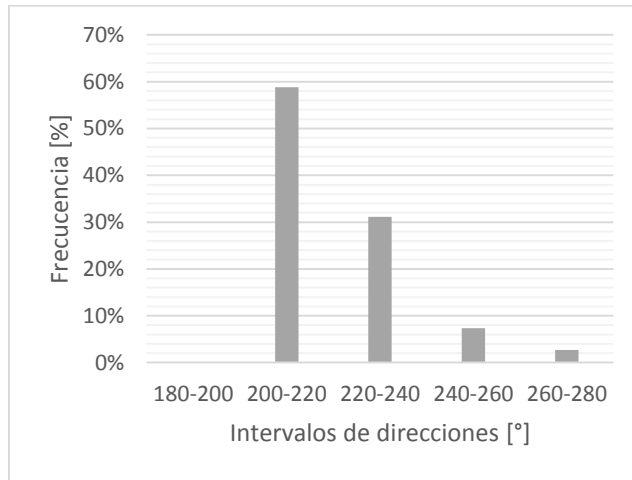


Figura 13-1: Histograma de direcciones 3er cuadrante

Fuente: Elaboración propia con datos de (Beyá J., 2016)

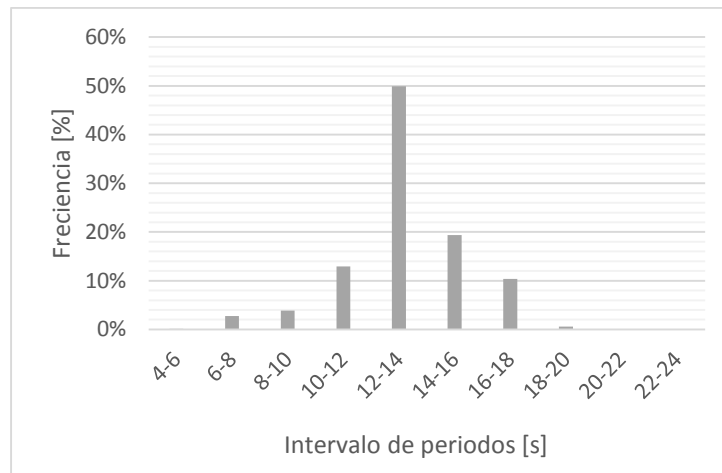


Figura 13- 2: Histograma de periodos 3er cuadrante

Fuente: Elaboración propia con datos de (Beyá J., 2016)

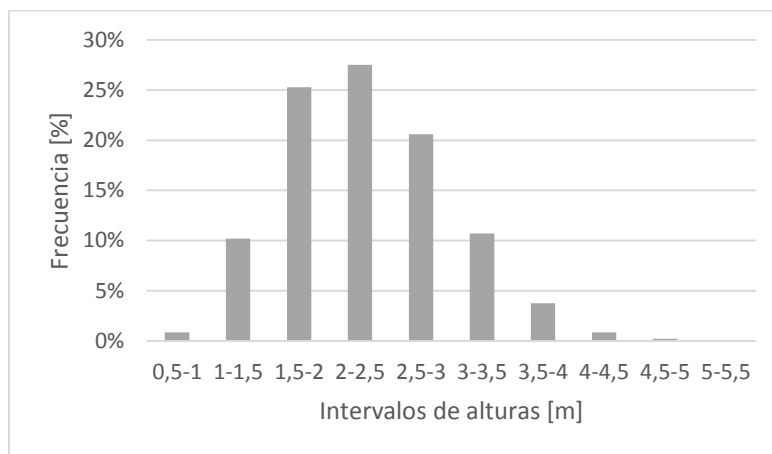


Figura 13- 3: Histograma de alturas 3er cuadrante

Fuente: Elaboración propia con datos de (Beyá J., 2016)

A continuación, se presentan los resultados del clima medio del 4to cuadrante.

Tabla 13- 5: Tabla de incidencia periodo v/s dirección 4to cuadrante

Intervalos de periodos [s]	Intervalos de direcciones [°]					Total	Frec %	Frec Ac %
	270-290	290-310	310-330	330-350	350-370			
5-7	5	9	20	33	9	76	5%	5%
7-9	31	50	37	74	25	217	13%	18%
9-11	249	109	20	32	12	422	25%	43%
11-13	306	39	9	4	3	361	22%	64%
13-15	48	172	32	4	2	258	15%	80%
15-17	19	138		1	1	159	10%	89%
17-19	11	105				116	7%	96%
19-21	2	45				47	3%	99%
21-23		15				15	1%	100%
Total	671	682	118	148	52	1671		
Frec %	40%	41%	7%	9%	3%			
Frec Ac %	40%	81%	88%	97%	100%			

Fuente: Elaboración propia con datos de (Beyá J., 2016)

Tabla 13- 6: Tabla de incidencia altura v/s dirección 4to cuadrante

Intervalos de altura [m]	Intervalos de direcciones [°]					Total	Frec %	Frec Ac%
	270-290	290-310	310-330	330-350	350-370			
0,5-1	7	12	1			20	1%	1%
1-1,5	136	189	28			353	21%	22%
1,5-2	163	247	7	16	2	435	26%	48%
2-2,5	106	103	20	19	5	253	15%	63%
2,5-3	111	43	20	43	19	236	14%	78%
3-3,5	78	48	16	32	11	185	11%	89%
3,5-4	56	34	14	28	10	142	8%	97%
4-4,5	9	6	11	7	4	37	2%	99%
4,5-5	5		1	3	1	10	1%	100%
Total	671	682	118	148	52	1671		
Frec %	40%	41%	7%	9%	3%			
Frec Ac%	40%	81%	88%	97%	100%			

Fuente: Elaboración propia con datos de (Beyá J., 2016)

Tabla 13- 7: Tabla de incidencia altura v/s periodo 4to cuadrante

Intervalos de alturas [m]	Intervalos de periodos [s]									Total	Frec %	Frec Ac %
	5-7	7-9	9-11	11-13	13-15	15-17	17-19	19-21	21-23			
0,5-1		4	3		8	2	1	2		20	1%	1%
1-1,5	1	5	63	43	139	60	35	7		353	21%	22%
1,5-2	23	20	60	90	61	73	66	27	15	435	26%	48%
2-2,5	26	28	66	70	22	22	8	11		253	15%	63%
2,5-3	25	71	60	56	16	2	6			236	14%	78%
3-3,5		63	60	55	7					185	11%	89%
3,5-4	1	23	80	35	3					142	8%	97%
4-4,5		3	25	9						37	2%	99%
4,5-5			5	3	2					10	1%	100%
Total	76	217	422	361	258	159	116	47	15	1671		
Frec %	5%	13%	25%	22%	15%	10%	7%	3%	1%			
Frec Ac %	5%	18%	43%	64%	80%	89%	96%	99%	100%			

Fuente: Elaboración propia con datos de (Beyá J., 2016)

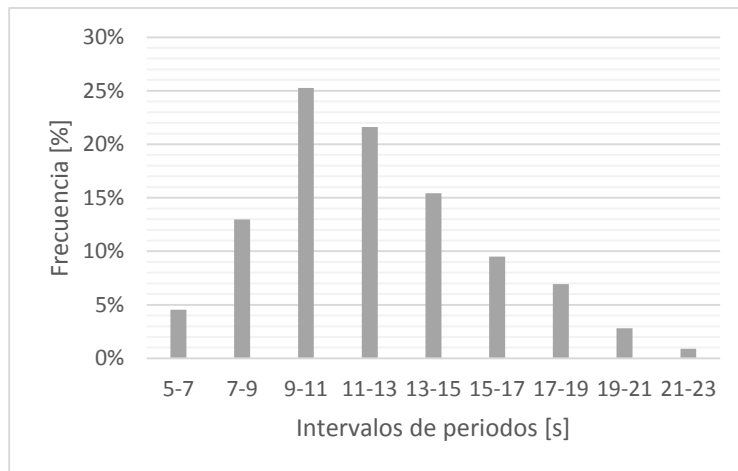


Figura 13- 4: Histograma de periodos 4to cuadrante

Fuente: Elaboración propia con datos de (Beyá J., 2016)

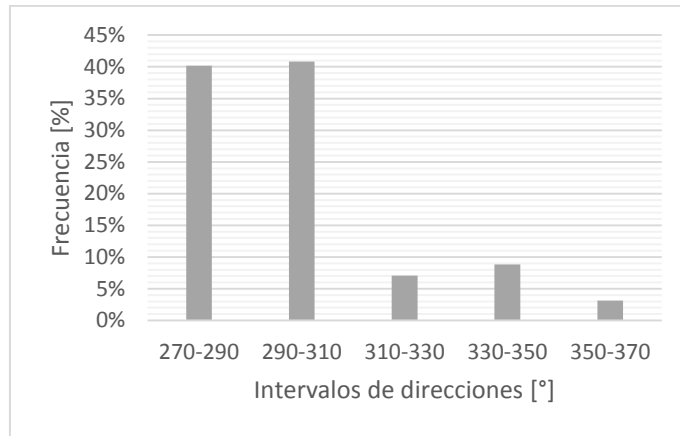


Figura 13- 5: Histograma de direcciones 4to cuadrante

Fuente: Elaboración propia con datos de (Beyá J., 2016)

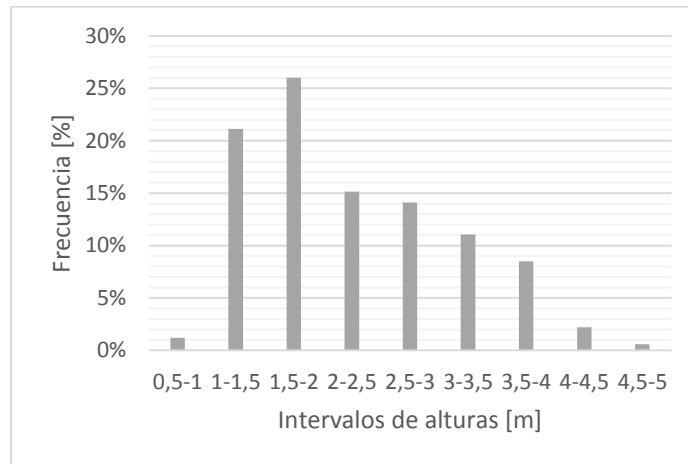


Figura 13- 6: Histograma de alturas 4to cuadrante

Fuente: Elaboración propia con datos de (Beyá J., 2016)

PROPUESTA DE ALTERNATIVA PARA LA REVALORIZACIÓN DEL BORDE COSTERO EN EL PARQUE SAN MARTÍN

No-Damage Criteria and Minor Overtopping							
Armor Units	n	Placement	Structure Trunk		Structure Head		Slope
			$K_D^2$		$K_D$		
			Breaking Wave	Nonbreaking Wave	Breaking Wave	Nonbreaking Wave	
Quarystone	2	Random	1.2	2.4	1.1	1.9	1.5 to 3.0
Smooth rounded	>3	Random	1.6 <sub>4</sub>	3.2	1.4 <sub>4</sub>	2.8	
Smooth rounded	1	Random		2.9		2.8	5
Rough angular	2	Random	2.0	4.0	1.9	3.2	1.5
					1.6	2.8	2.0
					1.3	2.3	3.0
Rough angular	>3	Random	2.2	4.5	2.1	4.2	5
Rough angular	2	Special	5.8	7.0	5.3	6.4	5
Parallelepiped	2	Special	7.0 - 20.0	8.5 - 24.0	--	--	
Tetrapod and Quadripod	2	Random	7.0	8.0	5.0	6.0	1.5
					4.5	5.5	2.0
					3.5	4.0	3.0
Tribar	2	Random	9.0	10.0	8.3	9.0	1.5
					7.8	8.5	2.0
					6.0	6.5	3.0
Dolos	2	Random	15.8 <sup>B</sup>	31.8 <sup>B</sup>	8.0	16.0	2.0 <sup>9</sup>
					7.0	14.0	3.0
Modified cube	2	Random	6.5	7.5	-----	6.0	5
Hexapod	2	Random	8.0	9.5	5.0	7.0	5
Toskane	2	Random	17.0	22.0	--	--	5
Tribar	1	Uniform	12.0	15.0	7.5	8.5	5
Quarystone ( $K_{RN}$ )	-	Random	2.2	2.5	--	--	
Graded angular	-	Random					

Figura 13- 7: Coeficiente de estabilidad (Hudson)

Fuente: Shore Protection Manual (1984)

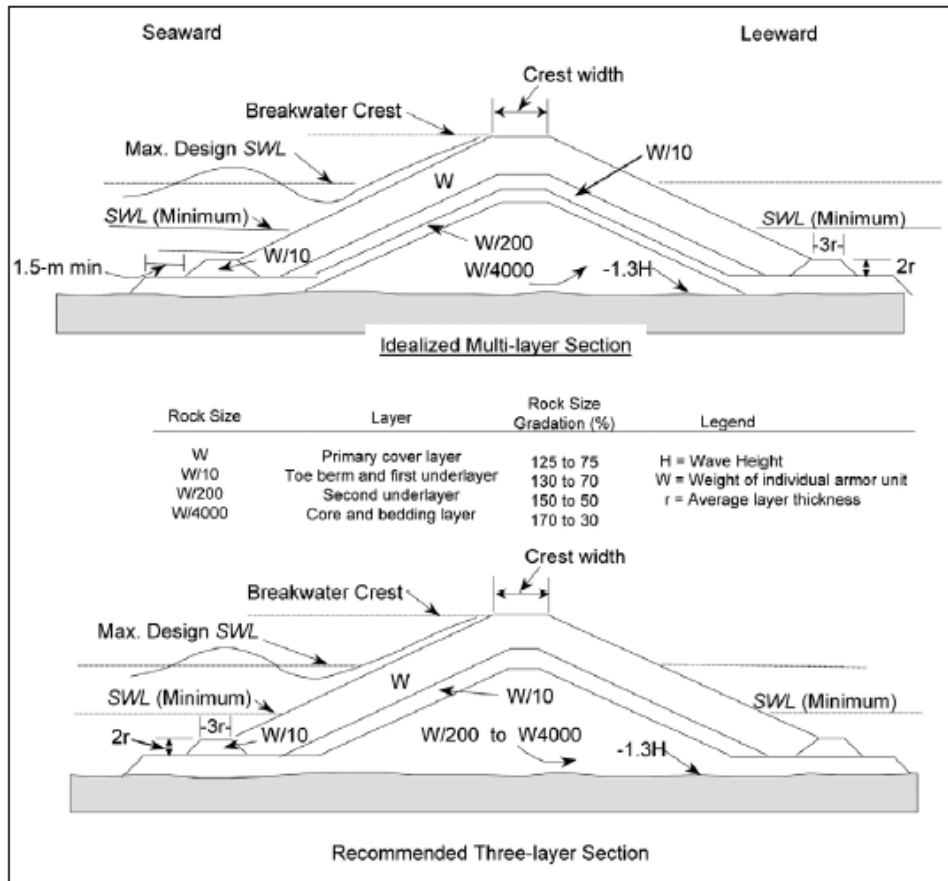


Figura 13- 8: Peso de los elementos de los filtros

Fuente: Shore Protection Manual (1984)