



Memoria del proyecto para optar al Título de  
Ingeniero Civil Oceánico

**MEJORAMIENTO DEL BORDE COSTERO**  
**APLICACIÓN A PLAYA SAN MATEO**

**FRANCISCO ANDRÉS MOLTENI PEREZ**

Mayo 2014

**MEJORAMIENTO BORDE COSTERO, APLICACIÓN PLAYA SAN MATEO**

Francisco Andrés Molteni Pérez

**COMISIÓN REVISORA**

**NOTA**

**FIRMA**

Matías Quezada Labra  
Profesor guía

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Carlos Cárdenas Martínez  
Docente

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Hernán Vergara Cortés  
Docente

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

### **DECLARACIÓN**

*Este trabajo, o alguna de sus partes, no han sido presentados 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.*

Matías Quezada Labra.  
Profesor Guía.

Francisco Molteni Pérez.  
Alumno Memorista.

Dedicatoria:

A mi tata, padre y amigo, quien fue capaz de demostrarme lo importante que es disfrutar la vida, donde quiera que estés te necesito y te extraño mucho, gracias por todo, te amo, me hubiese encantado celebrar esto junto a tí. A mi abuela, por la fuerza y entereza mostrada y sus incansables regaloneos, a mi madre, por como luchas cada día, por haberme aguantado tanto tiempo y haberme entregado tu apoyo incondicional durante todas las decisiones que he tomado, a mis tías y tíos, por ayudarme en los momentos que los necesité, a mis hermanas por estar a mi lado y al Lucas, por alegrarme la vida.

## **AGRADECIMIENTOS**

En este documento, quiero expresar mis agradecimientos a las siguientes personas, que de una u otra manera contribuyeron en esta tarea.

Andrea Donoso: por su ayuda desinteresada, consejos y por todas esas conversaciones que me hicieron encontrar nuevos rumbos tanto en la elaboración de este documento como en la vida que me hace sentir una amistad incondicional demostrada a lo largo de estos años.

Iván Rojas: por entregarme parte de su tiempo para poder abastecerme de conocimientos en los diferentes temas tratados a lo largo de mi etapa de estudiante y de memorista.

Claudio Benito: por esas interminables tardes de cervezas, discusiones, risas y penas. Gracias por tu apoyo y la confianza entregada.

Leonardo Rodríguez: por los consejos, discusiones realizadas en base a este documento y la confianza depositada en mí.

Carlos Cárdenas: por la facilitación de información para complementar el desarrollo del proyecto presentado y su amistad incondicional a lo largo de todos estos años

Carlo Soto: por su amistad, compañerismo y apoyo a lo largo de esta etapa.

Desmar Ltda: por la entrega de información de manera desinteresada.

A todos mis compañeros con los cuales compartí momentos realmente inolvidables a lo largo de mi carrera, Felipe Rifo, José Cisternas, Pablo González, Juan Carlos Mercado (QEPD), Cindy Bernal, Celeste Bunster, Pía Monreal, Paz Caamaño, Soledad Hidalgo, etc.

Por último no puedo dejar de agradecer a mi profesor guía Matías Quezada Labra, quien en todo momento se mostró disponible para poder atender y resolver mis dudas, por muy pequeñas que estas fueran, y nunca se hizo el desentendido con el compromiso que adquirió desde el momento que empezamos a desarrollar este proyecto.

## CONTENIDOS

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>2. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>3</b>
2.1 OLEAJE.....	3
2.1.1 GENERACIÓN DE OLEAJE.....	3
2.1.2 CARACTERIZACIÓN DEL OLEAJE .....	4
2.1.2.1 Análisis Estadístico .....	4
2.1.2.2 Análisis Espectral.....	5
2.1.3 PROPAGACIÓN.....	7
2.1.4 MODELOS DE PROPAGACIÓN.....	9
2.2 EVOLUCIÓN DE PLAYAS.....	10
2.2.1 GENERALIDADES .....	10
2.2.2 MODELOS DE EVOLUCIÓN MORFODINÁMICA DE PLAYAS.....	10
2.2.3 ESTADOS MORFODINÁMICOS DE EVOLUCIÓN DE PLAYAS MICROMAREALES.....	11
2.3 PROYECCIÓN DE LA PLAYA ARTIFICIAL.....	15
2.3.1 EVOLUCIÓN A CORTO PLAZO.....	16
2.3.2 EVOLUCIÓN A LARGO PLAZO.....	16
2.3.2.1 Ajustes Logarítmicos.....	17
2.3.2.2 Ajustes Parabólicos.....	19
2.3.2.3 Aplicaciones de diseño para Groins and Jetties.....	22
2.4 CRITERIOS DE VALORACIÓN DE UNA PLAYA .....	24
2.4.1 COMO DEFENSA COSTERA.....	24
2.4.2 HÁBITAT DE FLORA Y FAUNA.....	25
2.4.3 USO LÚDICO HUMANO.....	25
2.5 ALGUNOS EJEMPLOS EN CHILE.....	27
<b>3. OBJETIVOS</b> .....	<b>30</b>
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	30
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	30

<b>4. CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO.....</b>	<b>31</b>
4.1 CONDICIONES ACTUALES DE SAN MATEO.....	31
4.1.1 BATIMETRÍA.....	31
4.1.2 MAREAS.....	32
4.1.3 OLEAJE.....	34
4.1.3.1 Clima de Oleaje en Aguas Profundas.....	34
4.1.3.2 Propagación del Oleaje.....	37
4.1.3.3 Clima de oleaje operacional.....	41
4.1.4 MORFOLOGÍA COSTERA.....	43
4.1.4.1 Estudios Granulométricos.....	44
4.1.4.2 Análisis Estadístico.....	45
4.1.4.3 Transporte de Sedimentos.....	49
4.1.4.4 Determinación de la zona activa.....	52
4.1.4.5 Determinación de la profundidad de cierre.....	53
4.1.5 VALORACIÓN DEL SECTOR.....	55
4.1.5.1 Como defensa costera.....	55
4.1.5.2 Uso lúdico humano.....	56
4.2 PROYECTO DE MEJORAMIENTO DE PLAYA.....	57
4.2.1 FORMULACIÓN SELECCIONADA PARA LA GENERACION DE LA PLAYA.....	57
4.2.2 DESCRIPCIÓN DEL LAYOUT PROPUESTO.....	58
4.2.2.1 Funcionamiento hidráulico rompeolas disipantes.....	59
4.2.3 AGITACIÓN EN LA ZONA DE BAÑO.....	61
4.2.3.1 Resultados.....	62
4.2.4 EVOLUCIÓN AL CORTO PLAZO.....	68
4.2.4.1 Resultados.....	69
4.2.5 EVOLUCIÓN AL LARGO PLAZO.....	73
4.2.5.1 Planta de equilibrio.....	74
4.2.5.2 Perfil de equilibrio.....	76
4.2.5.3 Determinación del perfil de relleno.....	79
4.2.5.4 Condición de baño seguro.....	80
4.2.5.5 Uso lúdico humano.....	81
4.2.6 PREDISEÑO DE LAS OBRAS.....	82
<b>5. CONCLUSIONES.....</b>	<b>84</b>
<b>6. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>87</b>
<b>7. REFERENCIAS.....</b>	<b>88</b>

### LISTA DE TABLAS

Tabla 4-1: Valores armónicos de la serie de marea. ....	33
Tabla 4-2: Tabla de incidencia y ocurrencia Hmo v/s Dir.....	35
Tabla 4-3: Tabla de incidencia y ocurrencia Tpk v/s Dir. ....	35
Tabla 4-4: Tabla de incidencia Altura vs Dirección en el punto de extracción.....	41
Tabla 4-5: Tabla de incidencia Período vs Dirección en el punto de extracción.....	42
Tabla 4-6: Horario de la toma de muestras.....	44
Tabla 4-7: Peso retenido y porcentaje pasante en la zona sumergida.....	46
Tabla 4-8: Diámetros relevantes en la zona sumergida.....	47
Tabla 4-9: Transporte Longitudinal año 2000. ....	50
Tabla 4-10: Transporte longitudinal año 2000 a 2004 .....	50
Tabla 4-11: Casos a modelar.....	61
Tabla 4-12: Alturas de ola obtenidas en los puntos de extracción, Caso 1. ....	63
Tabla 4-13: Alturas de ola obtenidas en los puntos de extracción, Caso 2 .....	64
Tabla 4-14: Alturas de ola obtenidas en los puntos de extracción, Caso 3 .....	65
Tabla 4-15: Alturas seleccionadas para el análisis morfodinámico. ....	68

### LISTA DE FIGURAS

Figura 1-1: Playa San Mateo, Valparaíso. ....	1
Figura 2-1: Capacidades de los Modelos Parabólicos, Elípticos e Hiperbólicos .....	9
Figura 2-2 Disipativa .....	12
Figura 2-3: Barra longitudinal y seno .....	12
Figura 2-4: Barra y playa rítmicas .....	12
Figura 2-5: Barra transversal y corriente de retorno .....	13
Figura 2-6: Barra canaleta o terraza de baja mar .....	13
Figura 2-7: Reflejante.....	13
Figura 2-8: Escalas de cambios morfológicos en playas.....	15
Figura 2-9: Representación de la curva espiral logarítmica.....	17
Figura 2-10: Ángulo característico e indentation ratio propuesto para distintos valores del ángulo de incidencia del oleaje.....	18
Figura 2-11: Esquema de representación de la curva descrita en los ajustes parabólicos ....	19
Figura 2-12: Hsu-Evans (1989). Correlación entre coeficientes y ángulo de incidencia del oleaje. ....	20
Figura 2-13: Relación entre las variables $\beta$ y $R_0$ usadas en Hsu-Evans (1989) y variables $\alpha_{min}$ e $Y$ necesarias para la determinación del punto de control $P_0$ . ....	21
Figura 2-14: Aplicaciones en Proyectos Reales, Kevin Bodge .....	23
Figura 2-15: Playa Covadonga, Antofagasta Chile. ....	27
Figura 2-16: Playa Trocadero, Antofagasta Chile. ....	27
Figura 2-17: Playa Paraíso, Antofagasta Chile. ....	28
Figura 2-18: Balneario Municipal, Antofagasta Chile.....	28
Figura 2-19: Playa El Laucho, Arica Chile. ....	29
Figura 2-20: Playa Carboncillo, Antofagasta Chile. ....	29
Figura 4-1: Superposición de cartas náuticas.....	31
Figura 4-2: Registro de mareas. ....	32
Figura 4-3: Ubicación de los puntos de validación.....	34
Figura 4-4: Rosa de oleaje, Aguas profundas.....	36

Figura 4-5: Nodo de extracción de coeficientes.....	37
Figura 4-6: Grillas utilizadas en la transferencia de oleaje, STWAVE. ....	38
Figura 4-7: Coeficientes de altura de ola en el punto de extracción. ....	39
Figura 4-8: Coeficientes de dirección del oleaje en el punto de extracción. ....	39
Figura 4-9: Rosa de incidencia del oleaje en el punto de extracción.....	42
Figura 4-10: Distribución de playas en las ciudades de Viña del mar y Valparaíso. ....	43
Figura 4-11: Posicionamiento de las muestras de sedimentos.....	44
Figura 4-12: Clasificación sedimentológica de la muestra total. ....	45
Figura 4-13: Curva granulométrica, zona sumergida.....	46
Figura 4-14: Clasificación granulométrica.....	47
Figura 4-15: Presencia de guijarros en playa San Mateo. ....	48
Figura 4-16: Distribución Transversal del LST Neto año 2000. ....	51
Figura 4-17: Distribución Transversal del LST Neto año 2000 a 2004. ....	51
Figura 4-18: Ciclos de una playa. ....	53
Figura 4-19: Avenida Altamirano, después de la remodelación.....	55
Figura 4-20: Playa San mateo, un día sin mucha concurrencia. ....	56
Figura 4-21: Aplicaciones en Proyectos Reales, Kevin Bodge.....	57
Figura 4-22: Layout propuesto para la mejora de Playa San Mateo.....	58
Figura 4-23: Estructuras del layout ingresadas para la agitación en la zona.....	61
Figura 4-24: Puntos de extracción de la propagación de oleaje. ....	62
Figura 4-25: Modelación realizada para las condiciones descritas en el caso 1. ....	63
Figura 4-26: Modelación realizada para las condiciones descritas en el caso 2. ....	64
Figura 4-27: Modelación realizada para las condiciones descritas en el caso 3. ....	65
Figura 4-28: Altura Significativa en los puntos de extracción, Veril 3 metros. ....	66
Figura 4-29: Altura significativa en los puntos de extracción, Veril 5 metros.....	66
Figura 4-30: Análisis del comportamiento del Layout propuesto, Caso 1.....	69
Figura 4-31: Análisis del comportamiento del Layout propuesto, Caso 2.....	70
Figura 4-32: Análisis del comportamiento del Layout propuesto, Caso 3.....	71
Figura 4-33: Metodología de elaboración Layout propuesto.....	74
Figura 4-34: Crecimiento del área de solana.....	75
Figura 4-35: Perfil seleccionado a analizar.....	76
Figura 4-36: zonas de Difracción Refracción.....	77
Figura 4-37: Perfiles de equilibrio analizados. ....	78
Figura 4-38: Superposición del perfil seleccionado. ....	79
Figura 4-39: Estimación de condiciones para el baño seguro. ....	80
Figura 4-40: Prediseño del rompeolas.....	83

## **RESUMEN**

El mejoramiento del borde costero en las zonas de alta concurrencia de turistas, es uno de los mayores propósitos de los gobiernos regionales a lo largo del país. La quinta región, es una de las franjas litorales que más ha enfocado la visión en este tema, ya sea con paseos remodelados, habilitación de servicios en las playas y por sobre todo información de los riesgos que existen en el sector.

Las condiciones de baño en las playas del litoral son riesgosas, por lo que tratar de mejorar las condiciones en éstas, pueden ser un gran paso en el enfoque de seguridad a exponer.

En el litoral central, la utilización de técnicas para le regeneración de playas mediante características artificiales no ha sido uno de los principales planes de conservación del frente costero, sin embargo, en el norte de nuestro país es donde se han realizado a lo menos dos estudios de playas artificiales en el sector de La Chimba y LLacolén, realizado por Escondida en el año 2010, tres establecidas como Balneario Paraíso, Balneario municipal y Trocadero, en Antofagasta y en Tocopilla la playa Covadonga en la Segunda Región de Antofagasta, las cuales han activado el turismo en la región.

En Valparaíso solo existen cuatro playas de las cuales una está habilitada para el baño, Playa Torpederas. En base a ésta problemática es que nace la inquietud de generar alguna alternativa que brinde un nuevo espacio de uso lúdico con áreas de solana y condiciones favorables para el baño

## **1. INTRODUCCIÓN**

En la quinta región de Valparaíso, existe una totalidad de 36 playas, de las cuales 19 son aptas para tomar sol y tan solo 5 habilitadas para el baño. Éstas últimas son: La Torpederas, Caleta Abarca, Las Salinas, Los Lilenes y Playa Amarilla. El resto son consideradas como peligrosas.

Es una de las cuatro playas que posee la ciudad de Valparaíso y fue generada mediante el vertimiento de escombros por parte de la Ilustre Municipalidad de Valparaíso a fines de la década de los sesenta. Este sector es utilizado ocasionalmente por la Armada de Chile para la ejecución de ejercicios de adiestramiento, desembarco de tropas, vehículos anfibios y terrestres. También se realizan ejercicios de inmersión tanto por personal de la Armada como escuelas particulares que practican buceo.

La playa San Mateo es considerada como del tipo encajada, debido a que hacia el NNE se encuentra el arranque del Molo de Abrigo del Puerto de Valparaíso, y hacia el SW existe un muro vertical que sostiene a la Avda. Altamirano, la cual conecta el centro antiguo de Valparaíso con el Cerro Playa Ancha.

**Figura 1-1: Playa San Mateo, Valparaíso.**



Fuente: Google Earth.

Ésta playa, según las resoluciones entregadas anualmente por la Capitanía de puerto del sector, no es considerada apta para el baño, aún con la protección natural que le entrega el sector de Punta Ángeles de la interacción con el oleaje reinante proveniente del SW.

Es una playa de uso popular en las épocas de verano y aunque es bastante concurrida, no es ampliamente utilizada debido a que su área de solana es restringida y tiene gran presencia de guijarros o bolones, lo cual no presenta confortabilidad al usuario.

Este trabajo constituye una propuesta cuyo objetivo es realizar un mejoramiento del sector, considerando principalmente el comportamiento de la morfodinámica de la playa, para generar un incremento en el área de solana actual de la playa, la cual abarca desde el sector donde se une la construcción del muro de contención de la Avda. Altamirano con el sedimento, hasta la línea de agua, y si caso fuese o no necesario el análisis de estructuras de disipación de energía en el sector, para poder asegurar una condición de baño calmo.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1 OLEAJE**

#### **2.1.1 GENERACIÓN DE OLEAJE**

Las olas son generadas en su mayoría por la acción del viento, siendo los factores que las generan la velocidad y duración de éste, así como también el largo del área donde sopla, el que es denominado *fetch*. La conjugación de todos estos parámetros, definirán las características del oleaje para una determinada localidad.

Para el caso particular de Chile, las olas que arriban a la costa pueden ser:

- **Olas generadas en el lugar:** son aquellas levantadas por los vientos locales en zonas cercanas a la costa. Se caracterizan por tener períodos del orden de 4 a 10 segundos, y se les llama “sea” u olas de marejadas debido a que son generadas por tormentas locales.
- **Olas de mar de fondo del hemisferio sur u olas swell:** son generadas por ciclones extra tropicales en latitudes altas del hemisferio sur, en particular los que circunnavegan el círculo polar. Estas olas pueden manifestarse en nuestras costas con alturas muy grandes, especialmente en los meses de invierno. Se propagan hacia toda la costa chilena con una disminución de la altura y un aumento del período. Los períodos característicos de este oleaje son del orden de los 10 y 16 segundos. La denominación de “swell” se debe a que son generadas por tormentas lejanas, que transfieren energía a la superficie del agua.
- **El swell del hemisferio norte:** se genera de la misma forma que los provenientes del sur. Estas olas se generan en las cercanías de las islas Aleutianas durante el período de verano en Sudamérica. Se propagan hacia el sur por 15.000 km, hasta las costas de Chile. Los períodos característicos de estas olas se denominan “períodos largos” y sus valores fluctúan entre 20 y 25 segundos.

## 2.1.2 CARACTERIZACIÓN DEL OLAJE

Los métodos para caracterizar el oleaje se dividen en el método estadístico temporal y el método espectral.

El análisis estadístico temporal utiliza el método de cruces por cero, para así poder separar cada ola del tren que se ha medido. Este tren, de longitud finita, es un conjunto de oscilaciones medidas en un lapso determinado de tiempo y representa un estado de mar. Con este análisis se pueden identificar las distribuciones de probabilidad de las características predominantes del oleaje como la altura y el período de la ola, estando fuera del alcance la dirección.

Por otro lado, dado que el oleaje es una señal compleja, puede analizarse como un espectro de energía de diferentes frecuencias y así, estimar sus características. Para este análisis se hace uso del concepto de transformada de Fourier.

De manera general se revisarán ambas metodologías de análisis del oleaje, siendo descritos a continuación.

### 2.1.2.1 Análisis Estadístico

Los métodos estadísticos analizan la probabilidad de que una altura de ola se presente o sea excedida. Para la mayoría de los análisis a realizar en la ingeniería marítima, solo se necesita una descripción en base a parámetros básicos como altura y período de la ola.

La metodología para obtener una caracterización estadística del oleaje, se puede resumir de la siguiente manera:

- Se fija un criterio para definir las olas sucesivas de un registro. Dos de los criterios más utilizados son: el método de cruces por cero, el cual establece un nivel de referencia cero y considera una ola que existe entre dos pasos ascendentes por esta referencia, y de método de cresta a cresta, método que define una ola como la que está situada entre dos crestas sucesivas.
- Determinar las distribuciones estadísticas de parámetros de oleaje ligados a la altura y período de ola, siendo la distribución Rayleigh y los períodos al cuadrado las distribuciones para los parámetros de interés.

$$F(H) = 1 - \exp\left(-2\left(\frac{H}{H_s}\right)^2\right) \quad (2.1-1)$$

- Establecer relaciones entre distribuciones estadísticas consideradas y la descripción espectral del mismo oleaje.

Por lo tanto, la representación más común a nivel estadístico del oleaje son los parámetros de resumen, los cuales caracterizan el oleaje con tres componentes, altura significativa del oleaje ( $H_s$ ), período peak de energía ( $T_p$ ) y dirección promedio de energía ( $D_{mw}$ ). Nótese que ésta última característica del oleaje, no se puede estimar desde un análisis estadístico.

### 2.1.2.2 Análisis Espectral

El espectro es la descripción gráfica de la curva que representa la energía y frecuencia de un oleaje, éstos vienen de la descomposición del anterior en una serie de senoides perfectas. Cada espectro se puede expresar como la energía contenida en cada una de las ondas monocromáticas que forman la acción frecuencial en función de sus distintas frecuencias, valga la redundancia, y de sus direcciones de propagación.

Un espectro real, se obtiene de la medición de desnivelaciones instantáneas mediante el análisis de Fourier. En el caso que no se posea información de este tipo se crean los espectros sintéticos, los cuales son una aproximación matemática a los fenómenos reales y se ven representados solo por información de la altura de ola y periodo.

Existen variados tipos de espectros sintéticos para la propagación del oleaje, Jonswap, TMA, P-M, ITTC Y OCHI HUBBLE. En el caso bidimensional se especifica de manera adicional la densidad de energía como una distribución de frecuencia y dirección, que usualmente es considerada de manera gaussiana o mediante potencias de cosenos.

El espectro de onda incidente se puede definir utilizando espectros bidimensionales medidos, o a través de la utilización de formas paramétricas o bien calculados por modelos de escala global (o regional) de oleaje. A los paramétricos se les suma una función de dispersión de dirección y pueden ser definidos a partir de datos de altura del oleaje, períodos y dirección.

Para el desarrollo de esta problemática el espectro a utilizar es el TMA. Este fue deducido por los investigadores Bows, Rosenthal y Vincent en el año 1985. Posee relación con la profundidad del agua, por lo que se puede utilizar para determinar los cambios que sufre al propagarse en aguas someras.

El espectro TMA está definido a partir de las características de JONSWAP, lo cual se ilustra en las siguientes ecuaciones:

$$S_{TMA} = S_J(f)\phi_k(\omega_H) \quad (2.1-2)$$

$$\phi_k(\omega_H) = tgh^2(kh)[1 + (2kh) / senh(2kh)] \quad (2.1-3)$$

De donde k se evalúa de la ecuación de la dispersión:

$$(2\pi f)^2 = gk \cdot tgh(kh) \quad (2.1-4)$$

Se infiere de la ecuación 2.1-4 que dentro de  $\phi_k$  se encuentran implícitos varios efectos de aguas someras tales como la fricción de fondo, la refracción y la rompiente.

### 2.1.2.2.1 Características de los espectros

La densidad espectral es definida como la distribución de energía de las ondas a través de sus distintas frecuencias, por lo que la integral en el complemento del dominio del espectro, determina la energía total del oleaje observado, ésta se define como S(f).

$$E_{Total} = \int_0^{\infty} S(f)df = m_0 \quad (2.1-5)$$

En base a la densidad del espectro, se determinan los momentos espectrales, los cuales están relacionados con los valores esperados de las derivadas respecto al tiempo del proceso. En base a esto, el momento de orden i será:

$$m_i = \int_0^{\infty} f_i S(f, \theta)df d\theta \quad (2.1-6)$$

$$m_0 = \int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} S(f, \theta)df d\theta$$

Altura significativa  
(espectral)

$$H_{m0} = 4\sqrt{m_0} \quad (2.1-7)$$

Período Peak (espectral).

$$T_p = \frac{1}{f_p} \quad (2.1-8)$$

Período energético  
(espectral).

$$T_e = \frac{m_{-1}}{m_0} \quad (2.1-9)$$

Período medio (espectral)

$$T_m = \frac{m_0}{m_1} \quad (2.1-10)$$

Período de cruces  
descendientes por cero  
(espectral)

$$T_2 = \sqrt{\frac{m_0}{m_2}} \quad (2.1-11)$$

: Dirección media  
(espectral).

$$Dir_{media} = \frac{\sum S(f, \theta) \cdot Dir}{\sum S(f, \theta)} \quad (2.1-12)$$

Dirección Peak, asociada a  
la densidad espectral  
máxima

$$Dpk \quad (2.1-13)$$

Nicolau del Roure (2004) define los parámetros de resumen de la siguiente forma:

*“Altura significativa de ola (H<sub>s</sub>): existen dos parámetros comúnmente utilizados para describir la altura significativa de ola. Un parámetro es H<sub>1/3</sub>, el cual se determina haciendo un “análisis de cruce del eje cero de las olas”, a través de una serie temporal del tren de olas y equivale al promedio del tercio superior de las alturas de las olas. El otro es H<sub>m0</sub>, el cual se determina considerando el espectro de energía de ola, y se calcula por medio de la siguiente fórmula:*

$$H_{m0} = 4\sqrt{A} \quad (2.1-14)$$

Donde,

$H_{m0}$ : Altura significativa de ola, asociada al momento cero del espectro de energía.

A: Área bajo la curva del espectro.

Tanto  $H_{m0}$  como  $H_{1/3}$  son estimaciones de la altura significativa de ola, sin embargo, sus determinaciones obedecen a criterios diferentes y en la actualidad el parámetro  $H_{m0}$ , basado en la energía del oleaje, es reconocido dentro del ámbito de ingeniería costera como el parámetro apropiado para estimar la altura significativa (Atria Baird Consultores, 2001).

Período peak de energía ( $T_p$ ): El período peak ( $T_p$ ) del oleaje asociado a un espectro de energía, ya sea el espectro 2D o 1D, es el periodo con que se propagan las olas que tienen la mayor energía.

Dirección promedio del oleaje (MWD) La dirección promedio de la energía (MWD), que se extrae de un espectro 2D, es la dirección resultante de promediar la energía total del espectro en una sola dirección”.

### 2.1.3 PROPAGACIÓN

El oleaje a medida que se propaga hacia la costa, ve afectada su trayectoria por diferentes fenómenos, los cuales hacen que vaya disipando su energía a lo largo del trayecto. Van Rijn (1993) los define de la siguiente forma:

- **Refracción:** deflexión de la dirección de la ola debido a cambios de velocidad en la propagación a lo largo de la cresta de la ola, inducido por cambios en la profundidad y velocidad de las corrientes costeras.
- **Difracción:** transferencia de energía de la ola debido a diferencias espaciales en la altura de la ola, principalmente perpendicular a la dirección de propagación.
- **Reflexión:** cambio en la dirección y altura de la ola debido a obstáculos.
- **Shoaling:** cambio en la altura de la ola como resultado de cambios en la profundidad del agua.
- **Disipación:** disminución de la altura de la ola debido a la fricción con el fondo y por el rompimiento de la ola.
- **Generación:** aumento de la altura de ola debido a la fuerza del viento sobre la superficie del agua.
- **Interacción ola-ola:** interacción de las olas que provienen de distintas direcciones.

Nicolau del Roure (2004), presentó en su trabajo de título, metodologías de transferencia de oleaje desde aguas profundas hacia aguas someras propuestas por la US Army Corps of Engineers (1999), las cuales se describen a continuación:

- **Transferencia por medio de parámetros de resumen:** Para la aplicación de este método solo se necesita conocer la altura significativa de la ola ( $H_{m0}$ ), el período peak ( $T_p$ ) y la dirección promedio de la energía del oleaje (MWD). Estos datos se obtienen del colapso de toda la información de un clima de oleaje en una sola ola característica. Los parámetros anteriormente mencionados se transfieren mediante metodologías de cálculo simple o modelos numéricos, para luego obtener las características de altura ( $H_{m0}$ ) y dirección (MWD) de las olas en aguas someras.
- **Transferencia por medio del espectro 1D de energía:** Se distinguen dos métodos de transferencia mediante la utilización del espectro 1D de energía. El primer método es similar a la transferencia por medio de parámetros de resumen, ya que del espectro de energía se obtiene la altura significativa. El período utilizado para el cálculo es el período peak ( $T_p$ ), que es donde el espectro tiene la mayor energía. El segundo método se basa en el balance de energía de las olas. Para la aplicación de los modelos numéricos que permiten resolver las ecuaciones de transferencia se necesitan: las características del relieve del fondo del mar hacia donde se desea transferir el oleaje, el espectro de energía del oleaje en aguas profundas y la discretización que se desea aplicar (grilla). Luego, se resuelven las ecuaciones de propagación del oleaje por medio de aproximaciones numéricas en un espacio discreto. Generalmente se recurre al método de diferencias finitas. Algunos modelos pueden incorporar fricción de fondo, percolación y obstáculos. De igual forma a la metodología anterior, este método colapsa la información de la dirección en el MWD.
- **Transferencia por medio del espectro 2D (direccional) de energía:** La aplicación de este método se realiza mediante la transferencia del espectro direccional del oleaje, desde aguas profundas hacia aguas someras. La resolución de este método es similar al del espectro de una dimensión, pero se le agrega la variable de dirección, considerando cada dirección de cada ola del clima de olas individualmente. Este tipo de transferencia simula la interacción ola-ola.”

## 2.1.4 MODELOS DE PROPAGACIÓN

Los modelos de propagación, son herramientas utilizadas para poder simular de una mejor manera los fenómenos que se presentan a medida que el oleaje se propaga desde aguas profundas hacia aguas someras, considerando en muchas ocasiones batimetrías complejas.

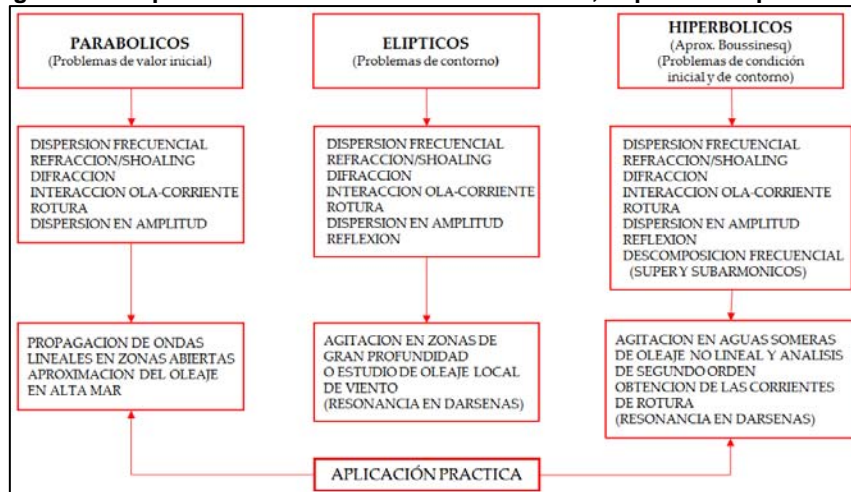
En la actualidad existen diferentes modelos que se utilizan para la transferencia del oleaje de aguas profundas a los sitios de interés que se desean analizar. Éstos se dividen en dos grandes grupos, los que resuelven la fase (MRF) y los que promedian la fase (MPF).

Los modelos que promedian la fase (MPF), son utilizados para simular el oleaje de variación lenta, debido a que realizan un balance de energía espectral y así logran simular de mejor manera la generación de oleaje por viento, ya que la variación en las propiedades de éste son mínimas.

Los modelos que resuelven la fase (MRF), desarrollan las ecuaciones que describen el estado inmediato del movimiento de la ola en el dominio de la frecuencia y el tiempo, debido a que realizan un balance de momento y consideran el flujo de masa. En base a esto es que son capaces de obtener de manera muy aproximada una respuesta real de los efectos de difracción y de la interacción ola-ola.

En la ilustración se puede apreciar las diferencias que existen entre los diferentes tipos de modelos que existen en la actualidad para la propagación del oleaje.

**Figura 2-1: Capacidades de los Modelos Parabólicos, Elípticos e Hiperbólicos**



Fuente: COI515 – Modelación Hidráulica: Modelos de Transferencia de oleaje, Quezada Labra, Matias (2009).

## 2.2 EVOLUCIÓN DE PLAYAS

### 2.2.1 GENERALIDADES

Desde un punto de vista de la ingeniería de costas, las playas son estructuras altamente flexibles, que se deforman en respuesta a la acción de causas naturales, como el oleaje y el viento, o por la actividad humana. La arena componente no siempre queda aislada en la misma sino que forma parte del balance sedimentario litoral, con frecuencia asociado a escalas de espacio y tiempo muy superiores a las correspondientes al tramo de playa que se pretende estudiar.

Dado el carácter aleatorio del clima, el comportamiento de una playa sólo puede ser analizado de una forma estadística. Aunque fuera posible determinar la secuencia exacta de eventos climáticos que se producirán en una playa, los modelos de evolución de playas existentes en la actualidad sólo son válidos para determinados rangos de las escalas de espacio y tiempo.

Por ello, no es posible determinar el largo plazo de una playa ante una determinada secuencia climática mediante la aplicación de ella a los modelos de evolución a corto plazo.

Para resolver los inconvenientes anteriores, se emplean modelos de “equilibrio”, que analizan el comportamiento de la playa ante eventos normales, medios o extremos. El conocimiento de estos estados, facilita una herramienta para la predicción de la evolución de la playa. Sin embargo, estos modelos idealizan la realidad, por lo que una parte importante de la información sobre la variabilidad de la playa se pierde. Por ello, todos los estudios realizados deben ir acompañados de campañas de medición de datos que faciliten información sobre lo realizado en la modelación y permitan mejorar los análisis realizados con los modelos predictivos en todas las escalas.

### 2.2.2 MODELOS DE EVOLUCIÓN MORFODINÁMICA DE PLAYAS.

Los modelos de evolución morfodinámica de playas tratan de determinar la relación existente entre la morfología tridimensional de ésta con la dinámica del oleaje y el tipo de sedimento. Las distintas formas que poseen se concretan mediante una serie de estados tipos, mientras que las últimas se componen mediante uno o varios parámetros adimensionales. Ellas, están basadas en la conservación y ordenación de los diferentes estados de playa, permitiendo predecir la distribución que puedan tener, conocida la estructuración de las acciones del oleaje y de los sedimentos. Así mismo, facilitan una herramienta para evaluar de una manera aproximada, la dirección e intensidad de los cambios de un estado cuando varían las condiciones del oleaje.

En 1979, se presenta por primera vez un modelo de evolución morfológica, Wright *et al.* y Short, el cual contiene una secuencia de evolución disipativa-reflejante-disipativa de una playa, la cual se divide en diez estados, de los cuales cuatro pertenecen a la fase de crecimiento (entre disipativa y reflejante) y cuatro en la etapa de degradación (entre reflejante y disipativa), junto con los dos extremos de equilibrio, reflejante de máximo crecimiento y disipativo de máxima erosión.

Éstos ven reflejado el comportamiento completo, incluyendo el área de solana, la zona intermareal y la sumergida, relacionando las variaciones de oleaje existentes en el lugar.

En 1984 Wright *et al* y Short realizaron una síntesis de su modelo, incorporando una nomenclatura común para aquellas del tipo micromareales. Como novedad, presentaron el concepto de “Característica dinámica del estado de playa” y definieron el concepto de “Estado Modal”. Por último, determinaron los factores ambientales que definen el estado modal y analizaron la variabilidad temporal de los estados y perfiles de éstas. En la misma línea, Wright *et al.* (1985) presentaron un modelo para definir las condiciones de equilibrio (dependientes del oleaje y el tamaño del grano) correspondientes a cada fase y la dirección de la evolución cuando las condiciones son variables.

### 2.2.3 ESTADOS MORFODINÁMICOS DE EVOLUCIÓN DE PLAYAS MICROMAREALES.

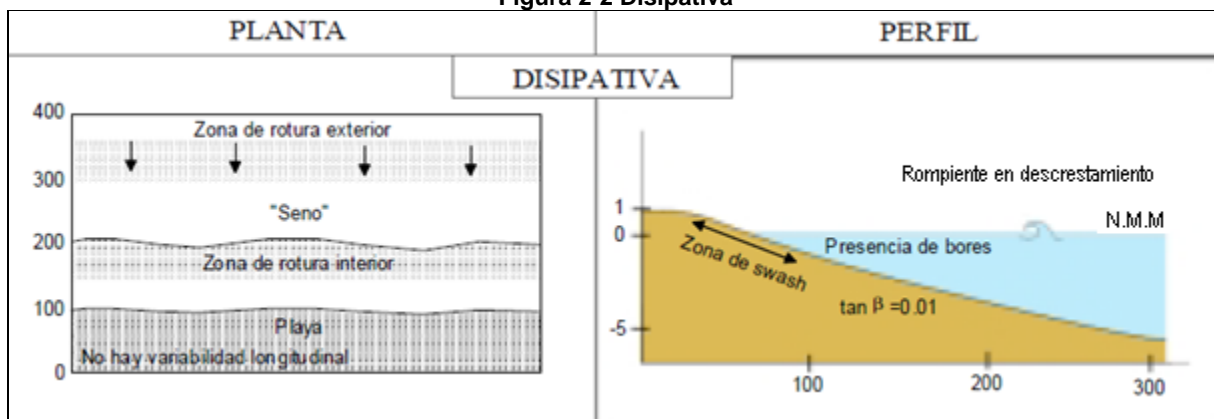
La zona de rompientes de las playas se encuentra siempre en constante cambio, modificándose en el tiempo y en el espacio debido a las condiciones variables del oleaje, las que son temporales y espaciales, e involucran cambios en la morfodinámica, debido al acoplamiento entre la hidrodinámica y la forma de ésta. La aproximación morfodinámica al análisis del comportamiento de las playas intenta dar una visión global de las formas y procesos hidrodinámicos, indicando la secuencia de formas y procesos y la velocidad de los cambios.

Wright *et al* y Short (1984), analizando una gran variedad de playas en Australia, llegaron a las siguientes generalizaciones:

1. Dependiendo de las condiciones ambientales locales, sedimentos y de oleaje, las playas pueden presentar seis diferentes estados: disipativas, reflejantes y cuatro estados intermedios.
2. Cada estado distribuye la energía incidente del oleaje a lo largo de la playa de forma característica, de manera que el reparto de ésta entre las ondas incidentes, ondas sub-armónicas, ondas infra gravitatorias y corrientes medias es propio de cada estado.
3. Los mecanismos reales que causan el cambio de la playa y la energía requerida para ese cambio, dependen del estado de ésta.
4. La morfología de cada estado de playa genera en parte la hidrodinámica que lo mantiene, por lo que existe una cierta resistencia al cambio de estado.

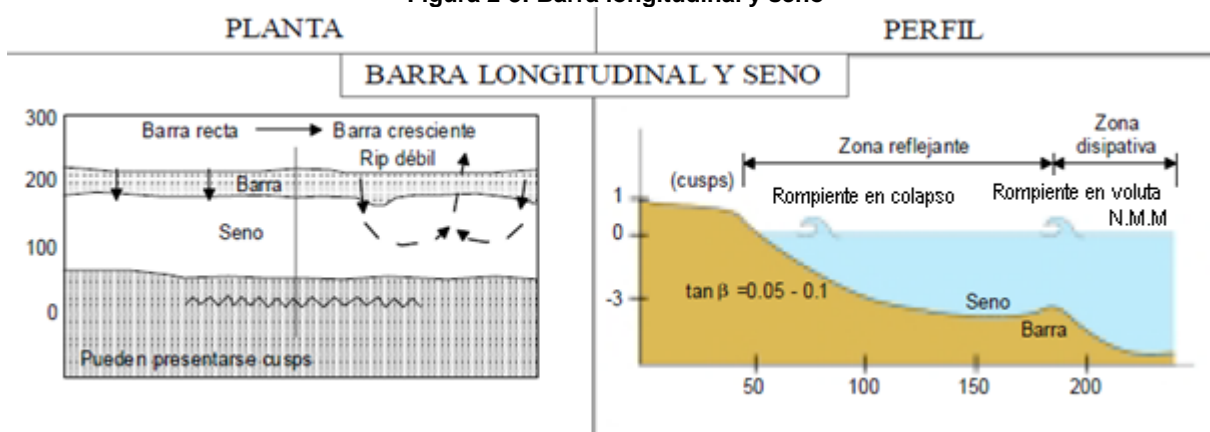
En base a los estudios realizados anteriormente, Wright *et al.* y Short (1994) permitieron definir y ordenar una secuencia de 4 estados de playa intermedios. De esta manera, la secuencia completa se describe a continuación:

Figura 2-2 Disipativa



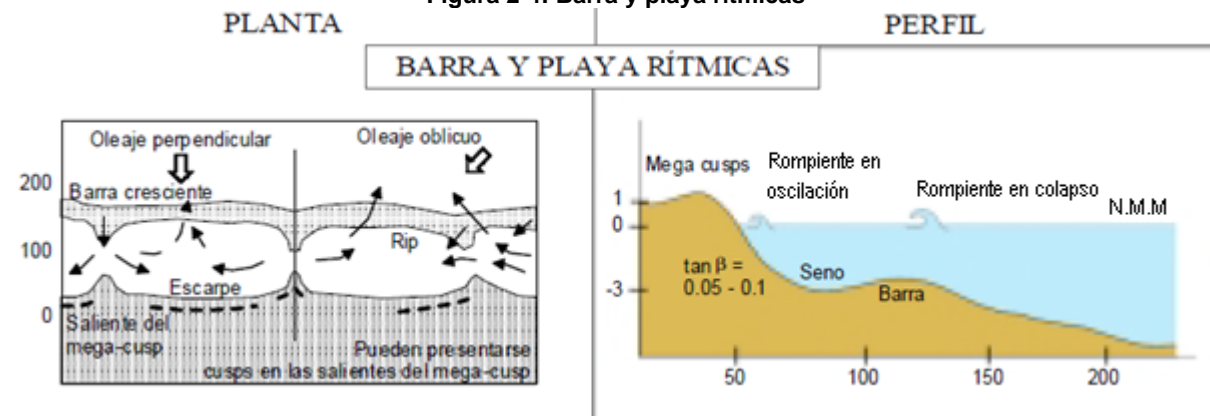
Fuente: Documento Temático regeneración de playas, UNICAN.

Figura 2-3: Barra longitudinal y seno



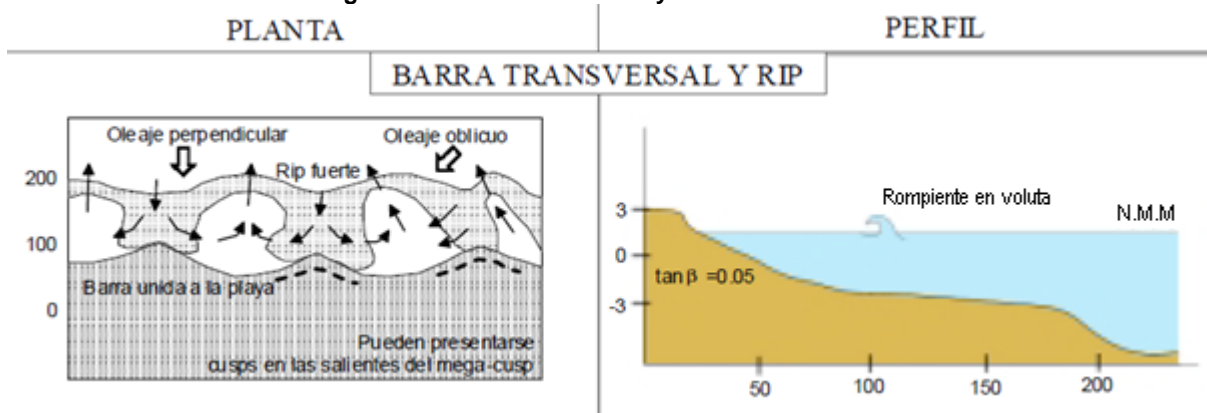
Fuente: Documento Temático regeneración de playas, UNICAN.

Figura 2-4: Barra y playa rítmicas



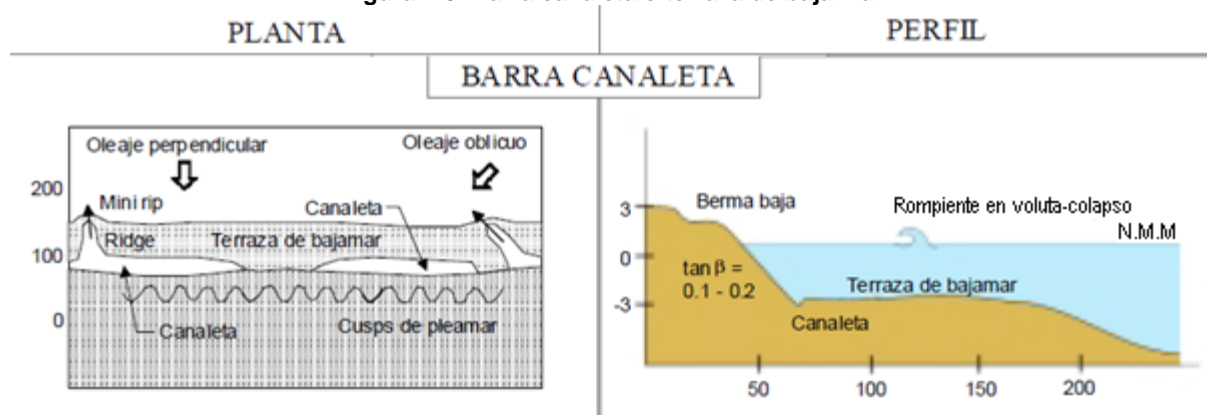
Fuente: Documento Temático regeneración de playas, UNICAN.

Figura 2-5: Barra transversal y corriente de retorno



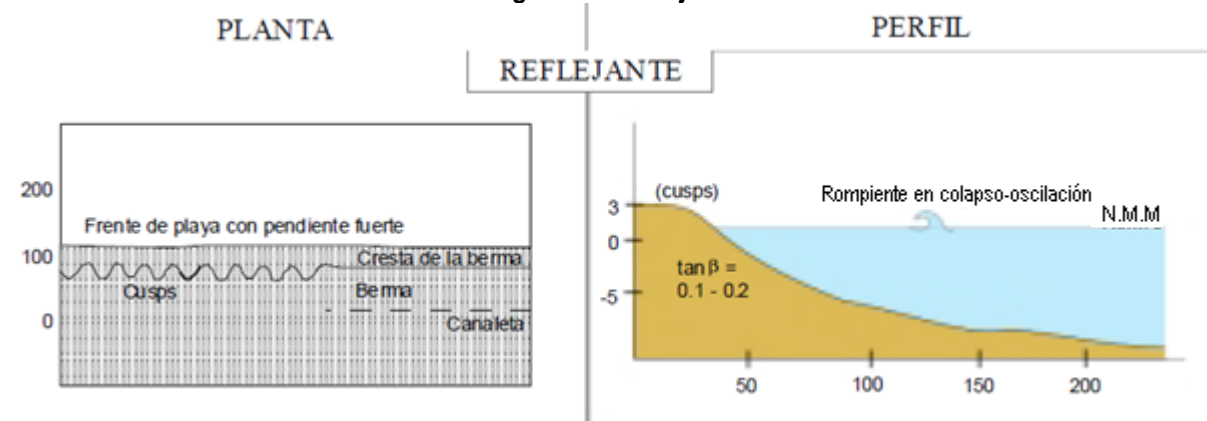
Fuente: Documento Temático regeneración de playas, UNICAN.

Figura 2-6: Barra canaleta o terraza de baja mar



Fuente: Documento Temático regeneración de playas, UNICAN.

Figura 2-7: Reflejante



Fuente: Documento Temático regeneración de playas, UNICAN.

- 1. Playa Disipativa:** Posee una morfología prácticamente bidimensional, con un perfil muy tendido, similar al de temporal o de invierno de las playas con variación estacional. Posee una o varias barras paralelas a la línea de costa, casi no existen corrientes de resaca debido a su geometría bidimensional, presentan roturas en descrestamiento y una disipación de la energía del oleaje progresiva a lo largo del perfil.
- 2. Playa Reflejante:** Posee una pendiente elevada, lo que produce rompientes en colapso o en oscilación sobre el frente de la playa. Se observa la presencia de turbulencias en la zona de ascenso-descenso, con frecuencia aparecen beach cups altamente rítmicos. En condiciones de baja energía el talud de la playa finaliza por la parte superior en una berma alta y recta, el frente de ésta suele tener tamaño de grano más grueso que los de la zona sumergida.
- 3. Barra Longitudinal, Seno, Barra y Playa Rítmicas:** Posee un perfil inclinado similar al de una playa disipativa, el relieve de la barra y del seno es mucho más pronunciado que en ésta última, la barra es más asimétrica en la forma transversal y el lado inclinado hacia tierra posee una pendiente mayor que el lado inclinado hacia el mar. En estos casos, el oleaje se reforma en el seno hasta romper en el frente de playa, donde se encuentra un perfil similar al de la del tipo reflejante.
- 4. Estado de Barra Transversal y Rip:** La playa alcanza éste estado cuando, siguiendo la secuencia de acumulación, los salientes de las barras crecientes alcanzan la zona frontal. De esta manera, se forman barras transversales altamente disipativas, alternando longitudinalmente con zonas de mayor profundidad, en gran medida reflejantes y ocupadas por corrientes de retorno fuertes. Las playas en esta situación son las que experimentan las corrientes de retorno de mayor magnitud.
- 5. Estado de Barra – Canaleta o Terraza de Bajamar:** La barra creciente continúa su avance y se une casi completamente al frente de playa, formando una terraza semi-horizontal que puede emerger ligeramente en bajamar. En algunos puntos, la unión no es completa y la barra queda separada del frente de playa por una pequeña canaleta. Esta terraza es moderadamente disipativa, mientras que el frente de playa es claramente reflejante. Pueden estar presentes pequeños canales debidos a las corrientes de retorno residuales del estado anterior y a través de ellos se establecen corrientes de retorno débiles. La característica dinámica es bastante similar a la de las playas reflejantes

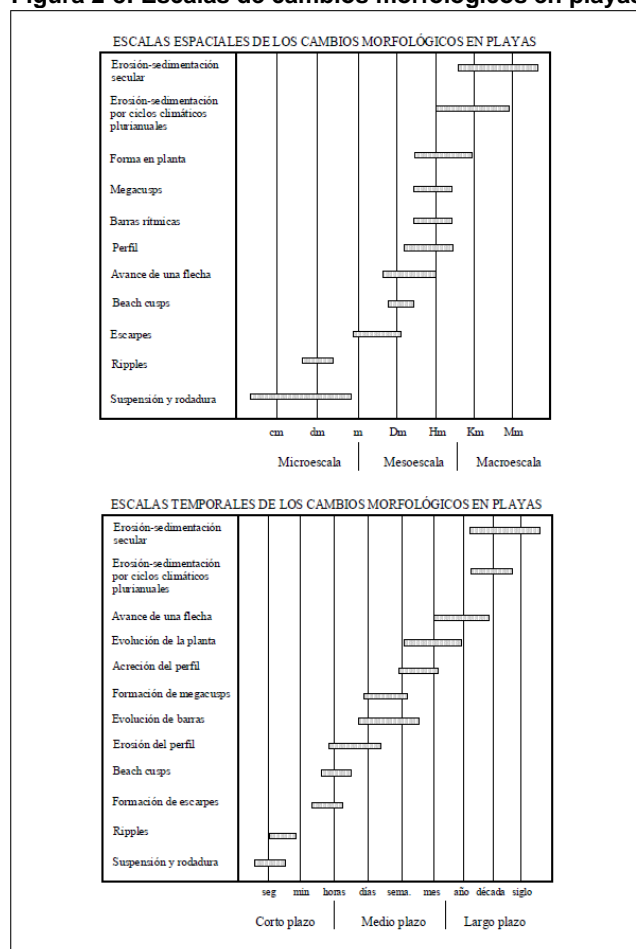
## 2.3 PROYECCIÓN DE LA PLAYA ARTIFICIAL.

Para poder generar la proyección de la playa artificial, es necesario comprender las diferentes dinámicas que afectan a ésta, las cuales se presentan en escalas espaciales que varían desde los centímetros, producidas por turbulencias, hasta las decenas de kilómetros, producidas por las variaciones de marea.

También se presentan en escalas temporales, las cuales van desde los segundos, cambios producidos por el oleaje, hasta las décadas, los cuales son generados por el ascenso del nivel medio del mar.

Las diferentes dinámicas que se analizan para el diseño o proyección de una playa pueden ser calificadas espacialmente como micro, meso y macro escala; y temporal, las que se presentan como corto medio y largo plazo. Una descripción de éstas se puede apreciar en la Figura 2-8.

Figura 2-8: Escalas de cambios morfológicos en playas.



Fuente: Documento temático regeneración de playas, UNICAN (2000).

Para efectos de la aplicación a estudiar, se analizará el comportamiento de la playa a proyectar en el corto y largo plazo, los cuales se describen a continuación.

### 2.3.1 EVOLUCIÓN A CORTO PLAZO.

Uno de los objetivos del análisis a corto plazo es determinar la respuesta de la playa ante la acción de un temporal para verificar que se garantiza su función de defensa de costa, tanto en lo que se refiere al retroceso de la línea de costa, como a la cota de inundación alcanzada.

Otro de los objetivos es realizar un análisis de la estabilidad de una playa a corto plazo es conocer los procesos morfodinámicos de la misma, para que se pueda obtener la correcta caracterización de la dinámica litoral de la zona de estudio. Para poder obtener un buen acercamiento al real comportamiento se deben considerar las diferentes condiciones que se pueden encontrar en el área, por lo que es necesario realizar combinaciones de altura de ola, dirección, período y marea. La imposibilidad de analizar todos los casos ocurrientes, conlleva a la necesidad de seleccionar un número reducido de ejemplos que permitan, de una manera adecuada, alcanzar los objetivos previstos.

En la evolución al corto plazo se persigue la caracterización de la dinámica litoral para eventos puntuales, los que se pueden apuntar como:

- a. Situaciones más frecuentes.
- b. Situaciones de interés especial.

### 2.3.2 EVOLUCIÓN A LARGO PLAZO.

Busca una posición de equilibrio que adoptaría una playa considerando que las dinámicas que interfieren permanecen constantes durante el mayor período de tiempo posible. En la evolución al largo plazo, es posible encontrar dos tipos de formulaciones, las que se presentan para el equilibrio de la playa y para la evolución de ésta.

- **Formulaciones de equilibrio:** no dependen de ninguna variable temporal, por lo que pueden ser representadas con cargas constantes tanto en posición como en magnitud. Esto puede ser interpretado también como variaciones lentas o despreciables en comparación con su valor medio.
- **Formulaciones de evolución:** determinan una posición media de la playa a través del tiempo, por lo que considera datos de variables temporales aleatorias.

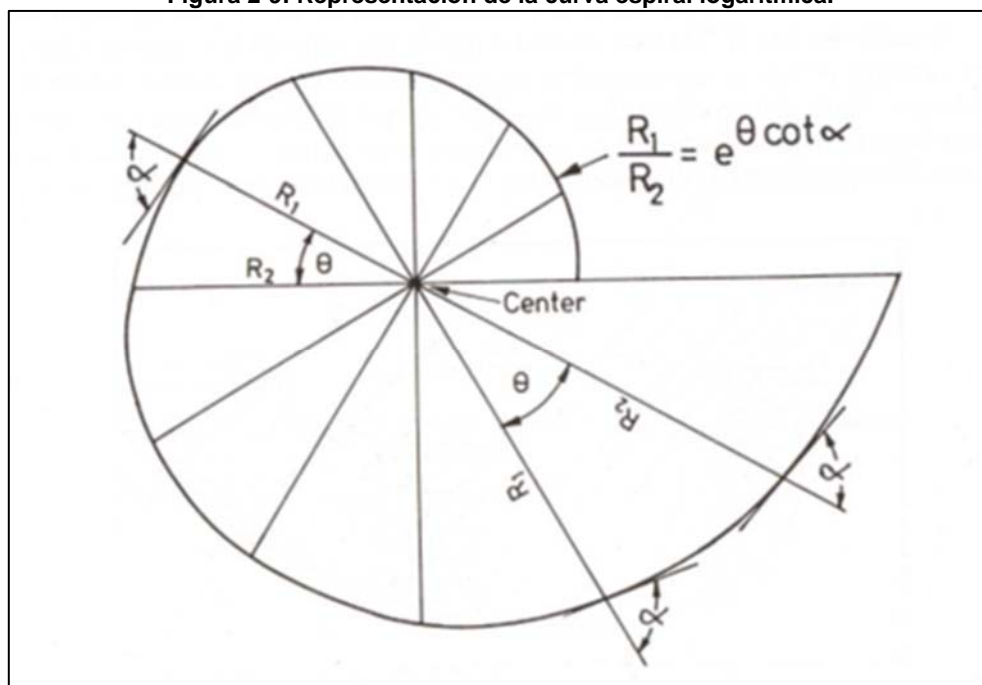
Existen diferentes tipos de metodologías que pueden describir la forma en planta de una playa en equilibrio, por lo que en este documento solo se presentarán tres.

### 2.3.2.1 Ajustes Logarítmicos

Estos fueron los primeros estudios realizados para poder caracterizar la curva que posee una bahía en equilibrio, llegando a la conclusión de que éstas podían llegar a adoptar la forma de la espiral logarítmica. La función de ésta fue descrita como la curva cuya tangente forma un ángulo constante con los radios emitidos desde su polo. Ésta se expresa matemáticamente en coordenadas polares y la ecuación que la caracteriza es:

$$\frac{R}{R_0} = e^{\theta \times \cot g(\alpha)} \quad (2.3-1)$$

Figura 2-9: Representación de la curva espiral logarítmica.



Fuente: Aplicación del concepto de bahías de equilibrio a playas encajadas entre diques, Solé Diaz, Gustau (2005).

En 1944 Krumbrein fue el primero en sugerir que la forma en planta de una playa se podía describir mediante una espiral logarítmica tras estudiar los procesos costeros en la bahía de California.

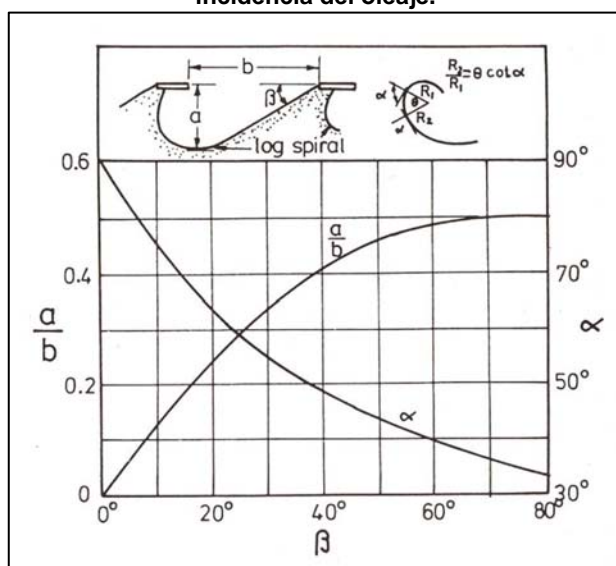
En 1960 Silvester utilizó un modelo reducido para observar la respuesta de playas rectilíneas en las que prefijó algunas secciones situando revestimientos de escolleras y considerando un oleaje con ángulo de incidencia determinado. En base a esto, pudo definir tres tramos: el primero, está situado en la zona de resguardo del rompeolas que se corresponde con un arco circular; el segundo, es después de la zona de sombra cuya forma se ajusta a una espiral logarítmica y el tercero, se prolonga en forma recta hacia el siguiente rompeolas. En este estudio aparece el concepto de Halfheart bay, por la forma que adquiere la playa..

En 1965 Yasso definió el concepto de headland bay beach como la playa generada tras un obstáculo no erosionable sometido a la acción de un oleaje predominante, esto en base al estudio realizado a cuatro playas naturales situadas en bahías encajadas en las costas este y oeste de EE.UU., también concluyó que este tipo de playas se aproximaban de buena forma con una espiral logarítmica. Fue el primero en realizar un ajuste de bahías de equilibrio y obtuvo un rango de valores del ángulo característico de la espiral entre  $41.26^\circ$  y  $85.64^\circ$ .

En 1970 Silvester relaciona los parámetros de ajuste de la función logarítmica con parámetros de interpretación física. Como resultado obtuvo que para la condición de equilibrio estático existe una correlación entre el valor del ángulo característico de la espiral y el ángulo de incidencia del oleaje, por ende obtuvo que la orientación de la tangente de la playa en el rompeolas aguas abajo coincidía con el frente de oleaje.

Ho (1971) obtiene nuevos resultados de bahías de equilibrio con ensayos de laboratorio. En base a esto en 1974 Silvester utiliza las playas en equilibrio utilizadas en 1970 y añade los resultados obtenidos por Ho, y publica una nueva curva de diseño para playas en equilibrio estático que permite determinar dicha correlación, incorporando a la vez un parámetro que permite cuantificar el máximo retroceso de la línea de costa en función de la incidencia del oleaje, denominado indentation ratio.

**Figura 2-10: Ángulo característico e indentation ratio propuesto para distintos valores del ángulo de incidencia del oleaje.**



Fuente: Aplicación del concepto de bahías de equilibrio a playas encajadas entre diques, Silverster (1974).

Otras aproximaciones de bahías en equilibrio a espirales logarítmicas también han sido constatadas por otros autores como LeBlond (1972,1979), Rea-Komar (1975), Walton (1977), Yamashita-Tsuchiya (1992) y Wind (1994).

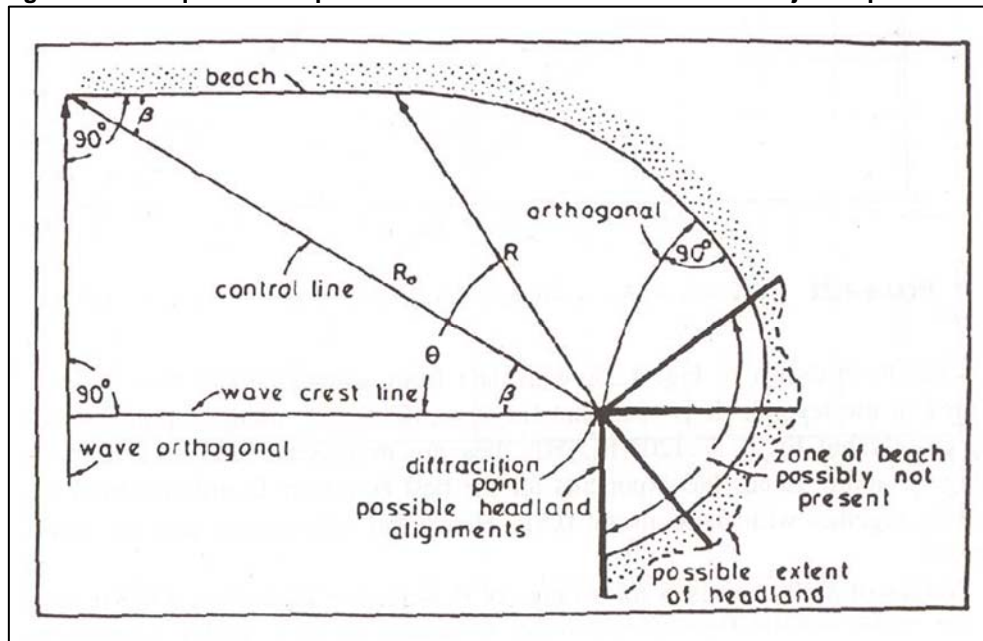
### 2.3.2.2 Ajustes Parabólicos

Estos establecen que la bahía de equilibrio puede ser representada por un polinomio de segundo grado. A diferencia de las formas logarítmicas, éstas se plantean para mejorar el ajuste en las secciones más alejadas del polo de difracción, donde la costa tiende a ser rectilínea.

En 1961 Mashima fue el primero en introducir el término parabólico para describir algunas playas situadas en las costas de Japón. En base a esto propone una ecuación del tipo  $y = px^2 - b$ , donde  $x, y$  son coordenadas cartesianas. Utiliza un modelo numérico para obtener la forma de equilibrio a partir del diagrama de energía del oleaje, propone que éste posee una forma elíptica y establece que la dirección del eje de la parábola que determina la playa coincide con la dirección del eje mayor de la elipse.

Hsu-Silvester-Xia (1987) caracterizan la curva que describe una bahía en equilibrio en base a coordenadas polares centrandó el origen en el punto de difracción de ésta. El origen en ángulos lo consideran respecto al eje que define la dirección de las crestas del oleaje incidente en el punto de difracción, a su vez sitúan un punto de control en el límite aguas debajo de la playa con coordenadas  $(R_0, \beta)$  y observan que el ángulo formado entre las crestas de oleaje y la línea de control  $(\beta)$  coincide con el ángulo formado por la tangente a la playa de equilibrio y la línea de control

**Figura 2-11: Esquema de representación de la curva descrita en los ajustes parabólicos**



Fuente: Aplicación del concepto de bahías de equilibrio a playas encajadas entre diques; Solé Díaz, Gustau (2005)

Para complementar sus estudios Hsu-Silvester-Xia utilizan ensayos realizados por Ho (1971) para obtener una relación que permite determinar la posición de la línea de costa en una playa que se conoce el ángulo de incidencia del oleaje  $\beta$ . La relación propuesta es:

$$\frac{R}{R_0} = 0,81 \times \frac{\beta^{0,83}}{\theta^{0,77}} \quad (2.3-2)$$

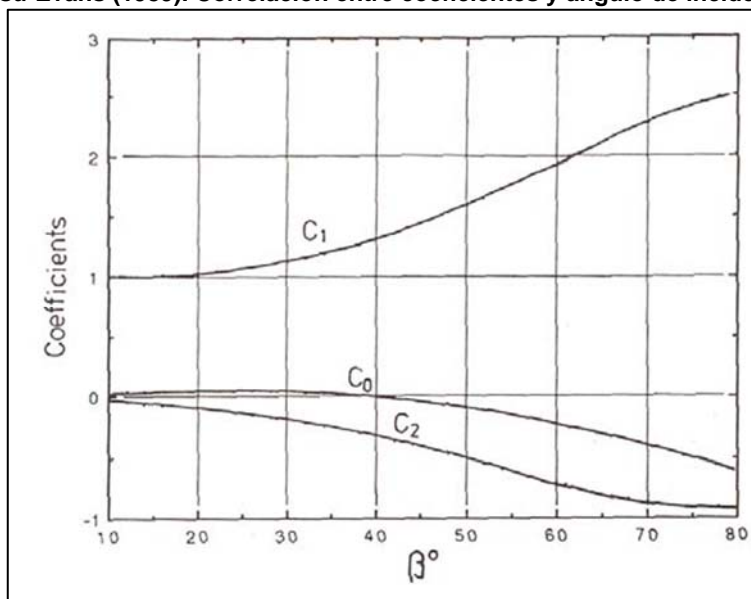
En base a los estudios realizados concluyen que la relación obtenida no puede considerarse universal, ya que tan solo se ajusta de buena forma para ángulos de  $\theta$  comprendidos entre los  $45^\circ$  y los  $90^\circ$ , y debería reevaluarse el coeficiente 0.81 para valores mayores.

En 1989 Hsu-Evans realizan una nueva revisión a los ensayos de Ho (1971) y le añaden análisis de algunas playas naturales situadas en la costa de Australia, supuestas en equilibrio estático. En torno a esto, obtienen una relación parabólica que considera la introducción al ajuste propiamente tal. La relación propuesta es:

$$\frac{R}{R_0} = C_0 + C_1 \frac{\beta}{\theta} + C_2 \left(\frac{\beta}{\theta}\right)^2 \quad (2.3-3)$$

En base a ésta, determinan que los coeficientes  $C_0$ ,  $C_1$  y  $C_2$  son función del ángulo de incidencia del oleaje  $\beta$ . Éstos resultados se pueden apreciar de forma gráfica en una tabla con un rango de valores para  $\beta$  entre los  $10^\circ$  y los  $80^\circ$  en intervalos de  $5^\circ$ . La mayor conclusión que obtienen es la universalización de los resultados obtenidos, recomendando su uso para estabilizar zonas costeras mediante el diseño de playas de equilibrio tras rompeolas artificiales. Este método es conocido como headland control.

Figura 2-12: Hsu-Evans (1989). Correlación entre coeficientes y ángulo de incidencia del oleaje.



Fuente: Aplicación del concepto de bahías de equilibrio a playas encajadas entre diques; Solé Díaz, Gustau (2005)



### 2.3.2.3 Aplicaciones de diseño para Groins and Jetties.

La metodología propuesta por Kevin Bodge (2002) tanto para groins como para jetties está orientada al diseño de la forma en planta y elevación de las estructuras que están destinadas a aumentar la estabilidad de la nueva forma de una playa.

Como consideraciones de diseño, se debe tomar en cuenta que la geometría y la orientación de las estructuras deben estar en función con el campo de ondas incidentes y la dirección del potencial de transporte.

Los groins (muelles) son estructuras que poseen un cuerpo orientado de forma perpendicular a la línea de costa y en su extremo opuesto a ésta, poseen una estructura denominada fish tale, estos pueden ser utilizados para dividir playas y retener una parte del transporte de sedimentos. Una apropiada utilización de estos elementos genera un aumento en la estabilidad de la playa y restauración de proyectos, de manera adversa, pueden acelerar procesos de erosión en el sector de aplicación.

Los Jetties (molos) son generalmente estructuras más largas que los groins, a diferencia de las anteriores, estas estructuras se construyen en paralelo a la línea de costa, están destinados a canalizar el flujo de las mareas con el fin de aumentar las velocidades de flujo y reducir la sedimentación en la entrada de éstas.

Para la elaboración de éste documento se analizará únicamente la metodología propuesta por Bodge para la construcción de los groins con estructuras tipo T-head.

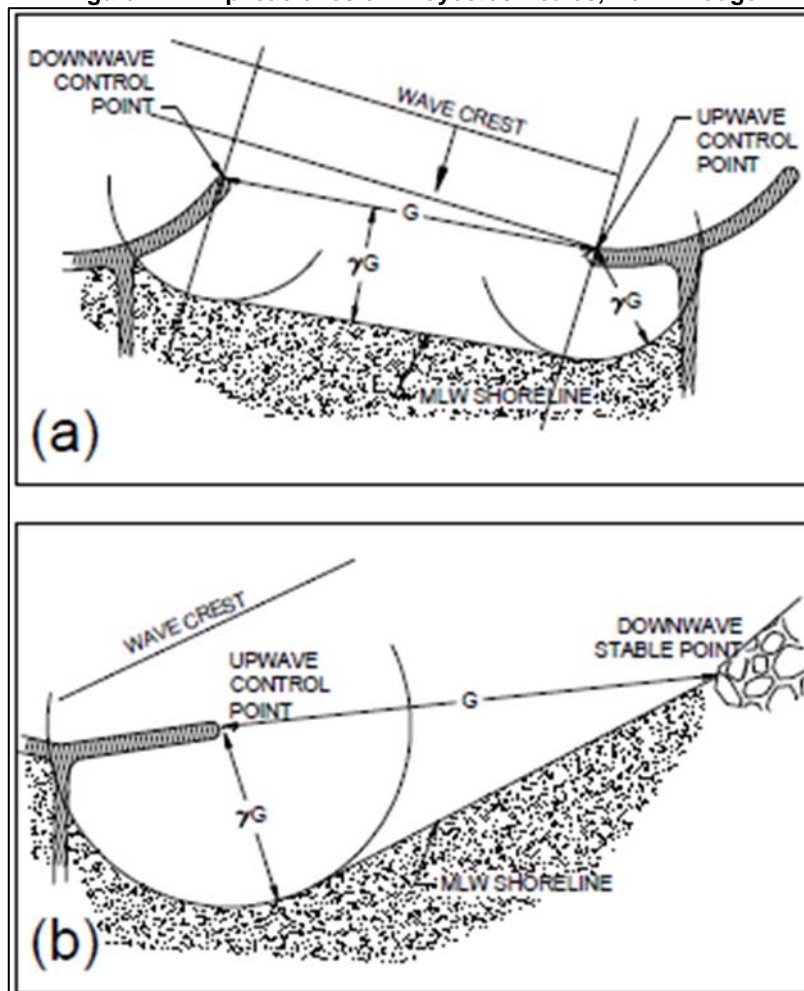
Bodge al analizar los estudios realizados por sus antecesores, concluyó que éstos se encuentran limitados en su utilidad funcional, ya que no indican la elevación de la marea en la costa predicha. Para efectos del diseño práctico, esto es problemático ya que en una situación típica de playa con 0,8 m de rango de mareas y una pendiente 1:10, esto introduce hasta 8m de incertidumbre en cuanto a la ubicación en la cual se proyectará el diseño de las obras, a su vez, también significará un impacto en el costo, la regulación y la estética de éste.

“La experiencia del autor sugiere que las observaciones realizadas por los investigadores anteriores se aplica de mejor forma analizando todas las alturas existentes entre el mínimo y máximo nivel de mareas, por lo que se asumiría un criterio muy conservador; en cambio, para los diseños menos conservadores, se puede suponer una elevación como el promedio de las mareas, aunque se debe considerar que esto disminuye la duración del proyecto.”

Por lo tanto, las consideraciones a tomar en cuenta al momento de utilizar éstas formulaciones son:

- El ángulo entre el frente de oleaje y la posición de las T, no debe superar los  $25^\circ$
- El factor de crecimiento de la línea de costa  $\gamma$ , no puede ser menor que 0,35 ni mayor de 0,65, donde 0,35 es el máximo crecimiento que tiene la línea de costa y 0,65 el mínimo.
- Mientras menor sea la separación entre las T ( $G$ ), mayor es la zona de solana

Figura 2-14: Aplicaciones en Proyectos Reales, Kevin Bodge



Fuente: Design aspects of Groins and Jetties; Bodge, Kevin R (2002)

## 2.4 CRITERIOS DE VALORACIÓN DE UNA PLAYA

Estos son un conjunto de indicadores que permiten establecer si una playa cumple o no con determinadas funciones. En este punto se dispondrán tres criterios de valoración que deben considerarse al momento de querer comprobar la funcionalidad de la playa en cuestión, estos son:

- Defensa de la costa.
- Hábitat de la flora y fauna.
- Uso lúdico humano.

### 2.4.1 COMO DEFENSA COSTERA.

Existen diferentes formas para poder estudiar la funcionalidad de una playa como una obra de defensa costera, entre ellas resaltan en nuestro país las recomendaciones de obras marinas españolas (ROM desde 1990-2005), los textos del Coastal Engineering Manual (CEM-1983) y las Normas Japonesas (1987) En la actualidad en Chile, se encuentra bajo elaboración un documento de referencia para este tipo de obras.

En nuestro país, una de las más utilizadas son las ROM, en la cual se estima que para obras que cumplan ésta función y están sometidas a cargas variables, se debe utilizar su valor extremo. El recién expuesto se encuentra asociado a un período de retorno y a una probabilidad de riesgo durante la vida útil de la obra.

La vida útil de una obra y el nivel de riesgo máximo admisible, se ve asociado a los siguientes puntos:

- Tipo de obra.
- Nivel de seguridad requerido.
- Repercusión económica de la inutilización de la obra.
- Posibilidad de pérdidas humanas.

En base a estas condiciones se analizaron las diferentes situaciones que reflejarán de mejor manera la generación de un proyecto.

## 2.4.2 HÁBITAT DE FLORA Y FAUNA.

Para poder estimar el grado de funcionalidad que se puede obtener mediante una regeneración o proyección de una playa, no existen criterios que definan la utilización de ésta como un determinado hábitat para la flora y fauna presente en la zona de estudio.

Los motivos por los cuales no se puede generalizar un documento son:

- Escasez de estudios específicos en cada área.
- Diversidad de factores (algunos hasta desconocidos) que afectan la supervivencia de las especies.
- Las diferentes reacciones que tendrán las especies a los mismos parámetros.

En base a los motivos presentados anteriormente, la mayor parte de las regeneraciones realizadas lo que buscan es no afectar de manera drástica las características ya existentes en ésta, en lo que se refiere principalmente a:

- Distribución granulométrica de sedimentos.
- Disposición de la regeneración.

De las dos características, la más importante a considerar en la modificación del diseño es la primera, por la distribución de los finos existentes en el sedimento; debido a que esta condición limita la porosidad y la permeabilidad que posee el sector en cuestión. Otros factores que también influyen son el grado de compactación o la angulosidad de la arena, los cuales no siempre son considerados en los proyectos.

## 2.4.3 USO LÚDICO HUMANO.

Existe una gran diversidad de criterios para poder definir una playa como un espacio recreacional para los usuarios. La variedad de estos depende de los diferentes puntos de vista que se evalúen, por lo cual son totalmente subjetivos.

De esta forma, lo que para algunos es una playa óptima, para otros no cumple la misma condición; al igual con el paso del tiempo lo que hoy se presenta de manera inmejorable, en otro período puede ser considerado insuficiente. La percepción del lugar va a ir variando, dependiendo también de la edad, el sexo y los intereses que tenga el usuario para con el sector, por lo que al momento de proyectar la mejora, se debe tener definido el perfil de usuario al cual va dirigida la playa.

En base a los alcances presentados se obtiene que los indicadores más importantes al momento de proponer la regeneración del sector son los factores físicos y aquellos relacionados a la seguridad en el baño y la intensidad de uso. En el documento temático de regeneración de playas de la universidad de Cantabria (2000) se presentan estudios realizados por la Universidad de Glamorgan (1993) y posteriormente por Leatherman (1997) en los cuales se obtuvieron las siguientes conclusiones:

1. **Geometría de Playa:** en lo que se refiere a longitud, las playas largas y rectas son las más adecuadas para intensidades de uso alta longitud, en cambio las playas cortas y encajadas son preferidas si la intensidad de uso es baja longitud. En cuanto a ancho de playa, se denomina estrecha aquella que posea menos de 30 o 20 m de ancho y excesivamente holgada si tiene más de 100 m.
2. **Sedimento:** las playas de arenas finas, de color blanco o dorado son las más apreciadas.
3. **Intensidad de uso:** es totalmente subjetivo, ya que depende netamente del usuario y del tipo de playa (turística, salvaje, etc.), para playas de tipo turísticas se entiende que su estado es:
  1. Saturada: superficie útil menor que 5 m<sup>2</sup>/persona.
  2. Uso alto: superficie útil oscila entre los 7 y los 15 m<sup>2</sup>/persona.
  3. Uso bajo: superficie útil mayor que 20m<sup>2</sup>/persona.
4. **Seguridad en el baño:** en base a estadísticas realizadas en los estudios mencionados anteriormente, se concluyó que el 90% de los accidentes registrados están asociados a la presencia de corrientes de retorno, las cuales están asociadas netamente a un oleaje de gran energía, por lo tanto la morfodinámica de la playa es importante al momento de definir los parámetros de seguridad en ésta.

## 2.5 ALGUNOS EJEMPLOS EN CHILE.

Playa Covadonga, ubicada en la ciudad de Antofagasta, perteneciente a la segunda Región de Antofagasta, es la primera playa artificial de estas características construida en nuestro país, inaugurada en el año 2005 en el marco del Programa de Mejoramiento del Borde Costero de la Dirección de Obras Portuarias del Ministerio de Obras Públicas. Es una playa protegida, que cuenta con una longitud aproximada de 190 m., inserta en pleno casco urbano. Su uso principal es la recreación y en sus cercanías se puede encontrar distintos servicios turísticos

**Figura 2-15: Playa Covadonga, Antofagasta Chile.**



Fuente: Google Search.

Playa Artificial Trocadero, ubicada en la ciudad de Antofagasta, posee una extensión de 180 metros, está orientada al uso de los habitantes de las nuevas urbanizaciones y barrios de la ciudad y que se concentran principalmente en ese sector. El Programa de Mejoramiento del Borde Costero del MOP contempló para el 2010, la entrada en ejecución del proyecto de construcción de obras de mejoramiento como veredas peatonales, escalas de accesos, servicios higiénicos, camarines, zona deportiva, entre otros.

**Figura 2-16: Playa Trocadero, Antofagasta Chile.**



Fuente: Google Search

Playa Paraíso es la tercera playa artificial situada en el sector céntrico de la ciudad de Antofagasta, en las inmediaciones del barrio histórico. Se construyó en el marco del programa de mejoramiento del Borde Costero que ejecuta el Ministerio de Obras Públicas (MOP).

**Figura 2-17: Playa Paraíso, Antofagasta Chile.**



Fuente: Google Search

Balneario Municipal, playa artificial altamente concurrida, se ubica en uno de los sectores de mayor confluencia de la ciudad de Antofagasta. Cuenta con infraestructura y equipamiento orientado a la recreación, como canchas deportivas, un paseo peatonal, pubs, restaurantes a lo largo de sus 140 metros. Está habilitada para el baño y la pesca.

**Figura 2-18: Balneario Municipal, Antofagasta Chile.**



Fuente: Google Search

El Laucho, ubicada en el sector sur de la ciudad de Arica frente al Morro, en la XV Región de Arica y Parinacota, es la playa artificial más grande de Chile, con 450 metros de extensión y una ampliación de arena de más de 46 mil toneladas. La formación rocosa y las corrientes impedían que fuera ocupada en su totalidad, por lo cual el Ministerio de Obras Públicas construyó dos molos de 120 y 65 metros, para abrigar la playa y disminuir la intensidad de las corrientes.

**Figura 2-19: Playa El Laucho, Arica Chile.**



Fuente: Google Search.

Emplazada en el sector costero central de la ciudad de Antofagasta, considera un Balneario Artificial de 400 metros de largo y de 80 metros de ancho en arena, ganando al mar 8 mil metros cuadrados para zonas de equipamiento turístico, paseos públicos y zonas hoteleras concesionables.

**Figura 2-20: Playa Carboncillo, Antofagasta Chile.**



Fuente: Gobierno Regional de Antofagasta.

### **3. OBJETIVOS.**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL.**

Desarrollar a nivel conceptual un proyecto de mejoramiento de la Playa San Mateo, incrementando el área de solana mediante la incorporación de estructuras que permitan elevar la seguridad en el baño y asegurar la estabilidad de la playa en base a la nueva proyección.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

1. Determinar el régimen del transporte de sedimentos litorales en la zona de estudio.
2. Determinar el clima de oleaje del sector bajo análisis.
3. Analizar las tendencias históricas que ha presentado el sistema de playa.
4. Evaluar posibles modificaciones morfodinámicas presentes en las unidades de playa colindantes a la zona bajo estudio.

## 4. CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO.

### 4.1 CONDICIONES ACTUALES DE SAN MATEO.

#### 4.1.1 BATIMETRÍA.

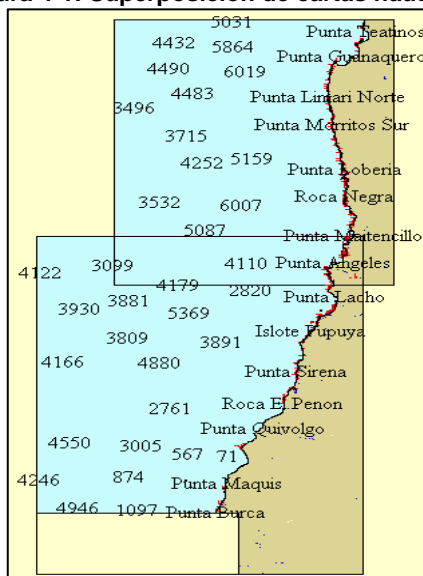
Para caracterizar la batimetría del sector de estudio, se empleó información proveniente de cartas náuticas del Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile (SHOA) e información de campo proporcionada por Desmar.

Las cartas náuticas otorgadas por el SHOA, poseen como información: profundidades, dirección de la posición del sector con respecto al norte. Para poder obtener la batimetría de la zona de análisis, las cartas deben digitalizarse y así traspasar la información a un nuevo formato.

La batimetría que se utilizó para la configuración del modelo es la correspondiente a las siguientes cartas náuticas:

- 4000: Bahía Coquimbo a Bahía Valparaíso (CL2CO040).
- 5000: Bahía Valparaíso a Golfo Arauco (CL5VA010).
- 5111: Bahía y Puerto de Valparaíso (CL5VA015).

**Figura 4-1: Superposición de cartas náuticas.**



Fuente: Cartas Náuticas SHOA

Se seleccionaron estas tres cartas para poder obtener una batimetría más completa, la cual partió de aguas profundas. Los datos deben estar procesados en la misma proyección que está representada la zona, en este caso la proyección es la UTM -19.

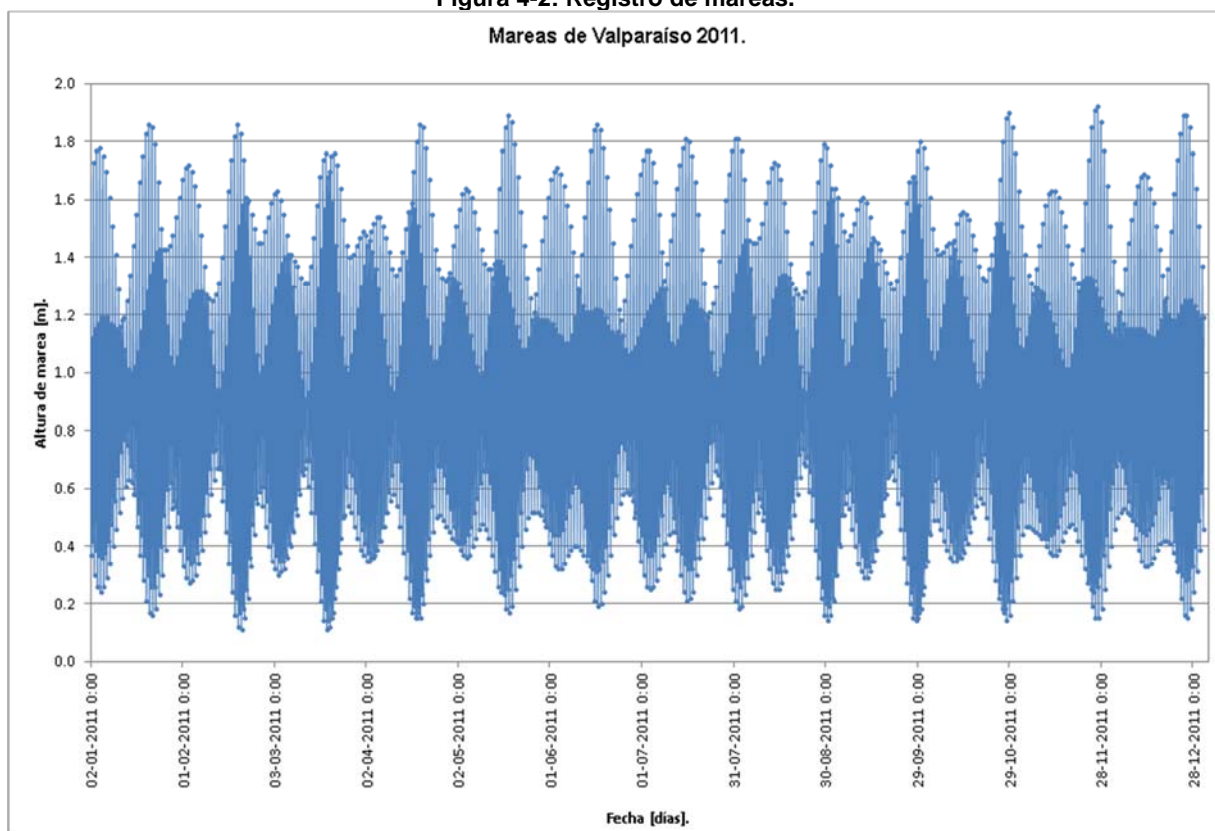
Adicionalmente se contó con un levantamiento batimétrico de detalles proporcionado por Desmar Ltda para el desarrollo del presente estudio, y que fue realizado el año 2009

#### 4.1.2 MAREAS.

Para caracterizar el régimen de mareas de la zona de estudio, se empleó información proveniente de las Tablas de Marea publicadas por el SHOA para una duración de 12 meses comprendidos entre enero y diciembre del año 2011. Esta base de datos se sometió a un análisis armónico para determinar los principales planos mareas.

El análisis no armónico, se llevó a cabo en base a la Publicación SHOA N° 3202 “Método Oficial para el cálculo de los valores no armónicos de la marea”. En la Figura 4-2, se aprecia el comportamiento de la marea en el sector de análisis, durante un período de 6 años, los datos se obtuvieron de la página oficial del SHOA ([www.shoa.cl](http://www.shoa.cl)), siendo estos referidos al NRS del Puerto de Valparaíso.

**Figura 4-2: Registro de mareas.**



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al análisis realizado se obtuvo que la altura máxima observada de la marea durante el período de observaciones alcanzó el valor de 1.97 m sobre el NRS (1.07 m sobre el NMM).

**Tabla 4-1: Valores armónicos de la serie de marea.**

Análisis Mareal	Valor
Pleamar Máxima	1.97
Promedio Pleamares Máximas	1.54
Promedio Pleamares	1.37
Nivel Medio del Mar	0.90
Promedio Bajamares	0.44
Promedio Bajamares Mínimas	0.39
Bajamar Mínima	0.08

Fuente: Elaboración propia.

La altura de la bajamar más baja se obtuvo un valor de 0.08 m sobre el NRS y 0.82 m por debajo del NMM. La Altura Media de la Pleamar, que corresponde al promedio de las pleamares, fue de 1.37 m sobre el NRS, en tanto que la Altura Media de la Bajamar, que corresponde al promedio de las bajamares fue de 0.39 m sobre el NRS.

### 4.1.3 OLEAJE

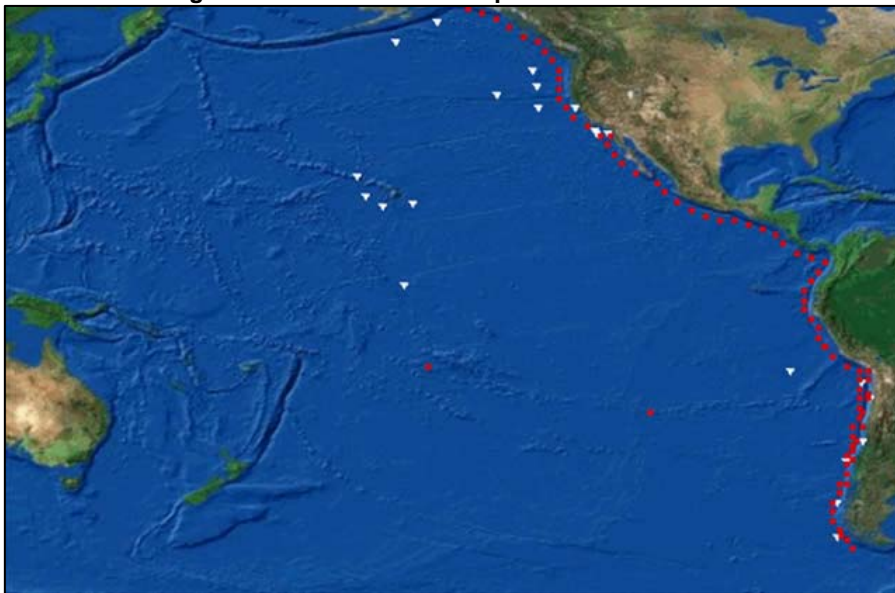
Para realizar la caracterización del oleaje en el área de estudio, se procedió en primera instancia a la definición del clima de oleaje en aguas profundas, el cual fue posteriormente transferido de manera espectral hacia la zona de estudio, mediante la aplicación de un modelo numérico. Finalmente, se describió el clima de oleaje operacional en el sitio de estudio.

#### 4.1.3.1 Clima de Oleaje en Aguas Profundas

La definición del clima de oleaje en aguas profundas se realizó mediante la utilización de la base de datos de Olas Chile IV. Esta base de datos se caracteriza por tener información de espectros bidimensionales (espectros direccionales) definidos cada tres horas.

Esta base de datos cuenta con una extensa validación a lo largo de la costa del Océano Pacífico, mediante la comparación de los datos modelados con mediciones de olígrafos y altímetros satelitales (Topex/Poseidon). Estas estaciones de validación son mostradas en la Figura 4-3 donde los puntos rojos representan las estaciones de salida del modelo WAVEWATCH III™, mientras que los triángulos blancos representan la posición de los olígrafos y mediciones satelitales del Topex/Poseidon.

**Figura 4-3: Ubicación de los puntos de validación.**



Fuente: [www.olasdelpacifico.com](http://www.olasdelpacifico.com)

Los resultados de la caracterización del clima de oleaje en aguas profundas se presentan mediante las tablas de incidencia y ocurrencia de la altura de ola, en relación al período y la relación entre la altura de ola y la dirección, estos fueron extraídos del Estudio de Oleaje en la Bahía de Quintero realizado por la empresa Desmar Ltda en el año 2012.

MEJORAMIENTO DEL BORDE COSTERO, APLICACIÓN PLAYA SAN MATEO.

**Tabla 4-2: Tabla de incidencia y ocurrencia Hmo v/s Dir.**

Altura Hs (m)	Dirección (°)								Total	
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Nº Datos	% Ocurrencia
0.5 - 1.0					20	551	130	111	812	0.93%
1.0 - 1.5	1	1	3		234	7048	1014	1135	9436	10.76%
1.5 - 2.0	20	5	2		222	19981	1514	1789	23533	26.84%
2.0 - 2.5	35	15	6		122	22610	1594	1333	25715	29.33%
2.5 - 3.0	53				39	15011	1305	504	16912	19.29%
3.0 - 3.5	41				16	6220	742	152	7171	8.18%
3.5 - 4.0	51				2	2025	388	78	2544	2.90%
4.0 - 4.5	28					745	216	41	1030	1.17%
4.5 - 5.0	9					203	99	16	327	0.37%
5.0 - 5.5	3					54	32	7	96	0.11%
5.5 - 6.0						32	17	4	53	0.06%
6.0 - 6.5						10	12		22	0.03%
6.5 - 7.0						6	7		13	0.01%
Nº Datos	241	21	11	0	655	74496	7070	5170	<b>87664</b>	
% Ocurrencia	0.27%	0.02%	0.01%	0.00%	0.75%	84.98%	8.06%	5.90%		<b>100.00%</b>
								<b>Total</b>	<b>87664</b>	<b>100.00%</b>

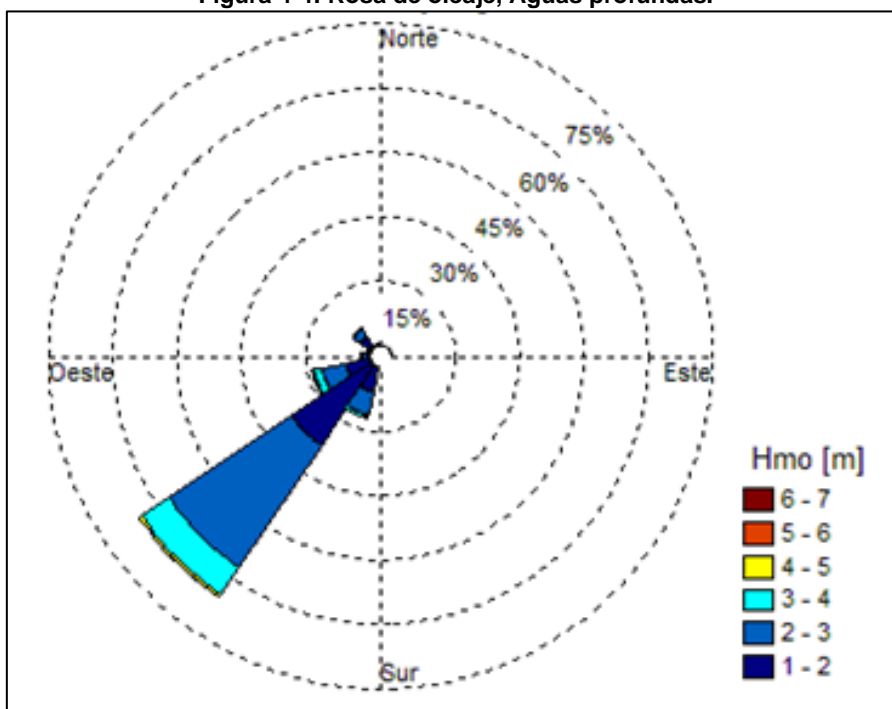
Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 4-3: Tabla de incidencia y ocurrencia Tpk v/s Dir.**

Período [s]	Dirección (°)								Total	
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Nº Datos	% Ocurrencia
4-6	3	1				7	1	2	14	0.02%
6-8	113	20	11		3	427	8	75	657	0.75%
8-10	114				4	1813	116	193	2240	2.56%
10-12	8				82	5948	1530	180	7748	8.84%
12-14	2				303	28769	3496	149	32719	37.32%
14-16	1				183	25374	1499	472	27529	31.40%
16-18					55	10300	371	2452	13178	15.03%
18-20					24	1628	48	1156	2856	3.26%
20-22					1	166	1	152	320	0.37%
22-24						64		339	403	0.46%
Nº Datos	241	21	11	0	655	74496	7070	5170	<b>87664</b>	
% Ocurrencia	0.27%	0.02%	0.01%	0.00%	0.75%	84.98%	8.06%	5.90%		<b>100.00%</b>
								<b>Total</b>	<b>87664</b>	<b>100.00%</b>

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-4: Rosa de oleaje, Aguas profundas.



Fuente: Elaboración propia

Al analizar los resultados mostrados en la Tabla 4-2, se puede concluir que en aguas profundas el mayor porcentaje del oleaje proviene desde el tercer cuadrante, con una dirección de incidencia del SW, la cual posee una ocurrencia del 84.98% de los casos.

La presencia de oleaje proveniente del cuarto cuadrante se ve netamente influenciada por aquel incidente del NW el cual obtiene un porcentaje de ocurrencia del 5.90%, por lo que en totalidad el cuadrante mencionado, considerando el W, posee una ocurrencia de 14.24%.

En cuanto a las alturas de oleaje en aguas profundas, se puede apreciar que poseen mayor ocurrencia las que oscilan entre los 2.0 y 2.5 [m] con un 29.33%, seguidas de aquellas que oscilan entre los 1.5 y 2.0 [m] con un 26.84% y entre los 2.5 y 3.0 [m] con un porcentaje de 19.29%.

Las olas que oscilan entre los 3.0 y 4.5 [m] poseen una ocurrencia del 12.26%. También se observa la presencia de aquellas que varían entre los 4.5 y 7.0 [m] de altura, las cuales se adjudican una ocurrencia del 0.58%

En la Tabla 4-3 se pueden apreciar los diferentes períodos asociados a las distintas direcciones de oleaje, éstos se concentraron principalmente entre los 12 y 14 [s] con un porcentaje de ocurrencia del 37.32%, seguido de los períodos que oscilan entre los 14 y 16 [s] con un porcentaje de ocurrencia del 31.40%. También se observan períodos más largos que oscilan entre los 16 y 18 [s] con un 15.03% y otros entre los 18 y 20 [s] con un porcentaje de ocurrencia de 3.26%.

Por otra parte se puede apreciar que el porcentaje de ocurrencia de períodos cortos es muy bajo, llegando a obtener un 3.32% entre los períodos que oscilan en los 4 y 10 [s], siendo entre éstos los más ocurrentes aquellos dentro de los 8 y 10 [s] con un 2.56%.

De una segunda observación, se puede concluir que la mayoría de los períodos se concentran en la dirección SW con un 84.98%, lo que era totalmente predecible debido a que el mayor porcentaje de ocurrencia de oleaje es el proveniente de la misma dirección.

#### 4.1.3.2 Propagación del Oleaje

Se realizó un total de 80 simulaciones (combinatoria del rango de periodos y direcciones empleadas), las cuales fueron distribuidas en cuatro grillas numéricas, orientadas de acuerdo al SW, W, NW y NNW. Al proponer las direcciones de modelación, se tiene la seguridad de que las direcciones de incidencia del oleaje de interés para el estudio se encuentren contenidas en su totalidad, debido a que cada grilla numérica diseñada, abarca un rango direccional de más menos  $22.5^\circ$  de la dirección fijada en ésta.

Cada una de estas grillas fue planteada en un esquema anidado, considerando una malla auxiliar de cálculo con mayor resolución, que permite definir de mejor manera el oleaje en zonas cercanas a la costa. La resolución de éstas fue 100 metros la general y 20 metros la de detalle.

La conformación las grillas propuestas tienen profundidades de inicio de la propagación superiores a 500 m, lo que asegura en la modelación que el punto de partida en la propagación del oleaje es desde aguas profundas.

En la Figura 4-5 se puede apreciar el punto en el cual se extrajeron los coeficientes de agitación para poder realizar la transferencia de oleaje. Las coordenadas del punto de análisis en UTM son 254.674 E 6.343.405 N.

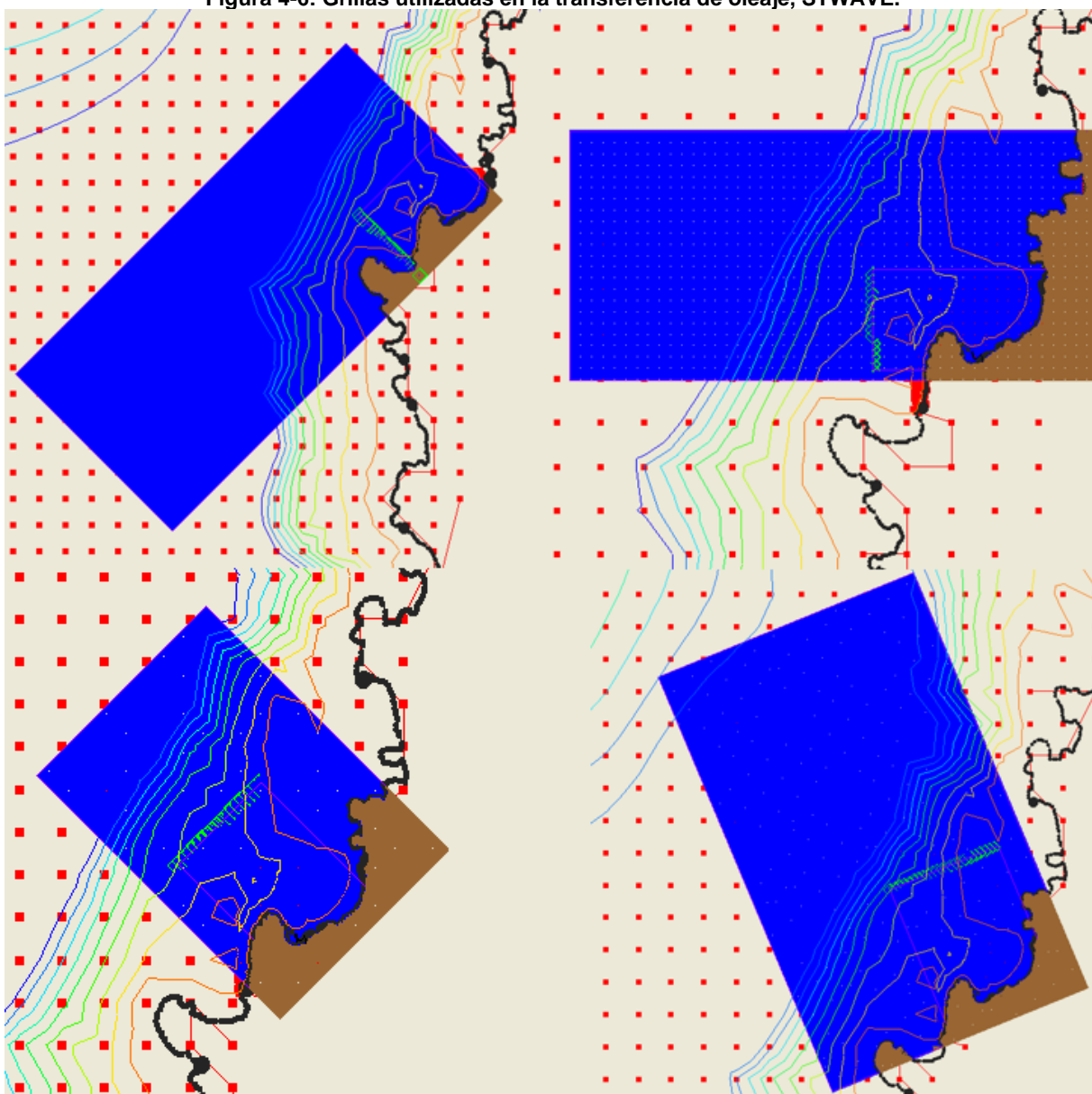
**Figura 4-5: Nodo de extracción de coeficientes.**



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 4-6 se presentan las 4 grillas numéricas utilizadas en el proceso.

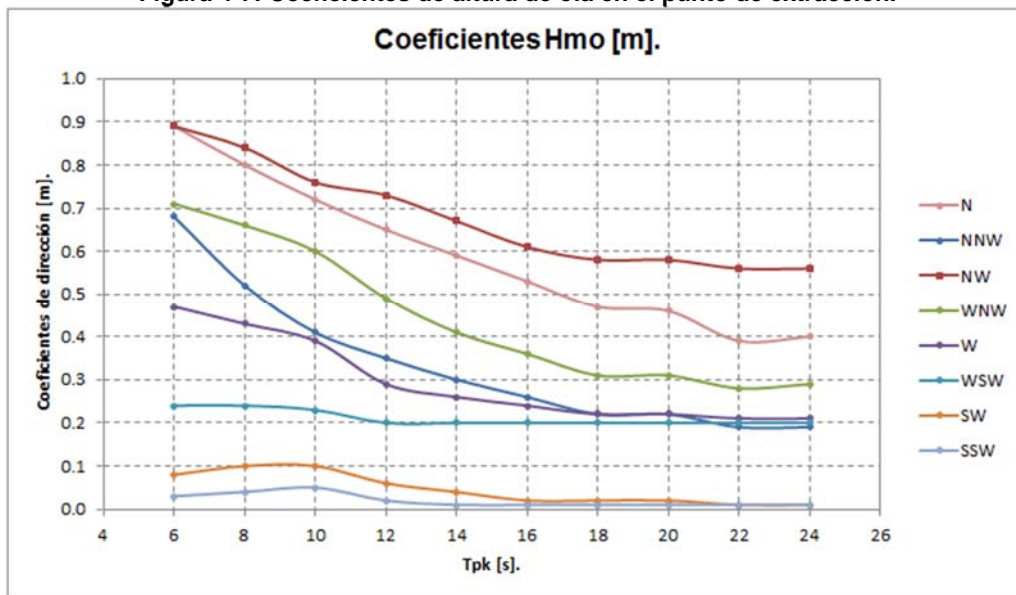
Figura 4-6: Grillas utilizadas en la transferencia de oleaje, STWAVE.



Fuente: Elaboración propia.

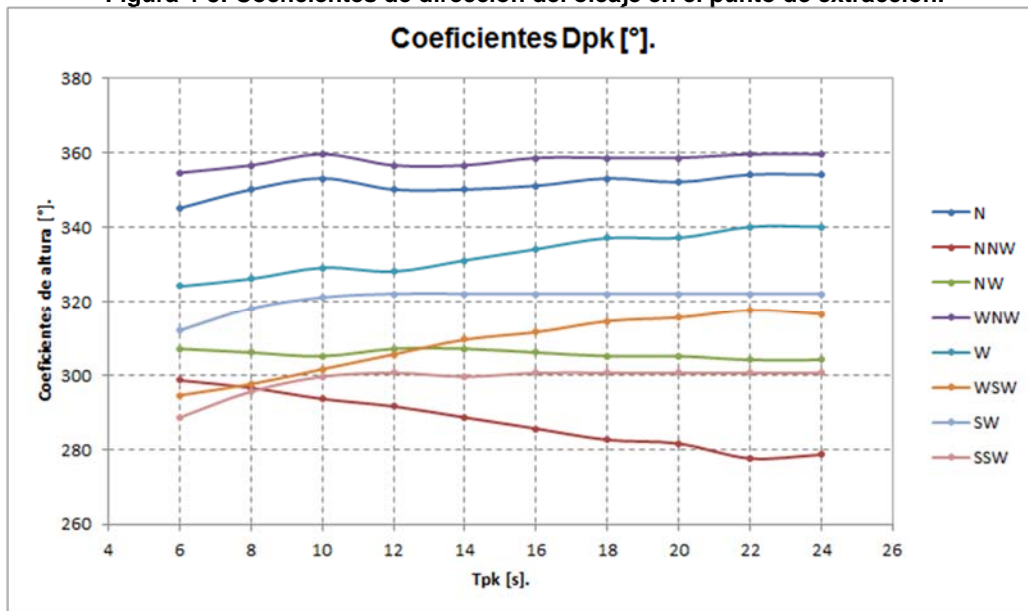
En base a las grillas propagadas se obtuvieron las siguientes funciones de transferencia del oleaje.

Figura 4-7: Coeficientes de altura de ola en el punto de extracción.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4-8: Coeficientes de dirección del oleaje en el punto de extracción.



Fuente: Elaboración propia

De las anteriores se puede apreciar como los coeficientes de altura varían dependiendo de las direcciones de incidencia, las provenientes del tercer cuadrante casi no poseen alturas, debido a la protección natural que tiene la playa, disminuyendo casi en su totalidad la energía que proviene desde éste. Se aprecia que el oleaje proveniente del cuarto cuadrante entrega mayores coeficientes en las alturas, por lo que las alturas más considerables a registrar en el sector vendrán desde éste.

En cuanto a las direcciones, se obtuvo que el oleaje proveniente del tercer cuadrante posee modificaciones en su trayectoria, debido a los diferentes obstáculos con los que se presenta a medida que avanza el tren de oleaje hasta el punto de interés, como lo son el sector de Punta Curaumilla y Punta Ángeles, los cuales funcionan como protección natural de la bahía de Valparaíso para el oleaje que incide del ya antes mencionado, a diferencia del oleaje proveniente del cuarto cuadrante, el cual no posee obstáculos ni protecciones, por lo que entra casi directamente hacia la zona de interés debido a la orientación que posee la playa y que fue presentada en el punto 1.

#### 4.1.3.3 Clima de oleaje operacional.

Utilizando los resultados de la transferencia espectral obtenidos en el punto de extracción señalado anteriormente, se emplearon los espectros bidimensionales para la determinación de los parámetros de resumen del oleaje, altura significativa espectral (Hmo), periodo peak (Tpk) y dirección asociada al peak de energía (Dpk).(Tabla 4-4).

Se concluyó que en el nodo de extracción la totalidad del oleaje proviene desde el cuarto cuadrante. La mayor ocurrencia se presenta del oleaje que posee una dirección de incidencia del NNW, la cual posee un porcentaje de 57.19% de los casos.

Las direcciones que siguen en ocurrencia son las incidentes del NW y las del WNW con una porcentaje del 24.50% y un 18.31% respectivamente.

En cuanto a las alturas de ola en el punto de extracción, aquellas con mayor ocurrencia, son las que oscilan entre 0.2 y 0.4 [m] con un porcentaje de 55.02%, seguidas de 0.4 y 0.6 [m]; y entre 0 y 0.2 [m] con porcentajes de 21.64% y 10.79% respectivamente.

En la Tabla 4-35 se pueden apreciar los diferentes períodos asociados a las distintas direcciones de oleaje, éstos se concentraron principalmente entre los 12 y 14 [s] con un porcentaje de ocurrencia del 23.57%, seguido de los períodos que oscilan entre los 14 y 16 [s] con un porcentaje de ocurrencia del 22.22%. También se observan períodos más largos que oscilan entre los 16 y 18 [s] con un 19.17% y otros entre los 18 y 20 [s] con un porcentaje de ocurrencia de 5.50%.

**Tabla 4-4: Tabla de incidencia Altura vs Dirección en el punto de extracción.**

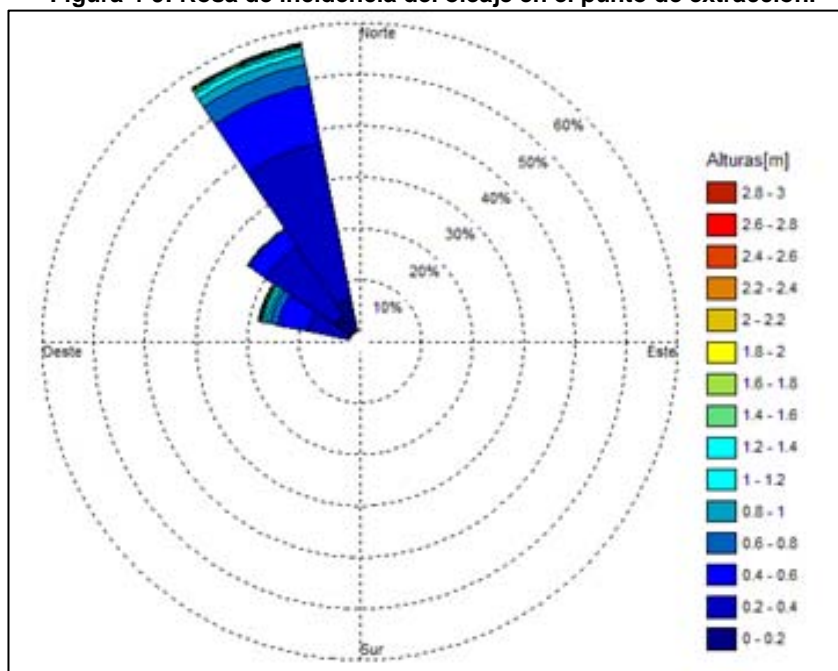
Altura Hs (m)	Dirección (°)								Total	
	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Nº Datos	% Ocurrencia
0 - 0.2						324	3366	5770	9460	10.79%
0.2 - 0.4						6946	14280	27006	48232	55.02%
0.4 - 0.6						5379	3518	10077	18974	21.64%
0.6 - 0.8						1317	280	3479	5076	5.79%
0.8 - 1.0						656	30	1636	2322	2.65%
1.0 - 1.2						484	1	982	1467	1.67%
1.2 - 1.4						355	1	483	839	0.96%
1.4 - 1.6						267	1	270	538	0.61%
1.6 - 1.8						160	2	172	334	0.38%
1.8 - 2.0						78		141	219	0.25%
2.0 - 2.2						46		69	115	0.13%
2.2 - 2.4						28		38	66	0.08%
2.4 - 2.6						8	1	8	17	0.02%
2.6 - 2.8						1		2	3	0.00%
2.8 - 3.0								2	2	0.00%
Nº Datos	0	0	0	0	0	16049	21480	50135	<b>87664</b>	
% Ocurrencia	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	18.31%	24.50%	57.19%		<b>100.00%</b>
								<b>Total</b>	<b>87664</b>	<b>100.00%</b>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4-5: Tabla de incidencia Período vs Dirección en el punto de extracción

Período [s]	Dirección (°)								Total	
	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NW	Nº Datos	% Ocurrencia
4-6						510	225	2	737	0.84%
6-8						1965	661	1400	4026	4.59%
8-10						558	1784	4774	7116	8.12%
10-12						75	1703	10270	12048	13.74%
12-14						52	3581	17116	20749	23.67%
14-16						349	7806	11320	19475	22.22%
16-18						6982	5463	4356	16801	19.17%
18-20						3878	189	752	4819	5.50%
20-22						509	19	70	598	0.68%
22-24						1171	49	75	1295	1.48%
Nº Datos	0	0	0	0	0	16049	21480	50135	<b>87664</b>	
% Ocurrencia	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	18.31%	24.50%	57.19%		<b>100.00%</b>
								<b>Total</b>	<b>87664</b>	<b>100.00%</b>

Figura 4-9: Rosa de incidencia del oleaje en el punto de extracción.



Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.4 MORFOLOGÍA COSTERA

Para poder realizar una caracterización adecuada del sitio en estudio es necesario poder realizar una serie de estudios como los que se presentan a continuación:

- Análisis sedimentológico del sector elegido.
- Transporte longitudinal de sedimentos.
- Zonificación del transporte y Diámetros estables.

Estos estudios son vitales para así determinar variables importantes a la hora de conocer el comportamiento que tiene la playa seleccionada en diferentes condiciones.

La zona consta con varias playas que se encuentran de forma expuesta directa al oleaje, a éstas se les conoce bajo la denominación de Abiertas, de las cuales la mayoría se encuentran en la ciudad de Viña del Mar.

También existen las que entran en la denominación de encajadas, éstas se definen como aquellas que se encuentran rodeadas por diferentes elementos, ya sea rocas que generen una especie de entrada de oleaje totalmente calmo, que no se ven afectados por grandes presencias de energía en sus propiedades. Este caso se ve reflejado en dos playas del sector de Valparaíso, éstas son: Las Torpederas, ubicada al final de la Avda. Altamirano, se encuentra rodeada de rocas y cubierta por una barrera natural más conocida como Pta. Ángeles. Cercana a esta, se encuentra San Mateo, la cual posee las condiciones similares a la descrita anteriormente, pero se encuentra encajada por un sector, con los muros de contención que soportan la Avda. Altamirano, y por el otro Sector, por el pie de arranque del molo de protección del Puerto de Valparaíso.

**Figura 4-10: Distribución de playas en las ciudades de Viña del mar y Valparaíso.**



Fuente: Google Earth.

#### 4.1.4.1 Estudios Granulométricos

Para la realización del Análisis sedimentológico de la playa San Mateo, se tomaron cuatro perfiles que se denominaron como 1, 2, 3 y 4; siendo el relativo de las muestras de cada perfil A, B, C y D, respectivamente. Las diferentes muestras de los perfiles, están distribuidas de la siguiente forma, Playa trasera, Zona intermareal para la más alta marea, Zona intermareal para la alta marea más baja y zona sumergida, en el caso de los perfiles 2, 3 y 4. Para el caso del perfil 1, solo se clasificó en más baja marea, intermareal y zona sumergida. La disposición de la toma de muestras se presenta en la Figura 4-11.

**Figura 4-11: Posicionamiento de las muestras de sedimentos**



Fuente: Google Earth

Los muestreos fueron realizados entre las 12:00 y las 13:30 [hrs] del día 20 de abril 2010, donde según la página del SHOA, las mareas registradas fueron las siguientes:

**Tabla 4-6: Horario de la toma de muestras**

<b>20-04-2010</b>		
	<b>hrs</b>	<b>m +NRS</b>
<b>Pleamar</b>	2:16	0.98
<b>Bajamar</b>	7:39	0.59
<b>Pleamar</b>	14:30	1.48
<b>Bajamar</b>	21:50	0.49

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto el período en el que se tomaron las muestras estaba comprendido entre la bajamar más alta y la pleamar más alta.

Las muestras seleccionadas para representar a los perfiles indicados, fueron analizadas mediante un estudio de sedimentología, el cual implicó la utilización de instrumentos como una mesa vibradora compuesta de variados tamices con diferentes tipos de diámetros para poder obtener el rango de los sedimentos existentes en la playa asociados a cada perfil.

#### 4.1.4.2 Análisis estadístico

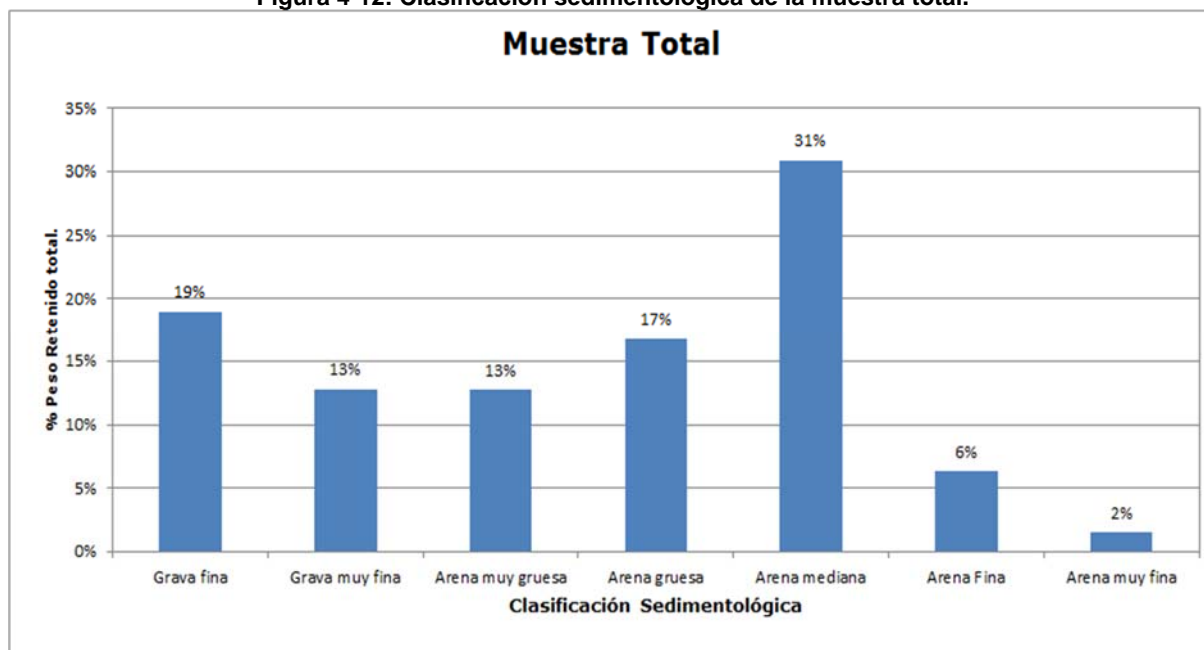
Realizado el estudio granulométrico de las muestras tomadas en el sector, se obtuvo mediante un análisis estadístico, los diámetros característicos y sus respectivos indicadores

Se realizó un análisis del total de la muestra, lo que arrojó como resultados que la fracción sedimentológica predominante en el sector, considerando las tres zonas analizadas, playa seca, intermareal y sumergida, son las *arenas medianas*, con un porcentaje retenido del 31%, seguida por las *gravas finas* y las *arenas gruesas*, con un porcentaje retenido del 19% y 17% respectivamente.

Si bien esas son las que poseen un mayor porcentaje, se advirtió la presencia de las *gravas muy finas* y *arenas muy gruesas*, con un porcentaje de peso retenido del 13% cada una.

Por lo tanto, se concluye que el sector en cuestión está ampliamente dominado por el grupo de las gravas y arenas. No se presenta en ninguna de las muestras analizadas la presencia del grupo de limos y arcillas.

Figura 4-12: Clasificación sedimentológica de la muestra total.



Fuente: Elaboración propia

Obtenido el comportamiento de la muestra total, el análisis de ahora en adelante será enfocado en la zona sumergida, para poder conocer el tipo de sedimento que predomina en ésta y así comprender de mejor manera como se desenvuelve en el sector y el comportamiento que tendrá al momento de proyectar las obras de mejora.

Para la caracterización de las diferentes muestras extraídas de la zona sumergida, se promediaron los valores de los porcentajes obtenidos del peso retenido, a partir del cual se obtuvo el porcentaje del peso pasante. Los resultados que se obtuvieron del proceso son los siguientes:

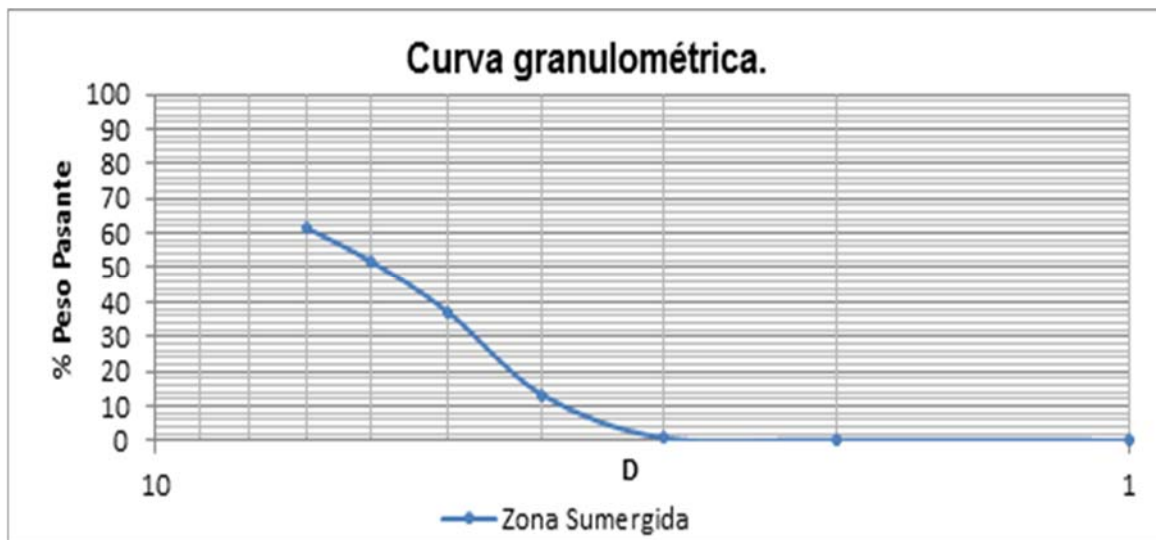
**Tabla 4-7: Peso retenido y porcentaje pasante en la zona sumergida.**

<b>Zona Sumergida Playa San Mateo</b>			
<b>Nº Tamiz</b>	<b>Diámetro [mm]</b>	<b>Peso Retenido [grs]</b>	<b>% Peso Pasante</b>
Nº 5	4	38,27	61,73
Nº 10	2	9,90	51,83
Nº 16	1	14,83	37,00
Nº 40	0.5	23,83	13,17
Nº 60	0.25	12,37	0,80
Nº 115	0.125	0,56	0,24
Nº 250	0.063	0,24	0,00
<b>Total</b>		100%	

Fuente: Elaboración propia

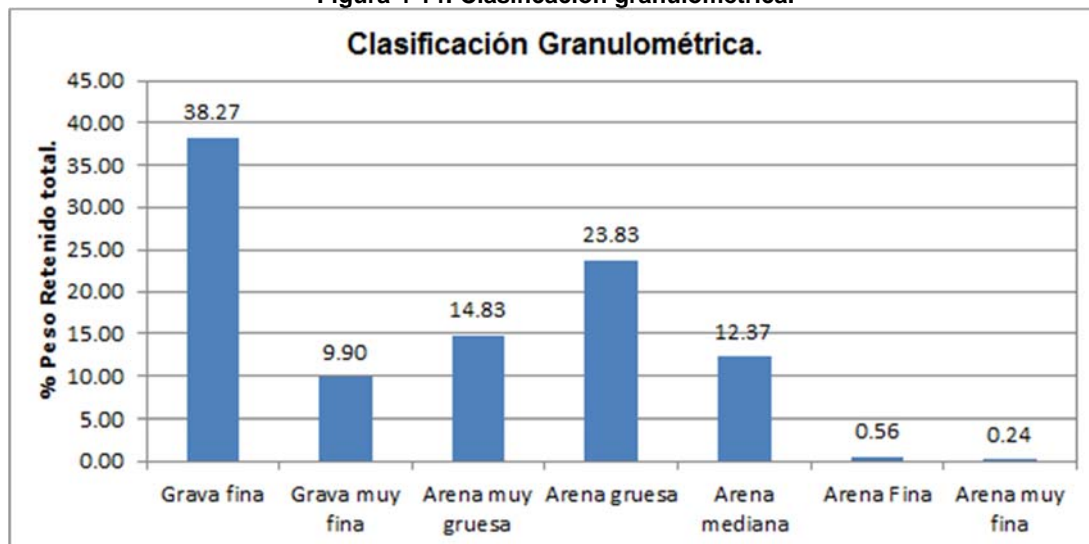
Con los resultados obtenidos del análisis granulométrico desarrollado, se generó la curva granulométrica para la zona en cuestión, la cual se ve reflejada en la Figura 4-13.

**Figura 4-13: Curva granulométrica, zona sumergida.**



En relación a la totalidad de la muestra en la zona sumergida, el sedimento característico es representado por las Gravas finas, con un porcentaje presencial del 38.27%, seguida por la fracción de Arenas gruesas y las Arenas Muy Gruesas con un 23.83% y 14.83% respectivamente.

Figura 4-14: Clasificación granulométrica.



Fuente: Elaboración propia

A partir de la curva granulométrica obtenida para la zona sumergida se pueden obtener los diámetros característicos de ésta, los cuales serán clasificados según la escala de Udden – Wentworth, la cual definirá que tipo de sedimento se ha muestreado.

Tabla 4-8: Diámetros relevantes en la zona sumergida.

Diámetros Relevantes	Resultados [mm]	Clasificación
d95	-	Grava Fina
d84	2,62	
d75	1,48	
d50	1,43	
d25	0,78	
d16	0,60	
d5	1,19	

Fuente: Elaboración propia.

En resumen, el sedimento característico que arroja el análisis estadístico distribuido por zonas refleja que en la playa trasera, se encuentran sedimentos del tipo arena fina. A medida que se avanza en el intermareal se pueden encontrar sedimentos del tipo de arenas medias y llegando al sector sumergido, el bañista se encuentra con sedimentos del tipo grava fina.

Además de los resultados obtenidos en el análisis estadístico, la observación en terreno, demuestra que existen sedimentos de tamaños mayores en la zona sumergida, los cuales poseen diámetros de 5 a 10 cms y más, éstos se pueden clasificar como guijarros o bolones, los cuales no fueron considerados dentro del análisis debido a que el instrumental utilizado, no poseía las características necesarias para poder clasificar ese tipo de elementos presentes en el sector. Estos además de presentarse en la zona sumergida, aparecen en todo el sector de playa, como se puede apreciar en la Figura 4-15.

**Figura 4-15: Presencia de guijarros en playa San Mateo.**



Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.4.3 Transporte de Sedimentos

El transporte longitudinal es aquel que genera el movimiento de los sedimentos a lo largo de la playa de forma paralela a su línea de costa

Para conocer el comportamiento del oleaje en zonas de aguas someras, es necesario tener el conocimiento de cómo se presenta en el sector la ola. Para verificar si existe la rotura del oleaje o no se utilizaron dos criterios:

Sunamura (1980):

$$H_b = 1.1h_b \left( \frac{m}{\sqrt{\frac{H_o}{L_o}}} \right)^{1/6} \quad (4.1-1)$$

Battjes & Stive (1985), modificada por Nairn (1990):

$$\frac{H_b}{h_b} = 0.39 + 0.56 \tanh \left( 33 \frac{H_o}{L_o} \right) \quad (4.1-2)$$

Mediante los criterios de rotura, se conocen las profundidades en las cuales el oleaje rompe, y por lo tanto asociar a esa área un mayor movimiento de sedimentos debido a las velocidades que en la zona de rompiente se presentan.

En ingeniería de costas, existen diferentes metodologías para poder estimar la distribución del transporte longitudinal de sedimentos, el método por las tablas de incidencia o aguas afuera, el método del CERC y el método de Queens. Para efectos de este proyecto se utilizó la formulación de Queens (1991), la cual se presenta a continuación.

Postulada por el Profesor Kamphuis (1990), es una modificación a la ecuación del CERC (1984). En esta metodología se integran propiedades del sedimento el oleaje y la playa, siendo estas el diámetro, periodo y pendiente, respectivamente.

La formulación de Queens es la siguiente:

$$Q_L = \frac{1.3 \cdot 10^{-3}}{(1-p)\rho_s} \frac{\rho H_{sb}^3}{T_p} \left( \frac{H_{sb}}{L_{op}} \right)^{-1.25} m^{0.75} \left( \frac{H_{sb}}{d_{50}} \right)^{0.25} \text{sen}^{0.6}(2\alpha_b) \quad (4.1-3)$$

Donde:

$\rho$  = Densidad del agua de Mar [Kg/m<sup>3</sup>]

$H_{sb}$  = Altura significativa rompiente [m]

$L_{op}$  = Longitud costa afuera asociada al peak [m]

$m$  = pendiente media de la playa.

Se realizó el cálculo del Transporte Longitudinal de Sedimentos para las diferentes estaciones del año, primero para un año (2000) y luego para 5 años (2000 a 2004) para así poder conocer el comportamiento durante éstas. Por lo tanto los resultados promedios del transporte obtenidos para las diferentes estaciones y los distintos criterios de rotura se ilustran en la Tabla 4-9

**Tabla 4-9: Transporte Longitudinal año 2000.**

Estaciones	Sunamura		Battjes & Stive	
	QLneto promedio [m <sup>3</sup> /meses]	QL bruto promedio [m <sup>3</sup> /meses]	QLneto promedio [m <sup>3</sup> /meses]	QL bruto promedio [m <sup>3</sup> /meses]
Verano	2174.00	2174.69	3248.67	3248.74
Otoño	2525.00	2524.96	3554.19	3552.05
Invierno	2450.82	2450.85	3355.23	3354.38
Primavera	2015.24	2015.18	3011.43	3010.96
Total	9165.07	9165.68	13169.52	13166.12

Fuente: Elaboración Propia

Para la estadística completa se obtuvieron los valores totales estacionales según aparecen en la Tabla 4-10.

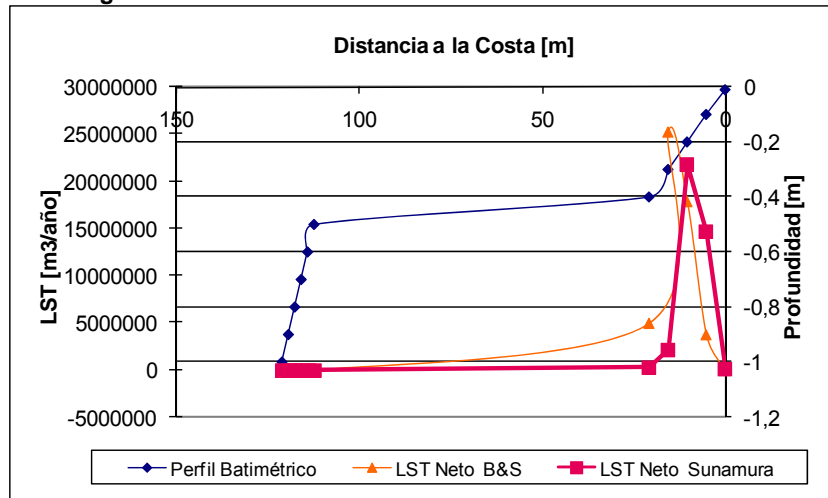
**Tabla 4-10: Transporte longitudinal año 2000 a 2004**

Estaciones	Sunamura		Battjes & Stive	
	QLneto promedio [m <sup>3</sup> /años]	QL bruto promedio [m <sup>3</sup> /años]	QLneto promedio [m <sup>3</sup> /años]	QL bruto promedio [m <sup>3</sup> /años]
Verano	10870.00	10873.46	16243.37	16243.69
Otoño	12625.02	12624.80	17770.93	17760.23
Invierno	12254.12	12254.26	16776.14	16771.92
Primavera	10076.19	10075.88	15057.16	15054.78
Total	45825.33	45828.41	65847.61	65830.62

Fuente: Elaboración Propia

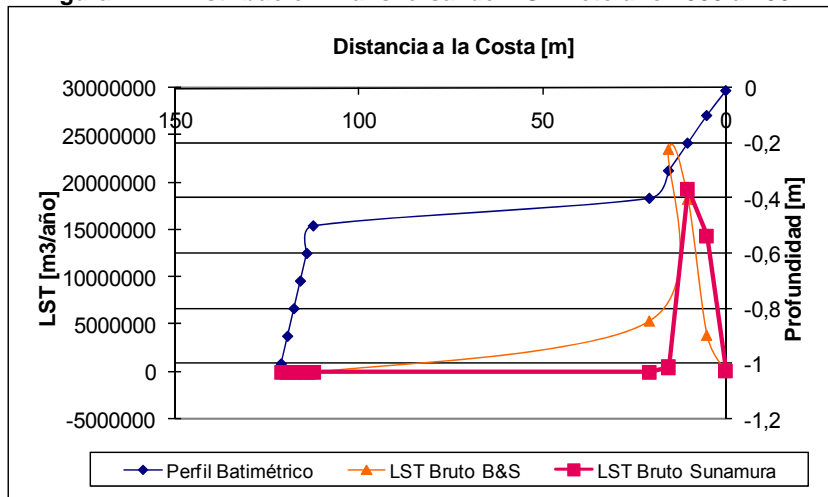
Además, se realizaron estudios de cálculos anuales del transporte de sedimentos, de los cuales se conocieron las Distribuciones Transversales del Transporte Longitudinal de los sedimentos en el sector, las cuales se presentan en la Figura 4-16 y Figura 4-17.

**Figura 4-16: Distribución Transversal del LST Neto año 2000.**



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 4-17: Distribución Transversal del LST Neto año 2000 a 2004.**



Fuente: Elaboración Propia

Se concluye del análisis del Transporte Longitudinal del Sedimento en el sector, que las mayores tasas de variación se dieron en las épocas de otoño e invierno como era de esperarse, debido a que la playa se encuentra expuesta al oleaje proveniente del cuarto cuadrante, específicamente del NNW, lo que está asociado a temporales y condiciones extremas (Oleaje Dominante). En cambio en las estaciones de primavera y verano, se encuentra una menor tasa del transporte debido a que en estas épocas se asocia al proceso de depósito del sedimento, y las condiciones existentes están asociadas a calmas (Oleaje Reinante.)

Además, se observó que el comportamiento a lo largo de los años analizados, no sufre grandes modificaciones, por lo cual se espera una respuesta similar al momento de realizar la proyección de la playa propuesta. El máximo peak de transporte se aprecia en profundidades menores a un metro, lo cual consta que la playa se encuentra en equilibrio dinámico, lo que también se demuestra en los cálculos realizados para las diferentes épocas del año en donde las magnitudes en invierno y verano son del mismo orden.

#### 4.1.4.4 Determinación de la zona activa

La profundidad activa se puede denominar como el límite que existe entre la zona de aguas someras y la zona de aguas intermedias, en la cual existe un transporte longitudinal significativo y un transporte transversal intenso.

Según Hellermeier (1980) el principal paso para poder determinar esta es propagar el oleaje a una profundidad que se encuentre comprendida entre el intervalo  $d_1 < d < 2d_1$ . Donde  $d_1$  es la profundidad activa. Ésta relación queda establecida por K&L98 (Krauss y Larson, 1998) en el afán de poder dejar aún más exacta la estimación del transporte de sedimentos.

Para determinar la Profundidad Activa, se consideran dos formulaciones las cuales representaban un estudio más acabado que la primera ecuación postulada por Hellermeier (1978-1981). Esta ecuación fue estudiada por Birkemeier (1985) el cual postuló:

$$d_1 = 1.75H_{s0.137} - 57.9 \left( \frac{H_{s0.137}^2}{gT_p^2} \right) \quad (4.1-4)$$

El cálculo de esta ecuación requiere los cálculos de  $H_{S12}$ , la cual representa a la ola que es superada en doce horas al año. Sin embargo, luego de variados estudios y algunos supuestos realizados, Houston en 1995 presenta una nueva formulación:

$$d_1 = 8.9\overline{H_s} \quad (4.1-5)$$

Por lo tanto conocidas ambas ecuaciones utilizadas en el proceso, se utilizó la formulación postulada por Birkemeier, en donde el valor de  $H_{S12}$  obtenido para calcular la profundidad activa es de 4.3 [m] por lo que se obtuvo una profundidad activa de 6.0 [m].

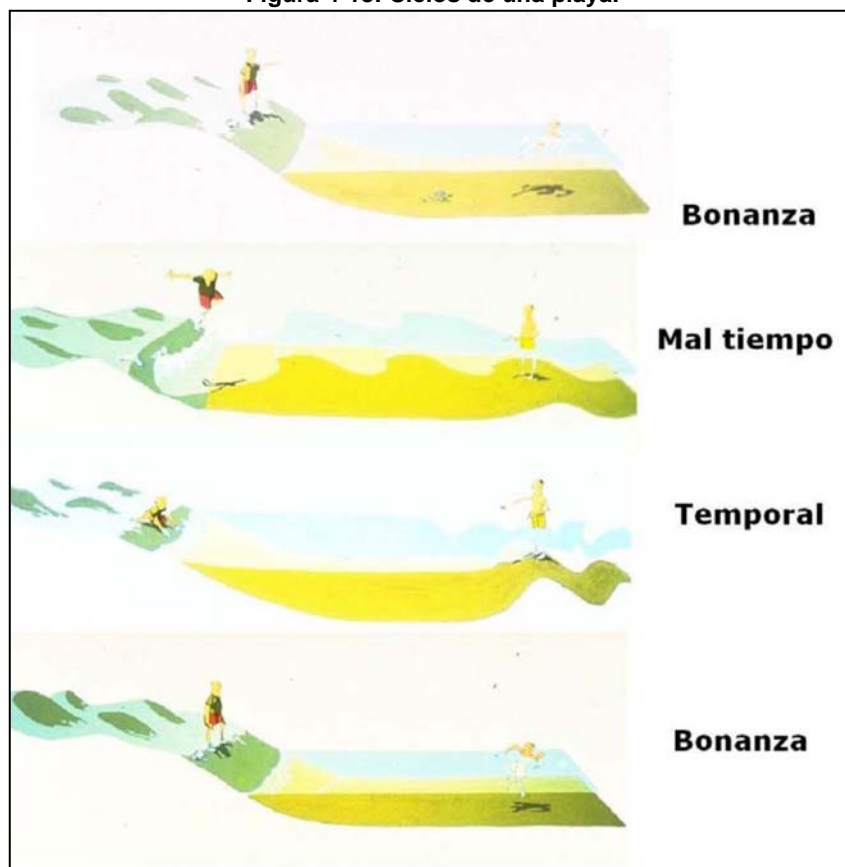
#### 4.1.4.5 Determinación de la profundidad de cierre

La profundidad de cierre es un factor que se puede considerar como gran determinante en los efectos que puede causar en los cálculos para la mayoría de las infraestructuras que se desarrollen en la ingeniería costera y afecta directamente a muchas de estas como por ejemplo al desarrollo de batimetrías, al cálculo de espigones o elementos de protección litoral.

Existen diferentes definiciones, lo que estima que al referirse a ésta no se debe clasificar como una sola, si no que muchos autores definen una profundidad de cierre y una profundidad máxima de cierre. Una definición específica puede ser la capacidad que posee el oleaje de mover los sedimentos de manera transversal a la línea de costa, desde el límite superior de la playa seca hasta el límite inferior de la playa sumergida.

Pero como se dijo anteriormente, existe la definición de la Profundidad de Cierre máxima existente en una playa, y es aquella en la cual los agentes climáticos, en este caso específico el oleaje (pueden ser también corrientes), tienen la capacidad de mover realmente el sedimento.

**Figura 4-18: Ciclos de una playa.**



Fuente: Directrices Sobre Playas, Universidad Politécnica de Madrid.

En la imagen se aprecian las diferentes formas que se pueden encontrar en el fondo de una playa debido a las condiciones del oleaje.

Para la determinación de la Profundidad de Cierre, se presentan variadas formulaciones, pero la gran mayoría de los investigadores y autores dedicados al tema han concluido que la profundidad de cierre puede estar definida en función de la profundidad activa a través de la siguiente ecuación

$$d_L = 3.5H_{s12} \quad (4.1-6)$$

Donde  $H_{s12}$  como ya es sabido corresponde a la altura de ola que es excedida por doce horas al año. Por lo tanto según esta formulación, se concluyó que la profundidad de cierre se encuentra a los 15.05 [m].

#### 4.1.5 VALORACIÓN DEL SECTOR

En base a los diferentes criterios presentados en punto 2.4 del marco teórico, solo se analizaron los asociados a criterios de utilización como defensa costera y uso lúdico humano. Si bien en el punto 2.4.2 se considera la calidad del tipo de sedimento para no alterar la flora y fauna existente, el trabajo que se realizó en esta propuesta va dirigido hacia los usuarios de forma recreacional, por lo que se analizó el sedimento dependiendo de la comodidad del usuario

##### 4.1.5.1 Como defensa costera.

Si bien San Mateo es una playa elaborada en sus inicios como una zona de práctica para las fuerzas armadas, para el desembarque y elaboración de técnicas de guerra, también se puede apreciar que por detrás de ésta se encuentra ubicada una de las arterias importantes de la ciudad de Valparaíso, la Avenida Altamirano. Ésta es la principal vía de acceso al sector de Playa Ancha, un cerro muy habitado y uno de los más concurridos, debido a que en este sector se ubican dos universidades de la región, por lo cual existe una gran afluencia de gente.

**Figura 4-19: Avenida Altamirano, después de la remodelación.**



Fuente: Elaboración propia.

La avenida Altamirano comenzó su reparación y remodelación en el año 2003, debido a una acumulación de daños a lo largo de varios años, producidos principalmente por grandes temporales que azotaron a las costas de la región. También se encuentra la entrada al molo de abrigo, por lo cual se presenta una gran circulación de camiones y embarcaciones pertenecientes a las fuerzas armadas.

Es por esto que también San Mateo cumple un rol importante como disipador de energía del oleaje que se presenta en el sector, ya que protege a la avenida de tal forma en que éste no incida en el comienzo de la estructura, provocando socavaciones o problemas estructurales.

#### 4.1.5.2 Uso lúdico humano

En la actualidad San Mateo consta con una longitud en la orilla de playa de 150 m, de los cuales solo son utilizables el 50% de ésta, un ancho de 40 m en la zona media de la playa, que es el área de mayor anchura. La playa posee un área de 2000 m<sup>2</sup>, debido a que no se comporta como un cuadrado, y de esa área efectivamente se utiliza hasta la mitad del terreno de solana ya que más abajo solo se encuentra la presencia de guijarros o bolones.

Según la clasificación descrita en el punto 2.4 uno de los ítems más importantes es poder definir a qué tipo de usuario está dirigida la playa, en base a vivencias propias y de gente a la cual se le preguntó sobre ésta, todos concuerdan que es una playa de uso popular, por lo cual tendría una gran afluencia de público durante las épocas de primavera y verano, donde la gente ya comienza a utilizar los balnearios.

Por tanto en base a las conclusiones sobre el usuario, el punto 2.4.3 genera descripciones de uso para las diferentes situaciones y estipula cuando una playa se encuentra en estado saturado, uso alto y uso bajo. En base a los criterios presentados, se aprecia que el uso del sector se encuentra en un estado saturado, debido a que se presenta una gran afluencia de gente, al ser una playa de uso popular y por el poco sector en el cual el usuario se puede disponer.

**Figura 4-20: Playa San mateo, un día sin mucha concurrencia.**



Fuente: elaboración propia.

La Figura 4-20 demuestra la poca área de solana que posee para disponer un asentamiento tranquilo y cómodo, lo que genera que el usuario se ubique en un mismo sector, llegando a saturar el espacio disponible, sobre todo en épocas de verano.

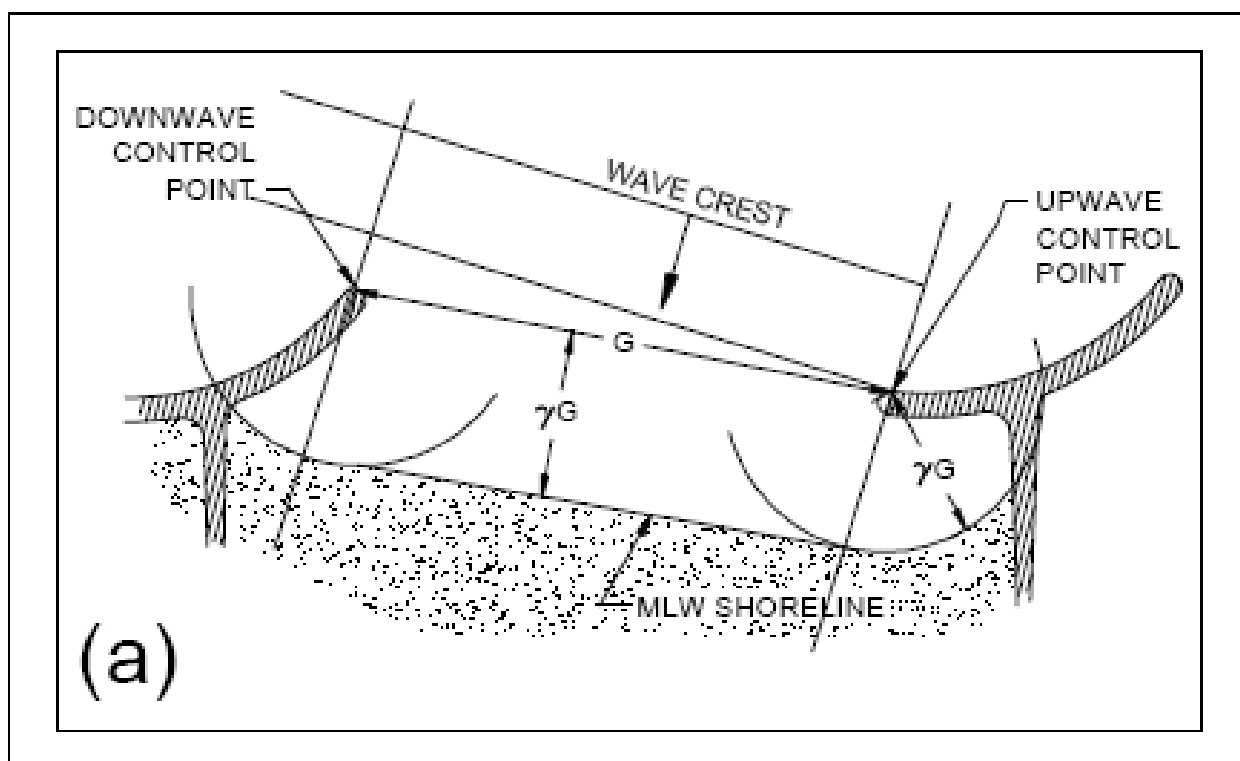
## 4.2 PROYECTO DE MEJORAMIENTO DE PLAYA.

De acuerdo a lo estudiado y nombrado en los puntos anteriores, sedimentos demasiado gruesos en la zona de baño, profundidades elevadas en la zona Oeste de la playa, y poca área de solana, se ha establecido realizar una variación en las condiciones que posee la playa para que sea agradable a la hora de utilizarla como un espacio de recreación para la comunidad, y así obtener un mejoramiento también del borde costero en el lugar.

### 4.2.1 FORMULACIÓN SELECCIONADA PARA LA GENERACION DE LA PLAYA.

Para el desarrollo del mejoramiento del sector en cuestión, se utilizó la formulación presentada por Kevin Bodge para conocer la planta de equilibrio (Capítulo 2.3.2.3), estas formulaciones requieren del conocimiento y criterio de quien las utiliza para poder estimar de mejor forma los factores a utilizar para el crecimiento de la línea de costa.

Figura 4-21: Aplicaciones en Proyectos Reales, Kevin Bodge.



Fuente: Design Aspects of Groins and Jetties, Bodge, Kevin R (2002).

#### 4.2.2 DESCRIPCIÓN DEL LAYOUT PROPUESTO.

Se ha establecido realizar una mejora en las condiciones que posee la playa para que sea agradable a la hora de utilizarla como un espacio de recreación para la comunidad, y así obtener una mejora del borde costero en el sector.

En base a la formulación seleccionada para obtener un aumento en el área de solana de la playa en cuestión, se propone un layout de mejora el cual se presenta en la Figura 4-22.

**Figura 4-22: Layout propuesto para la mejora de Playa San Mateo.**



Fuente: Elaboración propia.

Se puede apreciar que se consideran tres obras de abrigo para el desarrollo, las estructuras laterales cumplen una doble función, protección y retención del sedimento y la estructura mar adentro es un dique sumergido, el cual cumple la función de poder disminuir la energía del oleaje incidente y permitir un baño en condiciones de menor agitación.

El presente layout se propuso en base a las características morfodinámicas que se presentan en el sitio en cuestión, y que han sido evaluadas a lo largo del presente documento. La idea es poder generar un sector más seguro para los bañistas, el cual se encuentre habilitado para el baño mínimo en un 90% en toda época del año, para la condición más crítica de oleaje analizada, la cual se estimó de la propagación espectral realizada con una estadística de 20 años; a su vez obtener un aumento del área de solana y la mejora en la calidad del sedimento presente.

Por lo tanto, según lo argumentado anteriormente, la idea del proyecto es obtener que el oleaje en el sector sea un 90% del tiempo, con alturas de ola menores a 0.8 [m] en la zona denominada de baño.

#### 4.2.2.1 Funcionamiento hidráulico rompeolas disipantes.

Para obtener el funcionamiento hidráulico de la estructura se debe determinar el coeficiente de transmisión  $K_t$ , el cual se obtiene a partir de la siguiente formulación propuesta por J.W. Van Der Meer (1988):

$$K_t = C_t = C_{TO} + C_{TP} \quad (4.2-1)$$

Dónde:

$$C_{TO} = \frac{H_t^{Overtopping}}{H_i} \quad (4.2-2)$$

$$C_{TP} = \frac{H_t^{Penetracion}}{H_i} \quad (4.2-3)$$

La ecuación del  $K_t$  depende altamente del tipo de estructura que se va a diseñar, en este caso rompeolas convencional sumergido, en donde el coeficiente de transmisión propuesto por Van Der Meer para dicha estructura es el siguiente:

$$K_t = \begin{cases} -0.4 \frac{R_c}{H_{si}} + 0.64 \left( \frac{B}{H_{si}} \right)^{-0.31} \left( 1 - e^{-0.5\xi} \right) & \frac{B}{H_i} < 10 \\ -0.35 \frac{R_c}{H_{si}} + 0.51 \left( \frac{B}{H_{si}} \right)^{-0.65} \left( 1 - e^{-0.41\xi} \right) & \frac{B}{H_i} > 10 \end{cases} \quad (4.2-4)$$

Para poder realizar el cálculo del coeficiente de transmisión asociado a la estructura disipante, se utilizó una altura de ola crítica, que en este caso viene dada por el máximo valor de la estadística analizada y sus respectivas propiedades, la cual corresponde a 2.8 [m], un período de 16 [s] y una dirección incidente de 337.5 (NNW) en el sector de extracción de los valores. La selección de estos parámetros es debido a que es la condición más extrema que se encontró en el sector luego de realizar el análisis estadístico de las características del oleaje.

El valor del coeficiente de transmisión obtenido para la estructura es de 0.6, por lo cual la obra permitirá disipar en un 40% la energía del oleaje incidente en el sector. Esto indica que para el caso analizado, una altura de ola 2.8 [m] antes del rompeolas, quedará con una altura de 1.68 [m], la cual se utilizó para la estimación de las propiedades de las estructuras tipo T o fishtales.

Las estructuras tipo T, fueron diseñadas de esa forma para poder cumplir con dos requerimientos, el primero es soportar alturas mayores en el cabezo, para que disipen la mayor cantidad de energía y la segunda es poder retener el oleaje de manera progresiva a lo largo del tronco.

Por lo tanto, las olas que no se vean afectas por el primer rompeolas y entren al sitio en cuestión de igual forma verán reducida su energía con los rompeolas dispuestos en el sector de baño. También, en base a lo analizado en el capítulo 4.2, el transporte longitudinal en la zona se dirige de Oeste a Este en bajas tasas, lo que indica que al introducir las estructuras presentadas en el Layout propuesto, no será posible que se rellene de forma natural, por lo que se debe rellenar con el sedimento estimado para la mejora de la playa.

### 4.2.3 AGITACIÓN EN LA ZONA DE BAÑO.

Para poder conocer el comportamiento del layout propuesto, se realizó la representación del lugar mediante el programa Mike 21 BW, el cual es un modelo robusto y está inmerso en el grupo de aquellos que resuelven la fase (MRF), más información de éstos se encuentra detallada en el punto 2.1.4.

Las obras dispuestas, fueron sometidas a tres condiciones distintas las cuales se presentan en la Tabla 4-111.

**Tabla 4-11: Casos a modelar**

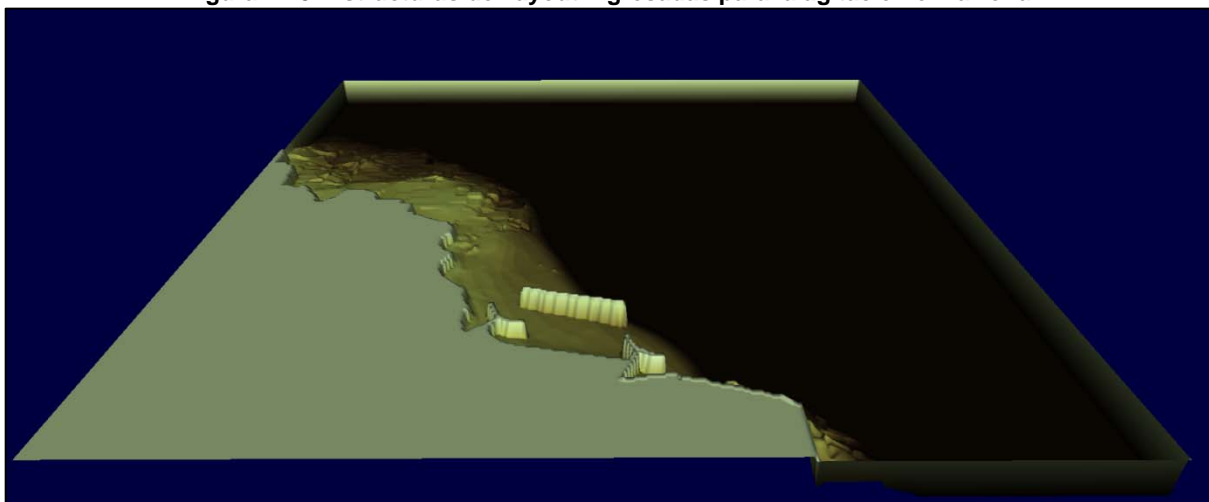
<b>Casos</b>	<b>Hmo [m]</b>	<b>Tp [s]</b>	<b>Dir [Grados]</b>
<b>1</b>	2.82	16	337.5
<b>2</b>	0.57	17	302
<b>3</b>	1.52	8	329

Fuente: Elaboración propia.

El primer caso, es representativo de la condición más extrema encontrada en el sector, el segundo caso, representa la altura promedio de la estadística analizada y el tercer caso es una ola con una ocurrencia del 0.61% que se encuentra entre las condiciones mencionadas anteriormente.

La disposición y conformación de las estructuras de abrigo se pueden apreciar en la Figura 4-23.

**Figura 4-23: Estructuras del layout ingresadas para la agitación en la zona.**



Para poder obtener una buena interpretación de los fenómenos que ocurren en la playa y la interacción de las olas con las estructuras, a éstas se le asignaron los coeficientes de transmisión calculados en base a la formulación presentada en el punto anterior. También se definieron las geometrías que tendrán los elementos que conformarán las obras de mejora.

#### 4.2.3.1 Resultados.

Para obtener un mejor conocimiento del comportamiento del oleaje en el sector, se analizaron 5 puntos que fueron posicionados en los veriles de 3 y 5 [m]. La Figura 4-24 demuestra la disposición de los puntos a lo largo del nuevo perfil que posee la playa en cuestión.

**Figura 4-24: Puntos de extracción de la propagación de oleaje.**



Fuente: Elaboración Propia

El oleaje en los puntos de control, se obtuvo mediante la transferencia de energía de los casos presentados en la Tabla 4-12. Los valores fueron extraídos mediante una serie de tiempo, de la cual se promediaron los últimos 30 minutos de propagación, los cuales demostraban entrar en una estabilidad de los valores de altura significativa en el punto, lo que significa que ya no se encontrarán valores mayores a los que ya presentó. En base a esa metodología se obtuvieron los siguientes valores de altura de ola.

Tabla 4-12: Alturas de ola obtenidas en los puntos de extracción, Caso 1.

Puntos	Hmo= 2.86, Tp= 16, Dir= 337.5			
	d Extracción= 3m		d Extracción= 5m	
	Hs [m]	Hmax [m]	Hs [m]	Hmax [m]
1	0.35	0.57	0.21	0.41
2	0.72	1.13	0.68	1.21
3	0.79	1.31	0.67	1.19
4	1.19	1.95	0.93	1.75
5	0.42	0.71	0.51	0.87

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-25: Modelación realizada para las condiciones descritas en el caso 1.



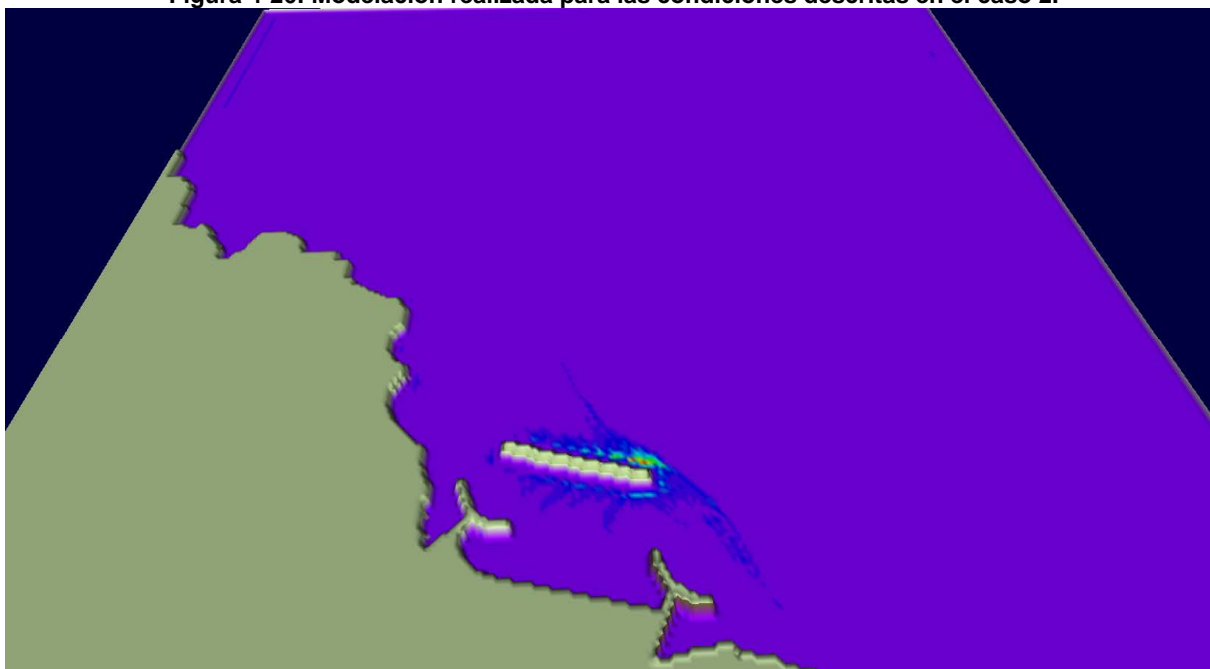
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4-13: Alturas de ola obtenidas en los puntos de extracción, Caso 2

Puntos	Hmo= 0.57, Tp= 17, Dir= 302			
	d Extracción= 3m		d Extracción= 5m	
	Hs [m]	Hmax [m]	Hs [m]	Hmax [m]
1	0.29	0.45	0.17	0.33
2	0.52	0.86	0.56	0.94
3	0.55	0.91	0.45	0.84
4	0.81	1.37	0.49	0.92
5	0.28	0.48	0.41	0.66

Fuente: elaboración propia.

Figura 4-26: Modelación realizada para las condiciones descritas en el caso 2.



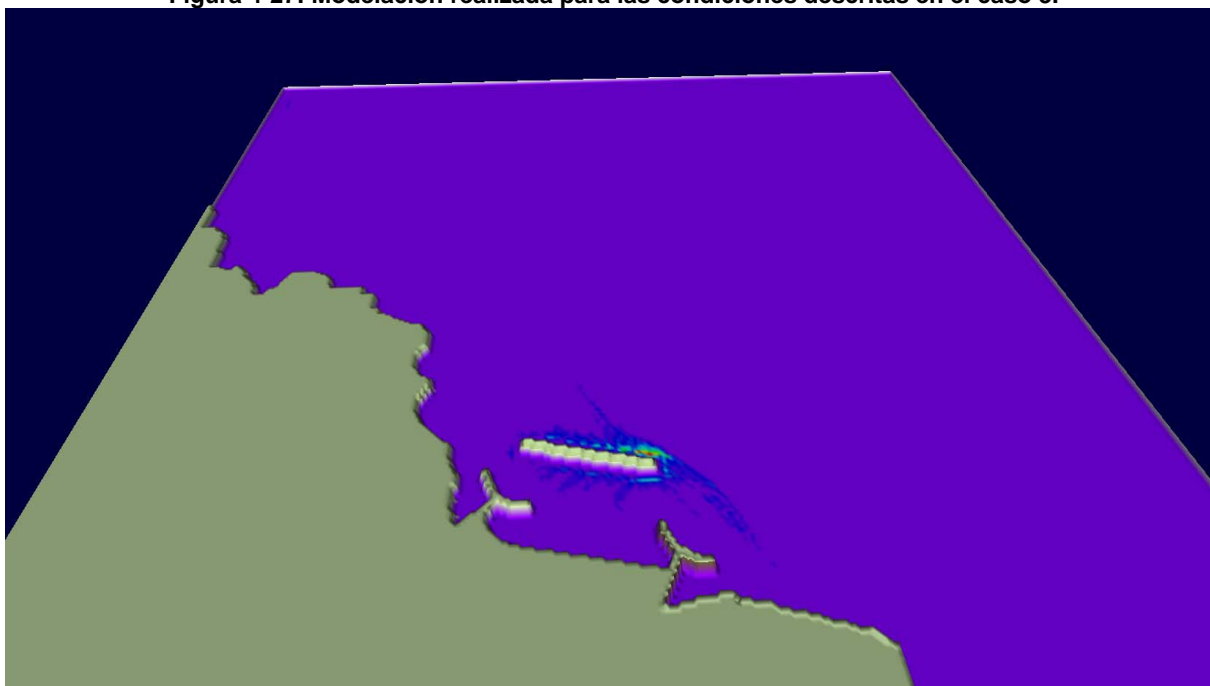
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4-14: Alturas de ola obtenidas en los puntos de extracción, Caso 3

Puntos	Hmo= 1.52, Tp= 8, Dir= 329			
	d Extracción= 3m		d Extracción= 5m	
	Hs [m]	Hmax [m]	Hs [m]	Hmax [m]
1	0.29	0.47	0.13	0.24
2	0.47	0.74	0.52	0.97
3	0.56	0.94	0.43	0.83
4	0.78	1.19	0.42	0.81
5	0.25	0.38	0.39	0.58

Fuente: Elaboración propia.

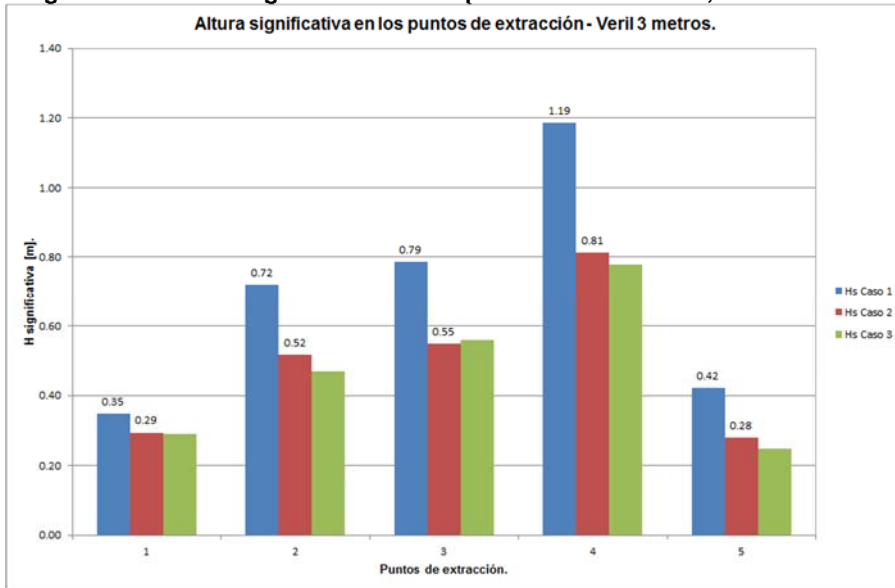
Figura 4-27: Modelación realizada para las condiciones descritas en el caso 3.



Fuente: Elaboración propia

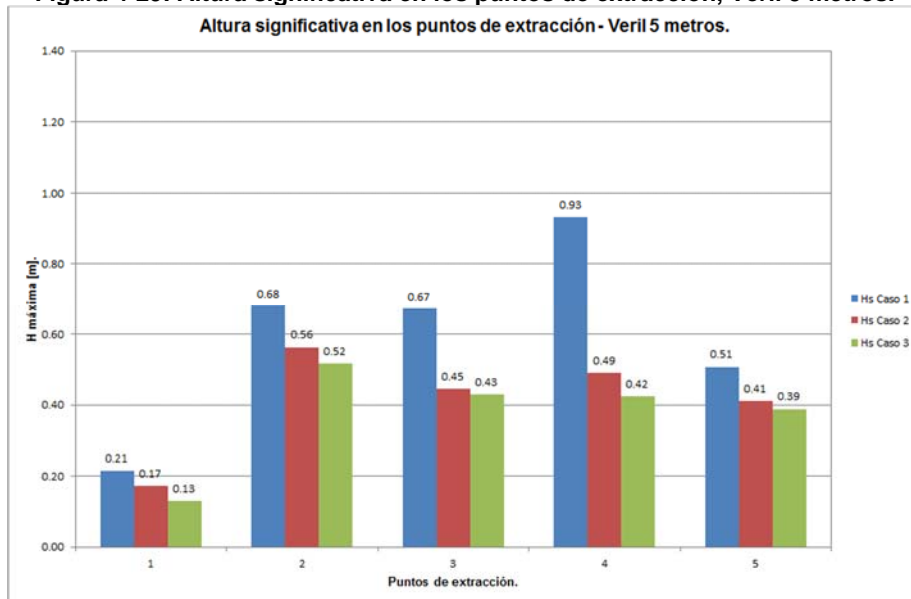
Para poder ver de manera conjunta el comportamiento de las diferentes alturas de ola obtenidas en los puntos de extracción, se presentan dos gráficos de histogramas los cuales representan las alturas de olas en los puntos analizados en cada veril seleccionado.

**Figura 4-28: Altura Significativa en los puntos de extracción, Veril 3 metros.**



Fuente: Elaboración propia

**Figura 4-29: Altura significativa en los puntos de extracción, Veril 5 metros.**



Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar en la Figura 4-28 y Figura 4-29, las alturas de ola significativa van aumentando a medida que se acercan a la costa, debido al peralte que sufre la misma al momento de acercarse hacia ésta debido a la disminución de las profundidades.

Para el análisis de los puntos ubicados en el veril de los 3 metros, el máximo valor se da en el punto 4 para los diferentes casos analizados, siendo el más relevante el correspondiente a la modelación del caso 1, obteniéndose una altura en el punto de 1.19 [m]. el segundo registro mayor en lo que a este veril respecta es la altura significativa asociada al caso 1 ubicada en el punto de análisis 3, la cual posee un valor de 0.79 [m].

Para el caso del veril de 5 [m], el máximo valor se da en el punto 4 para los diferentes casos analizados, siendo el valor más relevante el correspondiente a la modelación del caso 1, obteniéndose una altura en el punto de 0.93 [m]. El segundo registro mayor en lo que a este veril respecta se da en el caso 1 punto de análisis 3, la cual poseen un valor de 0.67 [m].

En cuanto a los resultados obtenidos en los distintos puntos de análisis, se observa que la mayor altura de ola tanto para el veril de los 3 [m] y el veril de los 5 [m], se producen en el punto 4. Esto porque al mirar la configuración de las estructuras, es el que posee una entrada más directa del oleaje en relación a los otros, ya que el dique principal está orientado de tal forma que disminuya la energía del oleaje pero a su vez permita un flujo capaz de mantener la renovación de la masa de agua y no se produzca un estancamiento de ésta.

#### 4.2.4 EVOLUCIÓN AL CORTO PLAZO.

Para la realización de éste análisis se utilizó el software Mopla, el cual está compuesto de 3 modelos que se denominan Oluca SP, Copla SP y Eros SP. Cada uno de ellos cumple una función fundamental en el resultado final, el cual es resumido a continuación:

- Oluca SP: es el encargado de la propagación espectral del oleaje.
- Copla SP realiza la generación de las corrientes inducidas por rotura del oleaje espectral
- Eros SP realiza la estimación del transporte longitudinal de sedimentos bajo las condiciones mencionadas

El funcionamiento de este modelo se realizó propagando el oleaje por medio de ecuaciones de pendiente suave con una aproximación parabólica resolviendo la fase. El transporte longitudinal de sedimento se resolvió mediante modelos dependientes del oleaje y corriente y el módulo de la corriente por rotura del modelo lo obtuvo mediante el cálculo de flujo de momento

Los valores utilizados para el análisis morfodinámico de la playa proyectada, fueron los obtenidos de las modelaciones realizadas en el punto 4.3.3 y se presentan a continuación:

**Tabla 4-15: Alturas seleccionadas para el análisis morfodinámico.**

<b>Caso</b>	<b>Hs [m]</b>	<b>Tp [s]</b>	<b>Dir [°]</b>
<b>1</b>	1.19	16	337.5
<b>2</b>	0.81	17	302
<b>3</b>	0.78	8	329

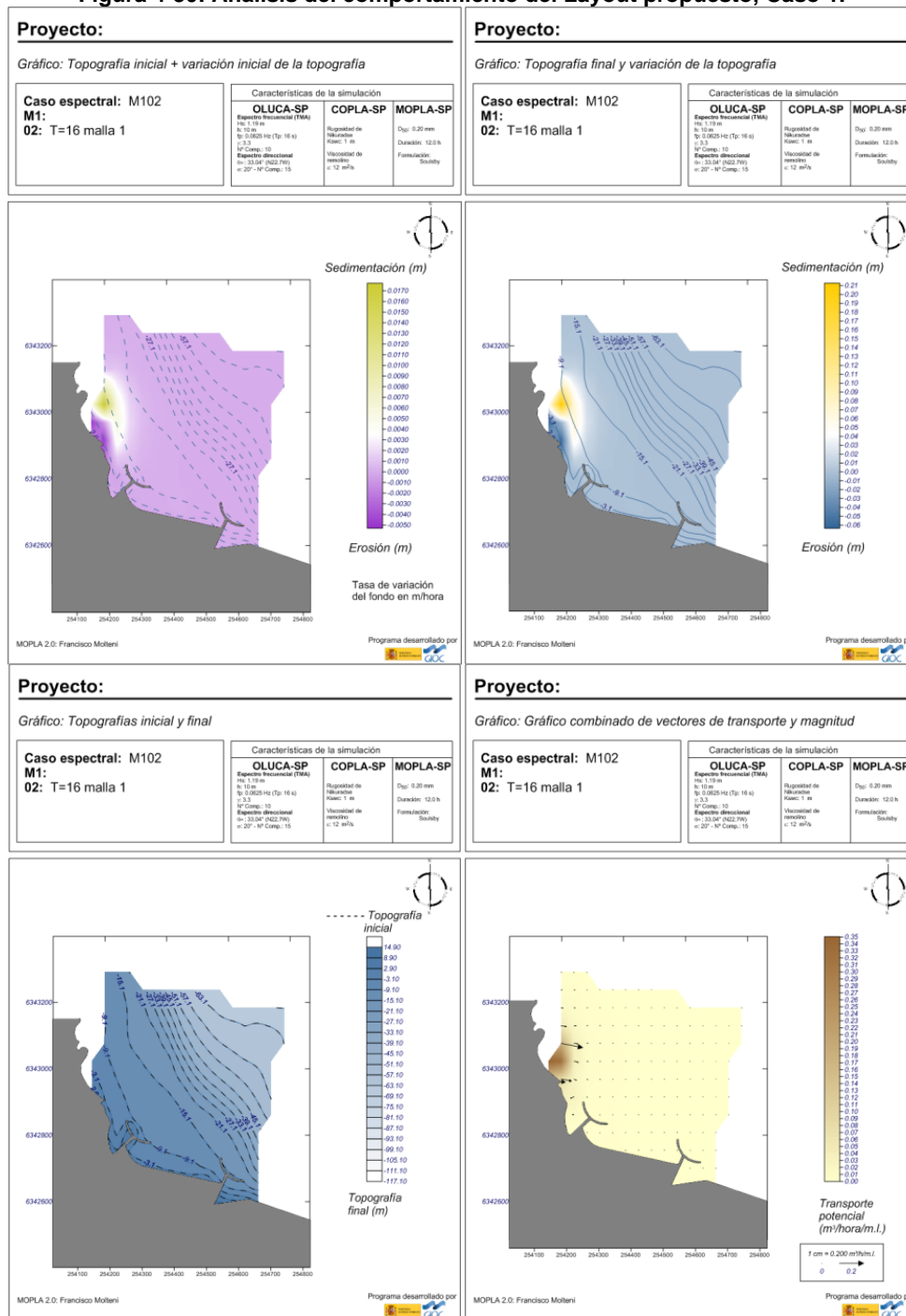
Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la tabla, se analizaron los tres casos que se definen como las condiciones de oleaje más críticas obtenidas y que fueron analizadas y expuestas en el punto 4.3.3.1. Estos son los valores que se extrajeron en el punto 4 del veril correspondiente a los 3 [m].

### 4.2.4.1 Resultados.

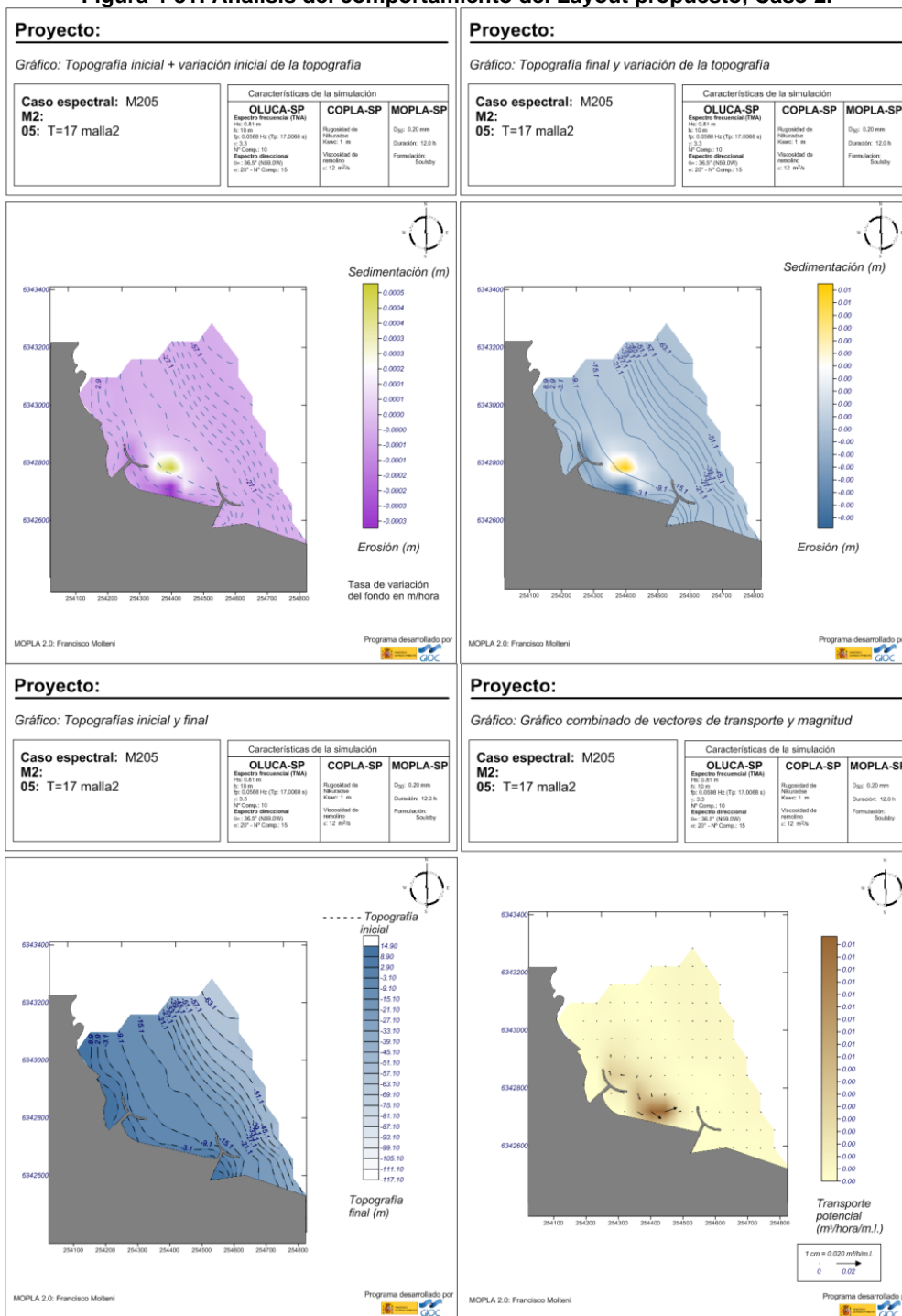
Para cada uno de los casos presentados se realizó un análisis del comportamiento morfodinámico, obteniendo los siguientes funcionamientos del layout propuesto

**Figura 4-30: Análisis del comportamiento del Layout propuesto, Caso 1.**



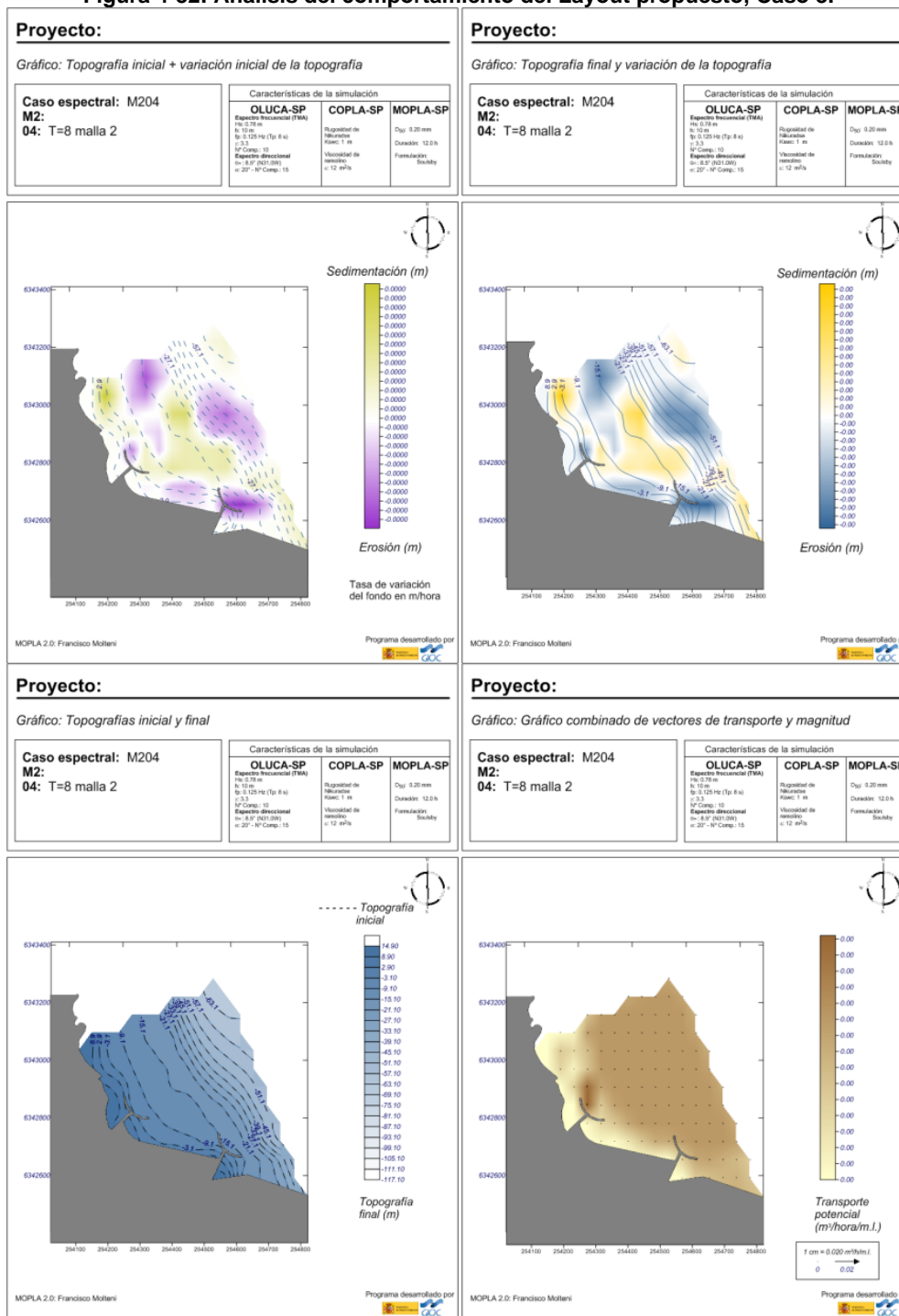
Fuente: Elaboración propia

Figura 4-31: Análisis del comportamiento del Layout propuesto, Caso 2.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4-32: Análisis del comportamiento del Layout propuesto, Caso 3.



Fuente: Elaboración propia

Para el caso 1, se observó que la variación morfodinámica de la playa se mantiene intacta, los veriles de profundidad no se modifican. Estas condiciones se pueden apreciar en las dos primeras láminas, que si bien demuestran sectores de sedimentación y erosión la tercera lámina demuestra la topografía final del sector con respecto a la inicial, la cual reafirma la estabilidad del layout propuesto.

La cuarta lámina demuestra la trayectoria y la magnitud que posee el transporte de sedimentos en el sector, además de que no interfiere con el equilibrio de la playa propuesta. La mayor modificación que se puede generar es la concentración que se aprecia hacia el Weste por sobre el diseño de las obras propuestas para la retención de sedimento.

A diferencia del caso anterior, en el caso 2, se concluyó frente al sector de la playa proyectada una sedimentación y erosionamiento de ésta. La tasa de variación en la condición inicial, lámina 1, posee un orden de milímetros, en cambio en la condición final, se aprecia un aumento en las variaciones, creciendo al orden de centímetros.

La lámina 3 entrega la variación que posee la topografía al inicio y al final de la modelación, como se aprecia en ésta, el fondo no posee variaciones debido al erosionamiento o a la sedimentación que se presenta en las láminas anteriores. Por último la lámina 4, muestra el patrón de circulación de las corrientes en el sector y a la vez cómo se comporta el transporte en la condición propuesta, denotando que el sedimento oscila dentro de las obras propuestas, no desvirtuando el perfil propuesto. Por lo tanto se puede concluir que la presencia de los fenómenos de sedimentación y erosión presentados en las láminas 1 y 2 son despreciables y no poseen una mayor incidencia en el funcionamiento del layout propuesto.

Para el caso 3, se advirtió un comportamiento diferente, ya que existe más movimiento de los sedimentos en el fondo tanto en el sector de playa como en las obras proyectadas. Al inicio del proceso se advierte que la circulación de las partículas posee una magnitud del orden de milímetros y al final del evento analizado aumenta al orden de centímetros.

En la lámina 3 se confirmó que no existen grandes variaciones de los veriles de profundidad así como tampoco del tramo de playa generada. Por último en la lámina 4 se aprecia el patrón de corrientes y circulación del transporte, en ésta se advierte una mayor concentración en el cabezo de la estructura weste debido a las corrientes generadas en ese sector.

#### 4.2.5 EVOLUCIÓN AL LARGO PLAZO.

La forma en planta que adoptan las playas sedimentarias, naturales como artificiales, es producto de la interacción de los agentes dinámicos, oleaje o corrientes o ambos, y de las propias características que tenga la playa.

Cuando las playas se encuentran encajadas como es el caso del Layout propuesto, entre dos estructuras, la forma en planta de la playa, será función de efecto barrera que provoquen las defensas y también del tipo de sedimento que se quiera utilizar para el relleno del nuevo sector.

Para el desarrollo del mejoramiento del sector en cuestión, como se mencionó en la presentación del Layout, se utilizó la formulación presentada por Kevin Bodge para conocer la planta de equilibrio, estas formulaciones requieren del conocimiento y criterio de quien las utiliza para poder estimar de mejor forma los factores a utilizar para el crecimiento de la línea de costa.

#### 4.2.5.1 Planta de equilibrio

En base a las restricciones presentadas en el marco teórico, las variables asumidas para el diseño de la planta de equilibrio de la playa en mejora son:

- Ángulo entre el frente de oleaje y las T es de  $14^\circ$
- $G=193.76$
- $\gamma=0.35$

Por ende, las condiciones propuestas se encuentran en los rangos recomendados presentados en el punto 2.3.2.3. A continuación se presenta una imagen del procedimiento del cálculo de la planta de equilibrio para la playa.

**Figura 4-33: Metodología de elaboración Layout propuesto.**



Fuente: Elaboración propia.

Con las variables expuestas se obtuvieron los siguientes resultados:

- En el sector Weste, se produjo un incremento de 50 [m] de manera perpendicular desde la línea de costa existente hasta la proyectada.
- En el sector central de la playa, se aprecia un crecimiento menor pero significativo de igual forma, 38 [m] desde la línea de costa real hacia la proyección realizada.
- En el sector Este de la playa, al igual que el sector weste, se obtuvo un aumento desde la línea de costa existente hasta la proyectada de 45 [m].

Considerando los aumentos mencionados, la Figura 4-34 demuestra el aumento del área de solana que se produjo en el sector.

**Figura 4-34: Crecimiento del área de solana.**



Fuente: Elaboración propia

Como se aprecia, el área de solana tuvo un aumento en promedio de 45 [m] en proyección hacia el NE de su línea de costa actual. Se denominaron dos sectores como A y B, donde:

A: Representa el área de solana obtenida mediante la proyección de las obras.

B: Área disponible a utilizar como estacionamientos o miradores.

#### 4.2.5.2 Perfil de equilibrio.

El perfil de equilibrio intenta ilustrar cómo será el comportamiento de la nueva playa diseñada, principalmente con los efectos producidos por el transporte transversal de los sedimentos, el cual depende de las condiciones del oleaje el viento y el nivel del mar.

La evolución del perfil está relacionada netamente al comportamiento que tendrá la playa en época de invierno, donde el perfil se erosiona y la arena que conforma la berma migra en dirección al mar y forma una barra, como en época de verano, donde la arena de la barra migra en dirección a la costa formando una berma. Las condiciones mencionadas son conocidas como Perfil de Invierno y Perfil de Verano.

Un conocimiento cuantitativo de las características de los perfiles de equilibrio de playa es fundamental en el ámbito de seguimiento, gestión y regeneración de éstas, así como en la interpretación de los procesos costeros. Algunas de las características del perfil de equilibrio son bien conocidas, tal como indica Dean (1991):

- Los perfiles de equilibrio son cóncavos hacia arriba.
- Tamaños de granos pequeños y grandes están asociados a pendientes suaves y pronunciadas, respectivamente.
- El frente de playa es plano.
- Ondas peraltadas dan lugar a pendientes más suaves y presentan tendencia a la formación de barras.

Para analizar el perfil de equilibrio se considera utilizar el perfil seleccionado y demostrado en la Figura 4-35.

**Figura 4-35: Perfil seleccionado a analizar**



Fuente: Elaboración propia

Una de las formulaciones más aplicada es la propuesta por Brunn (1954). A partir del análisis de perfiles de playa de la costa norte danesa y de Mission Bay (California), encontró que estos seguían la siguiente relación:

$$h(x) = Ax^{2/3} \quad (4.2-5)$$

Donde  $h(x)$  es la profundidad a una distancia  $x$  de la línea de costa, y  $A$  es un parámetro de escala que depende, principalmente, de las características sedimentarias. La aplicación inicial de esta expresión estaba limitada a la zona del perfil aguas-adentro del punto de rotura.

El parámetro  $A$  tiene dos formulaciones un presentada por Dean (1987) y una propuesta por Kriebel et al (1991)

$$A = K\omega_s^{0.44} \quad (4.2-6)$$

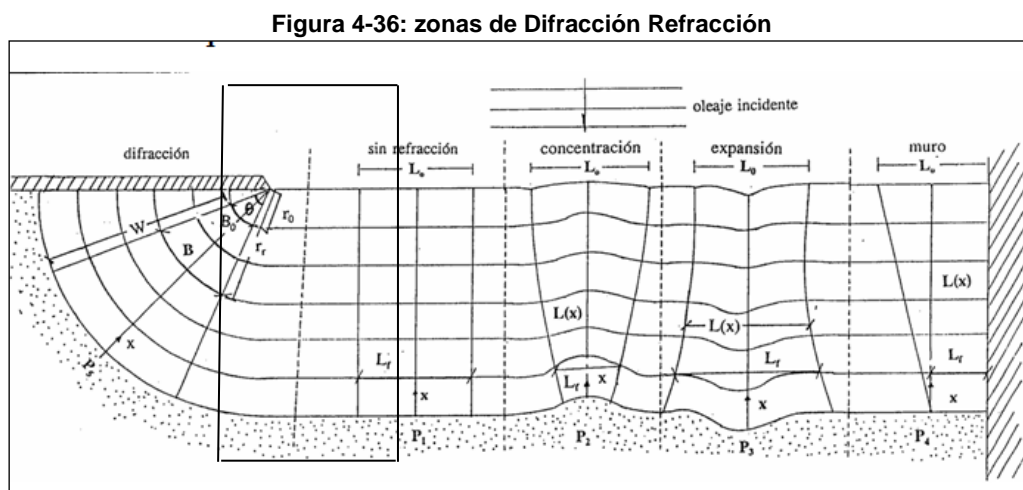
$$K \approx 0.51$$

Dean (1987):

$$A = 1.05\omega_s^{2/3} \quad (4.2-7)$$

Kriebel (1991):

Las formulaciones mostradas recientemente han sido obtenidas considerando una sección bidimensional en la vertical las cuales no consideran efectos de difracción y refracción debido a lo ya mencionado anteriormente, los que en ocasiones resultan ser relevantes tal como muestra la siguiente figura:

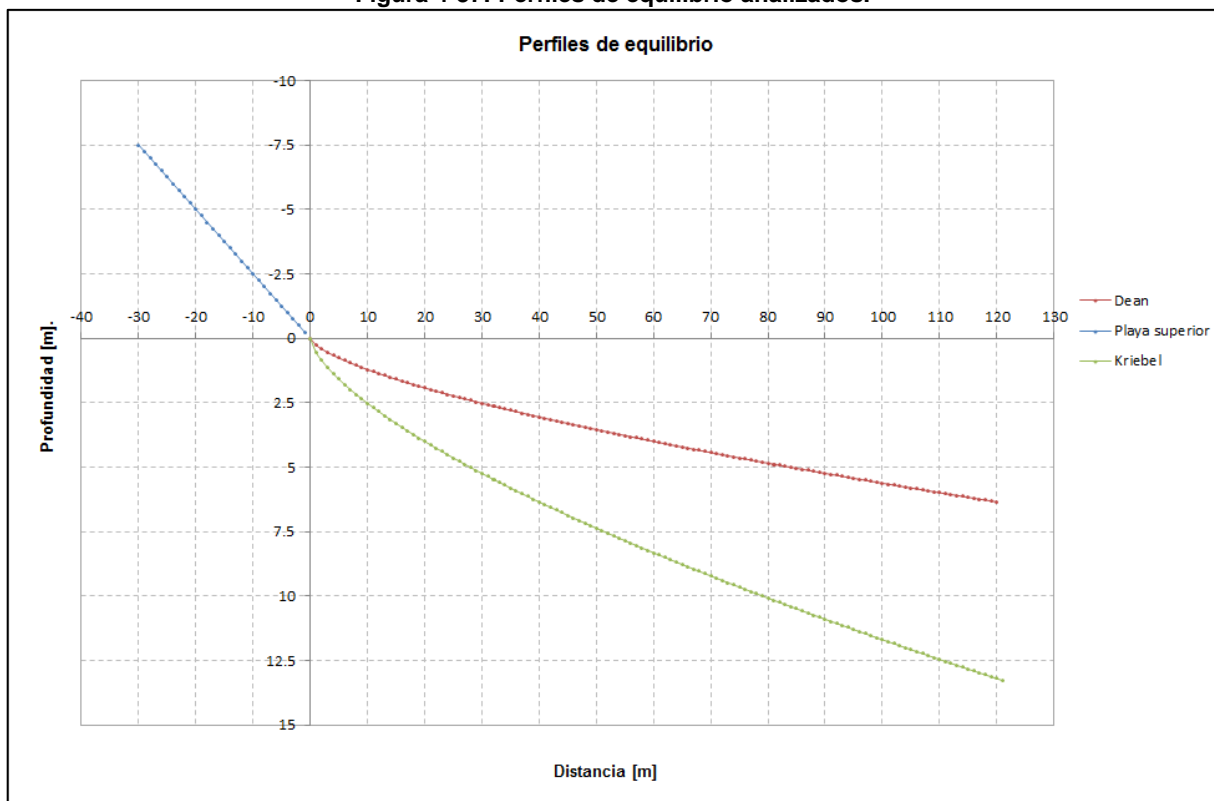


Fuente: Documento Temático: Regeneración de Playas.

Si bien el dique puede generar efectos de difracción o refracción, a esas profundidades son más relevantes los efectos del asomeramiento en relación a los ya mencionados. La difracción producida por los rompeolas T no es de gran consideración y afecta pequeñas áreas de la playa.

Por lo tanto, en base a las formulaciones presentadas anteriormente, el perfil seleccionado puede ser representado de las siguientes formas.

**Figura 4-37: Perfiles de equilibrio analizados.**



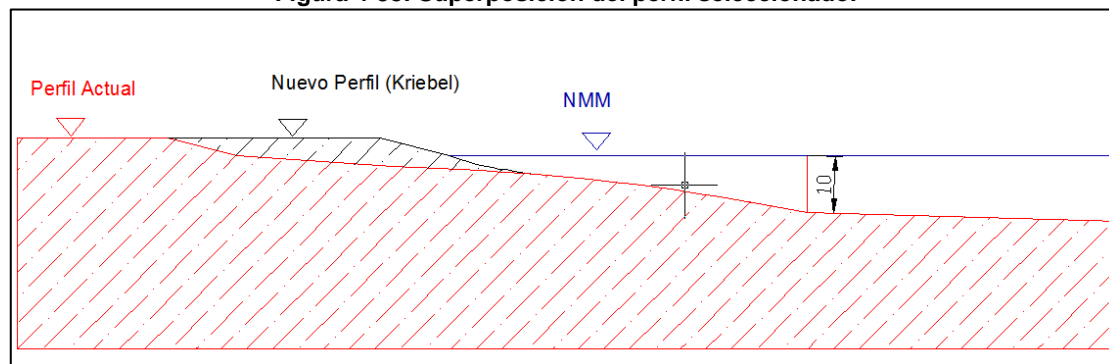
Fuente: Elaboración Propia

#### 4.2.5.3 Determinación del perfil de relleno

Para determinar el perfil de relleno se realizó la metodología de la siguiente forma. Se midió con respecto al perfil seleccionado para realizar los estudios cuanto era la distancia que se había ganado de línea de costa con el mejoramiento de la playa.

En el perfil se obtuvo una distancia de 38 [m], la cual se midió en el perfil batimétrico de la playa en las condiciones actuales. Por lo tanto utilizando ese perfil se superpusieron los perfiles de equilibrio obtenidos tanto para Dean y Kriebel a la distancia en la cual quedaría la nueva línea de costa.

**Figura 4-38: Superposición del perfil seleccionado.**



Fuente: Elaboración Propia

De la ilustración se puede apreciar la superposición realizada del perfil actual con el perfil obtenido. El perfil de equilibrio que ayudo a determinar el área de relleno es el de Kriebel, debido a que el perfil de Dean al momento de superponerse en el perfil original no interceptaba ningún punto del perfil actual, lo que significa se deben realizar estudios para poder obtener una playa colgada en el sector.

El sector negro achurado, representa el área a rellenar en el perfil. Para efectos prácticos de la determinación del sector a rellenar se realizará una interpolación de los extremos y se podrá asumir que la playa se distribuye de manera muy similar a un rectángulo. Por ende el volumen de relleno en el sector, se calculó como el largo de la playa por el área obtenida.

Por ende, el área de relleno en el perfil analizado es de 170 [m<sup>2</sup>], la longitud total de la playa proyectada alcanza los 280 [m], por lo tanto el volumen obtenido a rellenar es de 54.000 [m<sup>3</sup>] aproximadamente, considerando que la altura de la playa sobre el NRS es de 3[m].

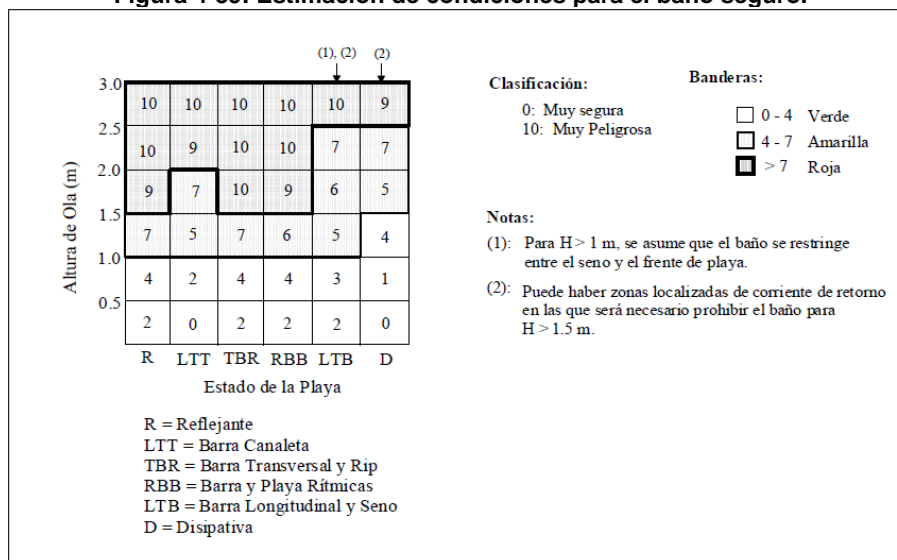
#### 4.2.5.4 Condición de baño seguro

Al realizar la comparación de los perfiles en base a la Figura 4-38, se concluyó que el perfil anterior se puede relacionar con el perfil de una playa de estado de barra transversal y rip, este tipo de playas experimenta la presencia de rotura de ola en voluta y corrientes de retorno de gran magnitud, lo que hace tener un baño extremadamente peligroso. Según lo ya mencionado en el punto 2.4.3 éstas son las principales causantes de accidentes en playas.

Al analizar el perfil obtenido con el layout propuesto, se apreció un perfil del tipo disipativo, es cual posee una pendiente continua, con barras paralelas a la línea de costa que permitirá que la ola vaya perdiendo energía a medida que se propaga hacia la costa, generando una rotura de ola en descrestamiento, lo que genera mayor seguridad que el tipo anterior.

La universidad de Cantabria en su documento temático de regeneración de playas (2000) propone el siguiente cuadro de valoración del nivel de seguridad dependiendo del tipo de playa existente

**Figura 4-39: Estimación de condiciones para el baño seguro.**



Fuente: Documento temático regeneración de playas, UNICAN.

Según la Figura 4-38 las playas de tipo disipativas, son las que poseen un mayor tiempo de utilización y genera las condiciones óptimas para el baño seguro de quienes la usan, asegurando el uso del sector incluso en condiciones de un oleaje de alturas superiores a 1 m, a diferencia de los otros estados de playa.

#### 4.2.5.5 Uso lúdico humano

En cuanto a los puntos expuestos, se obtienen los siguientes resultados con la proyección de la nueva playa:

Diámetro del sedimento: el diámetro del sedimento obtenido a utilizar para el relleno es de 0.45 [mm]. Lo cual es el representativo del tipo de arena mediana. Éste tipo de clasificación es menor al obtenido en la clasificación sedimentológica realizada a las condiciones actuales.

Geometría de la playa: se obtuvo un frente de playa de 280 m de longitud y un ancho de playa de 100 [m], lo que genera un área total de 28000 [m<sup>2</sup>], lo cual cambia en su totalidad las condiciones iniciales del sector.

Intensidad de uso: con la nueva proyección del sector, la playa queda catalogada en la condición de uso alto. No se puede asegurar que estará catalogada de uso bajo, debido al alto público popular que ésta posee.

#### 4.2.6 PREDISEÑO DE LAS OBRAS.

Como se mencionó en la descripción del Layout, se consideraron en el mejoramiento de la playa en análisis tres obras. La primera es un dique sumergido ubicado a 200 [m] de distancia de la línea de costa, a esa distancia se encuentran profundidades que varían entre los 15 y los 20 [m], por lo que se encuentra en los límites de la profundidad de cierre.

El dique sumergido posee un franco de bordo de - 0.5 [m] NRS, una berma de 8 [m] y una longitud de 208 [m].

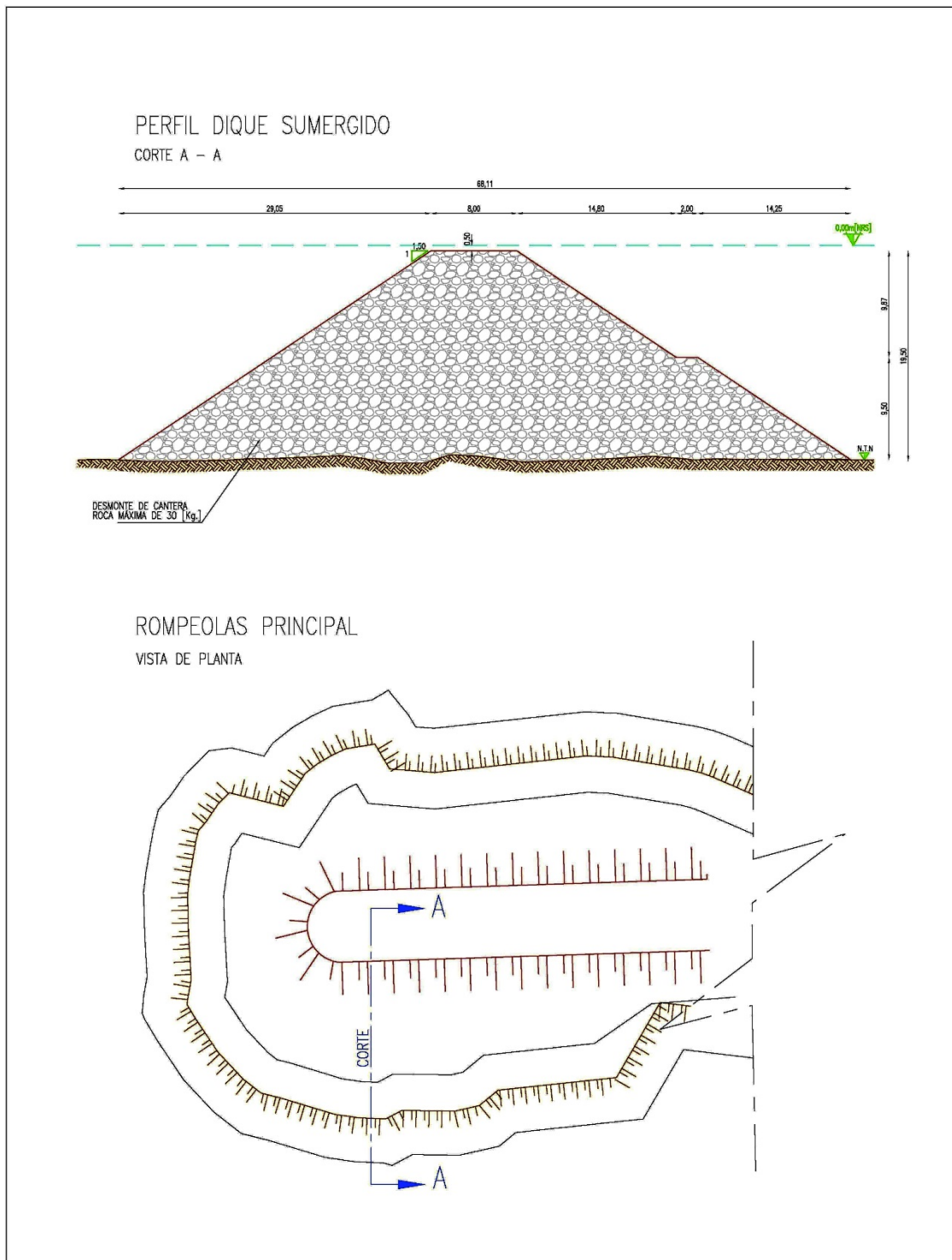
El peso de los elementos de coraza, en este caso rocas, es de 11.12 [T] y un diámetro nominal de 1.67 [m] resultados que se obtienen mediante la formulación propuesta por Van der Meer (1988)

Como el diámetro de las rocas es poco probables que se pueda encontrar, se realiza el cálculo de los elementos de protección para la utilización de dolos, mediante la formulación propuesta por Burchart & Liu (1992). Para esta formulación se obtuvieron dolos de 9 toneladas.

Las otras dos estructuras poseen dimensiones distintas, el fishtale ubicado hacia el Weste de la playa, posee una extensión de 85 [m] hasta el centro de la estructura curva y 110 [m] contabilizando los extremos de ésta. El del lado Este posee una extensión de 100 [m] y 130 [m] considerando la descripción anterior.

Utilizando la misma formulación que en la estimación del rompeolas, se obtuvo un diámetro nominal de las rocas de 0.65 [m] por lo que estas oscilarán entre los oscilan entre los 0.4 y 0.8 [m] para la conformación del rompeolas curvo de las estructuras con un peso nominal de 0.7 [T].

Figura 4-40: Prediseño del rompeolas.



Fuente: Elaboración propia

## **5. CONCLUSIONES.**

### ***Propagación de oleaje***

Se obtuvo que en el nodo de extracción la totalidad del oleaje proviene desde el cuarto cuadrante. La mayor ocurrencia se presenta del oleaje que posee una dirección de incidencia del NNW, la cual posee un porcentaje de 57.19% seguido de las direcciones NW y las del WNW con una ocurrencia del 24.50% y un 18.31% respectivamente.

En cuanto a las alturas de ola en el punto de extracción, aquellas con mayor ocurrencia oscilan entre 0.2 y 0.4 [m] con un porcentaje de 55.02%, seguidas de las que oscilan entre los 0.4 y 0.6 [m]; y entre 0 y 0.2 [m] con porcentajes de 21.64% y 10.79% respectivamente.

### ***Estudio granulométrico:***

El análisis del total de la muestra arrojó como resultados que la fracción sedimentológica predominante en el sector, considerando las tres zonas analizadas, playa seca, intermareal y sumergida, son las Arenas Medianas, con un porcentaje retenido del 31%, seguida por las Gravas Finas y las arenas gruesas, con un porcentaje retenido del 19% y 17% respectivamente.

En relación a la zona sumergida, el total de la muestra se pudo apreciar que Gravas finas, predominan con un porcentaje presencial del 38.27%, seguida por la fracción de Arenas gruesas y las Arenas Muy Gruesas con un porcentaje presencial de 23.83% y 14.83% respectivamente.

El sedimento característico que arrojó el análisis estadístico distribuido por zonas reflejó que en la zona de playa trasera, se encuentran sedimentos del tipo arena fina. A medida que se avanza, en la zona intermareal se pueden encontrar sedimentos del tipo de arenas medias y llegando a la zona sumergida, el bañista se encuentra con sedimentos del tipo grava fina, lo cual ya empieza a ser molesto para el bañista. El análisis en terreno, demuestra que existen sedimentos de tamaños mayores en la zona sumergida, los cuales poseen diámetros de 5 a 10 [cms] y más, éstos se pueden clasificar como guijarros o bolones, los cuales no fueron considerados dentro del análisis estadístico debido a que el instrumental utilizado, no poseía las características necesarias para poder clasificar ese tipo de elementos presentes en el sector

**Transporte de sedimentos:**

Se concluyó del análisis del Transporte Longitudinal del Sedimento en el sector, que las mayores tasas de variación se dieron en las épocas de otoño e invierno como era de esperarse, debido a que la playa se encuentra expuesta al oleaje proveniente del cuarto cuadrante, específicamente del NNW, lo que está asociado a temporales y condiciones extremas (Oleaje Dominante). En cambio en las estaciones de primavera y verano, se encuentra una menor tasa del transporte debido a que en estas épocas se asocia al proceso de depósito del sedimento, y las condiciones existentes están asociadas a calmas (Oleaje Reinante.)

Para la determinación de la zona activa se utilizó la formulación propuesta por Birkemeier donde se obtuvo que hasta la profundidad en la que aún se detecta movimiento de partículas es en el veril de los 6 [m]. A su vez, se determinó una profundidad de cierre en el veril de los 15.05 [m].

**Layout propuesto**

Se propuso en base a las características que presenta el sitio en cuestión para poder generar un sector más seguro para los bañistas. Tiene como fin el aumento del área de solana, la mejora de la calidad del sedimento presente y en las condiciones del oleaje del sector. Para esto se propusieron 3 obras que permitan disipar la energía del oleaje y también retener el sedimento que se utilizará para el relleno y mejora de localidad actual.

El funcionamiento hidráulico de los rompeolas se realizó mediante las formulaciones propuestas por Van Der Meer (1988) y se obtuvieron los coeficientes de disipación de energía para cada una de las estructuras en consideración

**Agitación en la zona de baño**

En este punto se analizaron tres casos con distintas alturas de ola y sus respectivos parámetros de período y dirección, cada una de ellas se analizó de forma independiente en 5 puntos de control a dos veriles de profundidad distintos. Los parámetros del oleaje mencionadas se obtuvieron de la propagación realizada hasta el nodo de extracción, éstas son

Casos	Hmo [m]	Tp [s]	Dir [Grados]
1	2.82	16	337.5
2	0.57	17	302
3	1.52	8	329

De esta propagación se extrajeron valores de altura de oleaje en cada uno de los puntos, los cuales se analizaron y se obtuvo que las mayores alturas se registraron en el punto de control número 4, debido a que era el más expuesto a las diferentes direcciones utilizadas en el análisis dentro del sector.

Por lo tanto de las máximas alturas encontradas se seleccionaron 3 nuevos casos, los cuales se utilizarán para el análisis de la evolución al corto plazo

### ***Evolución al corto plazo***

Para éste punto se analizaron 3 casos que corresponden a las máximas alturas de ola encontradas en el estudio de agitación en la zona de baño, con estas se realizaron los análisis de la estabilidad del layout propuesto para la mejora.

En los tres casos analizados, los resultados fueron favorables a éste, debido a que no se genera erosión ni sedimentación debido a la intervención realizada. El sedimento utilizado para la generación de la solución se mantiene en su posición, si bien hay algunos casos en que se presenta movimiento de las partículas, no es de gran magnitud.

Los resultados arrojan que la solución propuesta no genera variaciones en su configuración, aún analizada con los casos más desfavorables que fueron encontrados al momento de analizar las condiciones en el sector.

### ***Evolución al largo plazo***

Para el análisis al largo plazo, se utilizó la metodología propuesta por Kevin Bodge, Groins and Jetties (2002), considerando las especificaciones propuestas, se obtiene que en el sector Weste, se produjo un incremento de 50 [m] de manera perpendicular desde la línea de costa existente hasta la proyectada.

En el sector central de la playa, se aprecia un crecimiento menor pero significativo de igual forma, 38 [m] desde la línea de costa real hacia la proyección realizada y en el sector Este de la playa, al igual que el sector Weste, se obtuvo un aumento desde la línea de costa existente hasta la proyectada de 45 [m].

### ***Determinación del Perfil de Equilibrio***

Para la determinación de éste, se analizaron dos ecuaciones Dean (1987) y Kriebel (1991) de las cuales el mejor comportamiento se obtuvo mediante la formulación de Kriebel, pudiendo definir un perfil del sector analizado para la proyección de la nueva línea de costa.

### ***Perfil de relleno***

Para poder determinar cuántos [m<sup>3</sup>] de sedimento se utilizará para realizar el relleno del nuevo perfil de la playa se utilizó la siguiente metodología. Para efectos prácticos de la determinación del sector a rellenar se realizó una interpolación de los extremos y se asumió que la playa se distribuye de manera muy similar a un rectángulo. Por ende el volumen de relleno en el sector, se calculó como el largo de la playa por el área obtenida.

Por ende, el área de relleno en el perfil analizado es de 170 [m<sup>2</sup>], la longitud total de la playa proyectada alcanza los 280 [m], por lo tanto el volumen obtenido a rellenar es de 54.000 [m<sup>3</sup>] aproximadamente, considerando que la altura de la playa sobre el NRS es de 3[m] y el diámetro del sedimento a utilizar para el relleno es de 0.45 [mm].

## **6. RECOMENDACIONES.**

Para poder llevar a cabo el proyecto en su cabalidad además de lo ya establecido en el informe, es necesario contemplar las siguientes recomendaciones:

Analizar la transferencia de oleaje con programas que puedan representar de mejor forma los procesos de difracción que se presentan en el sector. A su vez, realizar mediciones in situ de oleaje, para poder comprobar tanto la estadística propagada.

Analizar el comportamiento de las corrientes en el sector, realizando mediciones in situ durante dos campañas, invierno y verano. En base a éstas, se podrá concluir el patrón circulatorio en el sector, las direcciones y magnitudes reinantes.

Realizar seguimiento al comportamiento morfodinámico de la playa, analizando las principales características de ésta. Generar un análisis estadístico de los sedimentos y ver la variación que posean en las diferentes épocas del año.

Generar un análisis estructural acabado de las obras propuestas en el sector, asociarlas a diferentes períodos de retorno y a distintos comportamientos de las condiciones presentes en el sector.

## **7. REFERENCIAS.**

Ingeniería de costas Tema 1: Conceptos generales, Instituto de hidráulica ambiental de Cantabria, Master Gestión Integrada de Zonas Costeras. (2011)

Ingeniería de Costas Tema 2: Modelos de evolución morfodinámica de playas, Instituto de hidráulica ambiental de Cantabria, Master Gestión Integrada de Zonas Costeras. (2011) Ingeniería de Costas Tema 3: Perfil de equilibrio, Instituto de hidráulica ambiental de Cantabria, Master Gestión Integrada de Zonas Costeras. (2011)

Ingeniería de costas Tema 4: La forma en planta de las playas, Instituto de hidráulica ambiental de Cantabria, Master Gestión Integrada de Zonas Costeras. (2011)

Documento de referencia V2: Procesos litorales, Universidad de Cantabria, Grupo de ingeniería oceanográfica y de costas, Master Gestión Integrada de Zonas Costeras. (2011)

Documento temático: Regeneración de playas, Universidad de Cantabria, Grupo de ingeniería oceanográfica y de costas, Cantabria, España. (2000)

SMC Manual de usuario, Universidad de Cantabria, Grupo de ingeniería oceanográfica y de costas, Cantabria, España. (2000)

Robert G. Dean, Robert A. Dalrymple Coastal Processes with engineering applications, Cambridge University, England 2004

J. William Kamphuis, Introduction to coastal engineering and management, Queen's University, Canada. (2000)

Nicolau del Roure Olivares, Francisco Javier, "Evaluación de Metodologías de Transferencia de Oleaje desde Aguas Profundas hacia Aguas Someras". Santiago, Universidad de Chile. (2004)

Bodge, Kevin R "Design Aspects of Groins and Jetties" World Scientific Publishing Co., International Conf. on Coastal Engineering (2002).

Van Rijn, Leo C. "Principles of Sediment Transport in Rivers, Estuaries and Coastal Seas" University of Trecht, Department of Physical Geography, Netherlands. (1993)

Solé Díaz, Gustau "Aplicación del concepto de bahías de equilibrio a playas encajadas entre diques" Universitat Politècnica de Catalunya. Departament d'Enginyeria Hidràulica, Marítima i Ambiental. (2005)

Ho, S.K. (1971). "Crenulated Shaped Bays". Tesis N°. 346, presentada en el Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand, como parte de un Master en Ingeniería.

Hsu, J.R.C., Silvester, R., & Xia, Y.M.(1987). "New characteristics of equilibrium-shaped bays." Proceedings, 8<sup>th</sup>Australian Conference on Coastal & Ocean Engineering , ASCE, 140-144.

Kumbrein, W.C. (1944). "Shore processes and beach characteristics." Beach Erosion Board, Technical Memorandum N°3, U.S. Army Corps Of Engineers, Washington D.C.

LeBlond, P.H. (1972), "On the formation of spiral beaches." Proceedings, 13<sup>th</sup> International Conference on Coastal Engineering, ASCE, New York, N.Y., 1.331-1.345.