



**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Memoria del proyecto para optar al Título de  
Ingeniero Civil Oceánico

**CARACTERIZACIÓN OCEANOGRÁFICA PARA EL DISEÑO  
DE MEJORAMIENTO DE LA CONECTIVIDAD MARÍTIMA DE  
FANDANGO, CHAITÉN, REGIÓN DE LOS LAGOS**

**CRISTIAN IGNACIO ESPEJO BRIGNARDELLO**

Junio 2014

**CARACTERIZACIÓN OCEANOGRÁFICA PARA EL DISEÑO DE MEJORAMIENTO DE LA CONECTIVIDAD MARÍTIMA DE FANDANGO, CHAITÉN, REGIÓN DE LOS LAGOS.**

CRISTIAN IGNACIO ESPEJO BRIGNARDELLO

<b>COMISIÓN EVALUADORA</b>	<b>CALIFICACIONES Nota</b>	<b>Firma</b>
<b>PROFESOR GUÍA</b> SR. MARIO CACERES	_____	_____
<b>PROFESOR INTEGRANTE</b> SR. MATIAS QUEZADA	_____	_____
<b>PROFESOR INTEGRANTE</b> SR. CRISTIAN FLORES	_____	_____

## DECLARACIÓN

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

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

Mario Cáceres  
Profesor Guía

Cristian Ignacio Espejo Brignardello  
Alumno Memorista

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar agradecer a mis padres, por su apoyo incondicional en todo ámbito de la vida, esto es para ellos, ya que, confiaron en mí, lucharon día a día para darme lo mejor, y sufrieron con esta larga espera. A mi señora y tres hijos, por la paciencia, tolerancia y ayuda. También quiero agradecer a HIDROTOP la empresa en la cual trabajo hoy en día y di mis primeros pasos, a todos ellos que sin duda aportaron con toda la experiencia que hoy en día tengo, a mi Profesor guía Sr. Mario Cáceres, por todo el profesionalismo y dedicación en este proyecto.

Agradecer a todos aquellos que me acompañaron y ayudaron en este largo camino, familia Nuñez Lauckner, a todos mis amigos, que de alguna u otra forma son partícipes de este nuevo escalón que subo. Nunca dude que llegaría al final de este camino, costo pero llegue, gracias infinitas a todos aquellos que caminaron junto a mi.

*Dedicado a mis padres, José Espejo y Angélica Brignardello,  
muchísimas gracias por todo, los amo...*

## ÍNDICE GENERAL

1	INTRODUCCIÓN .....	1
2	MARCO TEORICO .....	3
2.1	MAREAS .....	3
2.2	VIENTO .....	6
2.3	CORRIENTE .....	6
2.4	OLAS .....	7
2.4.1	DEFINICIONES ESTADÍSTICAS DE LOS PARÁMETROS DEL OLAJE .....	8
2.4.2	CARACTERÍSTICAS DEL VIENTO GENERADOR .....	9
2.4.2.1	PROFUNDIDAD DEL AGUA .....	9
2.4.2.2	GENERACIÓN DE OLAJE EN AGUAS SOMERAS .....	10
2.4.3	ESFUERZOS DEL OLAJE SOBRE EL BUQUE .....	10
2.5	TRANSPORTE DE SEDIMENTO .....	12
3	OBJETIVOS .....	13
3.1	OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	13
4	METODOLOGIA .....	14
4.1	BATIMETRIA .....	14
4.2	MAREAS .....	17
4.3	VIENTOS .....	18
4.4	CORRIENTES .....	19
4.5	OLAS .....	22
4.6	SEDIMENTOS .....	23
5	CARACTERIZACIÓN OCEANOGRÁFICA .....	25
5.1	BATIMETRIA DE PRECISIÓN .....	25
5.1.1	RESULTADOS .....	25
5.2	MAREAS .....	25
5.2.1	RESULTADOS .....	25
5.2.2	ANÁLISIS ARMÓNICO .....	26
5.2.3	ANÁLISIS NO-ARMÓNICO .....	29
5.2.4	RÉGIMEN DE MAREA .....	29
5.2.5	NIVEL DE REDUCCIÓN DE SONDA .....	30
5.3	VIENTOS .....	31
5.3.1	RESULTADOS .....	31
5.3.1.1	VIENTOS LOCALES EN FANDANGO .....	31
5.3.1.2	ANÁLISIS MENSUAL .....	32
5.3.2	ANÁLISIS HORARIO .....	35
5.3.3	VIENTOS LOCALES EN CHAITÉN .....	36
5.3.4	ANÁLISIS MENSUAL .....	37
5.3.5	COMPARACIÓN ENTRE ESTACIONES METEOROLÓGICAS .....	40
5.3.5.1	ANÁLISIS DE DATOS: FANDANGO V/S CHAITÉN .....	40
5.3.6	ANÁLISIS DE VALORES EXTREMOS .....	43
5.3.7	ANÁLISIS DE VALORES EXTREMOS PARA EL VIENTO EN CHAITEN .....	45
5.4	CORRIENTES EN VERANO .....	47
5.4.1	CORRELACIONES CRUZADAS .....	51
5.4.2	CORRENTOMETRÍA LAGRANGIANA (DERIVADORES) .....	53
5.4.3	ANÁLISIS DE VALORES EXTREMOS DE CORRIENTES .....	56
5.5	CORRIENTES CAMPAÑA DE INVIERNO .....	58
5.5.1	CORRELACIÓN CRUZADA .....	60
5.5.2	CORRENTOMETRÍA LAGRANGIANA (DERIVADORES) .....	62
5.5.3	ANÁLISIS DE VALORES EXTREMOS DE CORRIENTES .....	65
5.6	OLAS .....	67
5.6.1	OLAS OPERACIONALES .....	67
5.6.2	OLAJE DE GENERACION LOCAL .....	70

5.6.3	FETCH CONSIDERADOS .....	71
5.6.4	OLEAJE DE DISEÑO .....	72
5.6.5	VALIDACION DEL MODELO .....	73
5.7	SEDIMENTOS.....	76
5.7.1.1	GRANULOMETRÍA.....	76
5.7.1.2	PARÁMETROS ESTADÍSTICOS .....	77
5.7.1.3	DISTRIBUCIÓN ESPACIAL .....	81
5.8	DISCUSION .....	83
6	DISEÑO CONCEPTUAL RAMPA.....	87
6.1	NAVE DE DISEÑO.....	87
6.2	VIDA ÚTIL .....	87
6.3	RIESGO (E).....	87
6.4	PERÍODO DE RETORNO.....	87
6.5	DISEÑO EN PLANTA .....	88
6.5.1	EXPLANADA .....	88
6.5.2	RAMPA.....	88
6.5.2.1	LARGO DE LA RAMPA .....	88
6.5.2.2	ANCHO DE LA RAMPA.....	89
6.5.2.3	ORIENTACIÓN DE LA OBRA .....	89
6.6	DISEÑO EN ALZADO .....	90
6.6.1	COTA DE CORONAMIENTO.....	90
6.6.2	SECCIONES TIPO .....	90
7	CONCLUSIONES .....	91
7.1	CONCLUSIONES DE LA CARACTERIZACIÓN OCEANOGRÁFICA.....	91
7.2	CONCLUSIONES DEL DISEÑO.....	92
8	RECOMENDACIONES .....	93
9	BIBLIOGRAFÍA .....	94

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Área de Estudio .....	1
Figura 2: Esquema de la predicción de la serie temporal de marea astronómica mediante suma de componentes armónicas. ....	4
Figura 3: Constituyentes armónicas principales. ....	5
Figura 4: Acción del oleaje sobre un buque. ....	12
Figura 5: Tipos de movimientos de los sedimentos .....	12
Figura 6: Área de batimetría. ....	14
Figura 7: Prueba de Plancha. ....	15
Figura 8: Equipo de control de líneas planificadas. ....	15
Figura 9: Ecosondista.....	16
Figura 10 : Vértice Geodésico D-33 ubicado en la Capitanía de Puerto de Chaitén. ....	16
Figura 11: Sistema de fondeo de mareógrafo. ....	17
Figura 12: Ubicación geográfica instalación de mareógrafo.....	17
Figura 13: Esquema de vinculación vertical .....	18
Figura 14: Ubicación geográfica estación meteorológica. ....	18
Figura 15: Estación Meteorológica Instalada en Fandango. ....	19
Figura 16: Ubicación geográfica de instalación de ADCP y Correntometro. ....	20
Figura 17: A la izquierda equipo ADCP y a la derecha Correntometro SensorData. ....	21
Figura 18 : Area de experimento con derivadores. ....	22
Figura 19: Equipo ADCP fondeado para medir oleaje y corrientes. ....	22
Figura 20: Sacatestigos para la extracción de sedimentos .....	23
Figura 21: Posiciones del muestreo. ....	24
Figura 22: Batimetría de precisión área de estudio. ....	25
Figura 23: Serie original de nivel del mar medido cada 10 minutos. ....	26
Figura 24: Correlación entre los valores de nivel de la marea observada y pronosticada para Fandango, entre 18 de Diciembre del 2010 al 19 de Enero del 2011. ....	28
Figura 25: Espectrograma de las constituyentes del nivel del mar con un nivel de significancia del 95%. ....	28
Figura 26: Serie de nivel del mar horaria para Fandango, Chaitén, Región de Los Lagos, observada entre 3 de Septiembre 2011 y 5 de Octubre del 2011. ....	30
Figura 27: Componentes $u$ (este - oeste) y $v$ (norte -sur) de la velocidad del viento .....	31
Figura 28: Rosa de viento de la distribución de frecuencia de la magnitud y dirección de los vientos medidos en Fandango.....	32
Figura 29: Rosas de viento mensuales con frecuencia de direcciones y magnitudes observadas en Fandango. ....	33
Figura 30: Continuación Figura 29.....	34
Figura 31: Distribución horaria de frecuencia de la dirección de los vientos observados en Fandango. ....	35
Figura 32: Continuación Figura 31.....	36
Figura 33: Componentes $u$ (este - oeste) y $v$ (norte - sur) de la velocidad del viento en Chaitén. ....	36
Figura 34: Rosa de viento de la distribución de frecuencia de la magnitud (barra de colores) y dirección de los vientos medidos en Chaitén, entre el 1 de enero de 1998 y el 31 de diciembre del 2007.....	37
Figura 35: Distribución mensual de frecuencia de la dirección de los vientos observados en Chaitén. ....	38
Figura 36: Continuation Figura 35.....	39
Figura 37: Histograma de frecuencia direccional de estación meteorológica en Fandango y Chaitén.....	40
Figura 38: Histogramas de frecuencia de magnitud entre estación meteorológica de Fandango y Chaitén. ....	40
Figura 39: Rosas de direcciones, a la izquierda Fandango a la derecha Chaitén. ....	41

Figura 40: Comparacion de componentes ortogonales $u$ , para Chaiten y Fandango .....	42
Figura 41: Comparación de componentes ortogonales $v$ , para Chaitén y Fandango .....	42
Figura 42: Distribución lineal Weibull. ....	44
Figura 43: Distribución de valores extremos de magnitud de vientos asociados a distintos periodos de retorno. ....	45
Figura 44: Rosa de corrientes para las capas de 3 m, 8 m, 14 m y 16 m. ....	47
Figura 45: Diagrama de vector progresivo para todas las capas de la serie de tiempo observada entre 18 de Diciembre 2010 y 19 de Enero 2011. ....	50
Figura 46: Correlación cruzada entre las componentes ortogonales de la corriente y viento, para la capa de 3 m., mediciones realizadas entre el 18 de Diciembre 2010 y 19 de Enero de 2011, 95% de confianza. ....	51
Figura 47: Correlación cruzada entre las componentes ortogonales de la corriente y viento, para la capa de 8 m., mediciones realizadas entre el 18 de Diciembre 2010 y 19 de Enero de 2011, 95% de confianza. ....	52
Figura 48: Correlación cruzada entre las componentes ortogonales de la corriente y viento, para la capa de 14 m., mediciones realizadas entre el 18 de Diciembre 2010 y 19 de Enero de 2011, 95% de confianza. ....	52
Figura 49: Correlación cruzada entre las componentes ortogonales de la corriente y viento, para la capa de 16 m., mediciones realizadas entre el 18 de Diciembre 2010 y 19 de Enero de 2011, 95% de confianza. ....	53
Figura 50: Trayectoria de derivadores en marea llenante, durante sicigia el 18 de Enero del 2011. Derivador verde 5m de prof., amarillo 1 m de prof. ....	53
Figura 51: Trayectoria de derivadores en marea vaciante, durante sicigia el 18 de Enero del 2011. Derivador Verde 5m de prof.; Amarillo 1 m de prof. ....	54
Figura 52: Trayectoria de derivadores en marea llenante, durante cuadratura el 11 de Enero del 2011. Derivador Verde 5m de prof.; Amarillo 1 m de prof. ....	55
Figura 53: Trayectoria de derivadores durante marea vaciante, en cuadratura el 11 de Enero del 2011. Derivador Verde 5m de prof.; Amarillo 1 m de prof. ....	56
Figura 54: Distribución lineal Weibull .....	57
Figura 55: Distribución de valores extremos de magnitud de vientos asociados a distintos periodos de retorno. ....	58
Figura 56: Rosa de corriente con la distribución de frecuencia de la dirección y magnitud de la corriente a 10 m de profundidad. ....	59
Figura 57: Diagrama de vector progresivo en la capa de 10 m de profundidad.....	60
Figura 58: Correlación cruzada entre las componentes ortogonales del viento y la corriente, para la capa de 10 m.....	61
Figura 59: Trayectoria de derivadores en marea llenante, durante sicigia el 27 de Septiembre del 2011. ....	62
Figura 60: Trayectoria de derivadores en marea vaciante durante sicigias el 27 de Septiembre del 2011.....	63
Figura 61: Trayectoria de derivadores en marea llenante en cuadratura, el 5 de Octubre del 2011. ..	64
Figura 62: Trayectoria de derivadores en marea vaciante en cuadratura el 5 de Octubre del 2011. ..	65
Figura 63: Distribución lineal Weibull .....	66
Figura 64: Periodos de Retorno .....	67
Figura 65: Rosa de oleaje. Altura Significativa $H_s$ . ....	69
Figura 66: Rosa de oleaje. Periodo Peak $T_p$ . ....	69
Figura 67: Distribución de los Fetch.....	72
Figura 68: Zoom del area de Estudio.....	72
Figura 69: Medición de oleaje vs. modelo de generación. Probabilidad de Ocurrencia de la altura significativa $H_s$ (m). ....	74
Figura 70: Medición de oleaje vs modelo de generación. Probabilidad de Ocurrencia del Periodo pico $T_p$ (s).....	74

Figura 71: Medición de oleaje vs modelo de generación. Probabilidad de Ocurrencia de la Dirección Peak (DPK°).....	75
Figura 72: Distribución de los sedimentos según fracción.....	78
Figura 73: Distribución porcentual de frecuencias granulométricas para sedimentos marinos (estaciones 7 a 10).....	79
Figura 74: Distribución espacial de los sedimentos (%), fracción arenas.....	81
Figura 75: Distribución espacial de los sedimentos (%), fracción gravas.....	82
Figura 76: Distribución espacial de los sedimentos (%), fracción fangos.....	83
Figura 77: Amplitud de las constituyentes por capa y velocidad media de la componente $u$ . ....	84
Figura 78 : Amplitud de las constituyentes por capa y velocidad media de la componente $v$ .....	84
Figura 79: Escombros de la erupción del volcán Chaitén en las costas de Fandango. ....	86
Figura 80: Orientación propuesta.....	89
Figura 81: Sección tipo de la rampa.....	90

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Resumen de Parámetros de Instalación.....	20
Tabla 2: Coordenadas UTM de posiciones de muestreo.....	24
Tabla 3: Resumen de los valores armónicos de la marea.....	27
Tabla 4: Valores no armónicos de la marea.....	29
Tabla 5: Distribución de frecuencia de la dirección y magnitud del viento (m/s) en Fandango.....	32
Tabla 6: Distribución de frecuencia de la dirección y magnitud del viento (m/s) en Chaitén.....	37
Tabla 7: Comparación estadística de las velocidades para ambas estaciones.....	43
Tabla 8: Valores máximos de magnitud de los vientos en Fandango.....	43
Tabla 9: Resumen de los resultados obtenidos aplicando la distribución de Weibull para el cálculo de la magnitud de los vientos extremos en función de los periodos de retorno.....	44
Tabla 10: Valores Máximos (m/s) Anuales-Chaitén.....	45
Tabla 11: Periodos de retorno por dirección.....	46
Tabla 12: Distribución de incidencia de la magnitud y dirección de la corriente para las distintas capas, medida entre 18 de Diciembre 2010 y 19 de Enero del 2011.....	48
Tabla 13: Analisis estadístico por direcciones.....	49
Tabla 14: Porcentaje de varabilidad explicado por el ajuste de armónicos mareales a los datos de corrientes.....	51
Tabla 15: Valores máximos de corriente para la capa de 8 metros.....	57
Tabla 16: Resumen de la magnitud de las corrientes externos en función de los periodos de retorno 1, 2, 3, 4, 5 y 6 meses, usando la distribución de weibull.....	58
Tabla 17: Distribución de incidencia de la magnitud y dirección de la corriente en la capa superficial de 10 m de profundidad.....	59
Tabla 18: Análisis estadístico por direcciones.....	59
Tabla 19: Análisis de la varianza entre la marea y las componentes ortogonales de la corriente.....	60
Tabla 20: Valores máximos de corriente para la capa medida.....	66
Tabla 21: Resumen de los resultados obtenidos aplicando la distribución de Weibull para el cálculo de la magnitud de las corrientes extremas en función de los periodos de retorno 1, 2, 3, 4, 5 y 6 meses.....	67
Tabla 22: Distribución de frecuencia de altura de ola Hs(m) y Dirección.....	68
Tabla 23: Distribución de frecuencias Periodo Máximo Tp(s) y Dirección de oleaje.....	68
Tabla 24: Estadística descriptiva de Olas Operacionales.....	69
Tabla 25: Factores Zo recomendados para cada tipo de superficie.....	70
Tabla 26: Fetch considerados.....	71
Tabla 27: Oleaje de diseño según periodo de retorno.....	73
Tabla 28: Comparación estadística de las alturas Hs (m).....	75
Tabla 29: Comparación estadística de los períodos Tp (s).....	75
Tabla 30: Comparación estadística de las direcciones Dir (°).....	76
Tabla 31: Distribución porcentual de los sedimentos según rango textural.....	76
Tabla 32: Distribución de los sedimentos según fracción.....	77
Tabla 33: Parámetros estadísticos de la frecuencia de la distribución granulométrica de los sedimentos marinos.....	80
Tabla 34: Dimensiones de la Nave de Diseño.....	87

## RESUMEN

El presente proyecto caracteriza las condiciones oceanográficas en la localidad de Fandango, el nuevo sitio propuesto para la instalación de la ciudad de Chaitén, y entrega un diseño conceptual de la rampa de pasajeros que permitirá dar continuidad al tránsito multimodal entre Puerto Montt, Chiloé, Palena y hacia otras localidades ubicadas más al sur. Este proyecto se origina a partir de la necesidad de reubicar la ciudad de Chaitén luego de la erupción volcánica de mayo del 2008, considerando que la ubicación original no presta las condiciones adecuadas para su seguridad y desarrollo. Es por esto que se eligió Fandango como un lugar óptimo para el emplazamiento de la rampa de pasajeros, debido a que reúne las condiciones naturales y oceanográficas para dicha obra, otorgando la mayor cantidad de días operativos.

Para analizar y determinar las condiciones oceanográficas, se realizaron mediciones de vientos, mareas, corrientes, olas y sedimentos, además de una batimetría de precisión en el área. Los antecedentes analizados determinaron que Fandango, por su configuración geográfica natural, es un lugar apto para la construcción de una rampa de pasajeros debido a lo siguiente:

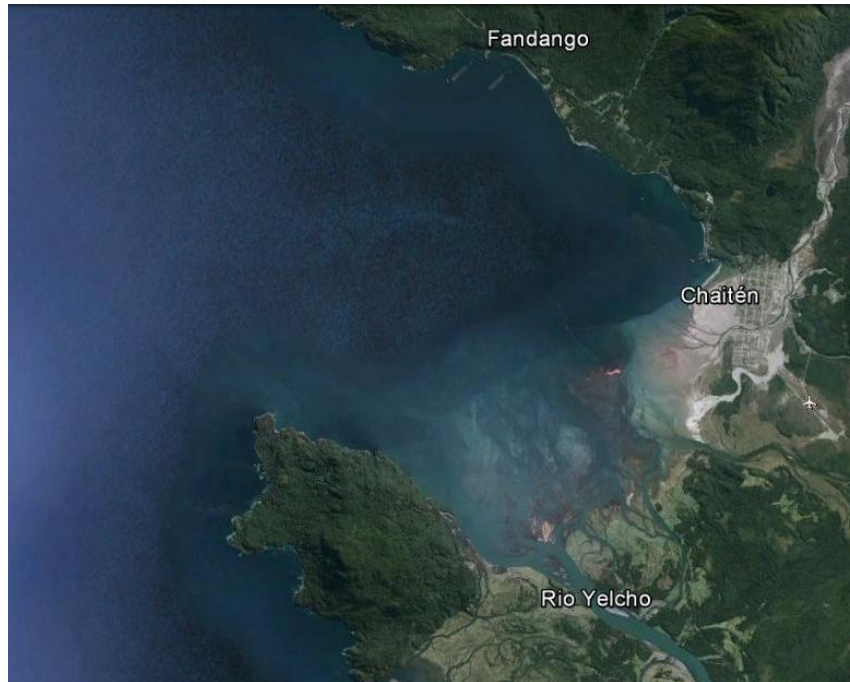
- 1) Está protegido de los vientos del norte, noroeste y sur, la dirección más frecuente y la de mayor magnitud en el área fue la dirección del oeste.
- 2) Las magnitudes del viento típicas son menores a 4 m/s y los períodos de calma se dan el 42% del tiempo durante el año.
- 3) Las corrientes observadas con un instrumento ADCP fijo, muestran dominancia de las direcciones hacia el oeste en todas las capas verticales, excepto la capa superficial que presenta una dominancia hacia el sur. Sus magnitudes no superan los 40 cm/s en registros de aproximadamente 60 días. Estas direcciones y magnitudes son también observadas en mediciones lagrangianas.
- 4) La dirección dominante del oleaje local es del oeste y las alturas significativas no superan 1 m de altura.

La zona de rompiente es de alta energía, como lo corroboran los patrones de sedimentación costera, donde los tamaños más grandes de grano, asociados a gravillas, se observan en la franja costera.

Considerando todos estos antecedentes se realizó una proposición de diseño conceptual de la rampa, el cual le permitiría estar operativa la mayor cantidad de días durante el año.

## 1 INTRODUCCIÓN

La ciudad de Chaitén Lat. 42° 55' 11.20" S / Lon. 72° 42' 57.57" W, (Figura 1) comuna y antigua capital de la provincia de Palena, en la Región de Los Lagos, esta situada al norte de la desembocadura del Río Yelcho, en la costa Este del Golfo de Corcovado. La ciudad está estratégicamente ubicada cerca del extremo norte de la Carretera Austral, donde la carretera se interna tierra adentro.



**Figura 1: Área de Estudio**

La ciudad fue evacuada en mayo de 2008 cuando el volcán Chaitén entró en erupción por primera vez en más de 9.000 años. La erupción, que comenzó el 2 de mayo se hizo más violenta el 5 de mayo levantando una alta nube de ceniza y vapor sulfuroso que se elevó a 31 km, a partir de la cual se generó caída de cenizas que flotaban en la Patagonia, y sobre el Océano Atlántico.

La ciudad se inundó por completo el 12 de mayo de 2008 después de que un alud se desbordó 200 metros a ambos lados del Río Blanco. En las semanas siguientes, el río tomó un nuevo curso a través de Chaitén, destruyendo completamente una significativa parte de la ciudad en julio del 2008. Algunos trabajos en ayuda a la ciudad fueron llevados a cabo por el Gobierno de Chile, pero finalmente se decidió abandonar el lugar y considerar la reubicación y la compensación de todos los residentes. La capital provincial se trasladó provisionalmente a Futaleufú después de la erupción, pero el cambio de capital fue posteriormente declarada permanente. El futuro de la ciudad se ha convertido en un tema de controversia política en Chile.

El 25 de febrero de 2009, el gobierno anunció planes para reconstruir Chaitén 10 km al norte de su ubicación actual en un lugar costero conocido como Santa Bárbara o "Norte Fandango". El 03 de marzo 2009 comenzaron las obras de construcción de las

instalaciones administrativas de la nueva ciudad, estableciéndose la necesidad de contar con una nueva estructura costera para la recepción de naves, tanto de pasajeros como de carga.

Para la instalación de esta estructura se requieren estudios oceanográficos que caractericen las condiciones del medio ambiente marino en el lugar de instalación de la nueva rampa, para determinar su tipo, orientación, largo y ancho, y asegurar la mayor operatividad durante los 365 días del año.

## 2 MARCO TEORICO

### 2.1 MAREAS

La acción de la marea constituye uno de los principales forzantes de la hidrodinámica en sistemas de fiordos o ambientes costeros semicerrados, por lo que su caracterización resulta indispensable para la comprensión de los patrones de circulación en el sistema bajo estudio.

Cuando las mareas, generadas por fuerzas de atracción gravitacional, se mueven desde el área oceánica al interior de la plataforma continental, como es el caso de la zona de estudio, su propagación es influenciada por las aguas someras de las áreas costeras y estuarios. En esta propagación ocurren distorsiones de la onda a medida que se mueve hacia regiones de aguas someras debido a que el "valle" de la onda se retarda más que su "cresta" como resultado de la diferencia de profundidad y el aumento de las fuerzas friccionales. Bajo esta condición se generan constituyentes armónicas de aguas someras, que pueden ser clasificados en mareas compuestas y "sobre-mareas" (en inglés = overtides). Las sobre-mareas poseen una frecuencia que es un múltiplo exacto de la frecuencia de un constituyente astronómico. Las mareas compuestas poseen frecuencias que son la suma algebraica de dos o más frecuencias de constituyentes astronómicas.

Las sobre-mareas que generalmente se consideran son aquellas originadas por la componentes principal lunar M2 y principal solar S2.

$$\begin{array}{l} M_2 \rightarrow M_4, M_6, M_8, M_{10} \\ S_2 \rightarrow S_4, S_6, S_8, S_{10} \end{array}$$

El número de mareas compuestas es mucho más grande, generalmente consideradas con el resultado de la combinación de M2, S2, N2, K1 y O1.

Ejemplos de estas mareas son:

MS4 → cuya frecuencia es la suma de las frecuencias de M2 y S2

2MS6 → cuya frecuencia es la suma de dos veces la frecuencia de M2 + S2

2MS2 → cuya frecuencia es la suma de dos veces la frecuencia de M2 menos la frecuencia de S2

Algunas mareas compuestas poseen la misma frecuencia que los constituyentes astronómicos. Por ejemplo:

$$\omega_{L_2} = \omega_{2MN_2} \text{ (dos veces el periodo de } M_2 \text{ menos el periodo de } N_2, T= 12.18 \text{ horas)}$$

El análisis de armónico se basa en el conocimiento de que la marea observada está formada por un número de componentes armónicas cuyos periodos han sido perfectamente establecidos y que coinciden con los períodos de algunos de los movimientos astronómicos relativos entre tierra-sol-luna.

La marea astronómica se aproxima por:

$$z(t) = z_0 + \sum_i^n a_i \cos(\omega_i t + \delta_i) \quad \omega_i = \frac{2\pi}{T_i}$$

Donde:

$z_0$  = Nivel medio del mar (m)

$a_i$  = Amplitud de la constituyente armónica (m)

$\omega_i$  = velocidad angular (rad/horas)

$\delta_i$  = desfase de cada uno de los armónicos (rad)

$T_i$  = periodo de cada constituyente (horas)

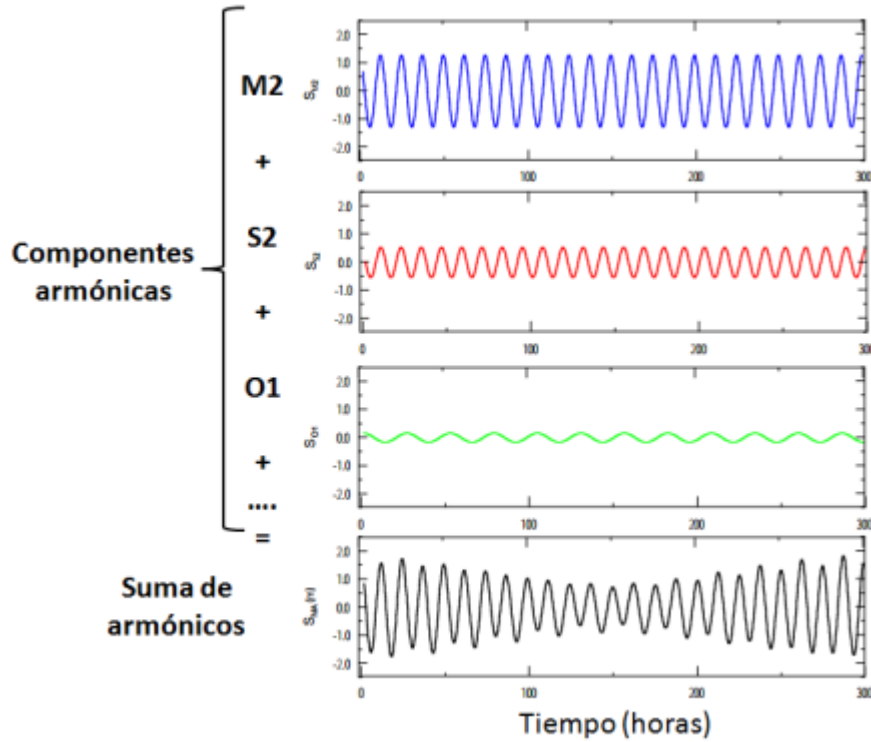


Figura 2: Esquema de la predicción de la serie temporal de marea astronómica mediante suma de componentes armónicas.

Name	Symbol	Period, solar hr
Principal lunar	M <sub>2</sub>	12.42
Principal solar	S <sub>2</sub>	12.00
Larger lunar elliptic	N <sub>2</sub>	12.66
Luni-solar semidiurnal	K <sub>2</sub>	11.97
Larger solar elliptic	T <sub>2</sub>	12.01
Smaller solar elliptic	L <sub>2</sub>	12.19
Lunar elliptic second order	2N <sub>2</sub>	12.91
Larger lunar evectional	v <sub>2</sub>	12.63
Smaller lunar evectional	λ <sub>2</sub>	12.22
Variational	μ <sub>2</sub>	12.87
Luni-solar diurnal	K <sub>1</sub>	23.93
Principal lunar diurnal	O <sub>1</sub>	25.82
Principal solar diurnal	P <sub>1</sub>	24.07
Larger lunar elliptic	Q <sub>1</sub>	26.87
Smaller lunar elliptic	M <sub>1</sub>	24.84
Small lunar elliptic	J <sub>1</sub>	23.10
Lunar fortnightly	Mf	327.86
Lunar monthly	Mm	661.30
Solar semiannual	Ssa	2191.43

**Figura 3: Constituyentes armónicas principales.**

Partiendo de un registro del nivel del mar y de la elección de N componente (mediante un análisis espectral), el análisis de armónicos consiste en realizar un ajuste por mínimos cuadrados, es decir, calcular minimizando el cuadrado de las diferencias entre los niveles observados.

Una vez obtenidos los principales constituyentes armónicos se puede obtener el Nivel de Reduccion de Sondas NRS, que es el plano al cual están referidas todas las sondas o profundidades de una localidad, la ecuación para la determinación del NRS es la siguiente:

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

La marea se caracteriza en cuatro diferentes categorías, para determinar el tipo de marea se utiliza el coeficiente de Courtier (F), el cual clasifica las mareas de la siguiente forma.

$$F = \frac{(\text{amp} K_1 + \text{amp} O_1)}{(\text{amp} M_2 + \text{amp} S_2)}$$

F	CATEGORIA
0-0.25	SEMIDIURNA
0.25-1.5	MIXTA, PPAL. SEMIDIURNA
1.5-3	MIXTA, PPAL. DIURNA
>3	DIURNA

## 2.2 VIENTO

El viento es uno de los factores meteorológicos más importantes en la ingeniería marítima y de costas, ya que puede tener injerencia en diversos aspectos, tales como:

- Condiciones límite de operación de buques atracados (downtime operacional)
- Condiciones límite de operación en instalaciones portuarias (carga y descarga)
- Cargas sobre defensas y cargas de amarre (diseño de sistemas de amarras y defensas)
- Movimientos de buques
- Operación de Grúas Portuarias
- Transporte de contaminantes
- Transporte de sedimentos
- Maniobras de buques

Desde el punto de vista portuario las condiciones límites de operación de un terminal es uno de los aspectos críticos.

Existen variados criterios y recomendaciones internacionales para determinar los límites de operación, siendo una de las más utilizadas la ROM 3.1.99, la que establece:

- Atraque de los buques.
- Paralización de las operaciones de carga y descarga.
- Permanencia de los buques en los muelles.

## 2.3 CORRIENTE

Los principales forzantes de la hidrodinámica en ambientes estuarinos son la marea, el viento y el efecto de las descargas de agua dulce en las cabeceras de estuarios. Durante su desplazamiento el flujo puede ser modificado por el efecto de la rotación de la tierra, y por la interacción con la batimetría y la línea de costa, entre otros agentes. En sitios particulares, el oleaje superficial y las ondas internas pueden también tener influencia en la modificación del flujo original. En la mayoría de estos sistemas, sin embargo, el balance hidrodinámico está determinado principalmente por la acción de la marea y el flujo estuarino de agua dulce.

Las corrientes de marea son corrientes de fluctuación periódica, preferentemente con ciclo semidiurno, que son producidas por la atracción lunar y en menor grado, del sol. Las corrientes por descarga de río están asociadas al gradiente de presión baroclínico que se desarrolla a lo largo de un estuario una vez que el agua dulce ingresa a éste. Al presentarse eventos de viento, las fuerzas de arrastre originan desplazamiento superficial por acción friccional del estrés del viento, el que puede modificar sustancialmente los efectos de la corriente de marea y del flujo de río. Durante eventos de tormenta, la influencia de las corrientes de oleaje puede hacerse más importante, modificando gran parte del litoral.

El efecto de la corriente, cuando es uniforme, tenderá a trasladar al buque en su conjunto en el mismo sentido y velocidad con que está. En el caso de un buque amarrado la acción de la corriente será resistida por amarras y defensas. En el caso de un buque parado sin

amarrar la deriva del buque se producirá según el efecto anteriormente expuesto, es decir en el mismo sentido y velocidad con que fluye la corriente uniforme. En el caso más general de buque en movimiento, será necesario tomar en consideración todas las acciones externas e internas del buque para poder determinar su trayectoria, tomando en consideración que en todos estos casos la corriente que realmente actúa sobre el buque es la corriente aparente o relativa con relación a él, cuya dirección e intensidad son las resultantes de la corriente absoluta real y de una velocidad igual y contraria a la absoluta del buque.

La instalación de una rampa, puede traer consecuencias en el tiempo si no se estudia bien el área, debido que la corriente tiene asociado el transporte de sedimentos los cuales pueden hacer que la obra se embanque o se socave, dejando inoperativa la rampa. Es por ello que es de suma importancia estudiar las corrientes para determinar cuál es el aporte energético de éstas y en qué dirección se mueven para poder orientar de forma eficiente la rampa.

## 2.4 OLAS

Se define oleaje como la propagación de una perturbación sobre un medio acuoso. Generalmente su fuerza generadora es el viento que sopla sobre una determinada zona (Fetch) mientras que su fuerza restauradora es la gravedad.

El viento genera un oleaje con un espectro amplio de alturas de ola y longitudes (frecuencias). La altura de ola representativa (por ejemplo  $H_s$  o  $H_{rms}$ ) producida, es función de la velocidad y duración del viento, así como de la extensión del área de generación o *fetch*. Cuando el viento cesa o el oleaje se propaga fuera del área de generación a una velocidad que está en función de la longitud de la onda y es conocido como oleaje *swell* o mar de fondo.

Una vez generado el oleaje, este se propagará a través del océano, transformándose conforme disminuye la profundidad, hasta llegar a la costa. Una vez que el oleaje ha salido de la zona de influencia del viento que lo generó, comenzará a reagruparse, adquiriendo patrones más regulares. La tasa a la que se propaga la energía y la velocidad como un todo está dada por la velocidad de grupo.

En aguas profundas, el grupo de olas se propaga a la mitad de la velocidad de las olas individuales y en aguas someras, las velocidades de grupo y de fase se igualan. Debido a su naturaleza, cada periodo contenido en el espectro del oleaje tiene su propia velocidad de propagación. Así, en aguas profundas, donde la celeridad del oleaje depende de la longitud de onda, las olas grandes viajarán más rápidamente que las pequeñas, produciendo grupos de ondas (como lo predice la relación de dispersión). Visto de otro modo, las olas viajan a través del grupo.

En cambio, cuando el oleaje ha entrado en aguas someras, la velocidad está totalmente limitada por la profundidad, por lo que todas las olas componentes del tren de oleaje viajan a la misma velocidad, evitando la alternancia  $H$  a  $2H$  o a  $0$ . Así, fuera de aguas someras, la velocidad de fase del oleaje es mayor que la velocidad de grupo.

## 2.4.1 DEFINICIONES ESTADÍSTICAS DE LOS PARÁMETROS DEL OLEAJE

Al tener a la vista un registro de oleaje, se intuye la necesidad de reducir los datos a una forma más compacta y comprensible, que prescindiera de la estructura detallada de toda la serie de tiempo y que a la vez retenga su información. En el tratamiento estadístico del oleaje puede hacerse a corto y largo plazo. El planteamiento del estudio del oleaje a corto plazo, se basa en las suposiciones de que el oleaje es aleatorio, gaussiano y estacionario, es decir, que las fuerzas generadoras y restauradoras que intervienen en su generación permanecen constantes durante un cierto periodo de tiempo llamado *estado de mar*. Por lo tanto, el registro de oleaje tiene que ser lo suficientemente corto como para considerarlo homogéneo (que no haya eventos de distinta naturaleza en el registro) y estacionario (en sentido energético y estadístico). Por otra parte, han de ser lo suficientemente largos como para obtener parámetros representativos. En este caso, los estados de mar pueden estudiarse utilizando como variable básica el tiempo (estudio estadístico) o bien la frecuencia (análisis y descripción espectral).

Desde el punto de vista estadístico, los parámetros representativos de un registro de oleaje obtenidos a partir de los desplazamientos verticales de la superficie del agua son una serie de valores característicos entre los que destacan los siguientes:

- $H_{rms}$  es la altura media cuadrática

$$H_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N H_i^2}$$

- $H_s$  o  $H_{1/3}$  es la altura de ola significativa y es el promedio del tercio mayor de las alturas de ola en una secuencia de  $N$  olas.
- $H_{máx}$  es la altura de ola máxima del registro y viene dada por el valor mayor de la  $H_i$
- $T_z$  es el periodo de paso por cero ascendente y es el intervalo de tiempo medio entre los cruces de tiempo consecutivos en el registro de oleaje.
- $T_s$  es el periodo significativo que se define como la media aritmética de los periodos asociados al tercio de olas más altas del registro.
- $r$  es el parámetro de irregularidad del registro y viene dado por el cociente entre el periodo medio de crestas y el periodo medio por paso cero ascendentes, es decir:

$$r = \frac{\overline{T_c}}{T_z}$$

Donde  $r$  varía entre 0 y 1 según se trate de procesos muy irregulares o regulares, respectivamente.

## 2.4.2 CARACTERÍSTICAS DEL VIENTO GENERADOR

El estado del viento generador queda definido por los parámetros velocidad, dirección y duración.

La velocidad del viento que se utiliza generalmente como dato de partida en los métodos simplificados de generación de oleaje es la velocidad media del viento en un intervalo de medición de 10 minutos correspondientes a 10 m de altura sobre la superficie en mar abierto. Dicha velocidad coincide con el parámetro Velocidad básica del Viento, salvo en aquellos casos en los que las condiciones topográficas locales tengan influencia en el perfil de velocidades medidas. En estos casos la velocidad media a considerar será la velocidad básica del viento multiplicada por el correspondiente factor topográfico. Es decir:

$$\bar{V}_v(10) = V_{v,10\text{min}}(10) = V_b$$

O en caso necesario:

$$V_b \cdot F_T$$

Si el parámetro de velocidad de viento del que se dispone como representativo del estado de viento generador se corresponde con la velocidad de ráfaga máxima asociada a un intervalo de medición  $t$  o con la velocidad media en otras condiciones de altura o rugosidad superficial, podrá obtenerse el parámetro de partida  $V_{v,10\text{min}}(10)$ , por medio de los factores de velocidad de viento  $F$ .

La definición de la duración asignada a los estados de viento generadores de oleaje, o duración de la persistencia de la velocidad media del viento adoptado como dato de partida por encima de dicho nivel, es muy importante para la estimación de los oleajes generados. Así, para una velocidad de viento y longitud del fetch determinados, el oleaje de viento ira incrementando su altura de ola y periodo con la duración hasta alcanzar una situación de equilibrio. En el límite ( $LF > L_{F\text{lim}}$ ), y para cada velocidad de viento, a esta situación se le denomina Oleaje Sea totalmente desarrollado. Desde estas situaciones, aumentos en la duración del viento no dará lugar a aumentos de la altura de ola o el periodo.

Es muy importante, por tanto, el binomio velocidad media del viento/duración ya que la adopción de velocidades medias menores asociadas a mayores persistencias puede dar lugar a olajes mayores.

### 2.4.2.1 PROFUNDIDAD DEL AGUA

En profundidades de agua superiores a aproximadamente 90 m los mecanismos de generación de oleaje no están sustancialmente afectados por las variaciones de profundidad, ni por las transformaciones del oleaje asociadas a fenómenos como la fricción del fondo, la percolación, la refracción o la rotura.

Para idénticas características de longitud de fetch y del viento, el oleaje de viento generado en aguas de profundidades reducidas o intermedias presentara menor altura de

ola y más corto periodo que aquel generado en aguas profundas. En cualquier caso, en profundidades reducidas los mecanismos de generación de oleaje suelen tener menor importancia que los efectos asociados a las transformaciones de oleaje en dichas aguas por refracción, difracción, rotura, etc.

En general, los oleajes de viento presentan dispersiones direccionales importantes. No obstante, simplificadaamente podrá considerarse que la dirección principal de propagación del oleaje de viento generado coincide con la dirección de actuación del viento generador.

#### 2.4.2.2 GENERACIÓN DE OLEAJE EN AGUAS SOMERAS

Para la generación de oleajes de viento en aguas poco profundas (en general < 15m) o intermedias (en general 15 y 90 m) podrá aplicarse el método simplificado paramétrico desarrollado por Bretschneider y Reid (1953) y modificado por Ljima y Tang (1966), basado en el balance entre la energía cedida por el viento al oleaje y la sustraída por fricción de fondo y precolación, suponiendo que la profundidad se mantiene constante en toda el área de generación y no teniendo en cuenta la limitación del oleaje por duración de actuación del viento. Este método representa una primera aproximación al problema, estando pendiente de desarrollo en función de los resultados obtenidos en futuras investigaciones.

Este método utiliza la siguiente formulación:

$$H_s = 0.283 \cdot \frac{U_A^2}{g} \operatorname{tgh} \left[ 0.530 \left( \frac{g \cdot d}{U_A^2} \right)^{3/4} \right] \cdot \operatorname{tgh} \left[ \frac{0.00565 \left( \frac{g \cdot L_F}{U_A^2} \right)^{1/2}}{\operatorname{tgh} \left[ 0.530 \cdot \left( \frac{g \cdot d}{U_A^2} \right)^{3/4} \right]} \right]$$

$$T_p = 7.54 \cdot \frac{U_A}{g} \operatorname{tgh} \left[ 0.833 \left( \frac{g \cdot d}{U_A^2} \right)^{3/8} \right] \cdot \operatorname{tgh} \left[ \frac{0.0379 \left( \frac{g \cdot L_F}{U_A^2} \right)^{1/3}}{\operatorname{tgh} \left[ 0.833 \cdot \left( \frac{g \cdot d}{U_A^2} \right)^{3/8} \right]} \right]$$

$$t_{\min} = 5.37 \cdot 10^2 \left[ \frac{g}{U_A} \right]^{4/3} \cdot (T_p)^{7/3}$$

Siendo  $d$  la profundidad del agua y  $g$  la aceleración de la gravedad,  $t_{\min}$ , es duración del viento;  $U_a$  es velocidad eficaz del viento y  $L_f$  es longitud del Fetch.

#### 2.4.3 ESFUERZOS DEL OLEAJE SOBRE EL BUQUE

En todas las maniobras que se consideran del buque es imprescindible analizar la incidencia del oleaje, ya que en cualquier Área de Navegación o Flotación, por resguardada que se encuentre, siempre será posible que se presenten olas, frecuentemente asociadas a la presencia de viento.

El casco de un buque se estudia y diseña para que su deslizamiento sea óptimo en condiciones normales de navegación. Todo movimiento, ya sea de balance o cabeceo que van asociados muy caracterizadamente a la presencia del oleaje, modifica el flujo del agua alrededor del casco, y al destruir la armonía de las líneas de corriente se produce un efecto de frenado por aumento de la resistencia.

Por otra parte la ola que no llega a romper arrastra en el sentido de su propagación a la parte del buque que se encuentra sobre una cresta y en sentido contrario a la que está más cerca de su seno. En consecuencia, el buque, al desplazarse a través de estas olas, sufre acciones evolutivas alternadas que tienden a hacerlo seguir una trayectoria en zigzag. Este efecto es tanto más pronunciado cuanto mayor es la altura de la ola y cuanto más se aproxima la eslora del buque a una semilongitud de aquélla.

En el caso de las olas rotas o que lleguen a romper sobre el casco del buque, el mar actúa tanto sobre la obra viva como sobre la obra muerta del buque y genera esfuerzos muy superiores a los de las olas no rotas. Si las olas se reciben desde una dirección a proa del través, incidirán en forma más directa y efectiva sobre la parte delantera del buque que sobre la popa y en consecuencia se pondrá de manifiesto una tendencia a aumentar el abatimiento debido al viento que normalmente acompaña el temporal. El barco reducirá la velocidad con respecto al fondo y tratará de caer con su proa hacia el seno de las olas, atravesándose al mar, especialmente si se mueve avante con poca máquina.

Cuando las olas se reciben desde una dirección a popa del través, su acción tenderá a aumentar la arrancada del buque y a hacerlo orzar cayendo con su popa hacia el seno de las olas, siendo este último efecto más marcado cuando se navega en la pendiente descendente que en la ascendente. Si se reciben las olas de popa, el buque tendrá tendencia a guiñar y atravesarse y se requiere gobernar con bastante timón, lo que retardará su avance, pudiendo esto contrarrestar el efecto del mar de aumentar su velocidad con respecto al fondo.

En consecuencia, el efecto general del mar sobre el gobierno del buque es tender a atravesarlo a las olas, y, vengan éstas de la amura o de la aleta, será necesario aplicar timón para mantenerse al rumbo previsto, lo que ocasionará una pérdida adicional de velocidad.

Los efectos del mar que se acaban de describir son más notables cuanto más baja es la velocidad de propulsión del buque, y pueden variar si el viento y las olas se reciben desde distintas direcciones.

Por lo que se refiere al estudio en planta, la acción del oleaje puede simplificarse con el esquema recogido en la Figura 4, en la que se ha representado la fuerza horizontal resultante  $R_W$ , que en primera aproximación puede suponerse que pasa por el centro de gravedad del buque, por lo que puede descomponerse en los siguientes efectos:

- Una componente en el sentido longitudinal, que tiende a hacer avanzar o retroceder el buque según cuál sea el  $F_{L,W}$  ángulo de incidencia del oleaje.
- Una componente  $F_{TW}$  en el sentido transversal del buque, que tiende a desplazarlo con un movimiento de deriva.

Adicionalmente a estos dos esfuerzos principales que producen movimientos de traslación es necesario considerar los movimientos oscilatorios producidos sobre los ejes longitudinal y transversal del buque (balance y cabeceo, respectivamente) cuyo efecto

más significativo es aumentar los sobre calados del buque y las profundidades de agua necesarias para una navegación en condiciones de seguridad.

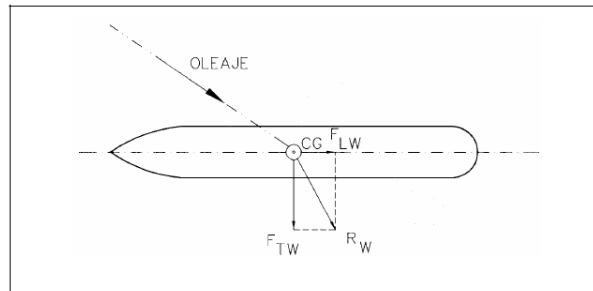


Figura 4: Acción del oleaje sobre un buque.

## 2.5 TRANSPORTE DE SEDIMENTO

El movimiento de una partícula en el fondo marino ocurrirá cuando la fuerza instantánea que ejerce el fluido sobre la partícula sea mayor que la resistencia que oponga.

La resistencia de la partícula se debe fundamentalmente a dos fuerzas:

- Peso sumergido
- Fricción (cohesión)

Desde un punto de vista Hidráulico, conocer las condiciones de inicio del movimiento permiten determinar el diámetro de sedimento o en su defecto de roca que es estable ante velocidades de corriente u orbitales y de este modo diseñar canales estables.

Para nuestro caso, nos permitirá determinar las condiciones de oleaje que mueven el sedimento del lecho y de este modo, podemos zonificar la franja de playa donde se esta moviendo el sedimento.

Una vez que la partícula esta en movimiento, esta presentará tres formas de movimiento (Figura 5):

- Arrastre
- Rodadura
- Saltación
- Suspensión

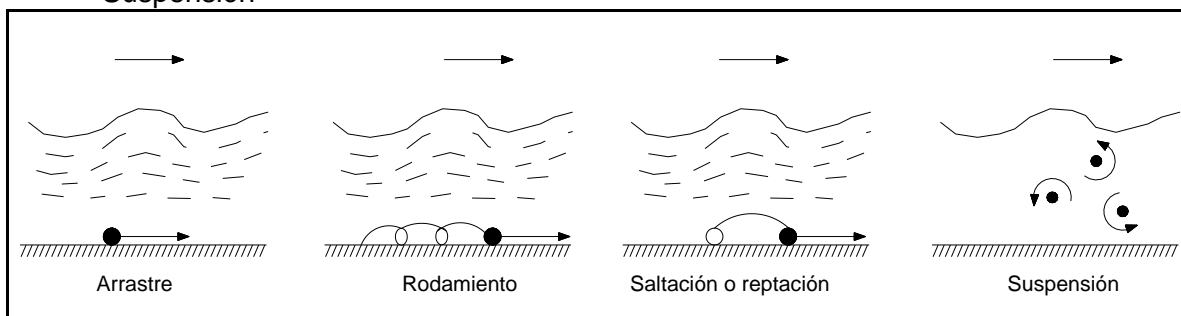


Figura 5: Tipos de movimientos de los sedimentos

### **3 OBJETIVOS**

Caracterizar las condiciones oceanográficas en el área de construcción de la rampa de conectividad marítima en la localidad de Fandango y sugerir el mejor esquema de diseño.

#### **3.1 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- 1) Analizar los datos de corrientes, mareas, vientos, oleaje y sedimentos para definir las condiciones naturales del área de emplazamiento.
- 2) Sugerir condiciones de diseño de la rampa, considerando los requerimientos mínimos para resistir la acción de los forzantes oceanográficos y meteorológicos identificados.
- 3) Definir las condiciones reinantes y dominantes de corrientes vientos y oleaje.
- 4) Sugerir criterios de diseño para la orientación de la nueva infraestructura y sus niveles de coronamiento.

## **4 METODOLOGIA**

Para la caracterización oceanográfica se ocuparon distintos instrumentos oceanográficos, cuyas metodologías de uso y de instalación se detallan a continuación.

### **4.1 BATIMETRIA**

Para la realización de la batimetría se utilizó un bote Zodiak al cual se le instaló una antena GPS móvil sobre el transductor. Las profundidades fueron medidas con ecosonda de simple frecuencia modelo Knudsen de registro gráfico continuo en papel, de características técnicas aprobadas según la Pub. SHOA N° 3105.



**Figura 6: Área de batimetría.**

Para el correcto posicionamiento de las sondas, se ajustaron los relojes del instrumento, de los computadores y personalares, con respecto a la hora local del GPS.

Con el propósito de establecer un nivel de referencia para las mediciones de nivel del mar en el área, se instaló un GPS Base en el vértice "Fan1". Ambos equipos móvil y base, se programaron con un período de grabación de 1 s. Luego de terminada la jornada se procesaron los datos de la estación móvil y de la base objeto determinar posibles errores en la data obtenida.

El registro en el ecograma fue continuo, realizando una marca horaria cada 30 s. La calibración del Ecosonda fue realizada con una plancha suspendida de una cadena y la contrastación de las profundidades del ecograma se realizó cada 2 m hasta la profundidad de 20 m. Esta prueba de calibración se realizó al inicio y término de cada jornada diaria de trabajo.



**Figura 7: Prueba de Plancha.**

El direccionamiento de las líneas de sondas o corridas se hizo mediante la utilización del software hidrográfico Hypack.



**Figura 8: Equipo de control de líneas planificadas.**



**Figura 9: Ecosondista**

Los instrumentos ocupados para la realización de la batimetría fueron los siguientes: dos Georreceptores Geodésicos marca Trimble, modelo R6 L1/L2, un Ecosonda Knudsen, un Nivel topográfico Pentax modelo AL-320, dos sensores de mareas marca Hobo y sensor de presión atmosférica marca Hobo.

El marco geodésico se estableció mediante el uso de receptores satelitales GPS Trimble modelos R6, con dos antenas GPS, con precisiones nominales en modo diferencial centimétrico.

El enlace a la red geodésica nacional, se realizó sobre la base del vértice "D-33" ubicado en la Capitanía de Puerto Chaitén perteneciente al Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada apoyándose 3 nuevos vértices denominados "Fan1", "Fan2" y "Fan3". El vértice utilizado para la Batimetría fue el "Fan1".



**Figura 10 : Vértice Geodésico D-33 ubicado en la Capitanía de Puerto de Chaitén.**

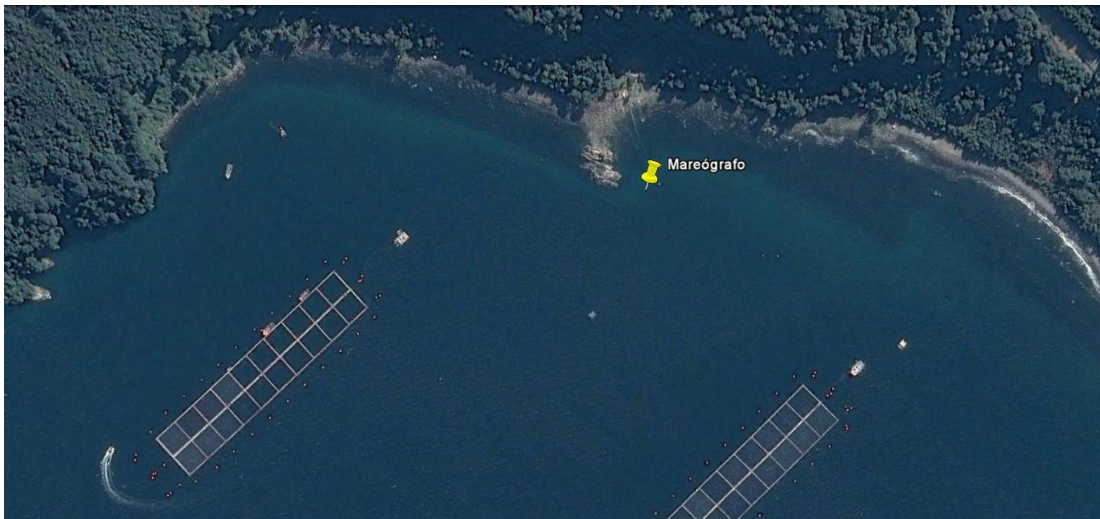
## 4.2 MAREAS

Para la medición de mareas, se instaló un mareógrafo digital de autocontenido marca HOBO modelo UB-20, en una estructura de fondeo (Figura 11).



**Figura 11: Sistema de fondeo de mareógrafo.**

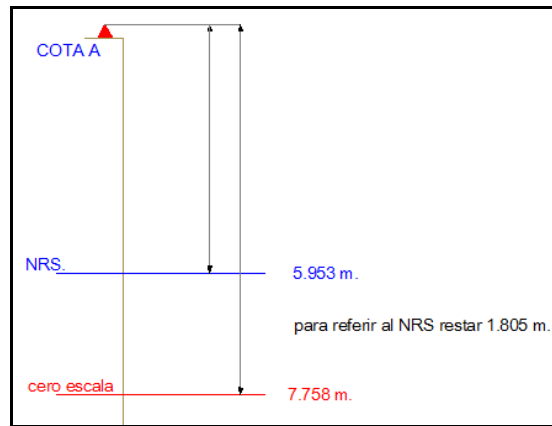
El equipo fue programado para guardar un dato cada 10 min, durante 32 días, entre el 18 de Diciembre del 2010 y el 19 de Enero de 2011. Se realizó una nivelación geométrica a tres cotas de mareas (COT-A, COT-B y COT-C) geo-referenciadas a la red geodésica nacional, el punto de inicio de la nivelación fue desde una regla de mareas referenciada al cero del sensor de mareas. Esto permitirá determinar las cotas de coronamiento de la rampa. El mareógrafo fue instalado en latitud  $42^{\circ} 52' 52.56''$  S y longitud  $72^{\circ} 45' 43.20''$  W. (Figura 12).



**Figura 12: Ubicación geográfica instalación de mareógrafo.**

Con el objeto de corregir por mareas las sondas obtenidas del registro del ecosonda durante el desarrollo de la batimetría, se efectuó una observación de mareas por un

periodo de 30 días, lo que permitió obtener el NRS de la localidad La Figura 13 muestra la situación de los diferentes niveles de marea referidos a la cota primaria.

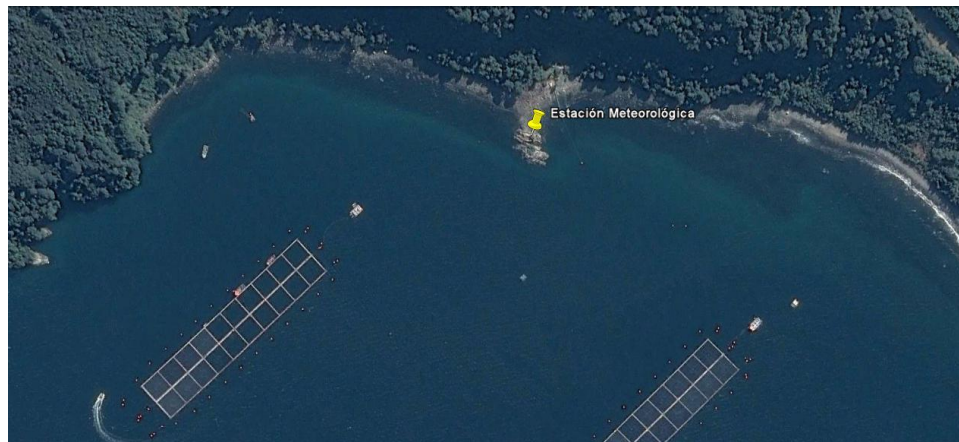


**Figura 13: Esquema de vinculación vertical**

Un segundo mareógrafo fue instalado en Fandango, entre el 3 de Septiembre 2011 y 5 de Octubre del 2011, en forma simultánea con las mediciones de corrientes eulerianas, el propósito de esta instalación era establecer relaciones entre la marea y las velocidades de la corriente en el área de estudio.

### 4.3 VIENTOS

Se instaló una estación meteorológica marca HOBO, en latitud  $42^{\circ} 52' 51.01''$  S y longitud  $72^{\circ} 45' 45.66''$  W (Figura 14).



**Figura 14: Ubicación geográfica estación meteorológica.**

La estación fue programada para grabar datos cada 5 minutos, durante un poco mas de un año, entre el 9 de Diciembre del 2009 y el 18 de Diciembre del 2010. Al momento de su instalación fue orientada hacia el norte magnético. Los datos fueron corregidos al norte verdadero aplicándose la desviación magnética del lugar, en este caso  $8.72^{\circ}$  E, según NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration)

Se efectuó un análisis de frecuencia en base a datos horarios y análisis de frecuencia horaria y mensual en base a datos totales. Los vientos con magnitudes inferiores a 1 (m/s) fueron considerados calmas.



**Figura 15: Estación Meteorológica Instalada en Fandango.**

El estudio permitió conocer el régimen local de vientos en Fandango durante el año de mediciones y caracterizar el clima de vientos operacionales y de diseño.

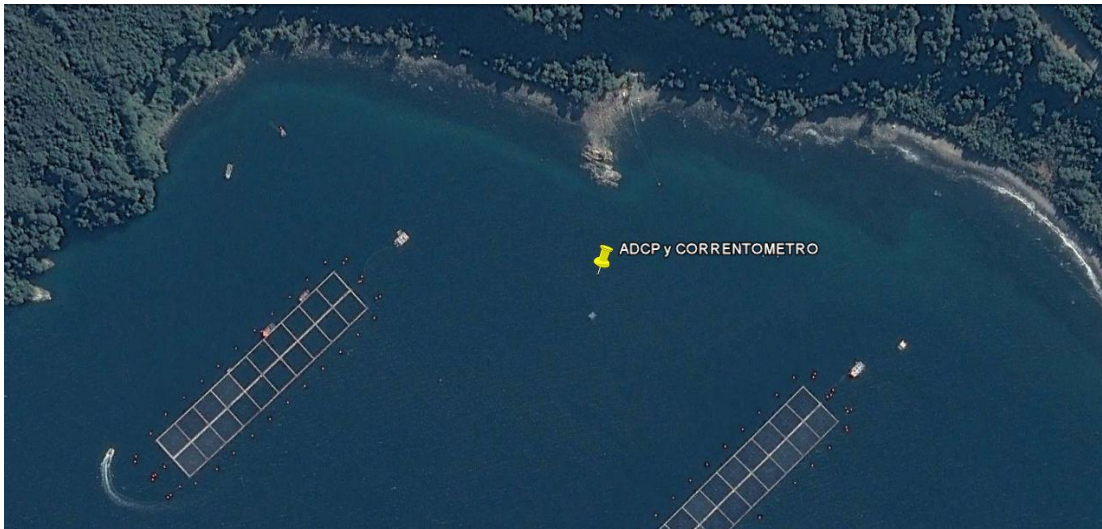
Asimismo, se contó con los datos históricos de vientos de 10 años de la localidad de Chaitén, facilitados por la Dirección Meteorológica de Chile, lo que permitió comparar el régimen local de ambos sitios. La estación de Chaitén esta ubicada a 7 m.s.n.m.m., y posee datos observados cada una hora entre el 1 de Enero de 1998 y el 31 de Diciembre del 2007. Las horas efectivas de medición son entre las 10 AM a las 17 PM. A los datos observados se les aplico el factor de corrección de desviación magnética local de  $9.53^\circ$  E, el cual es el promedio entre  $10^\circ 4'$  E para la fecha correspondiente al 1 de Enero de 1998 y  $9^\circ$  E para la fecha de 31 de Diciembre del 2007. Con esta data se efectuó un análisis mensual y horario.

#### **4.4 CORRIENTES**

La medición de corrientes se realizó en dos campañas de 30 días, una en invierno y la otra en verano. En la campaña de invierno se instaló un correntómetro SensorData a 9 m.s.n.m.m. de profundidad (Figura 17), mientras que en la de verano se instaló un Perfilador Acústico de Corrientes Doppler (ADCP), montando en el fondo mirando hacia arriba en una estructura de fondeo (Figura 19), sobre el veril de 18 m.s.n.m.m. El perfilador se fondeó utilizando una estructura HDPE diseñada para este objetivo.

El ADCP se programó para adquirir datos cada 10 minutos, en celdas verticales de 2 m de profundidad. Se utilizó un ADCP marca NORTEK, modelo AWAC, interrumpiéndose las mediciones cada 3 horas por un intervalo de 35 minutos para medir oleaje. Las

mediciones de ADCP se realizaron entre el 18 de Diciembre del 2010 y el 19 de Enero del 2011 en la posición mostrada en la Figura 16 (Lat: 42° 52' 56" S Lon: 72° 45' 46" W).



**Figura 16: Ubicación geográfica de instalación de ADCP y Correntometro.**

Una vez obtenidos los datos de ADCP, estos fueron referidos al norte geográfico aplicándose la desviación magnética del lugar (8.65°E). Para el análisis de corrientes se seleccionaron cuatro capas de profundidades a 3, 8, 14 y 16 m.s.n.m.m.. el resumen de la programación del equipo se presenta en la Tabla 1.

Numero de Celdas	13
Ancho de Celdas (m)	2
Distancia de Blanqueo (m)	1
Profundidad de FONDEO (m)	18

**Tabla 1: Resumen de Parámetros de Instalación.**

El correntómetro se programó para adquirir datos cada 10 minutos, instalándose a 9 m de profundidad en una línea de fondeo, con un peso muerto en el fondo y una boya subsuperficial superior para asegurar la verticalidad de la línea. Las mediciones del correntometro se realizaron entre el 3 de Septiembre de 2011 y el 5 de Octubre de 2011 y su posición corresponde a la misma del ADCP indicado más arriba.

Con el proceso de los datos se determinará el clima de corrientes mediante rosas de dirección en todas las celdas seleccionadas con sus respectivas tablas de incidencia y se obtendrán los principales parámetros estadísticos. Además se realizaran diagramas de vector progresivo con la finalidad de determinar la trayectoria de la corriente. Para determinar las principales forzantes de la corriente se realizaran correlaciones cruzadas con el viento y la marea.



**Figura 17: A la izquierda equipo ADCP y a la derecha Correntometro SensorData.**

Durante ambos periodos de 30 días (Invierno y Verano) se realizaron experimentos con dos derivadores de cruceta a distintos niveles de profundidad (1m y 5m), en las dos fases lunares, sicigia y cuadratura. La medición se realizó durante una hora cada 10 minutos, en media marea llenante y media marea vaciante, en ambas fases lunares, efectuándose un seguimiento a la trayectoria de dos derivadores. La posición de lanzamiento en todos los experimentos se muestra en la Figura 18. La posición durante el desplazamiento fue registrada con un GPS doble frecuencia, y los datos fueron procesados en gabinete posteriormente.

La fecha de los experimentos con derivadores fueron las siguientes:

<b>Campaña</b>	<b>Fecha</b>	<b>Fase Lunar</b>
Verano	11-ene-2011	Cuadratura
	18-ene-2011	Sicigia
Invierno	27-sep-2011	Sicigia
	05-oct-2011	Cuadratura



**Figura 18 : Area de experimento con derivadores.**

## **4.5 OLAS**

La medición de olas direccionales se realizó en la campaña de verano, con el mismo equipo ADCP con el cual se midieron corrientes. Se programó la adquisición de datos, durante 35 minutos cada 180 minutos, con un intervalo de muestreo de 0,5 s, siguiendo las instrucciones de la Pub. SHOA N° 3201. El objetivo de estas mediciones era caracterizar el oleaje operacional y de diseño existentes en el sector.



**Figura 19: Equipo ADCP fondeado para medir oleaje y corrientes.**

Con los datos obtenidos se obtendrán rosas de direcciones y tablas de incidencia para así determinar el oleaje reinante, los datos serán comparados con la generación de oleaje mediante datos de vientos históricos de Chaitén; ambas datos serán comparadas estadísticamente y se determinara la validez de los datos, para determinar así el oleaje de diseño.

## 4.6 SEDIMENTOS

Se obtuvieron muestras de sedimentos extraídas por un buzo utilizando un sacatestigos cilíndrico (Figura 20) en 10 sitios del área de estudio (Figura 21) el 19 de Enero de 2011. Para la obtención de las muestras se siguió la normativa dispuesta en la publicación SHOA 3201.

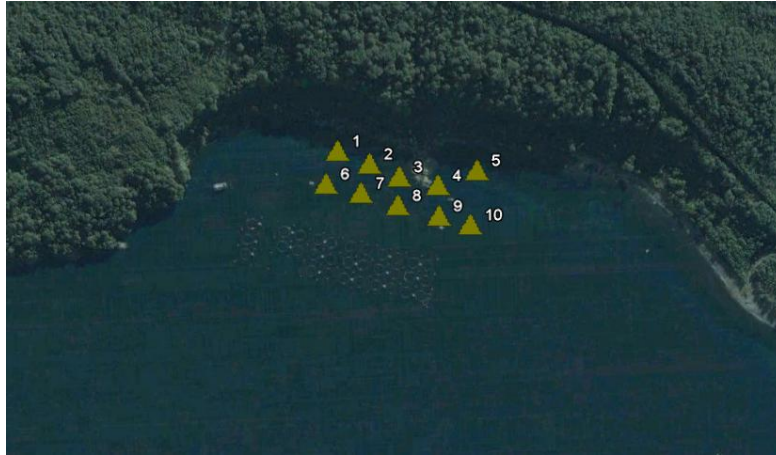
Las muestras fueron enviadas al Laboratorio de Análisis químicos y Asesorías Químicas "ISAAC CARRASCO DIAZ" (Viña del Mar), lugar donde se realizó el ensayo sedimentológico mediante tamizado de acuerdo a la norma ASTM-D422, el cual permite separar los rangos texturales de los sedimentos de acuerdo a la escala de tamaños de Wentworth (1922).

Una vez obtenidos los pesos de cada fracción de tamaño a partir del análisis de tamizado, los valores fueron expresados en porcentaje diferencial respecto del peso total. Posteriormente, se determinó el diámetro medio (promedio y mediana) y los parámetros de dispersión (selección, asimetría y curtosis) mediante análisis estadístico utilizando los criterios de Folk & Ward (1957). Los datos fueron representados en la escala logarítmica phi ( $\phi$ ) con el propósito de realizar la descripción de los datos mediante numeración entera (Folk, 1980), de acuerdo a la siguiente ecuación:  $\phi = -\log^2 D$  donde, D es el diámetro de la partícula en mm. Para la clasificación de los sedimentos se aplicó además el triángulo ternario de Folk et al. (1970) que considera la participación de la fracción psefítica (gravas).

Los parámetros texturales permitieron efectuar un análisis descriptivo de la distribución textural de los sedimentos y otro estadístico que utiliza las medidas de tendencia central y de dispersión para inferir las condiciones asociadas al ambiente de depositación, así como su distribución espacial.



Figura 20: Sacatestigos para la extracción de sedimentos



**Figura 21: Posiciones del muestreo.**

Nº estación	Coordenadas UTM	
	Este	Norte
M1	682524.75	5250032.9
M2	682599.43	5249999.07
M3	682669	5249965.23
M4	682760.28	5249940.98
M5	682854.75	5249971.62
M6	682493.47	5249956.3
M7	682575.81	5249930.77
M8	682662.62	5249897.57
M9	682759.64	5249868.21
M10	682833.69	5249843.96
WGS - 84		ZONA 18

**Tabla 2: Coordenadas UTM de posiciones de muestreo.**

## 5 CARACTERIZACIÓN OCEANOGRÁFICA

### 5.1 BATIMETRÍA DE PRECISIÓN

#### 5.1.1 RESULTADOS

La batimetría se realizó hasta encontrar la profundidad de 30 m respecto del NRS, ubicándose a 250 m respecto de la línea de más baja marea en la costa. La distancia cubierta en la dirección a lo largo de la costa fue de 500 m aproximadamente. La batimetría presentó una pendiente suave y sin accidentes notables en el fondo marino, tales como bajos y depresiones. Los veriles de profundidades obtenidos se muestran en la Figura 22.

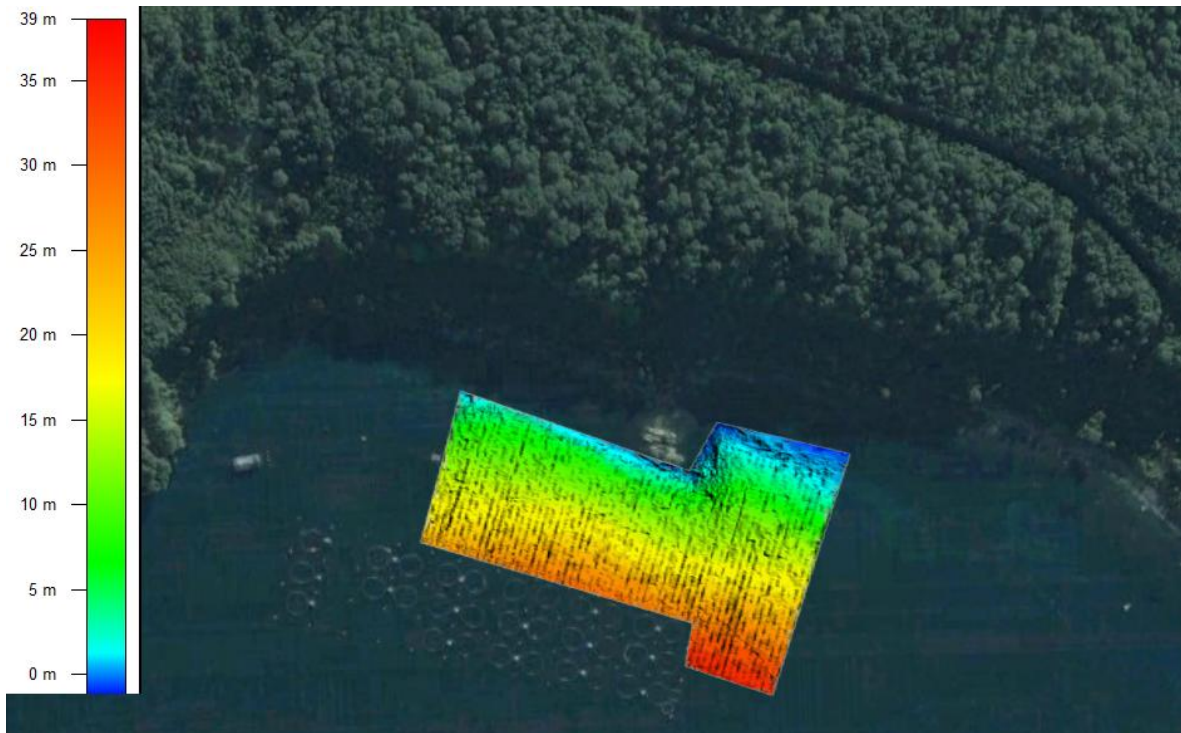
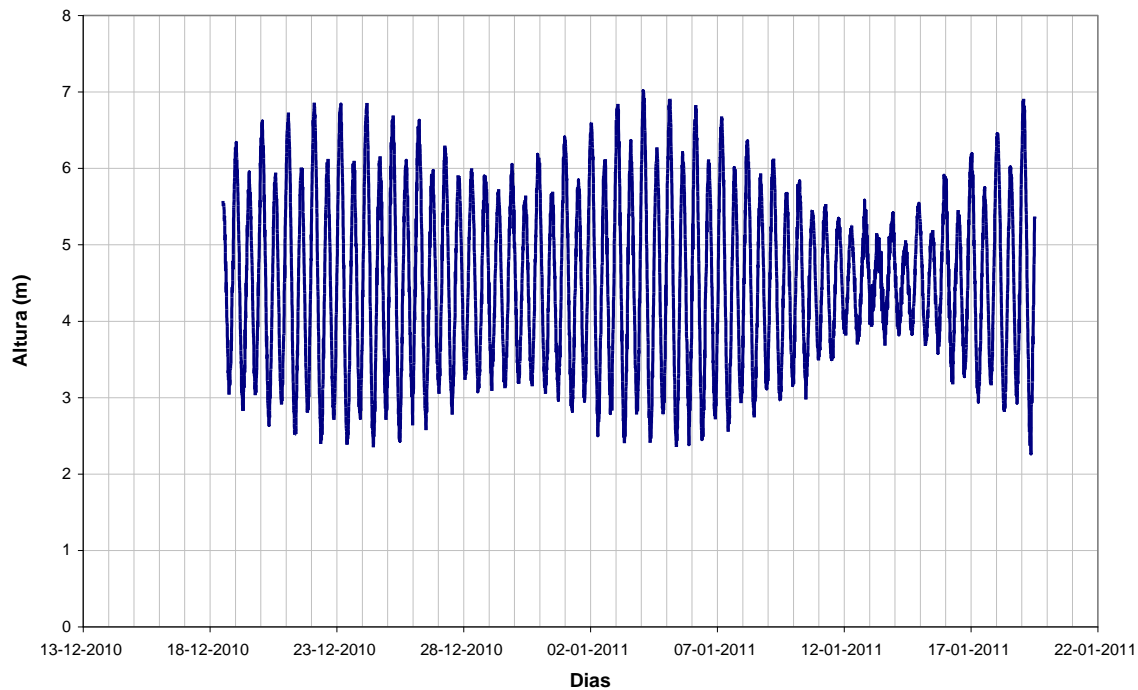


Figura 22: Batimetría de precisión área de estudio.

### 5.2 MAREAS

#### 5.2.1 RESULTADOS

La Figura 23 muestra los datos observados de nivel del mar cada 10 minutos en el periodo 18 de Diciembre del 2010 al 19 de Enero del 2011. Los valores de altura están referidos al "cero" del sensor.



**Figura 23: Serie original de nivel del mar medido cada 10 minutos.**

### 5.2.2 ANÁLISIS ARMÓNICO.

Este análisis consiste en determinar las constituyentes armónicas de la marea asumiendo que el nivel del mar observado corresponde a la sumatoria de un número finito de constituyentes armónicas donde cada una de ellas tiene una amplitud, y una fase, las que son determinadas a partir de argumentos astronómicos y no astronómicos.

La metodología utilizada es la propuesta por Godin(1972) y Foreman(1977), utilizando las rutinas en MATLAB (Pawlowicz et al, 2002), que son una traducción de las rutinas originales en Fortran de Foreman (1977). Se aplica un análisis sinusoidal por mínimos cuadrados a cada una de las series para extraer la amplitud y fase de cada constituyente.

Con las 38 constituyentes armónicas (Tabla 3) obtenidas del análisis en el dominio de la frecuencia, se realizó el pronóstico para el mismo periodo para comparar los valores observados con los predichos realizando un análisis de los residuales y de correlación de ambas series.

Constituyentes Armónicos	Frecuencia (cph)	Amplitud (m)	Fase (°)	Periodo (h)
MM	0.0015122	0.016	359.81	661.288
MSF	0.0028219	0.0276	313.7	354.371
ALP1	0.0343966	0.0033	110.3	29.073
2Q1	0.0357064	0.0046	339.89	28.006
*Q1	0.0372185	0.0264	11.91	26.868
*O1	0.0387307	0.1454	25.96	25.819
*NO1	0.0402686	0.0155	21.5	24.833
*P1	0.0415526	0.0681	75.59	24.066
*K1	0.0417807	0.2057	68.52	23.934
*J1	0.0432929	0.0148	59.43	23.098
*OO1	0.0448308	0.0055	148.54	22.306
UPS1	0.046343	0.0021	291.43	21.578
EPS2	0.0761773	0.009	226	13.127
*MU2	0.0776895	0.0292	185.27	12.872
*N2	0.0789992	0.3037	134.92	12.658
*M2	0.0805114	1.4002	153.07	12.421
*L2	0.0820236	0.0992	81.09	12.192
*S2	0.0833333	0.6675	182.17	12.000
*K2	0.0835615	0.1817	204.57	11.967
*ETA2	0.0850736	0.0457	234.12	11.755
MO3	0.1192421	0.0054	94.15	8.386
M3	0.1207671	0.0027	249.75	8.280
*MK3	0.1222921	0.0074	180.93	8.177
SK3	0.1251141	0.0033	40.69	7.993
*MN4	0.1595106	0.0038	168.32	6.269
M4	0.1610228	0.0003	186.94	6.210
SN4	0.1623326	0.0038	229.25	6.160
*MS4	0.1638447	0.0046	288.78	6.103
S4	0.1666667	0.0028	289.69	6.000
2MK5	0.2028035	0.0034	11.2	4.931
2SK5	0.2084474	0.0036	129.2	4.797
2MN6	0.2400221	0.004	104.5	4.166
M6	0.2415342	0.004	111.83	4.140
*2MS6	0.2443561	0.0075	114.52	4.092
2SM6	0.2471781	0.0008	4.63	4.046
3MK7	0.2833149	0.0006	160.14	3.530
M8	0.3220456	0.0026	67.1	3.105
M10	0.402557	0.0033	25.27	2.484

**Tabla 3: Resumen de los valores armónicos de la marea.**

*Nota: ( \* ) Para el pronóstico se utilizaron todas las constituyentes armónicas*

Los pronósticos realizados a partir de la serie se mostraron consistentes y muy próximos a los valores reales. Es así como la correlación entre los datos observados y pronosticados mostró un  $R^2 = 0,99$ , lo que indica que el modelo de pronóstico de regresión lineal explica aproximadamente un 99 % de la variabilidad de los datos. Estos resultados posibilitan la emisión de pronósticos confiables de marea para el área de estudio con un nivel de significancia del 95%.



La Figura 25 muestra el espectrograma de constituyentes armónicos significativos en el sitio de emplazamiento del mareógrafo. Hay constituyentes de aguas somera, como la MK3, MN4, M4 y 2MS8 que son importantes en la variabilidad del sistema.

### 5.2.3 ANÁLISIS NO-ARMÓNICO

A partir de los datos observados de pleamares y bajamares, se realizó un análisis de tipo no armónico y se calcularon los niveles de marea más importantes según publicación S.H.O.A. 3202 e Instrucciones Oceanográficas 2. Cálculo de los Valores No-Armónicos de la Marea Tabla 4.

Nivel de Referencia	m. sobre el cero del sensor
NRS	1.8055
Nivel medio del mar (Zo)	4.5280
Nivel medio de la marea	4.5090
Altura media de la bajamar	2.9290
Bajamar mínima	2.1390
Altura media de la pleamar	6.1160
Pleamar máxima	7.0200
Amplitud media de la marea	3.1870
Amplitu de la marea en sicigia	4.8810

**Tabla 4: Valores no armónicos de la marea.**

### 5.2.4 RÉGIMEN DE MAREA

Para la determinación del régimen de marea en el área de interés se utilizó el criterio definido por el coeficiente de Courtier "F" definido en la Pub. S.H.O.A. N° 3202. Este coeficiente, se obtiene del cociente de las amplitudes de cuatro de las constituyentes armónicas principales tal como se indica en la ecuación.

$$F = \frac{(\text{amp} K_1 + \text{amp} O_1)}{(\text{amp} M_2 + \text{amp} S_2)}$$

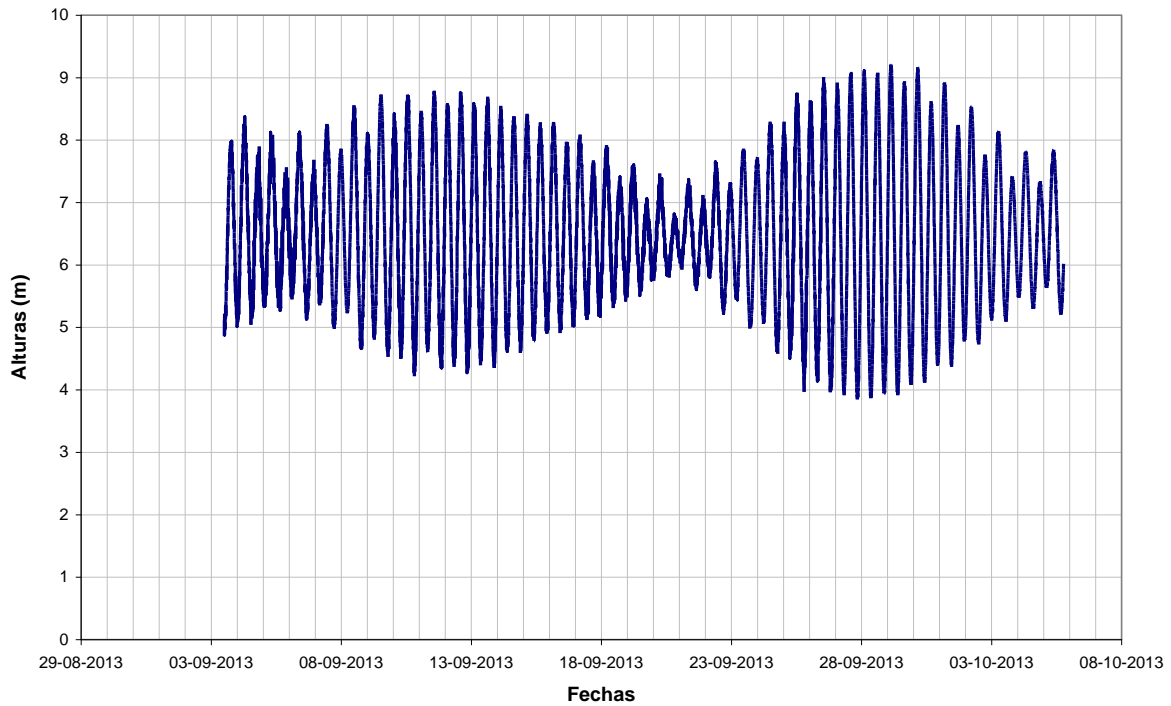
$$F = \frac{(0.2057 + 0.1454)}{(1.4002 + 0.6675)} = \frac{0.3511}{2.0677} = 0.169$$

$$F = 0.169$$

El valor obtenido (F=0.169) indica que la marea en el área de estudio es de tipo predominantemente semidiurno, vale decir, en un día se presenta la ocurrencia de dos pleamareas y dos bajamares, con diferencia de alturas entre ellas.

### 5.2.5 NIVEL DE REDUCCIÓN DE SONDA

Para el establecimiento del Nivel de Reducción de Sondas (NRS), se consideró la sumatoria de los constituyentes principales individualizados M2, S2, N2, K1 y O1, de acuerdo a la metodología expuesta en la Pub. SHOA N° 3105, obteniéndose un valor de 1.8055 m sobre el cero del sensor. En la Tabla 4, se resumen los resultados del análisis no armónico. La bajamar más baja observada esta a 2.1390 m sobre el cero del sensor.



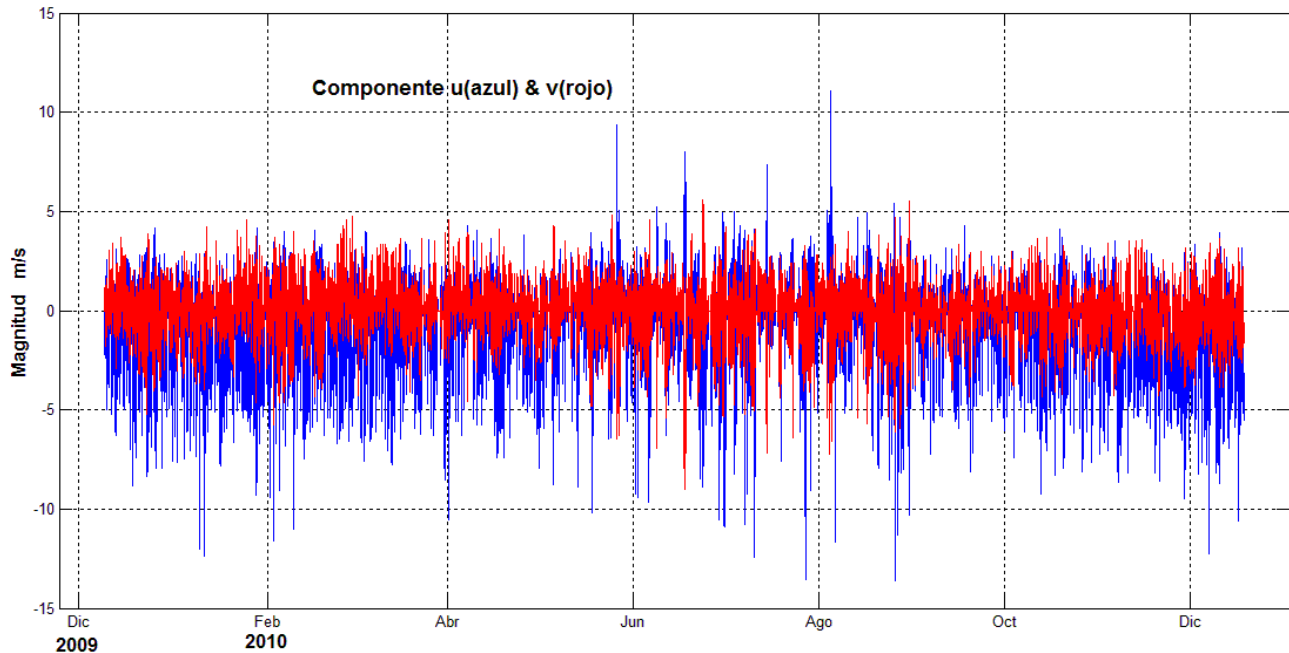
**Figura 26: Serie de nivel del mar horaria para Fandango, Chaitén, Región de Los Lagos, observada entre 3 de Septiembre 2011 y 5 de Octubre del 2011.**

## 5.3 VIENTOS

### 5.3.1 RESULTADOS

#### 5.3.1.1 VIENTOS LOCALES EN FANDANGO.

La serie original de datos de viento de las componentes ortogonales  $u$  y  $v$  se presentan en la Figura 27. La mayor variabilidad de los datos se observa en la componente  $u$ , la que alcanza valores máximos de 11 m/s positivos y 13 m/s negativos.



**Figura 27: Componentes  $u$  (este - oeste) y  $v$  (norte -sur) de la velocidad del viento**

En términos de frecuencia de observaciones, la incidencia de los vientos observados (Tabla 5) presentó un predominio de las direcciones provenientes del W con un 24,13% de las observaciones, seguida de la dirección SW con un 9,89%. El rango de magnitudes de mayor ocurrencia fue de 2 m/s a 4 m/s representando el 28,78% del total de casos analizados, siendo un 42,11% calmas. Los vientos para esta zona, son de baja intensidad, concentrándose las mayores frecuencias en las magnitudes bajas (<6 m/s).

Direcciones	Magnitud (m/s)								Total (%)
	1.0 - 2.0	2.0 - 4.0	4.0 - 6.0	6.0 - 8.0	8.0 - 10.0	10.0 - 12.0	12.0 - 14.0	>= 14.0	
N	4.35	1.73	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.08
NE	1.07	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.31
E	0.96	0.66	0.07	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	1.72
SE	1.38	1.81	0.32	0.15	0.10	0.01	0.00	0.00	3.77
S	1.49	2.27	0.25	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	4.04
SW	3.20	5.85	0.80	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	9.89
W	4.84	12.91	5.46	0.80	0.10	0.01	0.01	0.00	24.13
NW	3.07	3.31	0.52	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	6.95
Sub-Total	20.35	28.78	7.42	1.07	0.23	0.02	0.01	0.00	57.89
Calms									42.11
Missing/Incomplete									0
Total									100

Tabla 5: Distribución de frecuencia de la dirección y magnitud del viento (m/s) en Fandango.

### Rosa de Vientos: Fandango

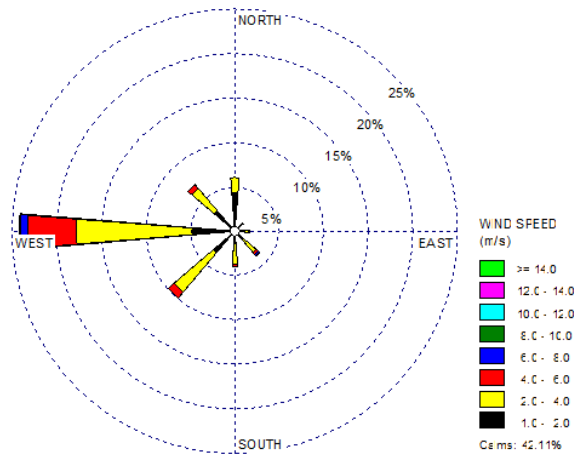


Figura 28: Rosa de viento de la distribución de frecuencia de la magnitud y dirección de los vientos medidos en Fandango

#### 5.3.1.2 ANÁLISIS MENSUAL

Los vientos en esta estación presentan predominio de las direcciones desde el oeste durante casi todos los meses del año (Figura 29), con excepción de junio a agosto, donde hay aportes de vientos de frecuencia similar al oeste desde otros cuadrantes. Los meses de junio a septiembre son también los de menores magnitudes del viento y los de mayores observaciones de calmas (>43%). El mes de septiembre exhibe el mayor porcentaje de calmas (62,7%). Las más altas velocidades se hacen presente entre octubre y marzo. En este lapso es posible observar un incremento sustancial de las magnitudes en el rango 6-8 m/s y observar magnitudes de 8-10 m/s, no presentes en otros meses.

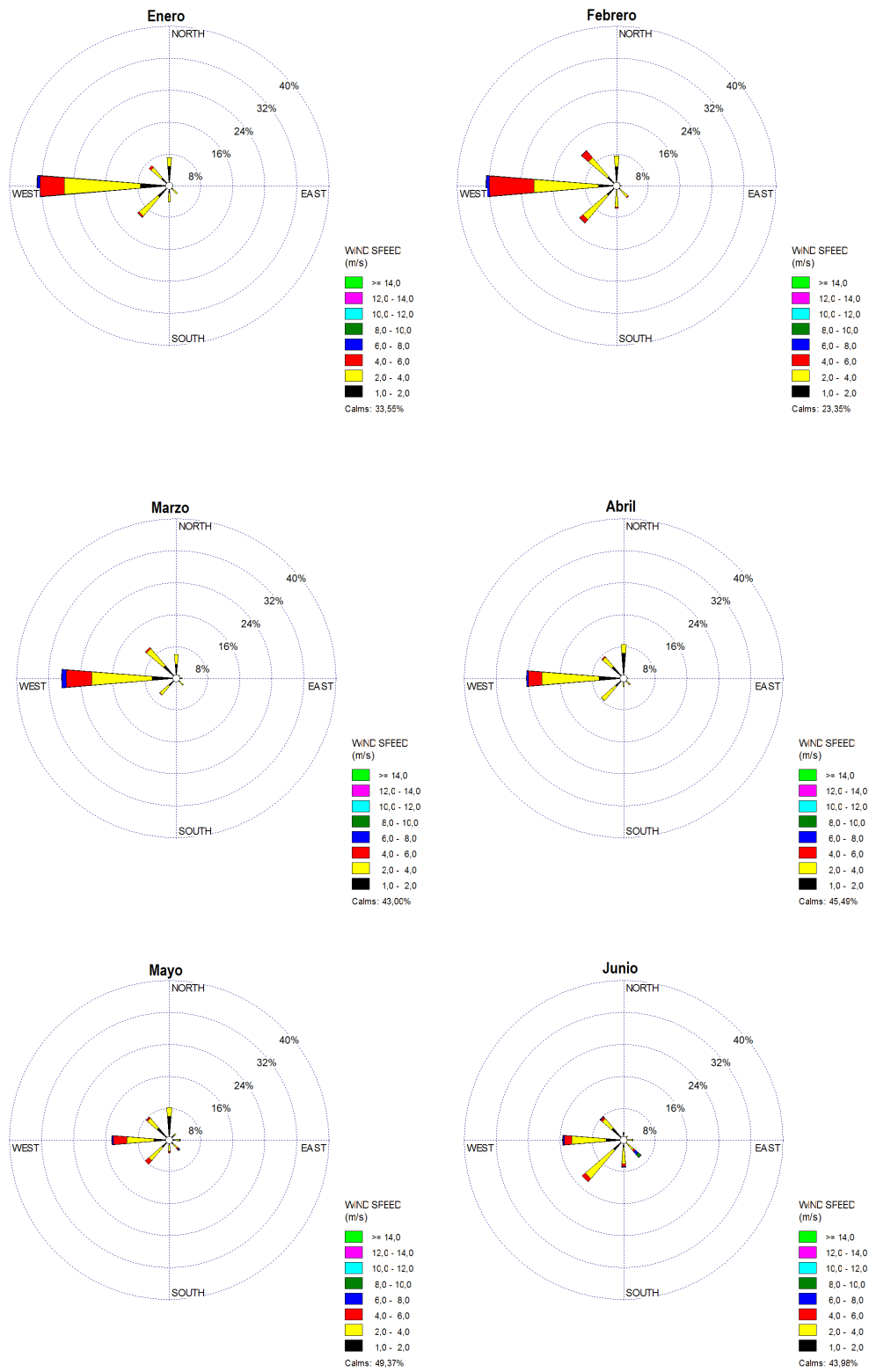


Figura 29: Rosas de viento mensuales con frecuencia de direcciones y magnitudes observadas en Fandango.

“CARACTERIZACIÓN OCEANOGRÁFICA PARA EL DISEÑO DE MEJORAMIENTO DE LA CONECTIVIDAD MARÍTIMA FANDANGO, CHAITÉN, REGIÓN DE LOS LAGOS”

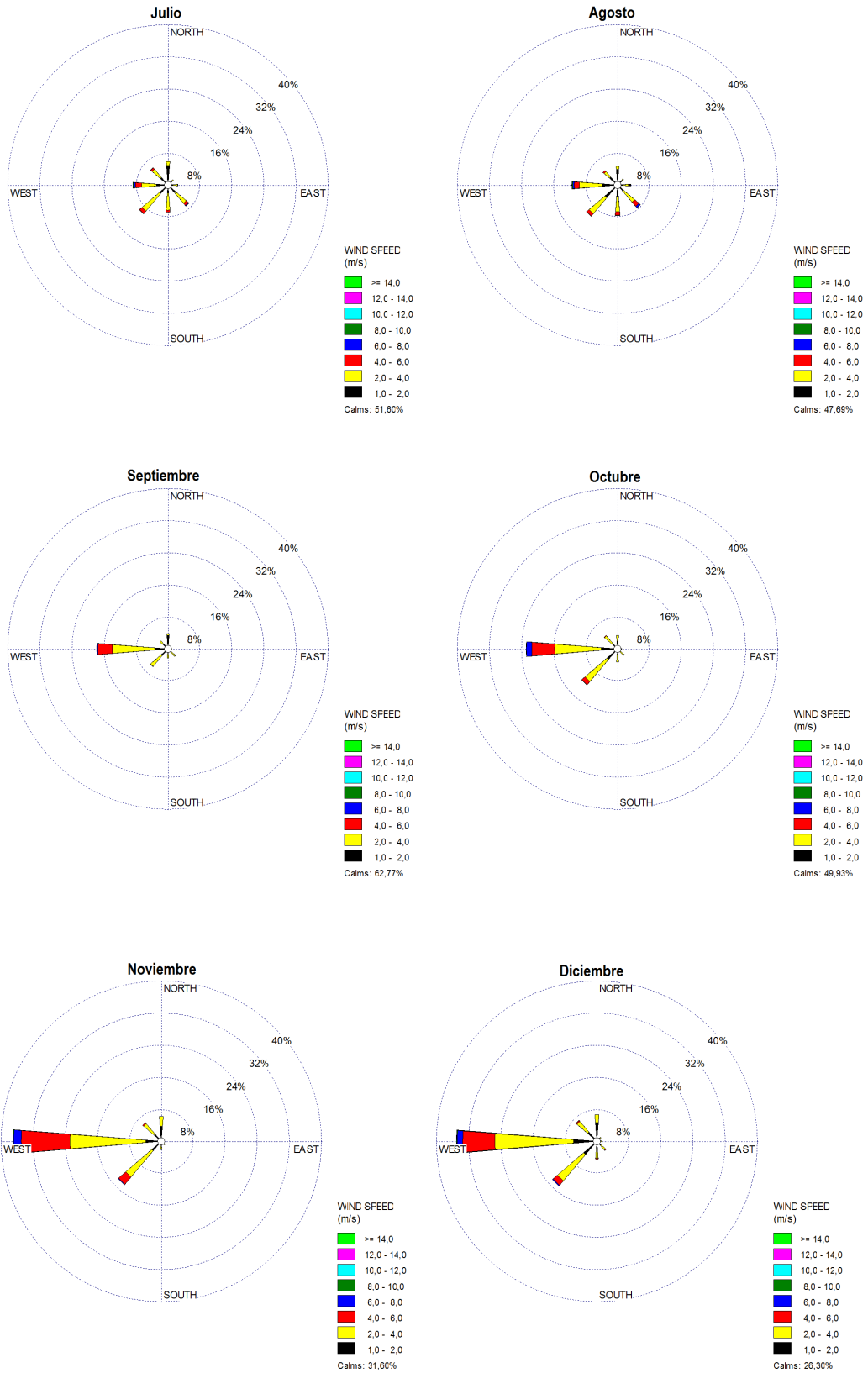


Figura 30: Continuación Figura 29.

### 5.3.2 ANÁLISIS HORARIO

En la escala horaria, se intensificó la dominancia desde el oeste entre las 12 y las 20 hrs., mientras que en los otros horarios hay contribuciones similares de las direcciones N, NW y SW durante las horas nocturnas (Figura 32). Este cambio en las direcciones durante la noche, podría atribuirse al efecto del calentamiento día-noche sobre los patrones de viento, propio de la brisa marina observada en regiones costeras. Aunque la reversión de los vientos durante la noche no es completa, ya que no hay evidencias de vientos en frecuencias significativas desde el este, se aprecia una tendencia a la observación de mayores frecuencias desde el norte en noche. La frecuencia de horas de calma también muestra un ciclo diario, observándose los menores valores (25,27% y 33,15%) entre las 12 y las 20 hrs, mientras que durante la noche (0 a 8 hrs.) alcanzan los mayores valores (49,8% y 54,8%). En relación con las magnitudes observadas, hay un incremento considerable en la frecuencia de observaciones de 4-6 m/s y 6-8 m/s en el intervalo de 12 a 20 hrs.

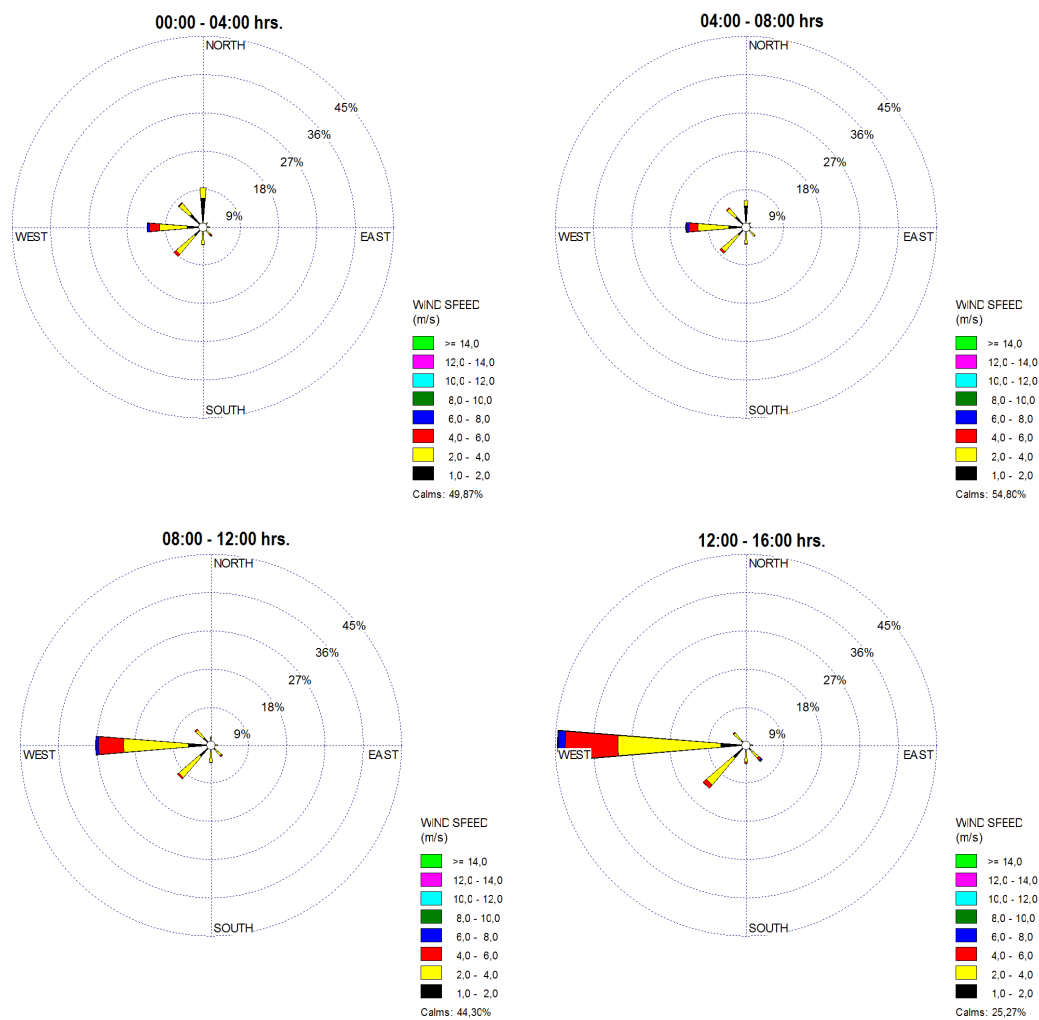


Figura 31: Distribución horaria de frecuencia de la dirección de los vientos observados en Fandango.

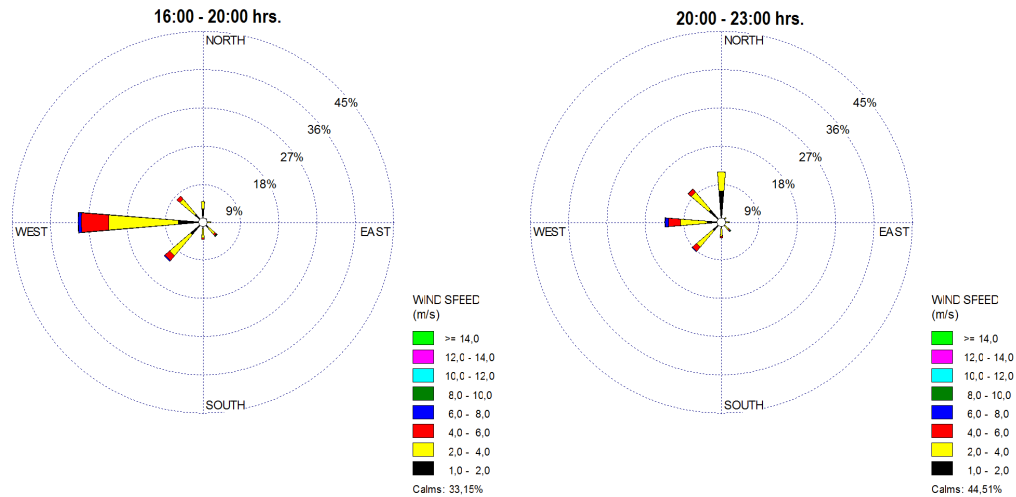


Figura 32: Continuación Figura 31.

### 5.3.3 VIENTOS LOCALES EN CHAITÉN

La Figura 33 muestra la serie de datos de las componentes ortogonales de la velocidad del viento en Chaitén para el período de mediciones. Ambas componentes exhiben magnitudes que sobrepasan los 10 m/s en varias ocasiones durante el período de mediciones, pero sin llegar a 15 m/s. Hay predominio de valores positivos de la componente  $v$  y negativos de la componente  $u$ , sugiriendo que en esta estación los vientos del NW adquieren mayor relevancia.

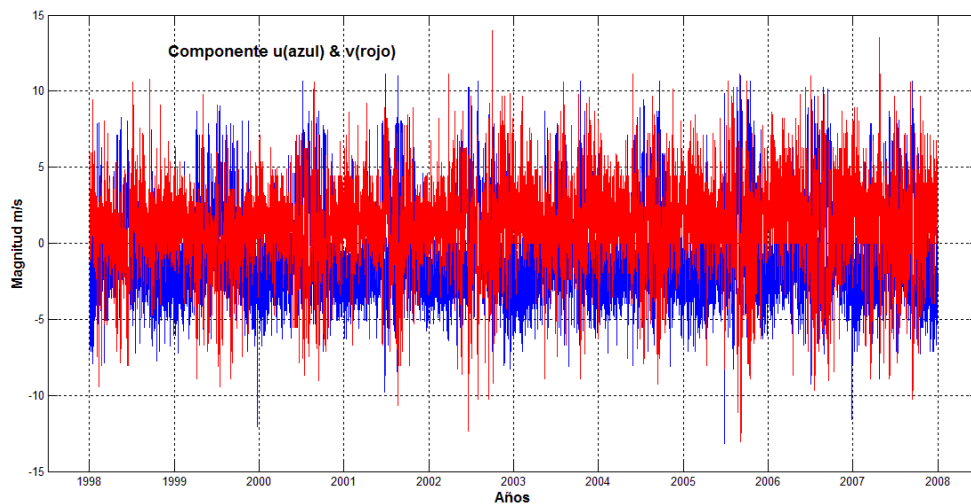


Figura 33: Componentes  $u$  (este - oeste) y  $v$  (norte - sur) de la velocidad del viento en Chaitén.

En términos de frecuencia de observaciones (Tabla 6), la incidencia de los vientos observados presentó un predominio de la dirección NW con un 43.44% del total de las observaciones, seguida de la dirección N con un 15.47%. El rango de magnitudes donde se concentra el mayor porcentaje de ocurrencia, corresponde a 2 - 4 (m/s) representando el 43.15% del total de casos analizados, incluyendo un 9.56% de calmas. A diferencia de

la estación en Fandango, en esta si es posible observar magnitudes en el rango de 8 a 14 m/s.

Direcciones	Magnitud (m/s)								Total (%)
	1.0 - 2.0	2.0 - 4.0	4.0 - 6.0	6.0 - 8.0	8.0 - 10.0	10.0 - 12.0	12.0 - 14.0	>= 14.0	
N	3.37	7.16	3.12	1.33	0.37	0.11	0.00	0.01	15.47
NE	0.43	0.20	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.69
E	0.94	0.62	0.26	0.06	0.02	0.01	0.00	0.00	1.91
SE	2.41	4.17	3.07	2.77	1.41	0.83	0.21	0.01	14.88
S	0.86	0.66	0.12	0.05	0.04	0.03	0.01	0.00	1.78
SW	0.35	0.53	0.21	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	1.13
W	1.94	6.31	2.56	0.32	0.01	0.00	0.01	0.00	11.15
NW	4.23	23.49	12.22	2.77	0.59	0.11	0.02	0.00	43.44
Sub-Total	14.53	43.15	21.61	7.34	2.45	1.09	0.25	0.02	90.44
Calms									9.56
Missing/Incomplete									0
Total									100

Tabla 6: Distribución de frecuencia de la dirección y magnitud del viento (m/s) en Chaitén.

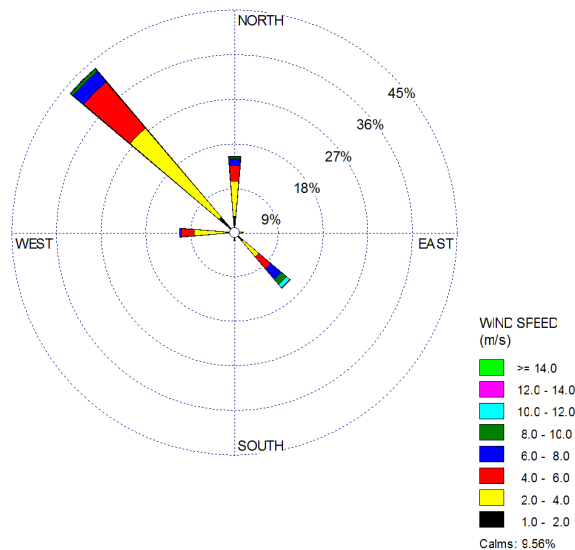


Figura 34: Rosa de viento de la distribución de frecuencia de la magnitud (barra de colores) y dirección de los vientos medidos en Chaitén, entre el 1 de enero de 1998 y el 31 de diciembre del 2007

### 5.3.4 ANÁLISIS MENSUAL

Los vientos en cada mes bajo estudio (Figura 36) presentan un claro dominio de la componente NW durante todo el año. Entre los meses de mayo y agosto, aumenta considerablemente la frecuencia de la dirección SE, haciéndose similar a la NW. La componente SE es también la que trae los vientos de más alta magnitud de la serie, observándose magnitudes entre 8 y 12 m/s. Entre mayo y agosto también se observan las mayores frecuencias de calmas.

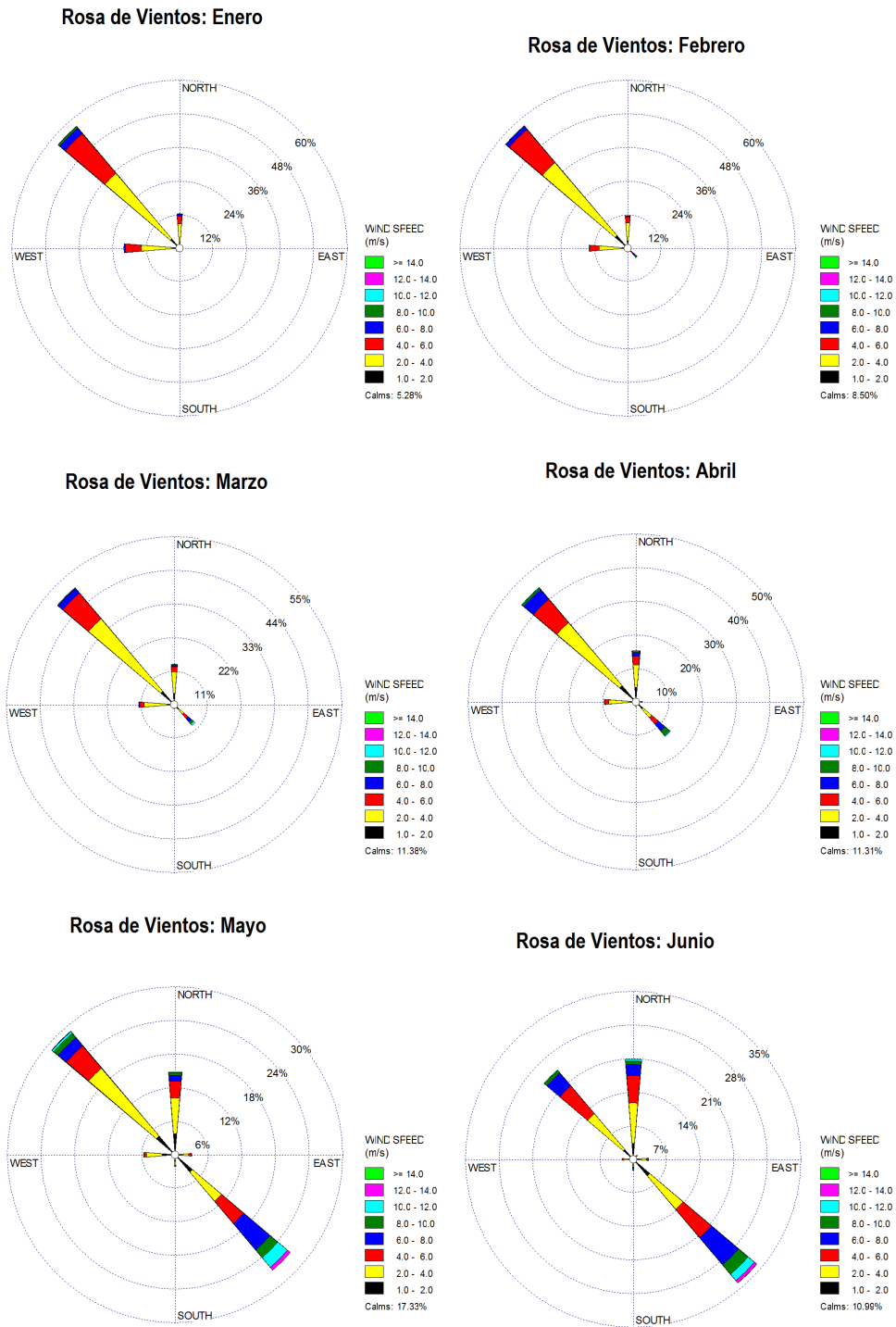


Figura 35: Distribución mensual de frecuencia de la dirección de los vientos observados en Chaitén.

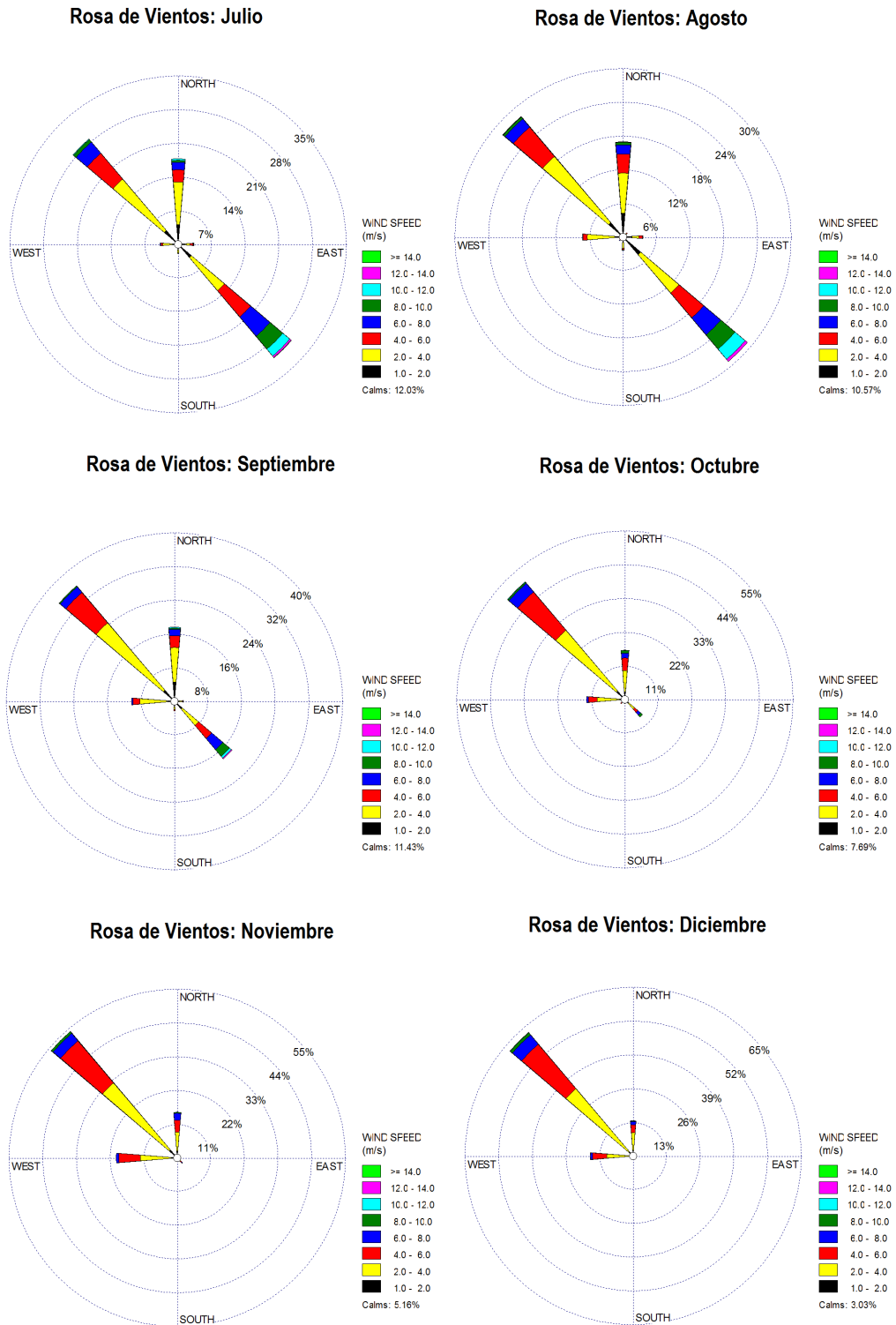
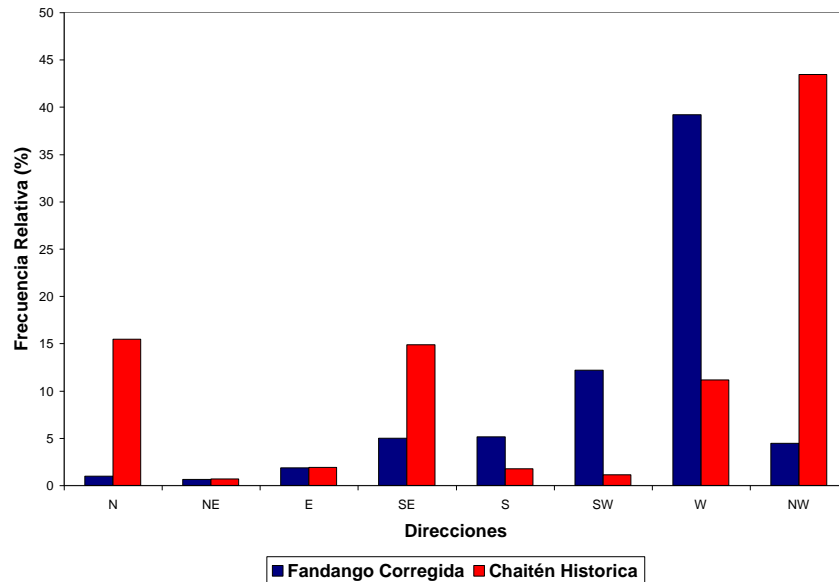


Figura 36: Continuacion Figura 35.

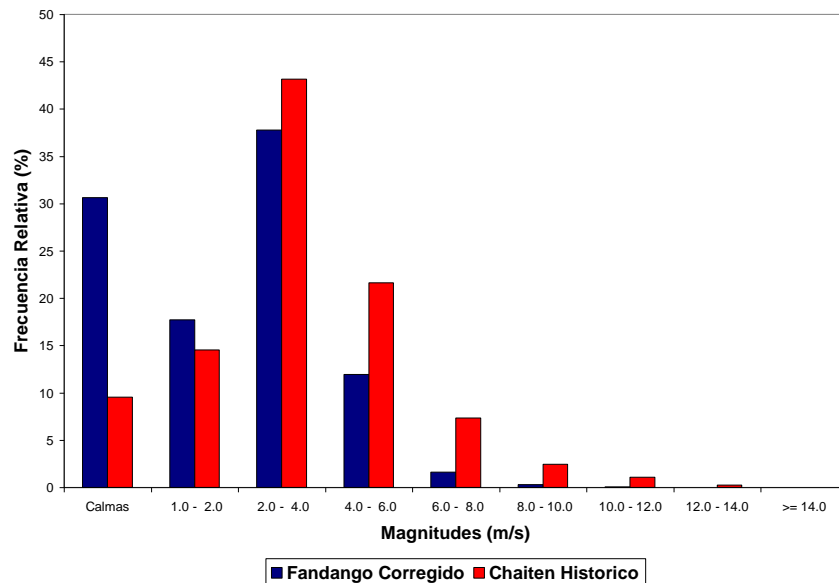
### 5.3.5 COMPARACIÓN ENTRE ESTACIONES METEOROLÓGICAS

#### 5.3.5.1 ANÁLISIS DE DATOS: FANDANGO V/S CHAITÉN.

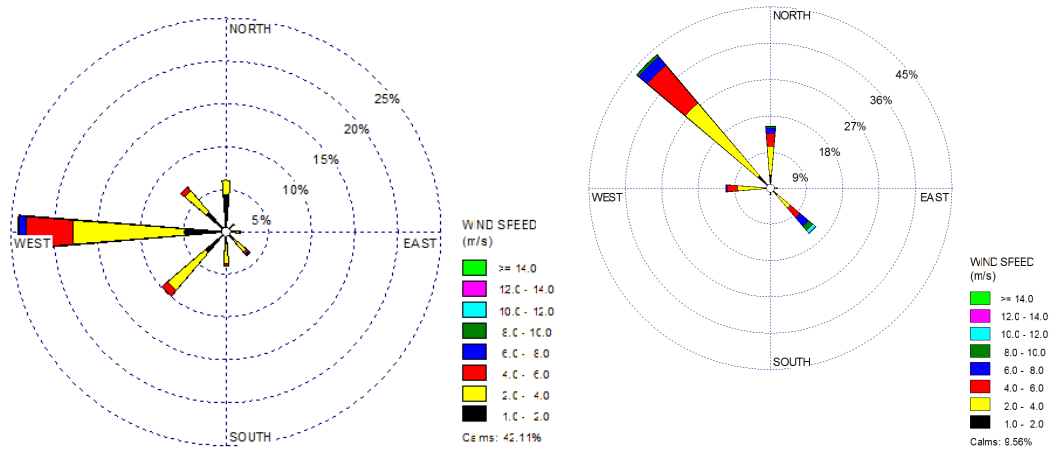
Para poder comparar ambas estaciones se debió filtrar la data anual de Fandango, generando una nueva serie de datos entre las 10 am y 17 pm, debido que la estación histórica de Chaitén tiene esos intervalos de medición. Realizado este filtro a la estación de Fandango, se compararon las frecuencias relativas para la magnitud y dirección, los cuales se presentan en las Figura 37 y Figura 38.



**Figura 37: Histograma de frecuencia direccional de estación meteorológica en Fandango y Chaitén.**



**Figura 38: Histogramas de frecuencia de magnitud entre estación meteorológica de Fandango y Chaitén.**



**Figura 39: Rosas de direcciones, a la izquierda Fandango a la derecha Chaitén.**

Las direcciones reinantes en Fandango son desde el oeste, mientras que en Chaitén son desde el Noroeste la mayor parte del año, con aparición de la componente suroeste en los meses de invierno. Solo en Chaitén aparece una segunda dirección dominante en invierno. Esta diferencia podría atribuirse a la configuración de la línea de costa, que protegería a Fandango de la acción de los vientos de la componente norte y sur, permaneciendo abierto a los vientos del oeste. Su ubicación también protegería a Fandango de los vientos de mayor intensidad, ya que en casi todos los rangos de velocidades, las frecuencias fueron menores en esta localidad en comparación con Chaitén, y también fueron mayores en Fandango los episodios de calma.

Aunque la comparación sea entre datos de 10 a 17 hrs, es evidente que Fandango tiene dominancia de vientos desde el Oeste, mientras que Chaitén los tiene desde el Noroeste-norte. Este es un aspecto relevante para la aproximación de la embarcación a la rampa. En el caso de las magnitudes, éstas serían menores en Fandango, sugiriendo que esta localidad está más protegida de los vientos que Chaitén, lo que favorece la instalación de una rampa en dicho sitio.

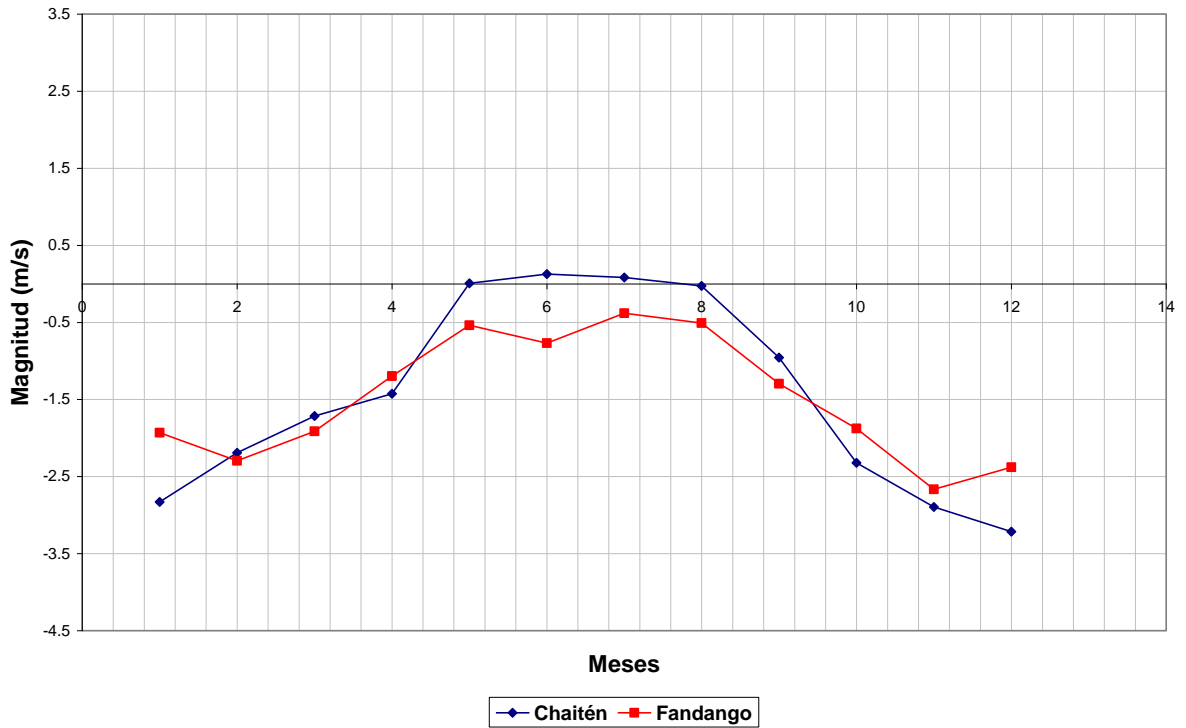


Figura 40: Comparación de componentes ortogonales  $u$ , para Chaitén y Fandango

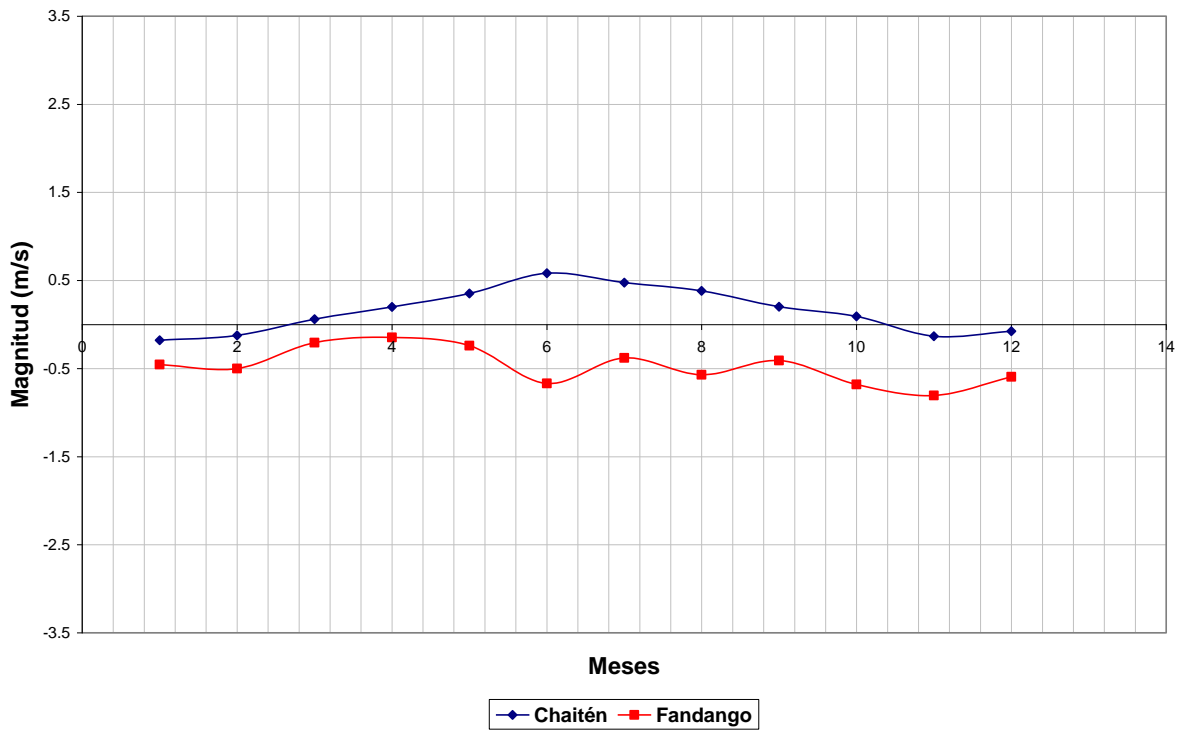


Figura 41: Comparación de componentes ortogonales  $v$ , para Chaitén y Fandango

La Figura 40 muestra dominancia de la componente oeste en ambas series, las que siguen trayectorias similares. En el caso de la Figura 41, en Chaitén aumenta la componente norte en los meses de invierno, mientras que en Fandango se mantiene desde el sur en la mayor parte del año.

	<b>Fandango Anual</b>	<b>Chaiten Histórica</b>
<b>Promedio (m/s)</b>	2.15	3.28
<b>Máximo (m/s)</b>	10.02	14.91
<b>Mínimo (m/s)</b>	0.00	0.00
<b>Desv. Estandar (m/s)</b>	1.68	2.21

**Tabla 7: Comparación estadística de las velocidades para ambas estaciones**

La comparación de estadísticas de la Tabla 7 muestra que las magnitudes medias y máximas de velocidades son menores en Fandango que en Chaitén, lo que sugiere que Fandango está más protegido del efecto de los vientos.

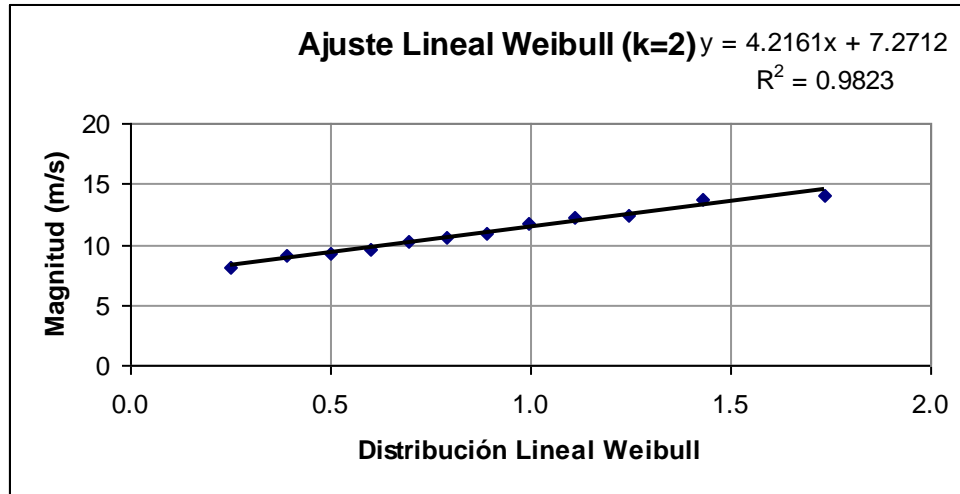
### 5.3.6 ANÁLISIS DE VALORES EXTREMOS

Se analizaron los eventos extremos o temporales para la zona de estudio, a partir de los máximos mensuales ocurridos en la estación de Fandango (Tabla 8). Con estos datos se realizó un análisis extremo de carácter referencial.

<b>Fecha</b>	<b>Magnitud (m/s)</b>
11-01-2010	12.43
02-02-2010	11.69
31-03-2010	9.09
01-04-2010	10.58
18-05-2010	10.2
30-06-2010	10.95
27-07-2010	13.73
26-08-2010	14.1
19-09-2010	8.16
12-10-2010	9.28
29-11-2010	9.65
07-12-2010	12.25

**Tabla 8: Valores máximos de magnitud de los vientos en Fandango.**

Estos valores fueron ordenados de mayor a menor y analizados con las distribuciones de probabilidad de Gumbel y Weibull. Se ocupó la distribución que presentaba un mejor ajuste de sus datos para determinar los periodos de retorno. Los ajustes de la mejor distribución fueron los de Weibull (Figura 42), los que se presentan a continuación.

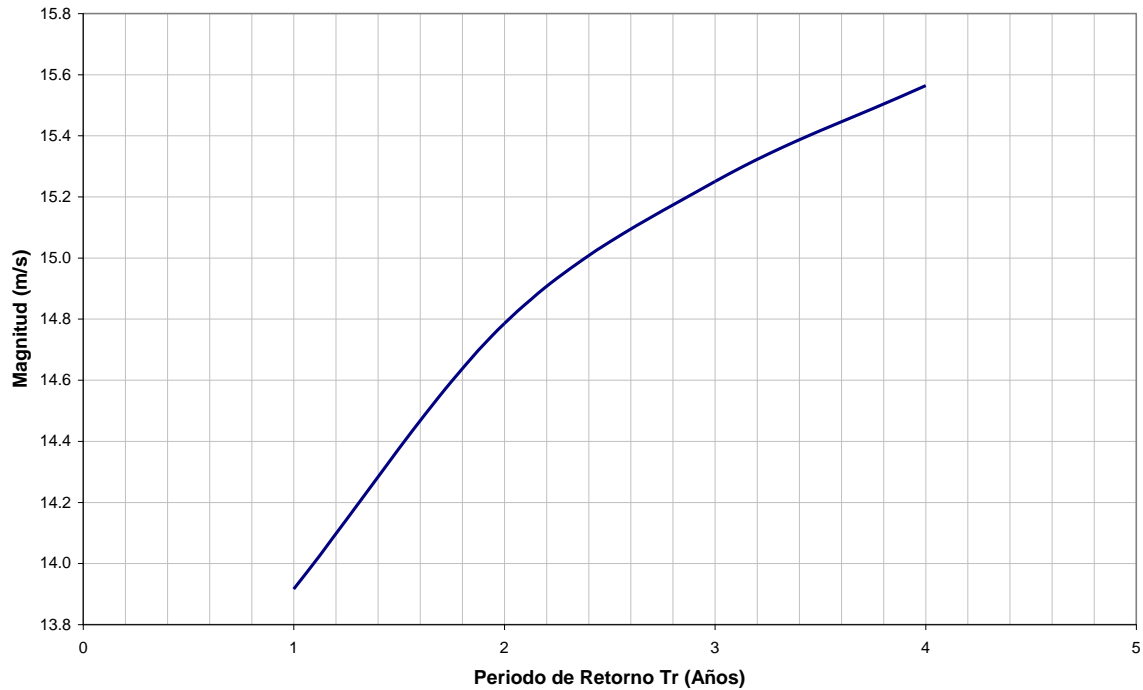


**Figura 42: Distribución lineal Weibull.**

Se obtuvieron los valores extremos para la magnitud máxima de los vientos para los respectivos periodos de retorno, los cuales se presentan en la Tabla 9

Weibull	
Tr	Magnitud (m/s)
1	13.916
2	14.786
3	15.251
4	15.565

**Tabla 9: Resumen de los resultados obtenidos aplicando la distribución de Weibull para el cálculo de la magnitud de los vientos extremos en función de los periodos de retorno.**



**Figura 43: Distribución de valores extremos de magnitud de vientos asociados a distintos periodos de retorno.**

Se estima que para un periodo de retorno de 4 años, el cual es poco debido a la cantidad de datos, que es de un año de medición, se esperan velocidades de vientos del orden de los 15.565 m/s.

### 5.3.7 ANÁLISIS DE VALORES EXTREMOS PARA EL VIENTO EN CHAITEN

El cálculo de los valores extremos se realizó extrayendo los máximos direccionales para los 10 años de la Estación de Chaitén (Tabla 10), y utilizando solamente las direcciones incidentes en el área de estudio.

	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
1998	10.79	8.22	7.20	12.34	8.22	5.14	8.22	12.34
1999	9.25	4.11	8.22	12.34	8.22	9.77	12.85	11.31
2000	11.31	6.68	8.22	12.34	3.60	5.14	7.20	9.77
2001	9.77	3.08	7.20	14.39	4.11	5.65	6.17	11.31
2002	14.91	5.14	5.14	13.88	12.34	6.17	6.68	12.85
2003	11.31	5.14	7.71	13.88	4.63	6.17	8.22	11.31
2004	11.82	4.11	7.20	12.34	9.25	7.71	8.22	11.31
2005	11.82	2.06	5.14	14.39	13.88	7.20	13.36	12.34
2006	10.28	5.14	10.79	12.34	10.28	6.68	12.34	14.39
2007	14.39	5.14	8.22	13.36	10.28	7.71	7.20	13.88

**Tabla 10: Valores Máximos (m/s) Anuales-Chaitén**

Al igual que en el caso anterior, el análisis extremo se obtuvo utilizando la distribución de Weibull. Los resultados se muestran en la Tabla 11.

	<b>S</b>	<b>SW</b>	<b>W</b>	<b>SE</b>
<b>Tr (años)</b>	<b>Magnitud (m/s)</b>	<b>Magnitud (m/s)</b>	<b>Magnitud (m/s)</b>	<b>Magnitud (m/s)</b>
5	11.435	7.856	11.099	13.893
10	13.359	8.794	12.812	14.372
25	15.498	9.916	14.863	14.904
50	16.919	10.705	16.304	15.257
75	17.692	11.147	17.113	15.45
100	18.218	11.454	17.673	15.581

**Tabla 11: Periodos de retorno por dirección.**

Se observó que ambas datas, en su intensidad se correlacionan, ya que, los resultados dan muy similares, en cuanto a la dirección existe un desfase de 45° el cual se debe a la configuración geográfica, por lo cual se puede validar el año de medición de Fandango. El análisis extremo realizado para Chaiten se ocupara para la realización de la generación de oleaje, debido a que son valores históricos, y pueden caracterizar de mejor manera el clima de vientos reinante.

## 5.4 CORRIENTES EN VERANO

Se muestran en este capítulo los resultados de las mediciones de corrientes obtenidas con el equipo ADCP entre el 18 de Diciembre 2010 y 19 de Enero del 2011. Para su análisis se separaron en cuatro profundidades representativas de cuatro capas de similar grosor en la dimensión vertical (3m, 8m, 14m y 16m).

Las corrientes observadas presentaron un predominio de las direcciones hacia el oeste, en todas sus capas analizadas (Figura 44 y Tabla 12). Las mayores intensidades se concentraron en el intervalo de 5,0 a 10,0 cm/s, con un porcentaje de observación sobre el 30% para todas las capas.

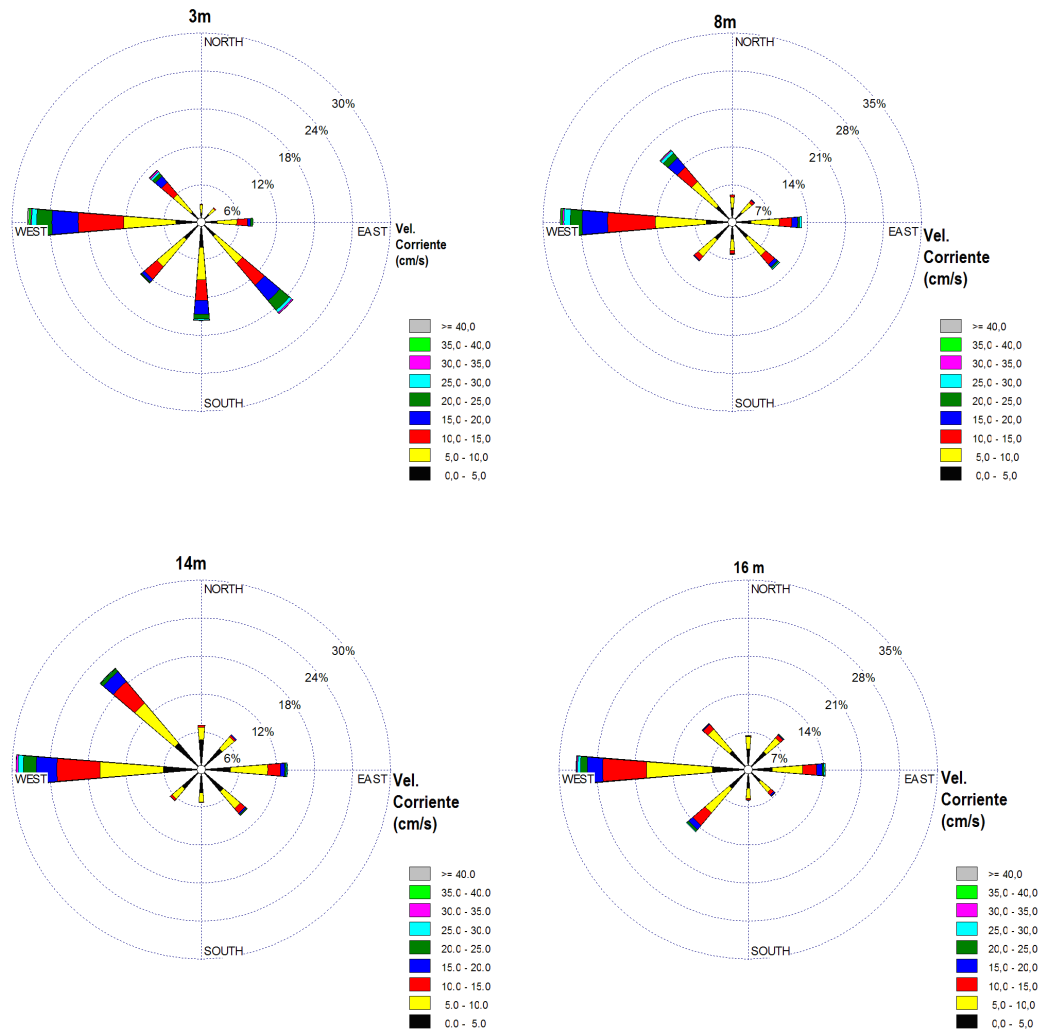


Figura 44: Rosa de corrientes para las capas de 3 m, 8 m, 14 m y 16 m.

### 3m

Direccion	Magnitud (cm/s)									Total (%)
	0.0 - 5.0	5.0 - 10.0	10.0 - 15.0	15.0 - 20.0	20.0 - 25.0	25.0 - 30.0	30.0 - 35.0	35.0 - 40.0	>=40.0	
N	1.56	1.23	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.90
NE	1.74	1.20	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.12
E	2.54	3.16	1.67	0.51	0.36	0.00	0.00	0.00	0.00	8.24
SE	3.01	5.62	4.57	3.16	1.96	0.47	0.22	0.04	0.00	19.05
SE	4.06	5.12	3.27	2.18	0.76	0.18	0.07	0.00	0.00	15.64
SW	3.70	5.62	2.58	0.54	0.18	0.04	0.04	0.00	0.00	12.70
W	4.06	8.24	7.18	4.14	2.39	0.80	0.15	0.33	0.22	27.50
NW	2.18	3.70	2.43	1.31	0.58	0.33	0.22	0.07	0.04	10.85
Subtotal	22.86	33.89	21.99	11.83	6.24	1.81	0.69	0.44	0.25	100.00
Total										100
N° de Datos										2756

### 8m

Direccion	Magnitud (cm/s)									Total (%)
	0.0 - 5.0	5.0 - 10.0	10.0 - 15.0	15.0 - 20.0	20.0 - 25.0	25.0 - 30.0	30.0 - 35.0	35.0 - 40.0	>=40.0	
N	2.47	1.95	0.42	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	5.14
NE	2.48	2.37	0.53	0.11	0.05	0.03	0.00	0.00	0.00	5.56
E	3.61	5.14	2.29	1.11	0.37	0.32	0.05	0.00	0.00	12.89
SE	3.93	4.30	2.16	0.63	0.29	0.18	0.05	0.03	0.00	11.57
SE	3.24	2.11	0.55	0.11	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	6.03
SW	4.35	4.01	1.00	0.13	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	9.51
W	4.85	9.38	8.80	4.69	2.13	1.21	0.26	0.29	0.11	31.73
NW	4.01	5.93	3.48	2.21	1.13	0.53	0.18	0.11	0.00	17.58
Subtotal	29.20	35.18	19.24	8.99	4.06	2.27	0.55	0.42	0.11	99.97
Total										100
N° de Datos										3795

### 14m

Direccion	Magnitud (cm/s)									Total (%)
	0.0 - 5.0	5.0 - 10.0	10.0 - 15.0	15.0 - 20.0	20.0 - 25.0	25.0 - 30.0	30.0 - 35.0	35.0 - 40.0	>=40.0	
N	4.75	2.00	0.32	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.10
NE	4.41	2.51	0.29	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.36
E	4.67	5.91	1.98	0.69	0.26	0.16	0.03	0.00	0.00	13.69
SE	4.67	3.53	0.98	0.24	0.13	0.03	0.03	0.03	0.00	9.63
SE	3.75	1.42	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.28
SW	4.06	2.11	0.34	0.05	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	6.59
W	6.04	10.02	6.78	3.27	2.06	0.82	0.29	0.03	0.00	29.31
NW	5.59	8.26	4.46	2.03	0.58	0.08	0.05	0.00	0.00	21.05
Subtotal	37.93	35.77	15.25	6.46	3.03	1.08	0.40	0.08	0.00	99.97
Total										100
N° de Datos										3791

### 16m

Direccion	Magnitud (cm/s)									Total (%)
	0.0 - 5.0	5.0 - 10.0	10.0 - 15.0	15.0 - 20.0	20.0 - 25.0	25.0 - 30.0	30.0 - 35.0	35.0 - 40.0	>=40.0	
N	3.91	2.22	0.16	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.39
NE	4.41	3.40	0.69	0.13	0.08	0.00	0.00	0.00	0.03	8.73
E	4.51	5.59	2.61	1.00	0.34	0.21	0.00	0.00	0.05	14.33
SE	3.09	2.48	0.66	0.29	0.08	0.03	0.03	0.00	0.00	6.65
SE	3.54	1.87	0.26	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.75
SW	4.73	5.86	3.01	1.00	0.40	0.11	0.00	0.00	0.00	15.09
W	6.68	12.14	8.05	2.88	1.21	0.53	0.18	0.03	0.08	31.77
NW	4.59	5.25	1.16	0.16	0.05	0.03	0.00	0.03	0.03	11.29
Subtotal	35.44	38.81	16.60	5.65	2.16	0.90	0.21	0.05	0.18	99.97
Total										100
N° de Datos										3790

Tabla 12: Distribución de incidencia de la magnitud y dirección de la corriente para las distintas capas, medida entre 18 de Diciembre 2010 y 19 de Enero del 2011.

Se realizó un análisis estadístico por direcciones, en cual se observó que las dos primeras capas tienen las mayores intensidades, y las dos mas profundas tienen menor intensidad, respecto de las dos primeras.

### 3m

	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
<b>Promedio (cm/s)</b>	4.74	4.98	8.23	11.78	9.61	7.81	12.16	10.93
<b>Max (cm/s)</b>	14.90	14.30	24.90	36.10	31.10	33.80	46.50	41.20
<b>Min (cm/s)</b>	0.60	0.80	0.50	0.10	0.20	0.60	0.10	0.60
<b>Desv. Est. (cm/s)</b>	2.78	2.89	5.19	6.90	6.12	4.60	7.56	7.44

### 8m

	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
<b>Promedio (cm/s)</b>	5.29	6.00	8.84	8.19	5.53	5.93	11.92	10.52
<b>Max (cm/s)</b>	24.00	29.80	33.30	36.90	21.70	20.30	46.70	39.50
<b>Min (cm/s)</b>	0.70	0.40	0.10	0.30	0.50	0.20	0.20	0.50
<b>Desv. Est. (cm/s)</b>	3.27	4.09	5.93	5.66	3.48	3.38	7.18	7.07

### 14m

	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
<b>Promedio (cm/s)</b>	4.44	4.81	7.50	6.24	4.12	4.75	10.59	8.72
<b>Max (cm/s)</b>	15.70	18.60	30.40	36.00	14.00	35.80	37.40	30.80
<b>Min (cm/s)</b>	0.40	0.50	0.10	0.20	0.20	0.40	0.50	0.40
<b>Desv. Est. (cm/s)</b>	2.58	3.12	5.10	4.53	2.39	3.38	6.60	5.26

### 16m

	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
<b>Promedio (cm/s)</b>	4.61	5.12	7.64	7.15	4.81	6.66	9.59	7.70
<b>Max (cm/s)</b>	17.50	18.40	28.70	26.20	26.20	29.40	29.40	28.30
<b>Min (cm/s)</b>	0.60	0.30	0.00	0.30	0.20	0.40	0.10	0.40
<b>Desv. Est. (cm/s)</b>	2.71	3.08	5.06	4.75	3.89	4.70	5.60	4.44

**Tabla 13: Analisis estadístico por direcciones.**

Suponiendo que la corriente observada presenta escasos cizalles horizontales, es posible explicar el comportamiento de una partícula de agua a través de un diagrama de vector progresivo (DVP), ya que la medición en el punto sería representativa del sector. El diagrama de vector progresivo da una primera aproximación para la orientación de la rampa a diseñar.

El diagrama de vector progresivo de la capa superficial de 3 m. de profundidad (Figura 45) evidenció una tendencia general de las corrientes a adoptar un flujo direccional neto hacia el SW. Sí se considera que las mediciones se efectuaron durante 33 días, se puede plantear que una partícula se desplazaría 73,59 Km. en esa dirección, lo que indicaría una rapidez media de 2,37 km/día.

El diagrama de vector progresivo de la capa superficial de 8 m. de profundidad evidenció una tendencia general de las corrientes a adoptar un flujo direccional neto hacia el NW. Sí

se considera que las mediciones se efectuaron durante 33 días, se puede plantear que una partícula se desplazaría 91,10 Km. en esa dirección, lo que indicaría una rapidez media de 2,76 km/día.

El DVP de la capa sub-superficial de 14 m. de profundidad al igual que la anterior evidenció una tendencia similar de las corrientes y a adoptó un flujo direccional neto hacia el NW. Sí se considera que las mediciones se efectuaron durante 33 días, se puede plantear que una partícula se desplazaría 88.89 Km. en esa dirección, lo que indicaría una rapidez media de 2.69 Km/día.

En el caso de la capa sub-superficial de 16 m. de profundidad evidenció una tendencia general del flujo direccional neto hacia la dirección NW. Se puede plantear que una partícula se desplazaría 70.58 Km. en esa dirección, lo que indicaría una rapidez media de 2.14 Km/día.

Se observa que las distancias recorridas y las velocidades disminuyen con la profundidad, con la excepción de la primera, donde los valores son menores que en la segunda. Esto puede atribuirse a que la primera capa está más expuesta a los efectos del viento superficial, que en ocasiones podría dirigirse en la dirección contraria a la corriente y retardar sus velocidades. El comportamiento de las capas inferiores es típico del efecto friccional que retarda el flujo a medida que aumenta la profundidad.

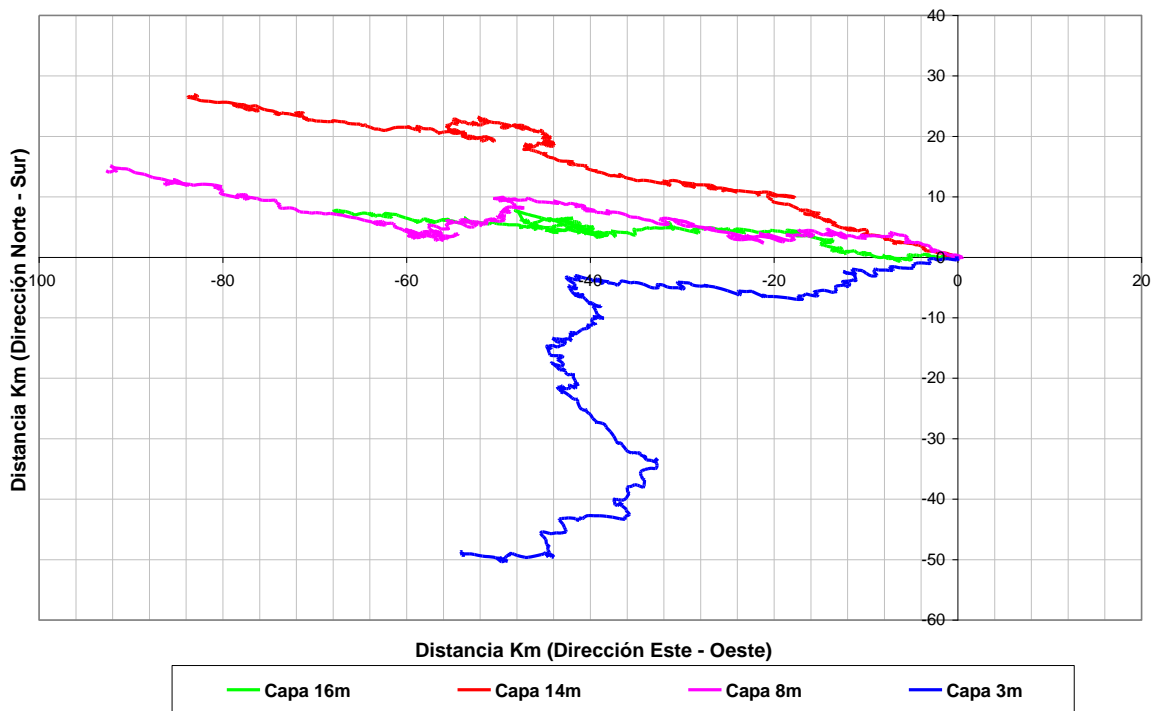


Figura 45: Diagrama de vector progresivo para todas las capas de la serie de tiempo observada entre 18 de Diciembre 2010 y 19 de Enero 2011.

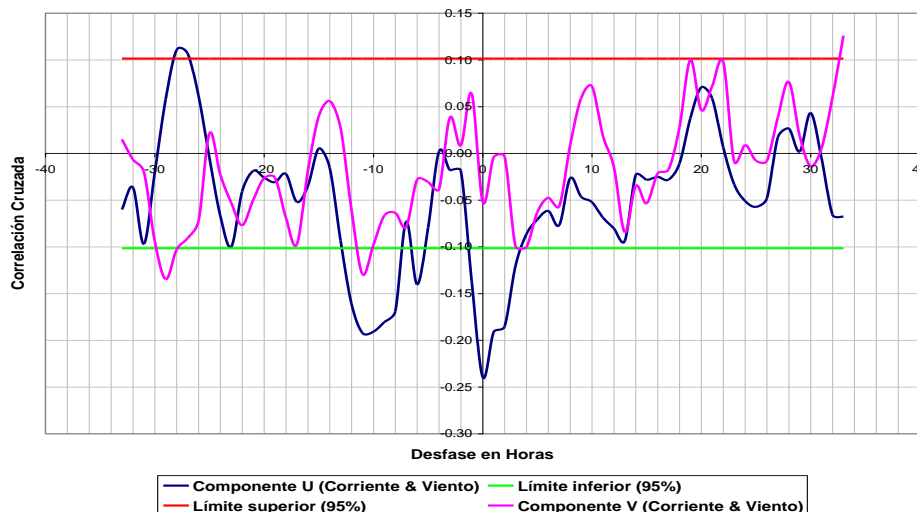
### 5.4.1 CORRELACIONES CRUZADAS

En las figuras 46 a 49 se presentan las correlaciones cruzadas entre las series ortogonales de la corriente con la marea y el viento en cuatro profundidades, donde el valor mayor es 1 y el menor es 0. Las correlaciones son, en general, menores a 0.15, lo que sugiere una baja influencia del viento en su variabilidad.

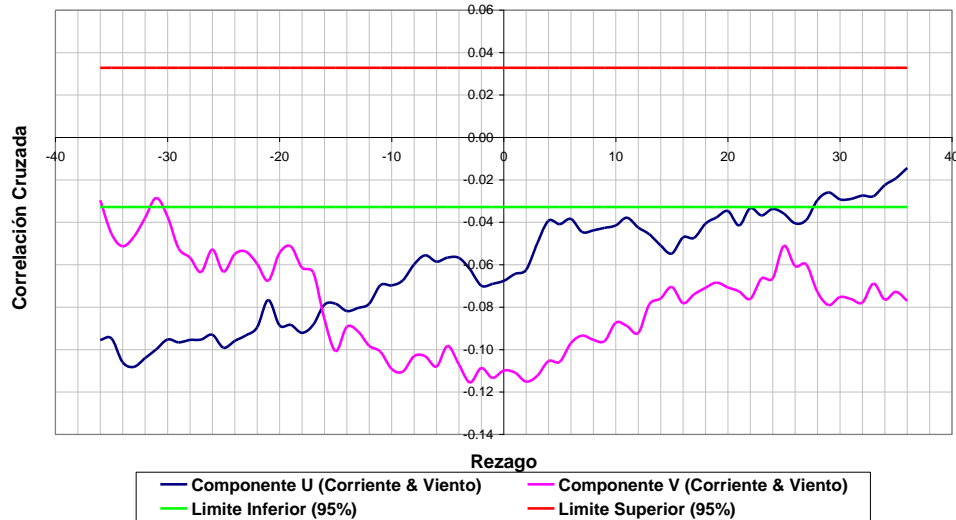
Además, se realizó un ajuste sinusoidal por mínimos cuadrados de frecuencias mareales a los datos de corrientes. El porcentaje de variabilidad explicado con dicho ajuste se muestra en la Tabla 14. Los porcentajes explicados para la componente este-oeste superan el 60 % en todos los casos, mientras que para la componente norte-sur los valores oscilan entre 16 y 49 %. Esto sugiere que el efecto de la marea explica una parte considerable de la variabilidad de las corrientes en el sistema.

Profundidad	Componente	Porcentaje
16 m	u	61,01
16 m	v	21,65
14 m	u	64,24
14 m	v	16,61
8 m	u	83,94
8 m	v	19,70
3 m	u	86,27
3 m	v	49,08

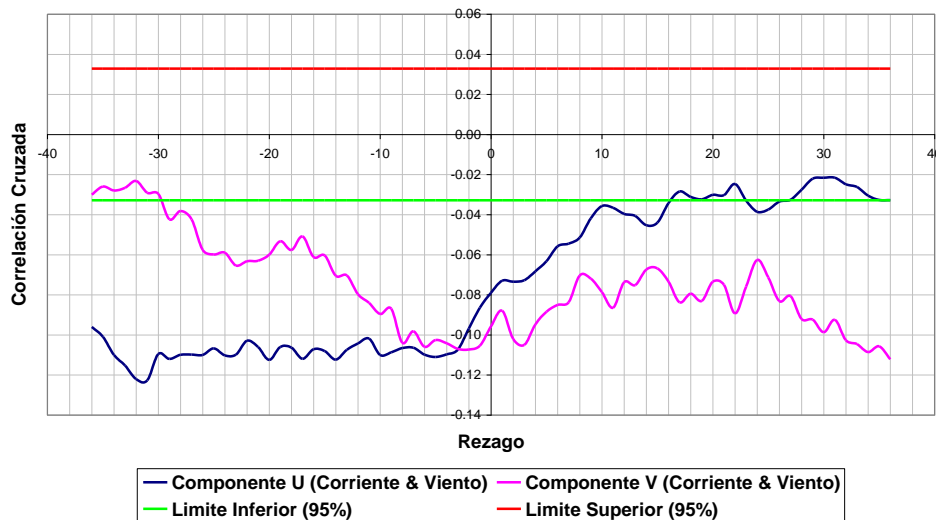
**Tabla 14: Porcentaje de variabilidad explicado por el ajuste de armónicos mareales a los datos de corrientes.**



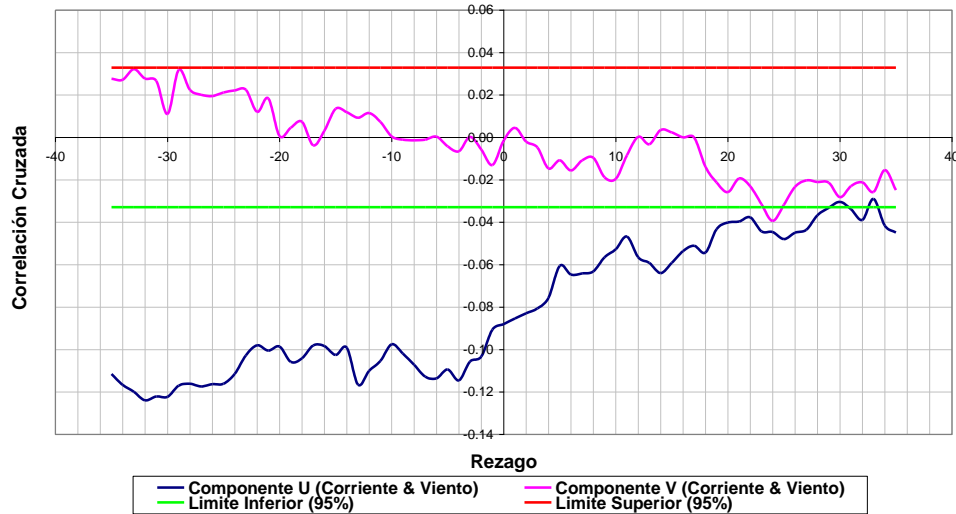
**Figura 46: Correlación cruzada entre las componentes ortogonales de la corriente y viento, para la capa de 3 m., mediciones realizadas entre el 18 de Diciembre 2010 y 19 de Enero de 2011, 95% de confianza.**



**Figura 47: Correlación cruzada entre las componentes ortogonales de la corriente y viento, para la capa de 8 m., mediciones realizadas entre el 18 de Diciembre 2010 y 19 de Enero de 2011, 95% de confianza.**



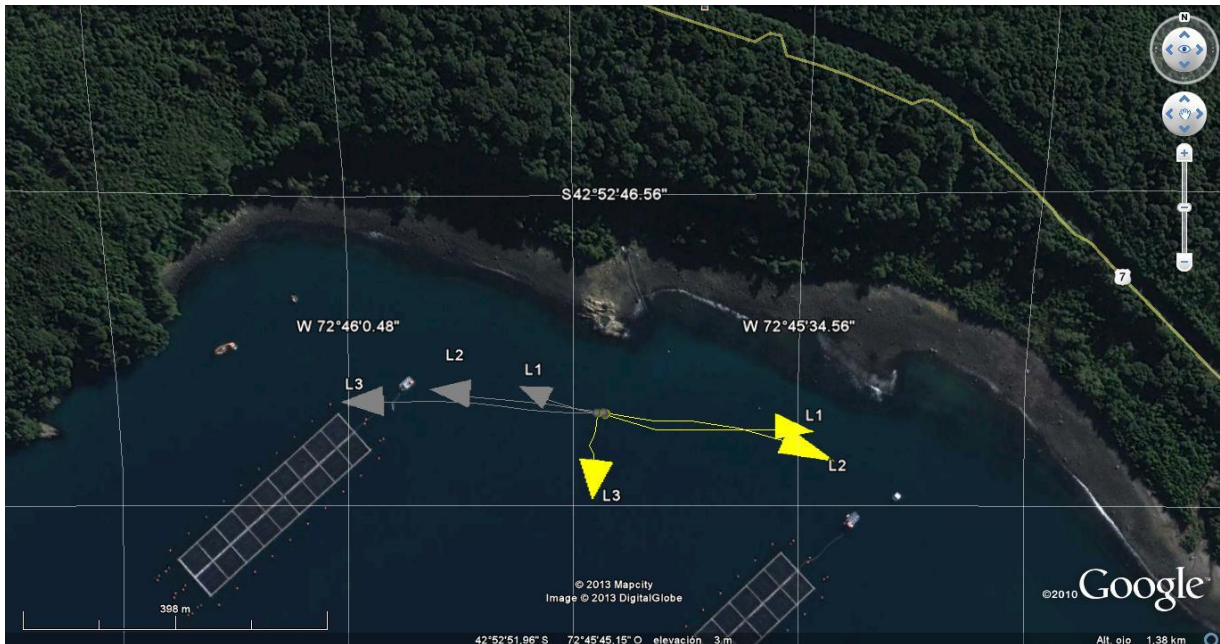
**Figura 48: Correlación cruzada entre las componentes ortogonales de la corriente y viento, para la capa de 14 m., mediciones realizadas entre el 18 de Diciembre 2010 y 19 de Enero de 2011, 95% de confianza.**



**Figura 49: Correlación cruzada entre las componentes ortogonales de la corriente y viento, para la capa de 16 m., mediciones realizadas entre el 18 de Diciembre 2010 y 19 de Enero de 2011, 95% de confianza.**

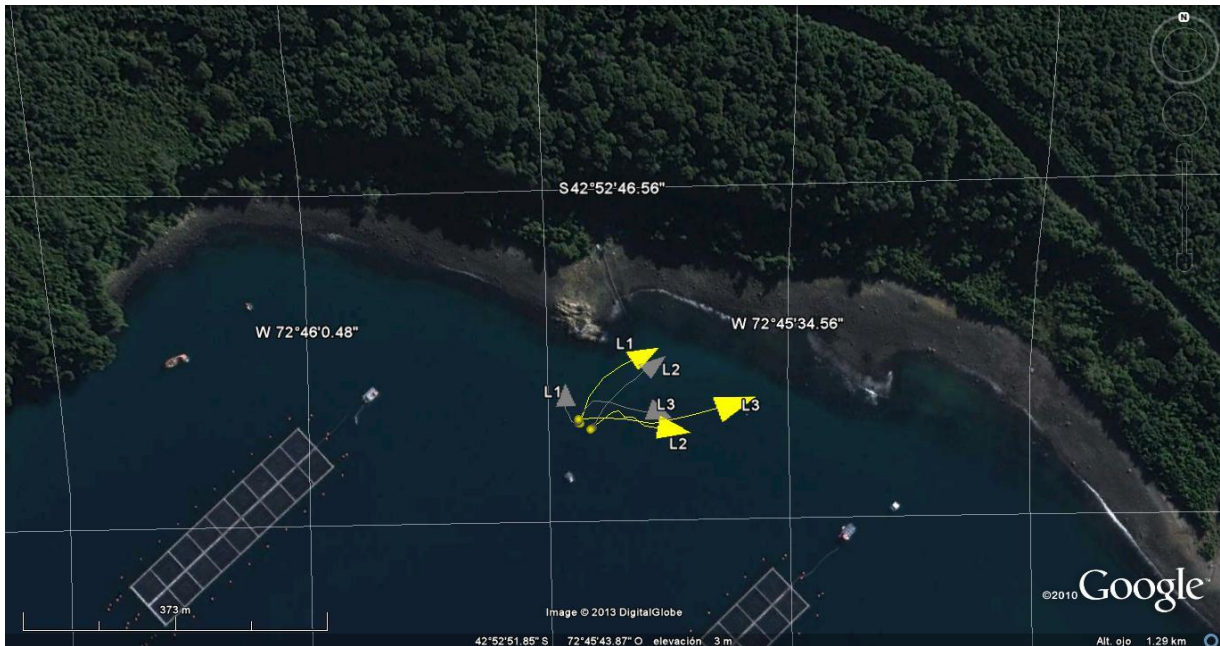
#### 5.4.2 CORRENTOMETRÍA LAGRANGIANA (DERIVADORES)

Los resultados de los experimentos con derivadores a 1m y 5m de profundidad, realizados en el área de estudio, en forma simultánea con las mediciones eulianas, se realizaron mas de un lance debido a que los derivadores salían del área de estudio.



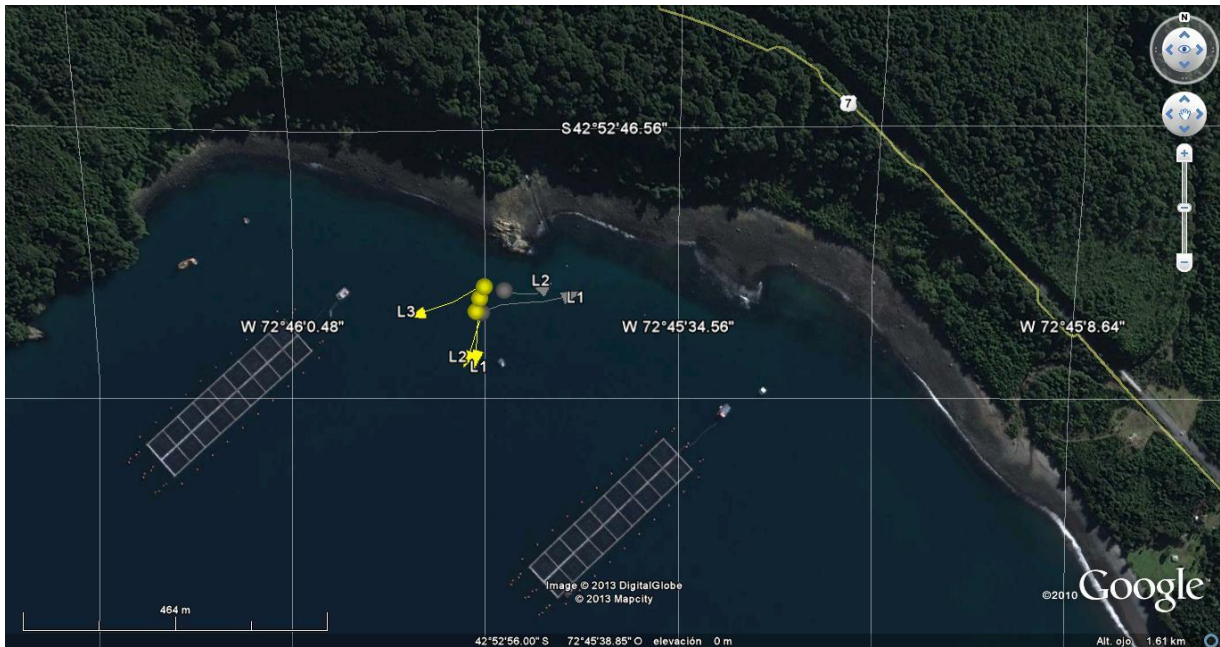
**Figura 50: Trayectoria de derivadores en marea llenante, durante sicigia el 18 de Enero del 2011. Derivador verde 5m de prof., amarillo 1 m de prof.**

En condición de marea llenante (Figura 50), el derivador amarillo en dos de sus tres lances tuvo una trayectoria hacia el E, y un tercer lance hacia el S con una velocidad media de 0.05 m/s. En cuanto al derivador plomo los tres lances tuvieron una trayectoria hacia el W, con una velocidad media de 0.04 m/s. El viento viene desde el SW, con su trayectoria hacia el NE, por lo que el viento no pareciera que fue un agente determinante en la dirección de los derivadores.



**Figura 51: Trayectoria de derivadores en marea vaciante, durante sicigia el 18 de Enero del 2011. Derivador Verde 5m de prof.; Amarillo 1 m de prof.**

En condición de marea vaciante (Figura 51), los derivadores tienden a seguir una trayectoria hacia el NE, con una distancia media recorrida de 101 m, con una velocidad media de 0.06m/s. El estado de los vientos durante la medición lagrangiana fue de calma.



**Figura 52: Trayectoria de derivadores en marea llenante, durante cuadratura el 11 de Enero del 2011. Derivador Verde 5m de prof.; Amarillo 1 m de prof.**

En la Figura 52 los derivadores amarillos en dos de sus tres lances tuvieron una trayectoria hacia el S y el tercer lance fue hacia el SWW, la trayectoria promedio de los tres lances fue de 83.72 m, el derivador plomo en sus dos lances la trayectoria fue hacia el E, con una distancia recorrida promedio de 91.96 m. el derivador amarillo tuvo una velocidad media de 0.17 m/s y el plomo una velocidad media de 0.11 m/s Durante la medición lagrangiana los vientos venían desde el SW.



**Figura 53: Trayectoria de derivadores durante marea vaciante, en cuadratura el 11 de Enero del 2011. Derivador Verde 5m de prof.; Amarillo 1 m de prof.**

En la Figura 53 los derivadores en su mayoría tuvieron una trayectoria hacia el E, dos lances de los tres del derivador amarillo tuvieron trayectorias distintas una hacia el S y otra hacia el W. la velocidad media para el derivador amarillo fue de 0.09 m/s y para el plomo 0.05 m/s. Durante la medición lagrangiana los vientos venían desde el SW.

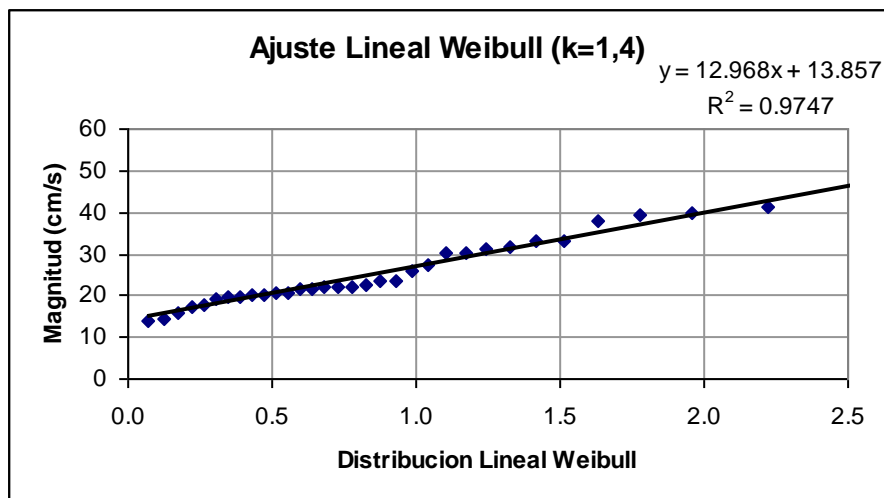
#### 5.4.3 ANÁLISIS DE VALORES EXTREMOS DE CORRIENTES

Para caracterizar los eventos extremos de corrientes a partir de los datos de correntometría euleriana, se generó una serie de datos de velocidades con las magnitudes máximas diarias de la corriente en la capa de 8 m de profundidad. Estos máximos son mostrados en la Tabla 15.

Corriente (cm/s)	Dir NM	Dir NG	Fecha	Corriente (cm/s)	Dir NM	Dir NG	Fecha
46.7	283	292	25-12-2010	22.2	298	307	04-01-2011
41.1	271	280	24-12-2010	21.9	271	280	12-01-2011
39.8	266	275	23-12-2010	21.7	172	181	08-01-2011
39.5	305	314	18-01-2011	21.6	72	81	10-01-2011
38.1	276	285	17-01-2011	20.7	282	291	13-01-2011
33.3	64	73	27-12-2010	20.6	257	266	19-12-2010
33.1	298	307	19-01-2011	20.2	34	43	09-01-2011
31.7	99	108	22-12-2010	20	278	287	16-01-2011
31.2	257	266	28-12-2010	19.8	238	247	06-01-2011
30.4	264	273	26-12-2010	19.6	291	300	20-12-2010
30	292	301	14-01-2011	19.1	86	95	02-01-2011
27.5	260	269	15-01-2011	17.6	94	103	31-12-2010
26	68	77	30-12-2010	17.4	92	101	01-01-2011
23.5	294	303	21-12-2010	15.9	275	284	07-01-2011
23.5	248	257	05-01-2011	14.6	341	350	11-01-2011
22.7	79	88	29-12-2010	13.7	280	289	03-01-2011
22.2	270	279	18-12-2010				

**Tabla 15: Valores máximos de corriente para la capa de 8 metros.**

Estos valores fueron ordenados de mayor a menor y analizados con las distribuciones de probabilidad de Gumbel y Weibull, Se utilizó la distribución de Weibull para determinar los periodos de retorno, ya que fue la de mejor ajuste a los datos. Los ajustes de distribución se muestran en la Figura 54.

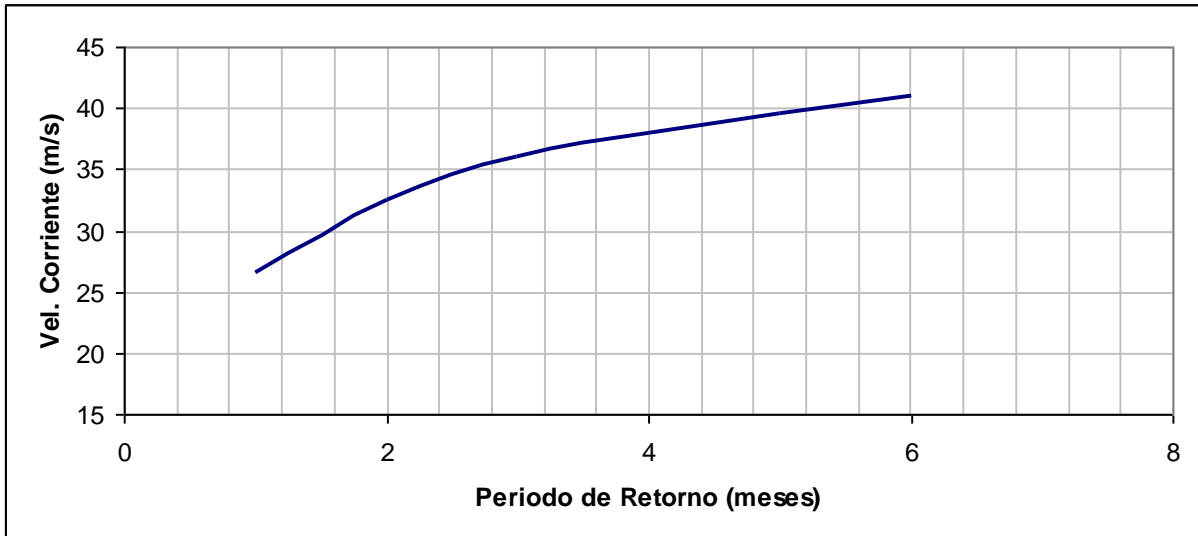


**Figura 54: Distribución lineal Weibull**

Los valores extremos para la magnitud máxima de la corriente para los respectivos periodos de retorno (1, 2, 3, 4, 5 y 6 meses), se presentan en la Tabla 16.

Weibull	
Periodo de Retorno (meses)	Vel Corr. (cm/s)
1	26.553
2	32.513
3	35.964
4	38.005
5	39.553
6	40.937

**Tabla 16:** Resumen de la magnitud de las corrientes externas en función de los periodos de retorno 1, 2, 3, 4, 5 y 6 meses, usando la distribución de weibull.



**Figura 55:** Distribución de valores extremos de magnitud de vientos asociados a distintos periodos de retorno.

Se estima que para un periodo de retorno de 6 meses se esperan velocidades de corriente del orden de los 45.566 cm/s.

## 5.5 CORRIENTES CAMPAÑA DE INVIERNO

Las observaciones de la serie original de datos del correntómetro ubicado a 10 m de profundidad se presentan en la Tabla 17. Se aprecia que la corriente máxima supera levemente los 30 cm/s y que la mayor variabilidad de los datos es de la componente U (panel inferior). La Tabla 17 y la Figura 56 sugiere predominio de las direcciones asociadas al W con un 49.52%. Le sigue la dirección NW con un 13.20% de las observaciones. El diagrama de trazos mostró el predominio de las corrientes W. Las mayores intensidades se agruparon en torno a 0.0 a 5.0 cm/s con un 60.32% de las frecuencias (Tabla 17). También se realizó un análisis estadístico por direcciones, en el cual se destacan las corrientes máximas y mínimas (Tabla 18)

Direcciones	Magnitud (cm/s)							Total (%)
	0.0 - 5.0	5.0 - 10.0	10.0 - 15.0	15.0 - 20.0	20.0 - 25.0	25.0 - 30.0	>= 30.0	
N	3.14	0.52	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	3.68
NE	2.79	0.87	0.15	0.04	0.00	0.00	0.00	3.85
E	4.76	2.81	1.32	0.89	0.28	0.06	0.02	10.15
SE	7.27	0.82	0.17	0.11	0.02	0.00	0.00	8.40
S	4.03	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.22
SW	6.00	0.87	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	6.97
W	22.79	15.19	6.97	3.42	1.00	0.15	0.00	49.52
NW	9.55	2.81	0.67	0.17	0.00	0.00	0.00	13.20
Sub-Total	60.32	24.09	9.42	4.63	1.30	0.22	0.02	99.98
Missing/Incomplete								0.02
Total								100
Nº de Datos								4621

Tabla 17: Distribución de incidencia de la magnitud y dirección de la corriente en la capa superficial de 10 m de profundidad.

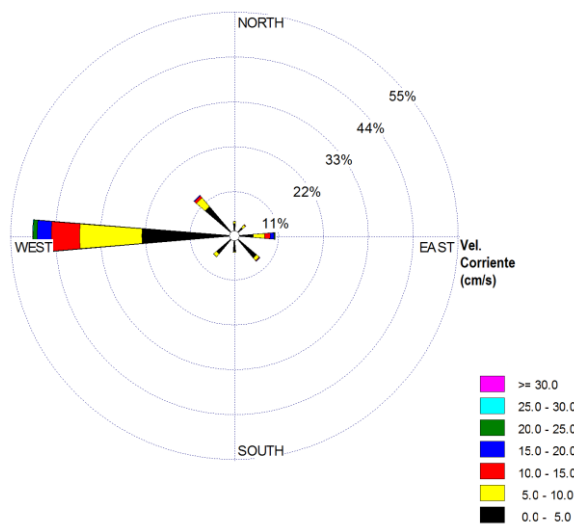
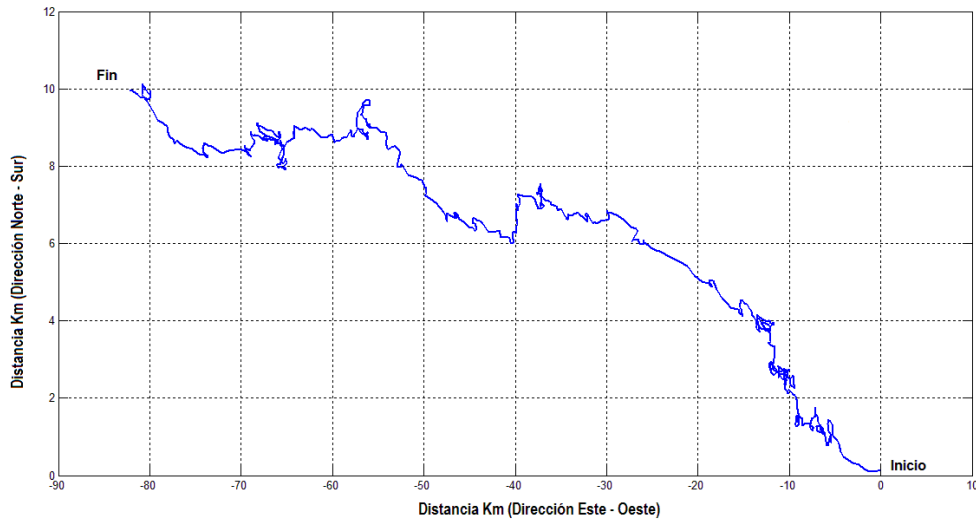


Figura 56: Rosa de corriente con la distribución de frecuencia de la dirección y magnitud de la corriente a 10 m de profundidad.

	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Promedio (cm/s)	3.50	4.35	7.27	3.38	2.82	3.36	6.98	4.50
Max (cm/s)	11.60	19.60	31.80	22.40	8.20	13.80	26.40	17.80
Min (cm/s)	1.00	0.20	0.80	0.60	0.20	0.20	0.40	0.00
Desv. Est. (cm/s)	1.78	3.01	5.85	2.75	1.22	1.92	5.02	3.03

Tabla 18: Análisis estadístico por direcciones.

El diagrama de vector progresivo de la capa de 10 m de profundidad (Figura 57) evidenció una tendencia hacia el NW para terminar su trayectoria hacia el N. Sí se considera que las mediciones se efectuaron durante 33 días, se puede plantear que una partícula se desplazaría 82.61 Km. en esa dirección, lo que indicaría una rapidez media de 2.50 Km/día.



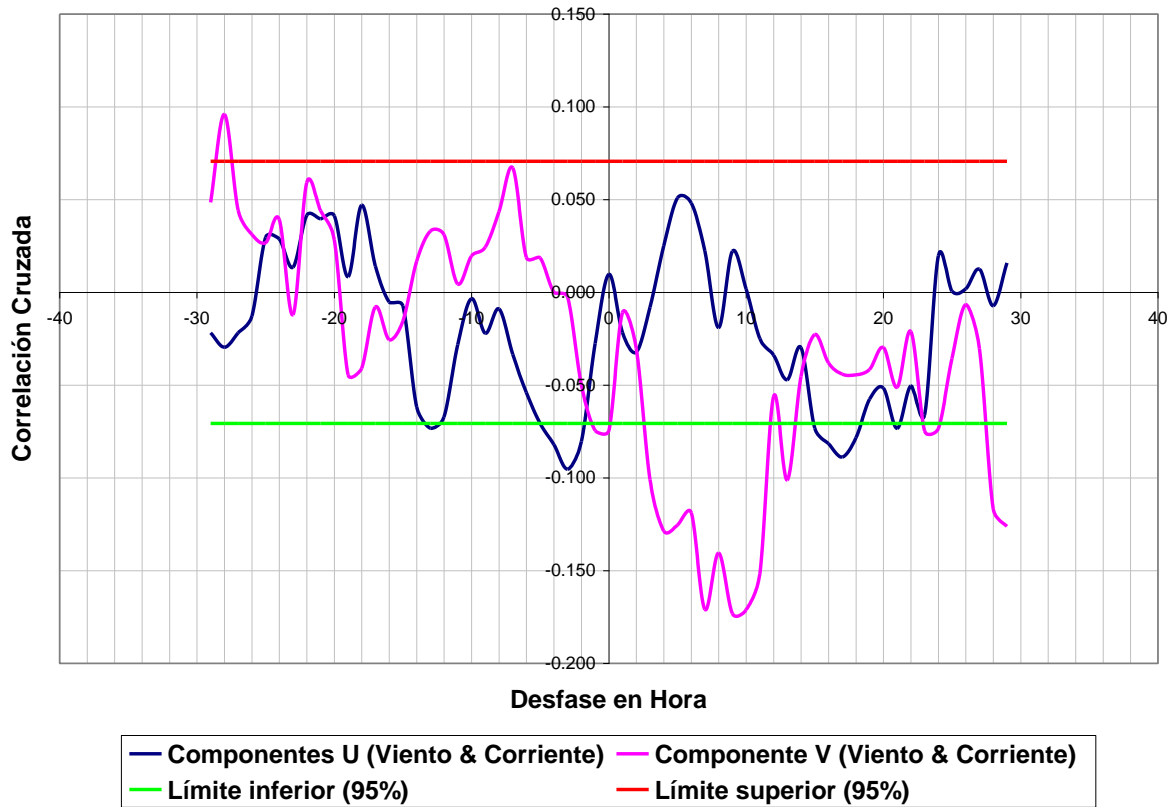
**Figura 57: Diagrama de vector progresivo en la capa de 10 m de profundidad.**

### 5.5.1 CORRELACIÓN CRUZADA

Se realizó un ajuste sinusoidal por mínimos cuadrados de frecuencias mareales a los datos de corrientes. El porcentaje de variabilidad explicada con dicho ajuste se muestra en la Tabla 19. El porcentaje explicado para la componente este-oeste supera el 40 %, mientras que para la componente norte-sur el valor es del orden del 4%. Esto sugiere que el efecto de la marea explica una parte considerable de la variabilidad de las corrientes en el sistema.

Profundidad	Componente	Varianza
10 m	u	40.22
10 m	v	4.61

**Tabla 19: Análisis de la varianza entre la marea y las componentes ortogonales de la corriente.**

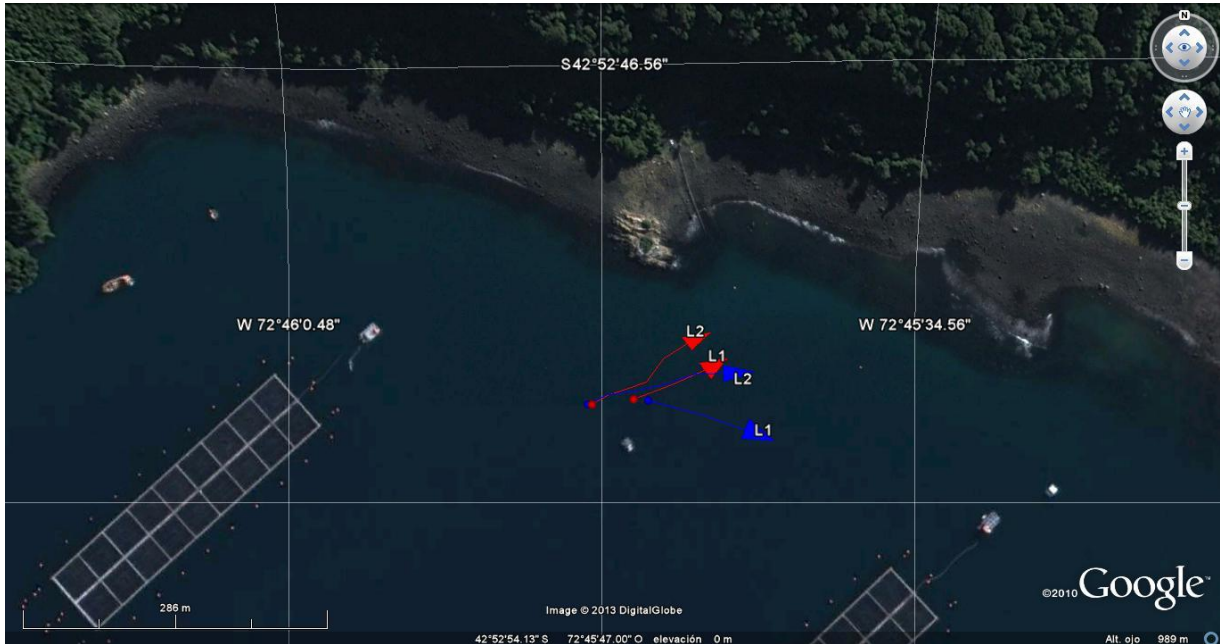


**Figura 58: Correlación cruzada entre las componentes ortogonales del viento y la corriente, para la capa de 10 m.**

La Figura 58 muestra la correlación cruzada entre las componentes ortogonales del viento y la corriente en la capa de 10m, observándose bajas correlaciones ( $<0.2$ ) entre ambas variables. Esto sugiere que el viento ejerce menor influencia sobre el patrón de corrientes cercano a la superficie.

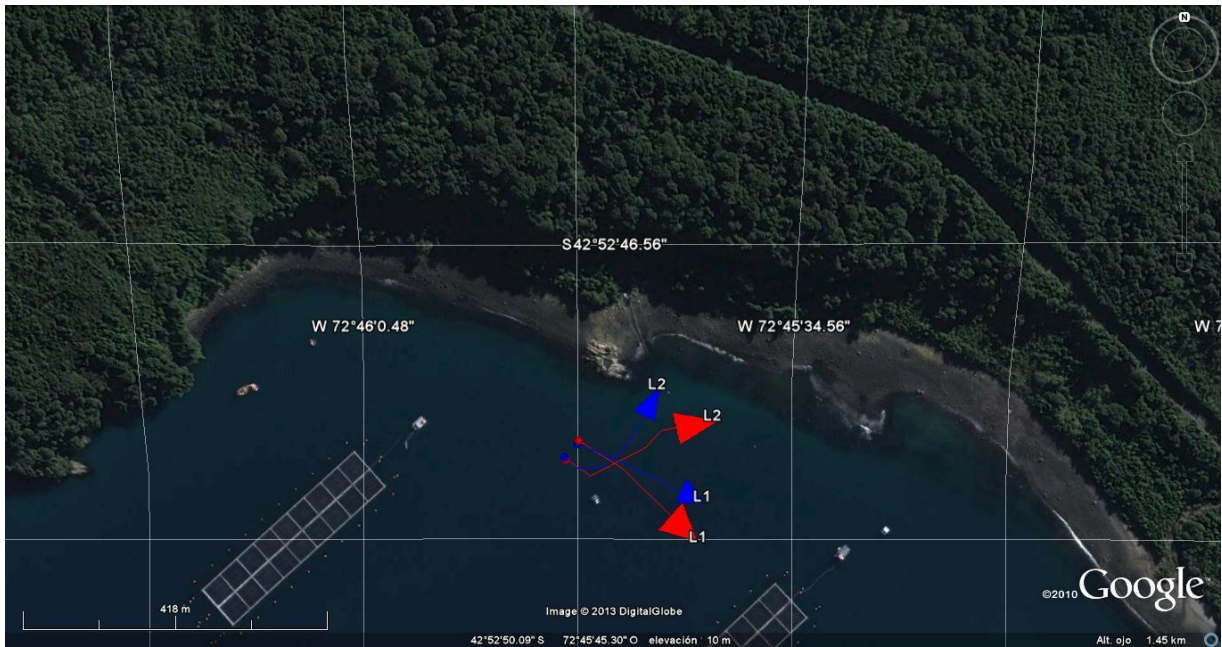
### 5.5.2 CORRENTOMETRÍA LAGRANGIANA (DERIVADORES)

Los resultados de los experimentos con derivadores a 1 y 5 m realizados en el área de estudio durante el experimento de invierno, en forma simultánea con las mediciones eulerianas, son mostradas en las siguientes figuras:



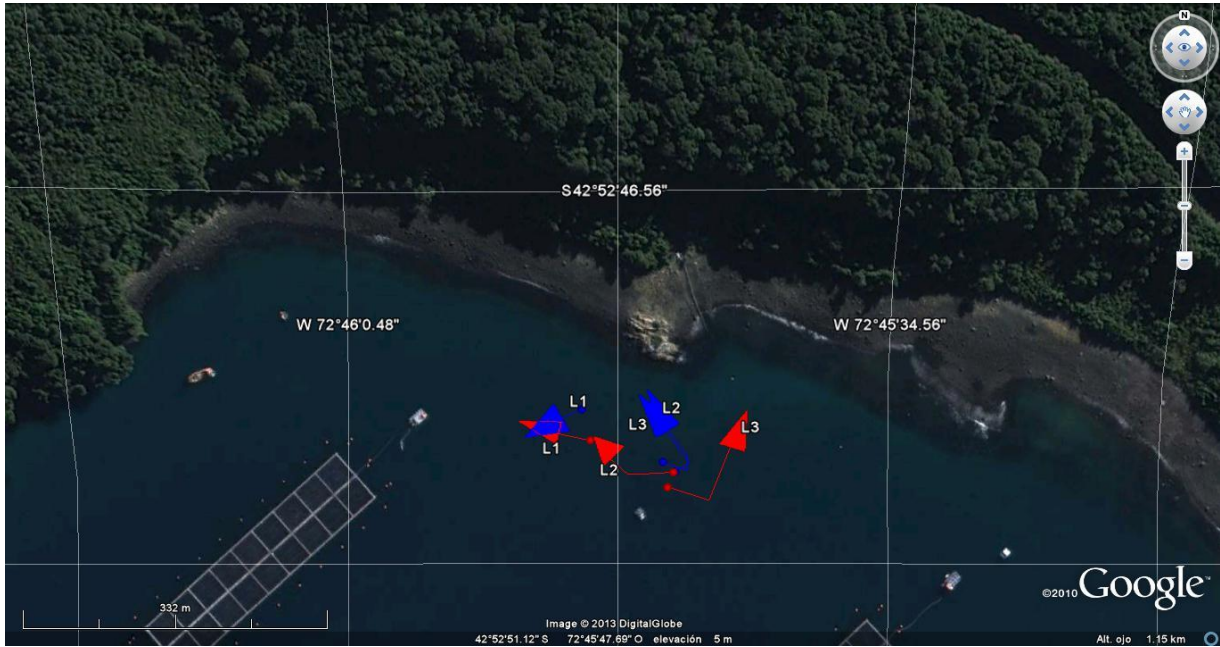
**Figura 59: Trayectoria de derivadores en marea llenante, durante sicigia el 27 de Septiembre del 2011.**

En condición de marea llenante (Figura 59), los derivadores tuvieron una tendencia de desplazamiento hacia el este en los dos lances realizados, donde el rojo tuvo una velocidad media de 0.08 m/s y el azul de 0.05 m/s. El viento durante este experimento fue dominante desde el oeste, lo que parece haber influido en el desplazamiento de los derivadores hacia el este.



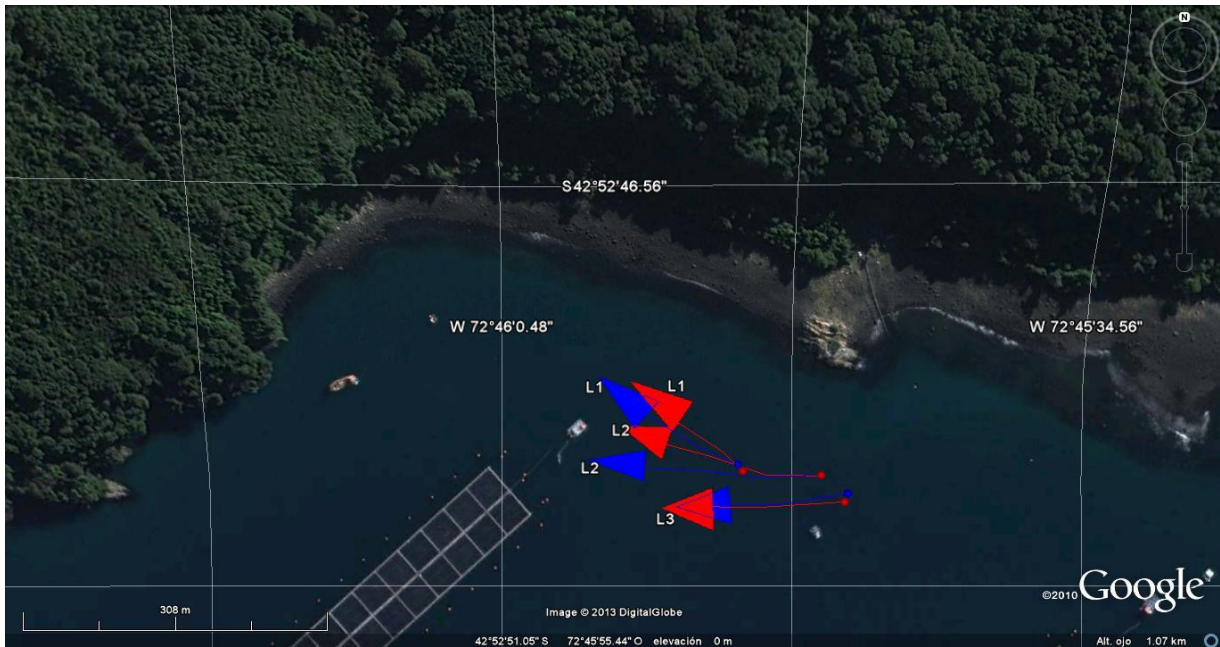
**Figura 60: Trayectoria de derivadores en marea vaciante durante sicigias el 27 de Septiembre del 2011**

En condición de marea vaciante (Figura 60), los derivadores en un primer lance adoptan una trayectoria hacia el SE con velocidad promedio de 0.08 m/s, y luego en el segundo lance adoptan una trayectoria hacia el NE. El estado de los vientos durante la medición lagrangiana fue con aportes del E, SE y NE, es por ello el cambio de dirección en el segundo lance.



**Figura 61: Trayectoria de derivadores en marea llenante en cuadratura, el 5 de Octubre del 2011.**

En un primer lance los derivadores tuvieron una trayectoria hacia el W con velocidades promedio de 0.06 m/s, en el segundo y tercer lance cambiaron su trayectoria hacia el NW, derivadores azules y NW y NE respectivamente para los derivadores rojos (Figura 61). Durante la medición lagrangiana los vientos se encontraban en calma.



**Figura 62: Trayectoria de derivadores en marea vaciante en cuadratura el 5 de Octubre del 2011.**

En los tres lances realizados los derivadores adoptaron una trayectoria hacia el W. (Figura 62) con velocidad promedio de 0.10 m/s. Durante la medición lagrangiana los vientos venían desde el SW.

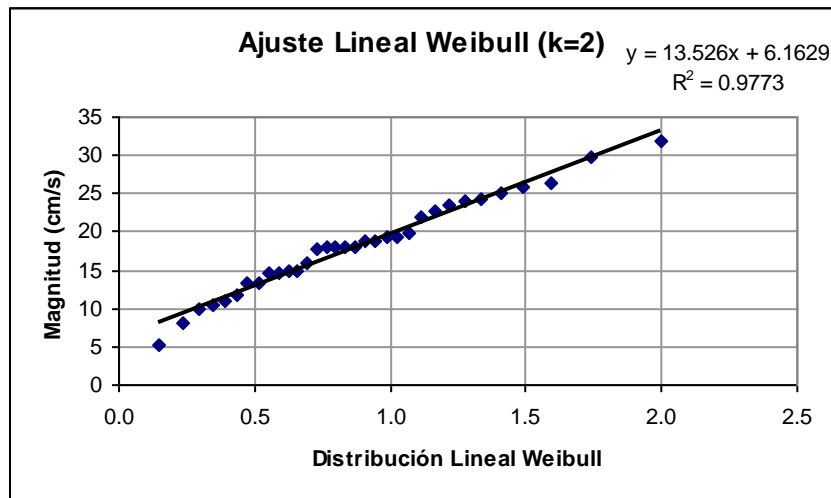
### 5.5.3 ANÁLISIS DE VALORES EXTREMOS DE CORRIENTES

Para caracterizar los eventos extremos de corrientes a partir de los datos de correntometría euleriana, se generó una serie de datos de velocidades con las magnitudes máximas diarias de la corriente en la capa de 10 m de profundidad. Estos máximos son mostrados en la Tabla 20.

Curr (cm/s)	Dir (°)	Fechas	Curr (cm/s)	Dir (°)	Fechas
31.8	99	09-09-2011	18	291	25-09-2011
29.8	111	01-10-2011	18	271	26-09-2011
26.4	271	16-09-2011	18	263	29-09-2011
25.8	269	03-09-2011	17.8	259	28-09-2011
25	282	03-10-2011	16	276	20-09-2011
24.2	275	17-09-2011	15	279	05-10-2011
24	274	11-09-2011	14.8	285	18-09-2011
23.4	104	02-10-2011	14.6	280	14-09-2011
22.8	269	22-09-2011	14.6	282	24-09-2011
22	285	15-09-2011	13.2	113	05-09-2011
19.8	112	10-09-2011	13.2	312	08-09-2011
19.4	261	27-09-2011	11.8	92	06-09-2011
19.2	93	13-09-2011	11	296	19-09-2011
18.8	92	30-09-2011	10.4	280	04-09-2011
18.8	278	04-10-2011	10	72	07-09-2011
18	280	23-09-2011	8	93	12-09-2011
			5.2	121	21-09-2011

**Tabla 20: Valores máximos de corriente para la capa medida.**

Estos valores fueron ordenados de mayor a menor y analizados con las distribuciones de probabilidad de Gumbel y Weibull. El mejor ajuste a las distribuciones fue para la probabilidad de Weibull, la que fue utilizada para determinar los periodos de retorno (Figura 63).

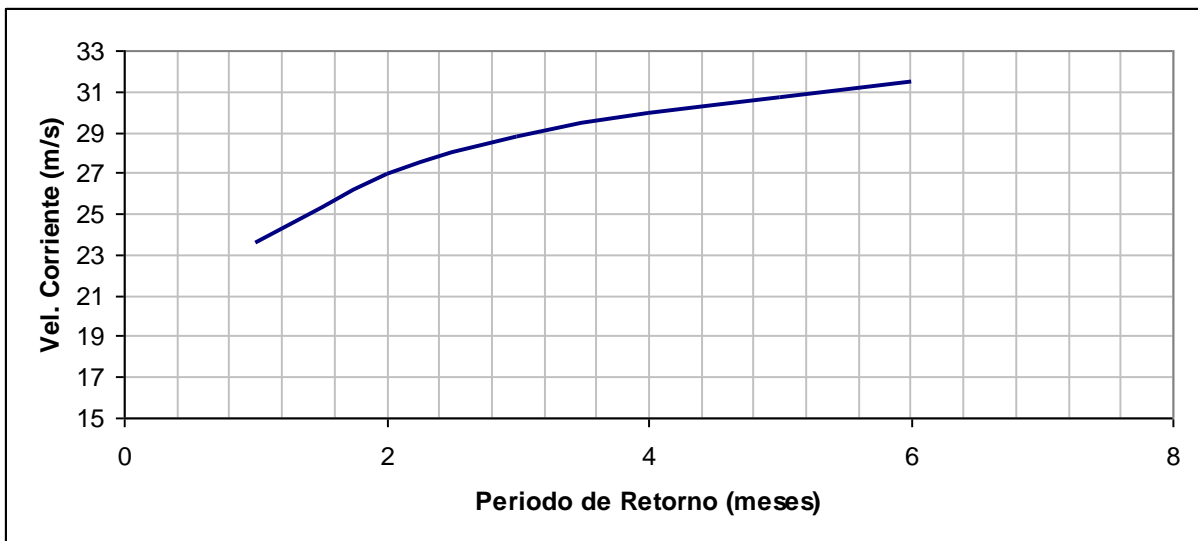


**Figura 63: Distribución lineal Weibull**

Los valores extremos para la magnitud máxima de la corriente en los respectivos periodos de retorno (1, 2, 3, 4, 5 y 6 meses) se presentan en la Tabla 21 y Figura 64. Para un periodo de retorno de 6 meses se esperan velocidades de corriente del orden de los 31.457 cm/s.

Weibull	
Periodo de Retorno (meses)	Vel Corr. (cm/s)
1	23.610
2	26.930
3	28.811
4	29.907
5	30.729
6	31.457

**Tabla 21:** Resumen de los resultados obtenidos aplicando la distribución de Weibull para el cálculo de la magnitud de las corrientes extremas en función de los periodos de retorno 1, 2, 3, 4, 5 y 6 meses.



**Figura 64:** Periodos de Retorno

## 5.6 OLAS

Esta variable es relevante para las maniobras de navegación y la generación del oleaje interior de la zona bajo estudio. Del análisis de los resultados del capítulo vientos es posible anticipar que la bahía en la que se encuentra Fandango está abierta a los vientos del oeste y suroeste, por lo que sería esperable que la generación de olas fuera principalmente desde estas direcciones.

### 5.6.1 OLAS OPERACIONALES

La información de oleaje obtenida desde el instrumento ADCP permitió generar tablas de incidencia de altura por periodo, altura por dirección y periodo por dirección, así como también las rosas de oleaje para altura y periodo para el registro medido. Se presenta además como complemento el diagrama de trazos de oleaje y las componentes ortogonales del mismo.

Con respecto a la dirección se aprecia una predominancia de las olas desde el SW, con un 99,60% de las observaciones (Tabla 22). En cuanto a la magnitud de la ola significativa, las alturas medidas no superan los 1 m, en donde la magnitud reinante es aquella que está en el rango entre los 0.3 y 0.4 m con porcentaje de presentación del total de las muestras de 37.20 %, seguido por alturas entre 0.4 y 0.5 m con un 24.40% de ocurrencia.

Por su parte, el periodo máximo medido está comprendido entre los 1 y 16 s, concentrándose principalmente en el rango entre 10 y 12 s con un 41.43%.

Direcciones	Altura (m)									Total (%)
	0.0 - 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.3	0.3 - 0.4	0.4 - 0.5	0.5 - 0.6	0.6 - 0.7	0.7 - 0.8	>= 0.8	
N	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
E	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
S	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SW	0.00	0.00	11.55	36.65	24.30	12.75	11.16	0.00	3.19	99.60
W	0.00	0.00	0.00	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40
NW	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sub-Total	0.00	0.00	11.55	37.05	24.30	12.75	11.16	0.00	3.19	100
Total										100

**Tabla 22: Distribución de frecuencia de altura de ola Hs(m) y Dirección.**

Direcciones	Periodo(s)									Total (%)
	0.0 - 2.0	2.0 - 4.0	4.0 - 6.0	6.0 - 8.0	8.0 - 10.0	10.0 - 12.0	12.0 - 14.0	14.0 - 16.0	>= 16.0	
N	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
E	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
S	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SW	0.00	2.39	15.94	1.20	9.96	41.04	19.12	8.76	1.20	99.60
W	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40	0.00	0.00	0.00	0.40
NW	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sub-Total	0.00	2.39	15.94	1.20	9.96	41.43	19.12	8.76	1.20	100
Total										100

**Tabla 23: Distribución de frecuencias Periodo Máximo Tp(s) y Dirección de oleaje.**

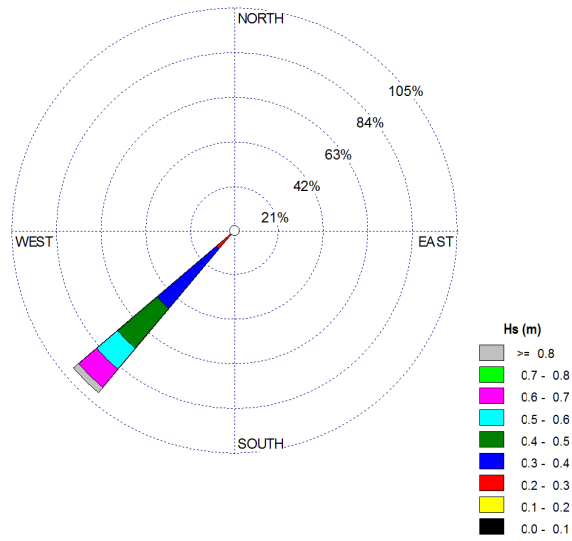


Figura 65: Rosa de oleaje. Altura Significativa Hs.

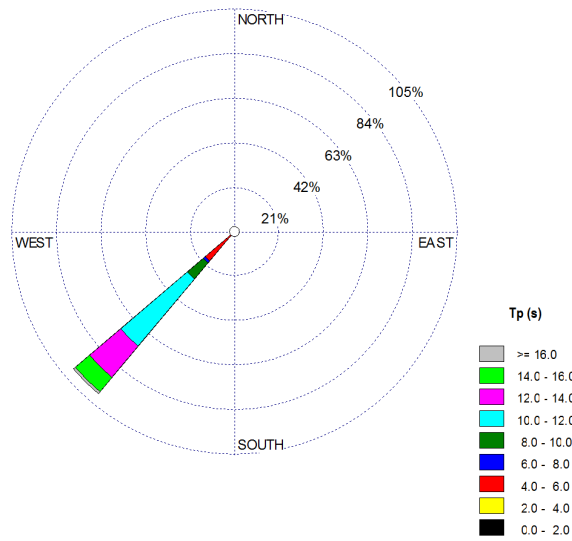


Figura 66: Rosa de oleaje. Periodo Peak Tp.

	Hs (m)	Tp (s)	Dir (°)
<b>Promedio</b>	0.39	10.33	225
<b>Máximo</b>	0.91	16.51	250
<b>Mínimo</b>	0.16	3.45	203
<b>Des. Estandar</b>	0.14	3.09	8

Tabla 24: Estadística descriptiva de Olas Operacionales.

## 5.6.2 OLAJE DE GENERACION LOCAL

Para estimar el oleaje de generación local se aplicó una metodología de hindcasting, que permite transferir la energía del viento (magnitud y dirección) a generación de oleaje (altura, período y dirección de incidencia).

El método paramétrico de oleaje de viento empleado es el denominado SMB (Sverdrup, Munk y Bretsclineider (1947) desarrollado por Sverdrup y Munk (1947), modificado posteriormente por Bretshneider (1958). Este método últimamente fue revisado por Mitsuyasu (1968) y Hasselman (1973), dando lugar al método SPM (Shore Protection Manual).

Este método permite obtener las variables características del oleaje, altura significativa y período pico en función de las características del viento y del área de generación por medio de diferentes expresiones. Para el caso de aguas profundas considera que las características del viento están limitadas por la longitud del Fetch y duración del viento. El viento fue corregido en altura, llevándolo a 10 m, según la siguiente formulación:

$$V_x = V_m \frac{\ln\left(\frac{z_x}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{z_m}{z_0}\right)}$$

Donde  $V_x$  es la velocidad del viento a una altura  $Z_x$ ,  $V_m$  es la velocidad medida a la altura  $Z_m$  y  $Z_0$  es la altura de la rugosidad superficial.

Los valores adoptados para la rugosidad superficial fue de 0.3 metros de acuerdo a lo establecido por las recomendaciones para obras marítimas (ROM 04-95), ilustrados en la Tabla 25.

TIPO DE SUPERFICIE	$z_0$ (m)
I. Mar abierto y campo abierto llano sin obstáculos (p.e. zonas costeras llanas, desiertos,...).	0.001-0.01
II. Mar con oleaje muy fuerte y campo abierto, llano u ondulado, con obstáculos dispersos (p.e. praderas, páramos, ...).	0.01-0.3
III. Superficies boscosas, campo con obstáculos abundantes y pequeñas zonas urbanas (obstáculos con alturas entre 9 y 15 m).	0.3-1.0
IV. Superficies con grandes y frecuentes obstáculos, y grandes ciudades.	1.0-5.0

**Tabla 25: Factores  $Z_0$  recomendados para cada tipo de superficie.**

Para la generación del oleaje se utilizó el software CEDAS, del Coastal Engineering Desing & Analysis System 4.0, donde los parámetros de entrada a considerar son:

- Altura de la Estación Meteorológica
- Velocidad del Viento Observado
- Gradiente de temperatura
- Duración del viento observado
- Latitud de la Observación
- Largo del Fetch
- Características de la Zona de Observación
- Características del Fetch

### 5.6.3 FETCH CONSIDERADOS

Se consideraron los fetch que tenían incidencia en el área de estudio, los cuales fueron separados cada 5°, desde la dirección 135° hasta los 260° (Tabla 26).

Largo Feth (km)	Dirección (°)
5.74	135
5.67	140
6.09	145
6.58	150
6.16	155
7.25	160
8.03	165
8.49	170
8.83	175
8.59	180
7.78	185
7.43	190
6.88	195
6.90	200
6.60	205
6.73	210
141.56	215
135.84	220
145.42	225
209.56	230
93.20	235
79.77	240
66.24	245
59.64	250
50.04	255
54.15	260

**Tabla 26: Fetch considerados.**

La distribución de los fetch se ven en la Figura 67 y Figura 68 de la siguiente forma:



**Figura 67: Distribución de los Fetch**



**Figura 68: Zoom del area de Estudio.**

#### 5.6.4 OLAJE DE DISEÑO

Para el cálculo del oleaje de diseño se consideraron las longitudes de los Fetch presentadas en la Tabla 26 y para las magnitudes de los vientos se consideraron las máximas magnitudes asociadas a 5, 10, 25, 50, 75 y 100 años de período de retorno según el cuadrante de incidencia del viento.

SE				
Tr (Años)	Hs(m)	Tp (s)	Int. Máx. Vientos (m/s)	Fetch Extremo (Km)
5	0.61	2.61	15.465	6.18
10	0.64	2.97	15.998	6.18
25	0.68	3.03	16.591	6.18
50	0.69	3.07	16.984	6.18
75	0.70	3.09	17.198	6.18
100	0.71	3.11	17.344	6.18

S				
Tr (Años)	Hs(m)	Tp (s)	Int. Máx. Vientos (m/s)	Fetch Extremo (Km)
5	0.57	2.89	12.730	8.57
10	0.70	3.15	14.872	8.57
25	0.85	3.43	17.253	8.57
50	0.95	3.6	18.835	8.57
75	1.01	3.7	19.695	8.57
100	1.05	3.76	20.281	8.57

SW				
Tr (Años)	Hs(m)	Tp (s)	Int. Máx. Vientos (m/s)	Fetch Extremo (Km)
5	0.58	3.12	8.746	159.29
10	0.70	3.39	9.789	159.29
25	0.86	3.72	11.039	159.29
50	0.97	3.94	11.917	159.29
75	1.04	4.07	12.409	159.29
100	1.08	4.15	12.751	159.29

**Tabla 27: Oleaje de diseño según periodo de retorno.**

### 5.6.5 VALIDACION DEL MODELO

Para verificar el clima de oleaje y el oleaje generado mediante hindcasting, se realizó una comparación típica de gráfico de excedencia, en donde se evaluaron los parámetros de la Altura de ola (Hmo) y de los Períodos pico (Tp).

Los gráficos de excedencia de oleaje medido versus la data de largo período se presentan en la Figura 69, para la Altura de ola, en la Figura 70, para el Período de la ola y en la Figura 71, para la Dirección de la ola.

Para el hindcasting, se utilizaron las formulaciones recomendadas por Puertos del Estado de España (1995) en la ROM 4.95 Anejo II Método simplificado paramétrico de previsión de oleaje de viento. Las cuales fueron las siguientes:

$$H_s = 5.112 \cdot 10^{-4} \cdot U_A \cdot (L_F)^{1/2}$$

$$T_p = 6.238 \cdot 10^{-2} \cdot (U_A \cdot L_F)^{1/3}$$

donde

$$U_A = 0.71 [V_{v,10\min} (10)]^{1.23}$$

Para la Hs (m), se observa que el oleaje medido y generado tienen similares tendencias, así lo demuestra la Figura 69 y la Tabla 28, en esa última se observa que sus

parámetros estadísticos son muy similares, en cuanto al periodo se observa que los periodos medidos tienen características de swell, que es un oleaje desarrollado, en cambio el periodo generado es característico de un oleaje de generación, sea. La dirección del oleaje tiene la misma tendencia en ambos casos, medido y generado.

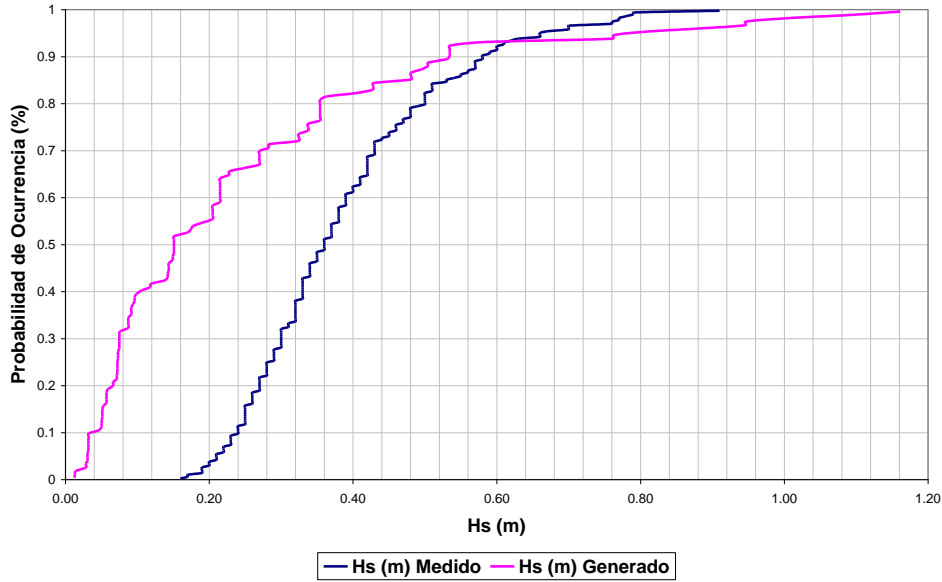


Figura 69: Medición de oleaje vs. modelo de generación. Probabilidad de Ocurrencia de la altura significativa  $H_s$  (m).

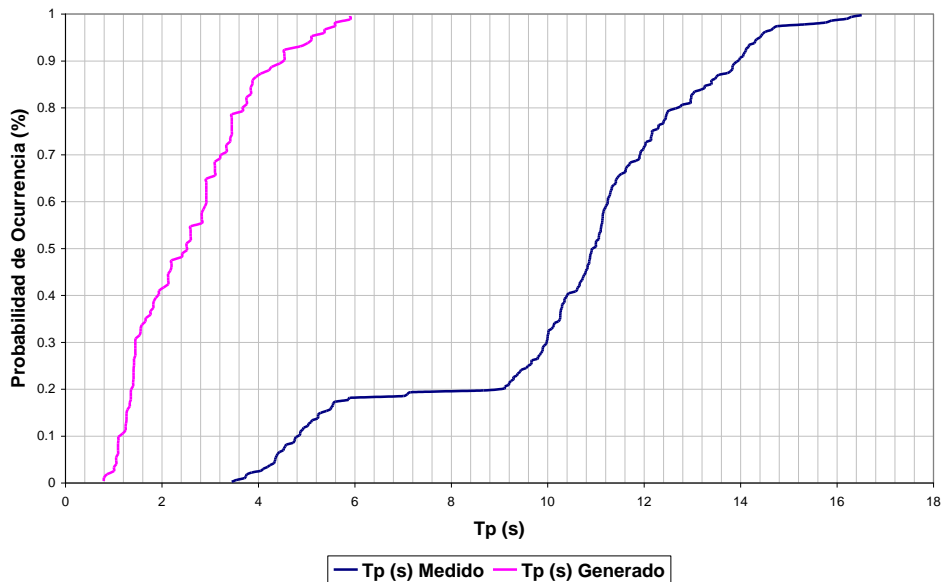
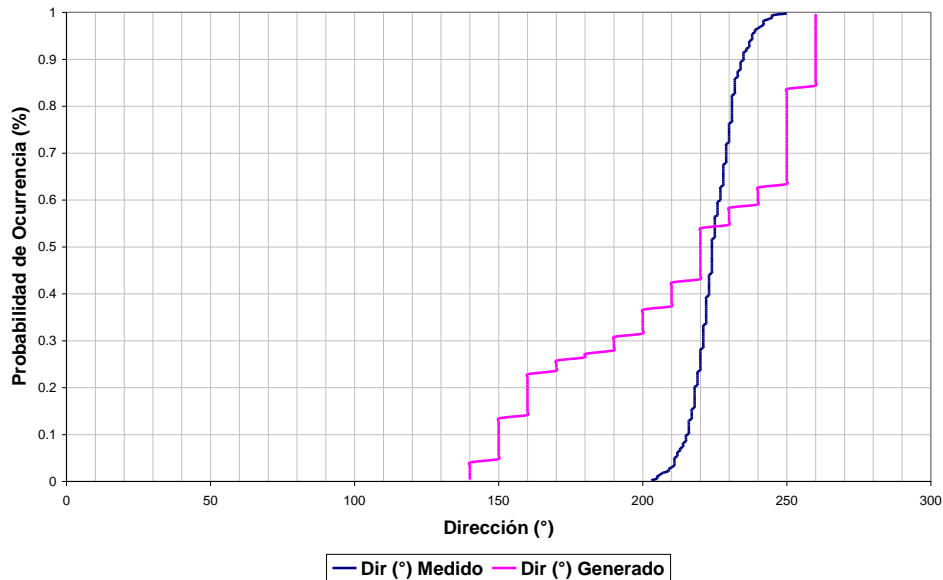


Figura 70: Medición de oleaje vs modelo de generación. Probabilidad de Ocurrencia del Periodo pico  $T_p$  (s)



**Figura 71: Medición de oleaje vs modelo de generación. Probabilidad de Ocurrencia de la Dirección Peak (DPK°).**

Se observa que los tres gráficos anteriores se comportan de distinta forma, debido a que lo medido es mas bajo a lo generado en cuanto a intensidad (Figura 69), esto se debe a que durante la campaña de verano no se presentó tanto viento en el área de generación, esto se puede complementar con los periodos medidos que dejan ver que son parte de un oleaje tipo swell (Tabla 29). Las direcciones se comportan de manera similar, como se puede ver en la Tabla 30. Se realizó un análisis estadístico para comparar los parámetros más característicos.(Tabla 28, Tabla 29 y Tabla 30).

	Hs (m)	
	Generado	Medido
<b>Promedio</b>	0.27	0.39
<b>Máximo</b>	1.33	0.91
<b>Mínimo</b>	0.01	0.16
<b>Desv. Estandar</b>	0.27	0.14

**Tabla 28: Comparación estadística de las alturas Hs (m).**

	Tp (s)	
	Generado	Medido
<b>Promedio</b>	2.70	10.33
<b>Máximo</b>	6.17	16.51
<b>Mínimo</b>	0.83	3.45
<b>Desv. Estandar</b>	1.34	3.09

**Tabla 29: Comparación estadística de los periodos Tp (s).**

	Dirección (°)	
	Generado	Medido
<b>Promedio</b>	213	225
<b>Máximo</b>	260	250
<b>Mínimo</b>	140	203
<b>Desv. Estandar</b>	41	8

**Tabla 30: Comparación estadística de las direcciones Dir (°).**

De acuerdo a lo analizado, los parámetros de oleaje generado en el hindcasting, se ocuparan reverencialmente debido a que con solo 30 días de medición es muy poco representativo del clima real. Por lo cual, se recomendará realizar otra campaña de medición de oleaje durante el invierno.

## 5.7 SEDIMENTOS

### 5.7.1.1 GRANULOMETRÍA

La distribución de los sedimentos en el área de estudio según la participación de cada fracción es amplia, incluyendo todos los rangos texturales entre gravas finas a fangos, sin embargo existe un predominio de las gravas, arenas gruesas, medianas y finas. Estas últimas representan el 47,36% del total. De la fracción de las gravas, la grava fina registra un máximo en la estación 6 con un 88,82% del total; la arena gruesa es máxima es la estación 9 con un 39,61% del total, mientras que la arena mediana es máxima en la estación 10 donde registra un 29,09% del total. La arena fina registra un máximo de 54,88% en la estación 7.

De la fracción de arenas, la distribución de frecuencia granulométrica presenta mayor representatividad en el rango de las arenas finas, las cuales comprenden el 17,84% del total, seguida de las arenas gruesas con un 16,66% del total.

El rango textural de menor representatividad corresponde al fango cuya proporción no supera el 0,13% siendo máximo en la estación 8 con 0,36% del total y mínimo en la estación 4 con 0,02% del total.

Nº Muestra	GF	GMF	AMG	AG	AM	AF	AMF	F	Total %
<b>M1</b>	52,00	5,67	11,17	18,29	4,57	5,86	2,39	0,03	99,98
<b>M2</b>	67,47	2,86	4,89	3,56	4,34	13,56	3,28	0,03	99,99
<b>M3</b>	23,52	2,85	5,05	14,47	23,60	23,89	6,50	0,12	100,00
<b>M4</b>	74,78	2,78	6,08	7,93	2,38	3,93	2,09	0,02	99,99
<b>M5</b>	70,02	4,55	8,77	10,48	1,95	2,61	1,58	0,04	100,00
<b>M6</b>	88,82	1,03	2,30	2,43	0,31	2,89	2,18	0,05	100,01
<b>M7</b>	0,42	0,09	0,21	4,68	24,95	54,88	14,62	0,15	100,00
<b>M8</b>	6,41	0,83	4,59	35,10	21,81	22,01	8,87	0,36	99,98
<b>M9</b>	5,53	4,75	11,56	39,61	15,59	16,56	6,06	0,34	100,00
<b>M10</b>	0,17	0,07	0,34	30,09	29,09	32,18	7,93	0,13	100,00
<b>%Total</b>	<b>38,92</b>	<b>2,55</b>	<b>5,50</b>	<b>16,66</b>	<b>12,86</b>	<b>17,84</b>	<b>5,55</b>	<b>0,13</b>	<b>100,00</b>

**Tabla 31: Distribución porcentual de los sedimentos según rango textural**

**GF: grava fina /GMF: grava muy fina /AMG: arena muy gruesa /AG: arena gruesa /AM: arena mediana /AF: arena fina /AMF: arena muy fina /F: fango**

La distribución textural de los sedimentos según las proporciones de cada fracción, indica que las arenas son predominantes en un 58,4% del total. La mayor proporción de arenas se registró en las estaciones 7, 8, 9 y 10 donde se supera el 89% del total. La fracción de gravas representa el 41,4% del total con una proporción máxima de 89,85% en la estación 6.

Finalmente, la fracción del fango representa el 0,1% del total, con valores máximos en las estaciones 8 y 9 donde se registra 0,36% y 0,34 del total respectivamente.

De acuerdo a la clasificación textural de Folk *et al.* (1970), los sedimentos del área corresponden a las siguientes clases texturales influenciadas por las fracciones de las arenas y gravas: grava, grava arenosa, arena y arena gravosa.

Los histogramas de distribución de tamaños de las Figura 72 y Figura 73, indican que las curvas de distribución de frecuencias granulométricas tienen como clase modal de componente principal a la grava fina (estaciones 1, 2, 4, 5 y 6). En las estaciones 3, 7 y 10, la clase modal de componente principal corresponde a la arena fina, mientras que la arena gruesa es el principal componente para las estaciones 8 y 9.

Nº muestra	Gravas %	Arenas %	Fango %
M1	57,67	42,28	0,03
M2	70,33	29,63	0,03
M3	26,37	73,51	0,12
M4	77,56	22,41	0,02
M5	74,57	25,39	0,04
M6	89,85	10,11	0,05
M7	0,51	99,34	0,15
M8	7,24	92,38	0,36
M9	10,28	89,38	0,34
M10	0,24	99,63	0,13
<b>%Total</b>	<b>41,46</b>	<b>58,41</b>	<b>0,13</b>

**Tabla 32: Distribución de los sedimentos según fracción**

#### 5.7.1.2 PARÁMETROS ESTADÍSTICOS

Los resultados de los parámetros estadísticos de tamaño, selección, asimetría y curtosis para los sedimentos del área de estudio, se indican en la Tabla 32. El parámetro tamaño (mediana) varía entre -5,44 Ø (estación 6) y 3,67 Ø (estación 4), es decir, entre grava fina a arena muy fina. Al respecto, el 40% de las muestras se clasifican como gravas finas (estaciones 1, 2, 5 y 6) mientras que el 30% clasifica como arena mediana (estaciones 3, 8 y 10). El 30% restante se clasifica como arena muy fina (estación 4), arena fina (estación 7) y arena gruesa (estación 9).

El parámetro de clasificación fluctúa ampliamente entre sedimentos Pobremente clasificados (estaciones 1 a 5, 8 y 9) a Muy bien clasificados (estación 6). Las estaciones Moderadamente clasificadas corresponden a las estaciones 7 y 10. De este comportamiento se infiere que los sedimentos moderadamente bien clasificados a pobremente clasificados estarían relacionadas con corrientes o agentes geológicos de

variada intensidad que seleccionan mejor las arenas finas que aquellos sedimentos de rangos texturales más finos o más gruesos, los cuales tienden a quedar rezagados. Así también los sedimentos pobremente clasificados infieren diferentes fuentes relacionadas con el abastecimiento sedimentario del lugar.

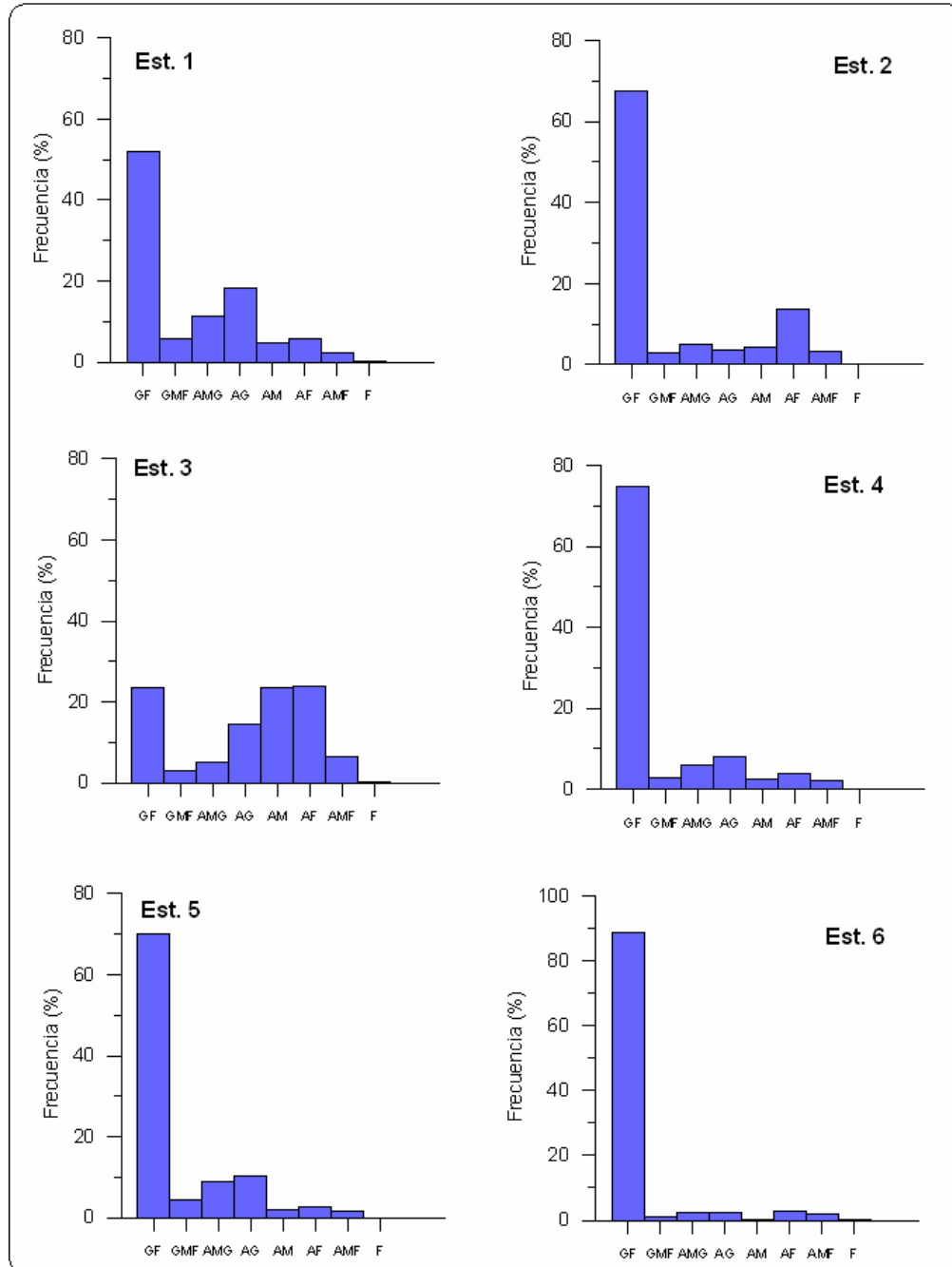
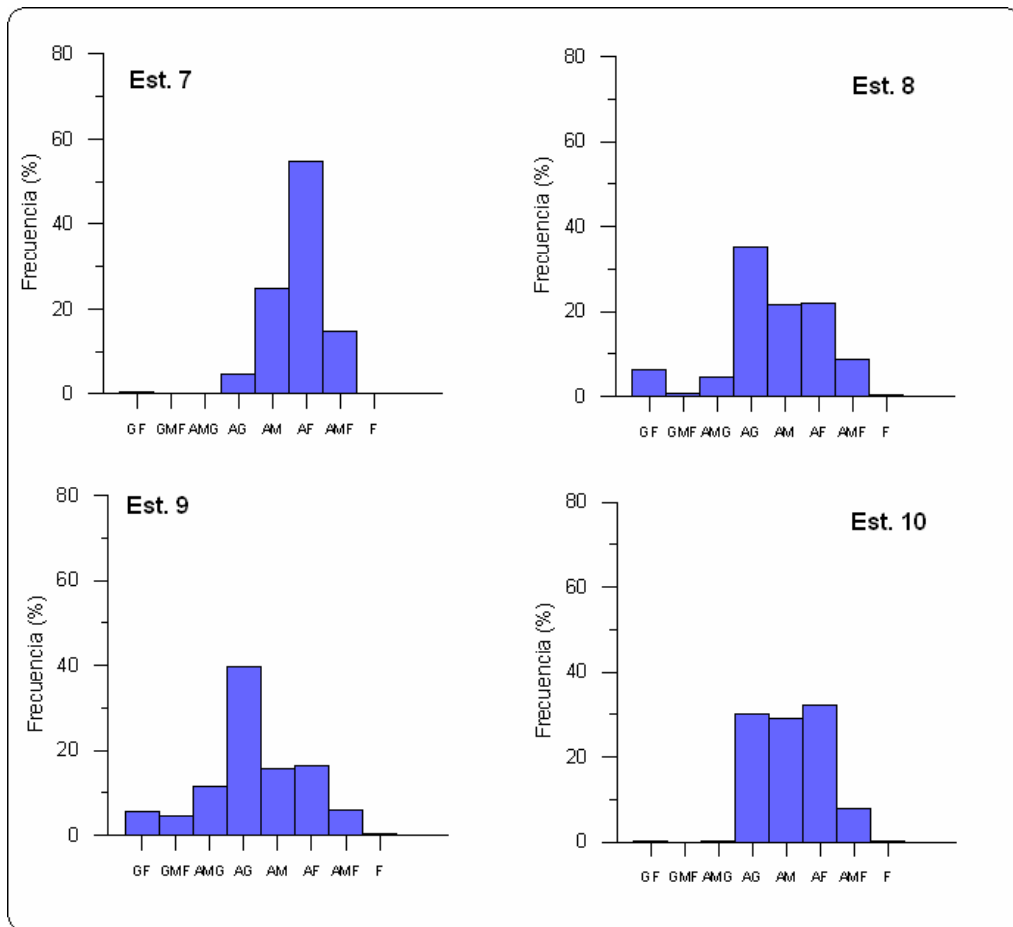


Figura 72: Distribución de los sedimentos según fracción



**Figura 73: Distribución porcentual de frecuencias granulométricas para sedimentos marinos (estaciones 7 a 10)**

Nº	Mediana ( $\emptyset$ )	Rango Textural	$S_1$	Clasificación ( $S_1$ )	$Sk_1$	Asimetría ( $Sk_1$ )	$K_G$	Curtosis ( $K_G$ )
M1	-2.135	grava fina	1.89	Pobrementemente Clasificado	0.636	Alto Exceso de Finos	0.411	Muy Platicúrtica
M2	-3.672	grava fina	1.397	Pobrementemente Clasificado	2.379	Alto Exceso de Finos	0.43	Muy Platicúrtica
M3	1.086	arena mediana	1.332	Pobrementemente Clasificado	-0.197	Moderado Exceso de Gruesos	0.368	Muy Platicúrtica
M4	3.678	arena muy fina	1.744	Pobrementemente Clasificado	1.143	Alto Exceso de Finos	0.542	Muy Platicúrtica
M5	-3.378	grava fina	1.449	Pobrementemente Clasificado	1.438	Alto Exceso de Finos	0.331	Muy Platicúrtica
M6	-5.447	grava fina	0.268	Muy Bien Clasificado	-7.798	Alto Exceso de Gruesos	-12.842	Muy Platicúrtica
M7	1.845	arena fina	0.613	Moderadamente Bien Clasificado	0.04	Simétrico	0.906	Mesocúrtica
M8	1.069	arena mediana	1.616	Pobrementemente Clasificado	-0.179	Moderado Exceso de Gruesos	2.681	Muy Leptocúrtica
M9	0.757	arena gruesa	1.404	Pobrementemente Clasificado	-0.175	Moderado Exceso de Gruesos	1.07	Mesocúrtica
M10	1.328	arena mediana	0.736	Moderadamente Clasificado	0.206	Moderado Exceso de Finos	0.896	Platicúrtica

**Tabla 33: Parámetros estadísticos de la frecuencia de la distribución granulométrica de los sedimentos marinos**

$S_1$  : Clasificación  
 $Sk_1$  : Asimetría  
 $K_G$  : Curtosis

Los valores para el parámetro de asimetría establecieron cuatro tipos de distribución: sedimentos con moderado exceso de gruesos (MEG); sedimentos con alto exceso de finos (AEF); sedimentos con Alto exceso de gruesos (AEG); sedimentos con moderado exceso de finos (MEF) y sedimentos simétricos (S). Los primeros se registraron en las estaciones 3, 8 y 9, mientras que aquellos con Alto exceso de finos fueron predominantes en el 40% de las estaciones (1, 2, 4 y 5). Los sedimentos con Moderado exceso de finos se registraron en la estación 10. Los sedimentos simétricos se presentaron solo en la estación 7, mientras que los sedimentos con Alto exceso de gruesos solo en la estación 6. En general, este comportamiento indica la presencia de corrientes de variada intensidad involucradas en el transporte sedimentario, que generan una mejor selección de los tamaños texturales finos por sobre los gruesos.

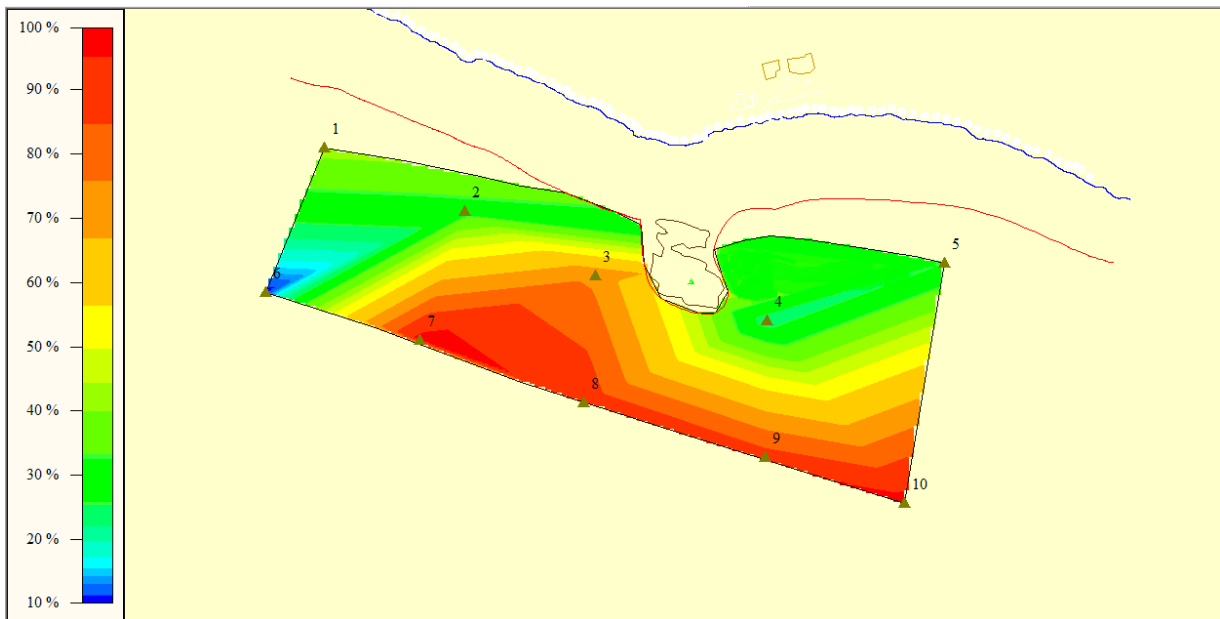
El parámetro de curtosis indica que los sedimentos del sector presentan una variada distribución, clasificándose en un 60% como Muy Platicúrticos (estaciones 1 a 6). Los sedimentos Mesocúrticos se registraron en las estaciones 7 y 9) mientras que los Platicúrticos solo en la estación 10. Los sedimentos Muy Leptocúrticos se registraron a su vez solo en la estación 8. Lo anterior establece que la mayoría de las estaciones del área se distribuyen en un amplio rango de tamaños texturales respecto al tamaño medio que presentan, lo cual permite inferir procesos actuantes de variada intensidad involucradas en el transporte sedimentario.

### 5.7.1.3 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL

La distribución espacial de los sedimentos establece un predominio de las arenas en 5 de las 10 estaciones de muestreo, preferentemente localizadas en los sectores más alejados de la costa (estaciones 7 a 10), con excepción de la estación 3. En estas estaciones, las arenas registraron contenidos sobre el 73% del total (Figura 74).

Las gravas predominaron en las cinco estaciones de muestreo restantes, principalmente localizadas de preferencia en los extremos del área de estudio (estaciones 5 y 6) y en algunas estaciones cercanas a la costa tales como las estaciones 2 y 4 (Figura 75).

La proporción de los fangos, a pesar de ser escasa, se encontró en todas la estaciones y presenta una distribución mayor en las estaciones 7, 8 y 9 más alejadas de la costa y tiende a disminuir hacia los sectores más cercanos a esta (estaciones 1 y 2) (Figura 76).



**Figura 74: Distribución espacial de los sedimentos (%), fracción arenas**

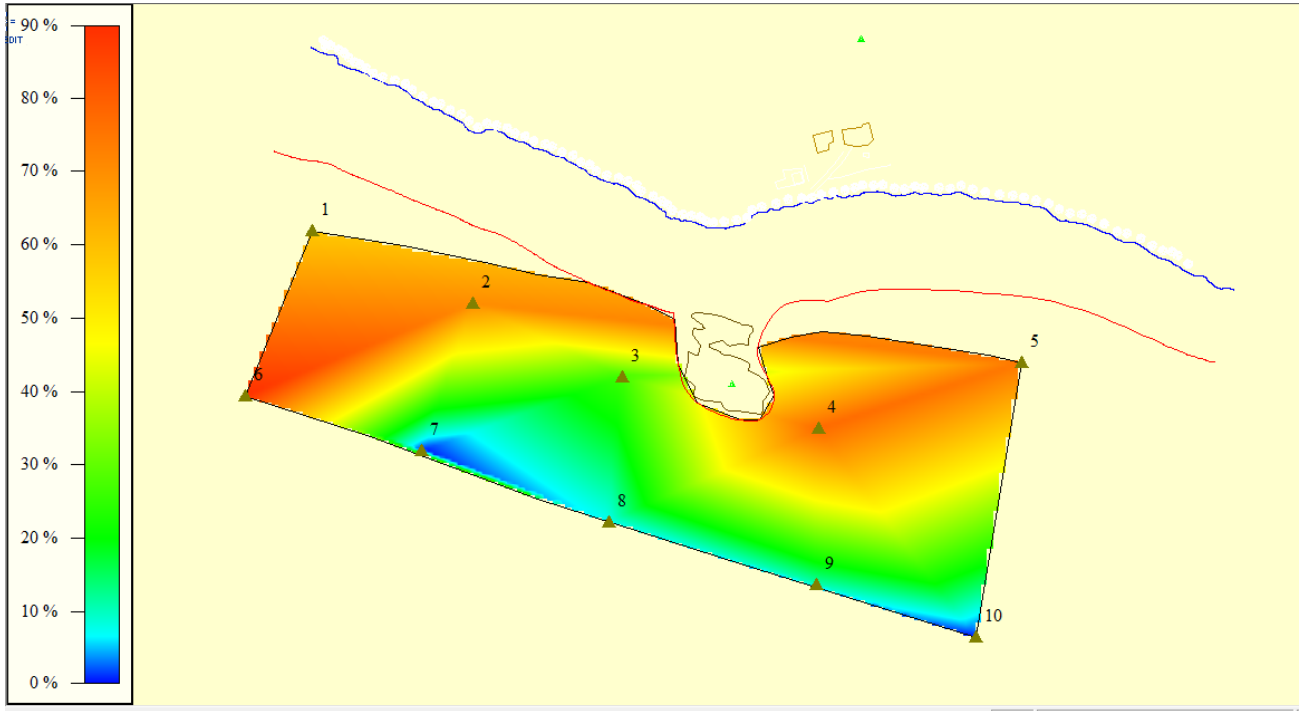
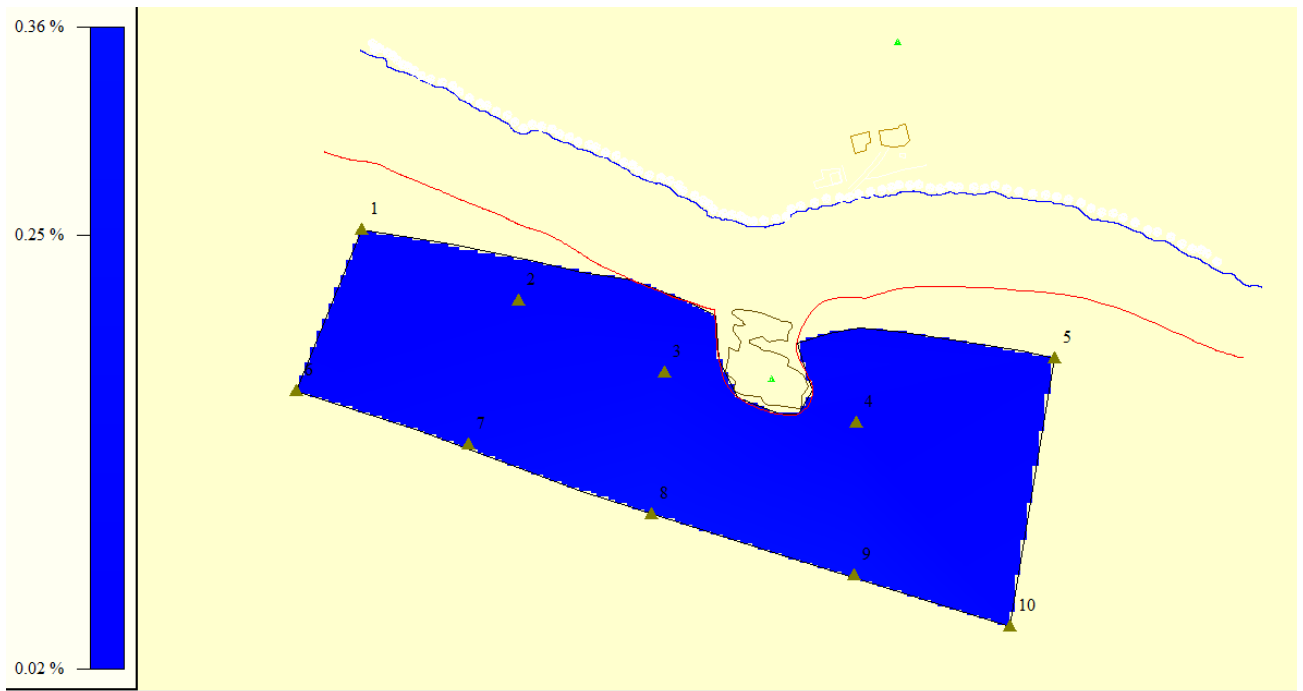


Figura 75: Distribución espacial de los sedimentos (%), fracción gravas



**Figura 76: Distribución espacial de los sedimentos (%), fracción fangos**

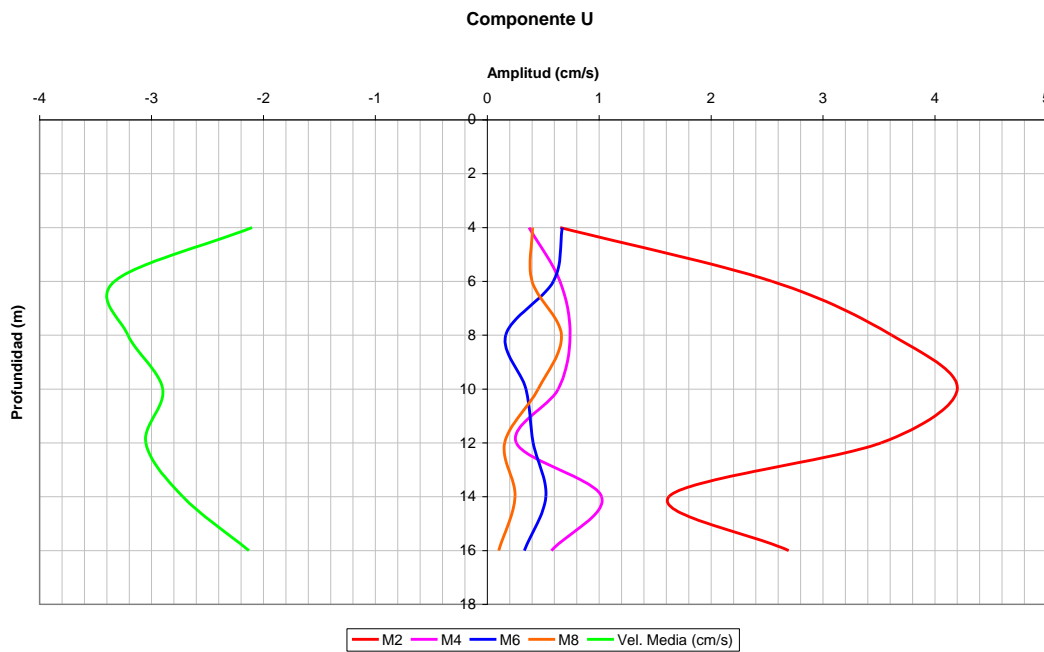
## 5.8 DISCUSION

Los agentes que están controlando la hidrodinámica del sitio estudiado se analizan a continuación. Las magnitudes de las corrientes durante el invierno y el verano son similares considerando que la medición en verano fue con ADCP y en invierno con correntómetro, con lo cual se comparó con la capa de 14 m (verano) y la de 10 m (invierno), ambas capas presentan valores de magnitud similares y la misma tendencia. Durante el verano se observó un valor máximo de corriente de 46.7 cm/s y en invierno un valor máximo de 31.8 cm/s. Las corrientes en ambas campañas presentaron magnitudes bajas, debido a la configuración protegida del área. Las direcciones dominantes de las corrientes, preferentemente orientadas hacia el oeste en todas las profundidades, sugieren que el gradiente de presión barotrópico originado por la marea parece ser el principal forzante de la dinámica presente en el área, la cual estaría modificada por la línea de costa. Dicha circulación sugerida hace que las partículas entren por el SE y salgan por el NE, conducidas por la línea de costa.

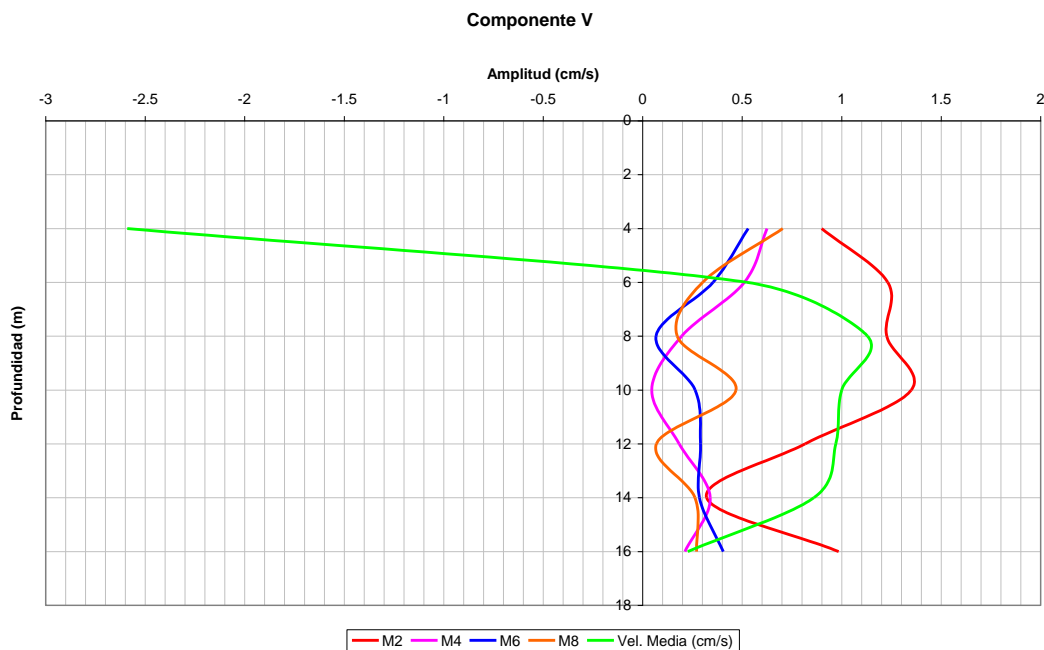
La mayor relevancia de algunas constituyentes armónicas de aguas someras en la serie de tiempo de nivel del mar, tales como MK3, MN4, M4 y 2MS6, sugieren la influencia de la baja profundidad y de la curvatura de la línea de costa en la dinámica del sistema.

El porcentaje de varianza explicada por un ajuste sinusoidal de mínimos cuadrados a los datos de corrientes de todas las profundidades de la componente este-oeste, sugiere que sobre el 60% de la variabilidad es explicada por constituyentes armónicas de la marea. En el caso de la componente norte-sur, los porcentajes varían entre aproximadamente 20 y 60%. Esta disminución de la componente norte-sur podría estar ocasionada por el incremento de componentes de aguas someras no consideradas en el análisis, las que estarían atribuidas al efecto de la curvatura de la línea de costa y la baja profundidad. Así,

los armónicos mareales presentes en los datos de corrientes sugieren una alta participación de la marea en la variabilidad de la mayoría de los estratos verticales.



**Figura 77: Amplitud de las constituyentes por capa y velocidad media de la componente  $u$ .**



**Figura 78 : Amplitud de las constituyentes por capa y velocidad media de la componente  $v$ .**

Los perfiles verticales de las amplitudes de algunos armónicos de la corriente de marea mostrados en las Figuras 77 y 78, sugieren la dominancia de la componente M2 en ambas direcciones ortogonales, y el incremento en los valores de algunas constituyentes

armónicas de aguas someras (M4, M6 y M8) cercano a la superficie. Este aumento puede ser explicado por el efecto friccional del viento en superficie. Los perfiles de velocidades promedio sugieren que la dirección dominante es en todas las profundidades hacia el oeste (componente  $u$ ) y que se presenta variabilidad hacia el suroeste en los primeros 5 m y hacia el noroeste bajo esta profundidad (ver componente  $v$ )

La marea tiene un rango en sicigia de 4.881 m, lo cual es muy cercano a los 4.840 m de la Ensenada de Chaitén, según Pub. 3009 Tabla de Marea de la Costa de Chile 2011, lo que sirve para corroborar las mediciones realizadas. El régimen es semidiurno, es decir, que presenta dos pleamares y dos bajamares. Aunque constituye un rango de marea alto, la energía potencial de estas diferencias de altura parece tener un efecto menos relevante sobre las velocidades de la corriente, probablemente por tratarse de línea de costa abierta y sin constricciones costeras que aceleren el movimiento del agua.

La bahía de Fandango recibe el aporte de pequeños esteros no censados, cuyo aporte no parece ser significativo para la dinámica del lugar. El principal aporte de agua dulce en el área cercana lo constituye el Río Yelcho (caudal medio anual = 360 m<sup>3</sup>/s), pero la extensión de su pluma de agua dulce al sistema costero adyacente no debiera ser significativa si se considera que, por aproximaciones teóricas, la pluma debiera dirigirse hacia el sur bajo condiciones de viento calma. Como se indica en los registros de viento, las condiciones de calma durante el año llegaron al 42% del tiempo total.

El viento parece tener una participación menor en la hidrodinámica, como lo muestran los bajos valores de correlación cruzada entre las componentes ortogonales de viento y corriente. Los vientos para Fandango son de baja intensidad durante todo el año, debido a que dominan las magnitudes entre 2,0 a 4,0 (m/s), esto se debe a que el área se encuentra protegida naturalmente, lo que hace que se forme un abrigo a los vientos, por ende la ola generada es de muy poca altura, de acuerdo a lo registrado durante la medición de oleaje. Sin embargo, los vientos tienen incidencia en las corrientes superficiales, como lo muestran los resultados de corrientes lagrangianas y los DVP, cuyas direcciones superficiales son modificadas por la acción del viento.

Durante el verano se observa que los vientos provienen desde el oeste, con muy pocos aportes de otras direcciones. En otoño los vientos aportan desde distintas direcciones en el II, III y IV cuadrante, condición que se mantiene en invierno. En primavera comienza a presentarse nuevamente la dominancia de las direcciones desde el W, con pequeños aportes del SW.

En la escala diaria, predominan direcciones desde el oeste durante el día y desde el W, NW; N y SW durante la noche, aspecto que se debe considerar en las maniobras de atraque. En el caso de la intensidad de los vientos en esta escala, se observan las mayores magnitudes en las horas (diurnas o nocturnas).

El año de medición de Fandango se comparó con la estación histórica de Chaitén, con lo cual se pudo validar el año de medición. Las direcciones variaban en 45°, esto se produjo por la configuración geográfica del área en estudio. Las intensidades fueron muy similares, por lo que se realizó un análisis de clima extremo de carácter referencial, con un máximo anual, de la estación histórica, el valor más alto correspondió a 12.43 m/s. El resultado del análisis extremo dio que se espera una intensidad de 15.565 m/s dentro de los próximos cuatro años.

La corriente tiene una circulación interna, la cual no se ve afectada por la cercanía de las descargas de ríos cercanos como lo son el Río Rayas y Río Yelcho. Este último desemboca y toma una trayectoria hacia el S, la cual no interfiere en la corriente del área, por otra parte la descarga del Río Rayas no interfiere directamente en el área, ya que la corriente al tener una circulación costera, es decir que sigue la trayectoria por la costa hacia el NW, que luego es tomada por el Río Rayas, el cual la saca de la circulación interna de la costa llevándola hacia el S. Esta circulación costera se puede observar en la sedimentología en la cual se ve que las gravas están más cercanas a Chaitén y a medida que avanza hacia el NW, el sedimento se va adelgazando, también se observó que la gran cantidad de materiales de la erupción (Cenizas, escombros, etc) se depositaron en el SE. La distribución espacial de sedimentos (Figuras 150 y 151), mostró predominio de la fracción más gruesa (gravas) en el sector más cercano a la línea de costa, mientras que la fracción arenas se observa separado de la costa. Esto sugiere un ambiente altamente energético en la zona de rompimiento por acción de las olas. Las bajas velocidades de la corriente tendrían una participación menor en estas distribuciones de sedimentos.



**Figura 79: Escombros de la erupción del volcán Chaitén en las costas de Fandango.**

La campaña de medición de oleaje se realizó durante el verano, esta se extendió por 30 días en los cuales el oleaje observado fue de muy baja intensidad, no superando 1 m de altura, las intensidades se agruparon en un 0.3 a 0.4 m con un 37.05% de las observaciones, el periodo de ola dominante es de 10 a 12 s con un 41.43%, seguido por los periodos 4 a 6 s, estos últimos son los más esperados debido a que son característicos a un oleaje de generación local, pero debido a las bajas intensidades de viento es que no predominan y se observan periodos más largos que corresponden al oleaje generado en el golfo corcovado.

El área estudiada presenta condiciones ambientales apropiadas para el diseño y construcción de una rampa de pasajeros, con lo que se asegura que ésta se mantendrá operativa la mayor cantidad de días al año. La geografía del área brinda una zona muy abrigada para las maniobras de la nave de diseño, que más adelante se detalla.

## 6 DISEÑO CONCEPTUAL RAMPA

### 6.1 NAVE DE DISEÑO

La nave de diseño es la que se ocupará como referencia para el planteamiento de todos los dimensionamientos de la rampa. Para esto la nave de diseño a ocupar será Amadeo I, perteneciente a la Empresa NAVIMAG, cuyas dimensiones son las siguientes:

Item	Dimensión (m)
Eslora	132.5
Manga	19
Calado	6.25
Puntal	6.75

Tabla 34: Dimensiones de la Nave de Diseño

### 6.2 VIDA ÚTIL

A partir de la tabla 2.1 de las recomendaciones de obras marítimas 3.199 parte 2, podemos determinar la vida útil de la obra. Asumiendo que la rampa a diseñar es una estructura flexible y de rotura reparable  $L_f = 25$ .

Dado este criterio es recomendable tomar en cuenta reparaciones a futuro.

### 6.3 RIESGO (E)

Se adoptará como riesgo máximo admisible el de Iniciación de averías o el de destrucción total según las características de deformabilidad y de posibilidad o facilidad de reparación de la estructura resistente. Tomando como referencia la ROM 0.2-90, la pérdida de vidas humanas es reducida, puesto que no se esperan pérdidas humanas en caso de rotura o daños, se asume un riesgo de un 20% ( $E=0.2$ ).

### 6.4 PERÍODO DE RETORNO.

Una vez clasificada la obra y determinados su vida útil mínima  $L_f$  y su riesgo admisible  $E$ , la distribución de Poisson permite deducir el periodo de retorno correspondiente  $Tr$ :

$$E = 1 - \left(1 - \frac{1}{Tr}\right)^{L_f} \approx 1 - e^{-\left(\frac{L_f}{Tr}\right)} \Rightarrow Tr = -\frac{L_f}{\ln(1-E)}$$

Donde:

$E$  = Riesgo.

$Tr$  = Período de Retorno.

$L_f$  = Vida Útil.

Reemplazando en la ecuación se obtiene un Periodo de retorno de 112 años. Los cálculos se realizaron con un periodo de retorno de 100 años.

## 6.5 DISEÑO EN PLANTA

Las características a definir en una obra de atraque referentes al dimensionamiento en planta, una vez decidido su emplazamiento, serán:

- 01 Explanada
- 01 Rampa

Como se trata de un diseño conceptual, se determinaran las superestructuras relevantes en este estudio.

### 6.5.1 EXPLANADA.

La explanada deberá considerar al menos lo siguiente:

- Sala de espera con butacas
- Oficinas de Administración (sala de venta de pasajes)
- Baños
- Calefacción
- Iluminación
- Zona de Estacionamientos.

Esta no contara con orientación especial, si no que se emplazara en la costa siguiendo la misma dinámica de la costa.

### 6.5.2 RAMPA.

La rampa será de doble pendiente con la finalidad de permitir un mejor embarque de los rodados a la nave de diseño.

#### 6.5.2.1 LARGO DE LA RAMPA

El largo de la rampa se determinará como si se tratara de un muelle, es decir, que la longitud máxima de la rampa será igual a la suma de la eslora máxima ( $L_{\max}$ ) más los resguardos necesarios entre buques ( $l_0$ ) y en cada uno de los extremos de la obra de atraque ( $l_s$ ). Es decir:

$$L_a = N_{a,alineación} \cdot L_{\max} + (N_{a,alineación} - 1) \cdot l_0 + 2 \cdot l_s$$

Donde

$L_a$ : Línea de Atraque (largo de rampa)

$N_{a,alineaciones}$ : Número de Atraques = 1

$L_{\max}$ : Eslora máxima de la nave de diseño = 132.5 m

$l_0$ : Resguardo entre los buques = 0 (es sólo un buque)

$l_s$ : Extremos de la obra de atraque = 10

Reemplazando en la ecuación, tenemos un largo de rampa de 152.5 m de largo, largo que se dividirá en dos tramos, el primero que será de 53 m y el otro de 100 m, el cual tendrá una pendiente del 10%. Esto asegura un largo suficiente de rampa, debido a que el cabezo de esta quedará a una cota que permite la máxima operatividad durante el año.

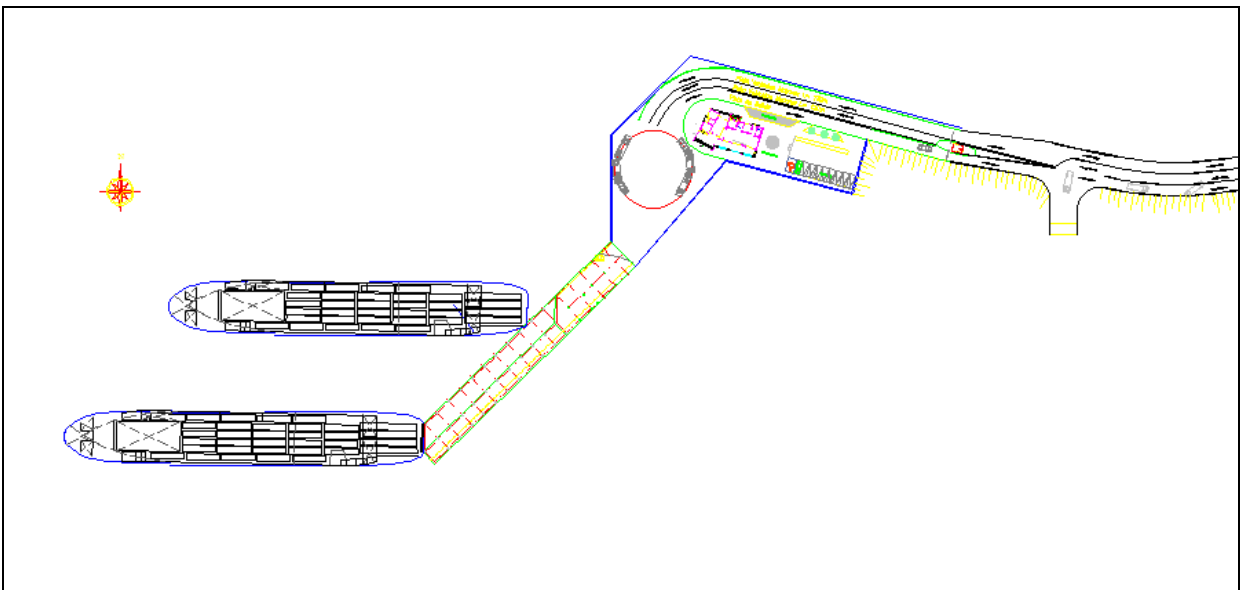
### 6.5.2.2 ANCHO DE LA RAMPA

El ancho de la rampa será determinado considerando que el embarque y desembarque de los vehículos será de forma independiente, es decir, que una vez llegado el buque este desembarcara toda la carga (pasajeros, vehículos, etc) y luego se procederá al embarque. Por lo tanto, y sin contradecir lo anterior se consideraran dos pistas, con la finalidad de permitir una mejor maniobrabilidad de los vehículos y permitir que el portalón del buque de diseño se pose por completo en la rampa, el ancho de la rampa será de 11 m.

### 6.5.2.3 ORIENTACIÓN DE LA OBRA

Las obras de atraque con una alineación fija se orientarán, siempre que sea posible, de forma que los agentes climáticos locales (corriente, viento y oleaje) tengan los mínimos efectos sobre su operatividad. Por ello, se dispondrá el atraque de forma que el eje longitudinal de los buques atracados/amarrados quede lo más paralelo posible a las direcciones más frecuentes de las acciones climáticas o, si eso no es posible, a la más frecuente de las preponderantes. En este sentido, se considerará como tal a la acción que produzca menor nivel de operatividad.

La orientación de la obra será hacia el SW, debido a que la nave de diseño al posar su portalón lo hace formando un ángulo de 45° con respecto de la rampa, con ello la nave queda orientada al W, que es de donde se espera el mayor aporte de energía de los distintos agentes oceanográficos, la estructura será sobre pilotes, lo que hace que ningún agente oceanográfico interfiera en la operatividad.



**Figura 80: Orientación propuesta**

## 6.6 DISEÑO EN ALZADO

Las características a definir en una obra de atraque referentes a su dimensionamiento en alzado son:

### 6.6.1 COTA DE CORONAMIENTO.

La cota de coronamiento de la obra de atraque se determinara bajo la siguiente formula

$$CC = Pleamar_{m\acute{a}x} + 0.75H_{m\acute{a}x}$$

Donde la pleamar máxima es de 5.21m NRS. La altura de ola máxima considerada es la de los 100 años de periodo de retorno de la generación de oleaje y corresponde a una ola desde el W que corresponde a 2.19m. Reemplazando los valores se obtiene una Cota de Coronamiento de 6.85 m NRS.

### 6.6.2 SECCIONES TIPO

La rampa será estructura a base de pilotes de acero verticales e inclinados, separados a lo largo de la rampa cada 6 m, lo cual permite que las corrientes no causen problemas durante las maniobras de embarque y desembarque, además de no alterar la configuración de la playa.

La losa será de hormigón armado de 25 cm de espesor.

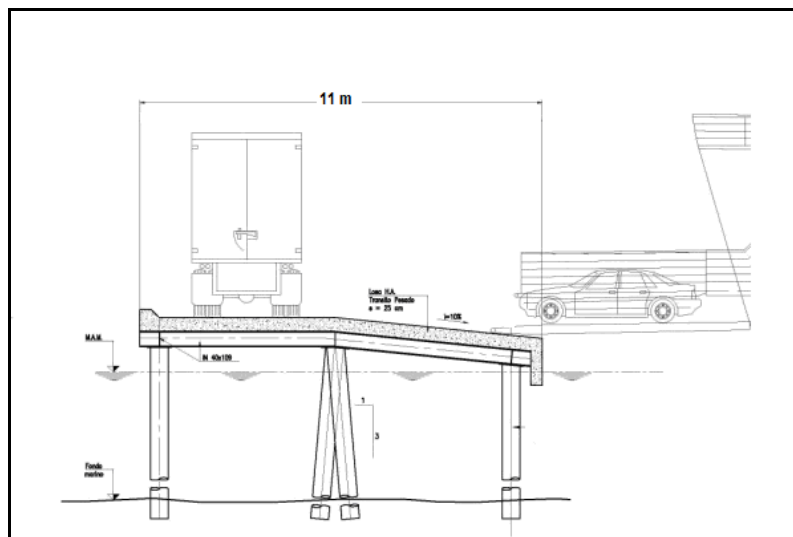


Figura 81: Sección tipo de la rampa

## **7 CONCLUSIONES**

### **7.1 CONCLUSIONES DE LA CARACTERIZACIÓN OCEANOGRÁFICA.**

La localidad estudiada presenta buenas condiciones oceanográficas, esto se debe principalmente a que la Isla Puduguapi la protege del oleaje de aguas profundas y actúa como una estructura de abrigo natural por lo que en la localidad existe una menor altura de ola.

De la generación de oleaje, se obtuvieron altura de ola significativa y periodos Peak para 5, 10, 25, 50, 75 y 100 años de periodo de retorno, para las direcciones incidentes en el área de estudio, donde la dirección con mayor altura fue la de el W, con una altura de 2.19 m para un periodo de retorno de 100 años

Los vientos de la estación insitu tuvieron un dominio de la dirección W, y la estación histórica tuvo un dominio de la dirección NW, en general existe un desfase de 45°, lo cual hace que al momento de hacer la correlación cruzada para determinar un ajuste entre ambas estaciones, de un valor poco significativo, por lo que se determino realizar un análisis de valores extremos con la data in situ, sólo de carácter referencial. En dicho análisis se determino que para un periodo de retorno de 4 años se espera una magnitud de 15.565 m/s

Se puede concluir que las corrientes tienen una tendencia hacia el NW, así fue como lo evidencio el diagrama de vector progresivo. El principal agente forzante de la corriente es la marea ya que presento una mayor correlación cruzada que el viento. Las mediciones Lagrangianas, son influenciadas tanto por la marea como por los vientos. Los valores máximos fueron obtenidos por la Distribución de Weibull, ya que fue la que presento mayor correlación de los datos, los valores máximos para 6 meses de periodo de retorno fueron de 45.566 (cm/s), para la campaña de verano y un 31.457 (cm/s) para la campaña de invierno. Debido a la amplitud de las mareas, hace que éstas sean un factor forzante de la corriente durante los cambios de marea, no obstante los vientos también presentan una correlación importante, en su componente v.

De acuerdo al análisis sedimentológico se puede concluir que las gravas tienden a distribuirse en aquellos sectores más cercanos a la costa asociadas a profundidades entre -2.6 m y -0.7 m. Por su parte, las arenas presentaron una mayor distribución en el extremo norte del área y también en las estaciones más oceánicas, asociadas a profundidades entre -0.3 m y -13.7 m. Finalmente, los fangos se encontraron asociados a las mayores profundidades en aquellas estaciones más alejadas de la costa, registrando un valor máximo en la estación 3 a -13.5 m de profundidad. De los antecedentes recopilados en el informe de sedimentos, el de corrientes y el de oleaje, se pueden establecer el comportamiento direccional del transporte de sedimentos.

Las mareas presentan un régimen de mixta principal semidiurna, es decir, durante un día lunar se presentan dos pleamares y una bajamar o dos bajamares y una pleamar, las amplitud de marea es de 3.18 m, con una máxima de 7.02m y una baja de 2.13m.

## **7.2 CONCLUSIONES DEL DISEÑO.**

El diseño se hizo en base a lo analizado en la caracterización oceanográfica, es decir, determinar la cota de coronamiento, largo de la rampa, sección tipo y orientación.

La cota de coronamiento fue de 6.85 m NRS, el largo de la rampa se determinó según la eslora máxima de la nave de diseño mas resguardos, se determino un largo de 152.5 m, el cual será dividida en dos secciones, la primera desde el arranque hasta los 53 m y una segunda sección 100 m hasta el cabezo de la rampa con una pendiente del 10%.

Será diseñada en base a pilotes, para no interferir en el transporte de sedimentos y así evitar problemas de enbancamiento.

La orientación de la rampa será hacia el SW, sin embargo el dominio de los agentes oceanográficos es desde el W, esto se determino de esta manera, ya que, la nave de diseño posa su portalón formando un ángulo de 45° respecto de la rampa, con lo cual la nave de diseño queda orientada hacia el W.

## **8 RECOMENDACIONES**

La recomendación general, es que el presente documento se trata de una ingeniería básica, por lo que no permite la construcción final de la obra. Para ello se recomienda realizar un estudio mas acabado para la construcción de una rampa totalmente segura y operativa. Entre estos agregar un estudio de maniobrabilidad en el cual se establezcan las maniobras seguras para un buen atraque y zarpe de las embarcaciones.

En cuanto al oleaje se recomienda realizar una nueva campaña de mediciones en invierno, ya que, la realizada en verano es muy poco representativa del área.

En este estudio se considero solamente una orientación, es necesario estudiar otra alternativa, tanto de orientación como de secciones tipo.

Considerar los aportes de los ríos cercanos, los cuales pueden estar actuando de manera directa a la dinámica costera del área de estudio.

## 9 BIBLIOGRAFÍA

- Bretschneider y Reid (1953) "Change in Wave Height Due to Bottom Friction, Percolation and Refraction," 34<sup>th</sup> Annual Meeting of American Geophysical Union.
- Cooley, J. W. & J. W. Tukey, 1965. An Algorithm for the Machine Computation of the Complex Fourier Series, *Mathematics of Computation* (19): 297-301.
- Emery, W. & Thomson. 1997. Data Analysis Methods in Physical Oceanography. BPC Wheatons, Great Britain. 2<sup>nd</sup> Ed. 638 pp.
- Folk et al. (1970) Folk, R. L., Andrews, P. B., and Lewis, D.W. (1970) Detrital sedimentary rock classification and nomenclature for use in New Zealand: New Zealand Journal of Geology & Geo- physics 13, 937-968.
- Folk, R. 1980. Petrology of Sedimentary Rocks. *Hemphill Publishing Co.*, 184 p. Austin.
- Folk & Ward (1957) A study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology* 27: 3–26.
- Foreman, M.G.G., 1977. Manual for tidal heights analysis and prediction. Pacific Marine Science Report 77-10, Institute of Ocean Sciences, Patricia Bay, Sidney, BC, 97 pp.
- Godin, G., 1972. The Analysis of Tides. University of Toronto Press, Toronto, 264 pp.
- Ijima, T. and Tang, F. L. W. (1966), " Numerical Calculation of Wind Waves in Shallow Water," Proc . 10th Conf . on Coastal Engineering, pp . 38- 45 .
- Oppenheim, A. V. & R. W. Schaffer, 1989. Discrete-Time Signal Processing, Prentice-Hall, 619 pp.
- Pawlowicz, R, Beardsley B, Lentz S. 2002. Classical tidal harmonic analysis including error estimates in MATLAB using T TIDE. *Computers & Geosciences* (28): 929 –937.
- Puertos del Estado, España. Recomendaciones de Obras Marítimas 3.1-99, Proyecto de la configuración marítima de los puertos; canales de acceso y áreas de flotación, Parte 2 Criterios generales de proyecto. 16 pp.
- Puertos del Estado, España. Recomendaciones de Obras Marítimas 0.4-95, Acciones Climáticas II: Vientos, Anejo II Método simplificado paramétrico de previsión de oleaje de viento. 18 pp.
- SHOA. 2005. Instrucciones Oceanográficas N°1, Especificaciones técnicas para mediciones y análisis oceanográficos, Pub. 3201, 3ª Edición, 30 pp

- SHOA. 2003. Instrucciones Hidrográficas N°5: Especificaciones técnicas para la ejecución de sondajes. Pub. 3105, 4ª Edición, 66 pp.
- SHOA. 1999. Instrucciones Oceanográficas N°2, Método oficial para el cálculo de los valores no armónicos de la marea, Pub. 3202, 2ª Edición, 25 pp..
- SHOA. 1992. Glosario de Marea y Corrientes. Pub. 3013, 2ª Edición, 59 pp.
- Sverdrup, H. U. and W. H. Munk (1947): Wind, sea and swell. Theory of relations for forecasting. U.S. Navy Hydrographic Office, Washington, Pub. No. 601, 44 pp.
- Wentworth (1922). A scale of grade and class terms for clastic sediments. Journal of Geology 30: 377–392