



Facultad de Ingeniería

Memoria del proyecto para optar al Título de
Ingeniero Civil Oceánico

**“EVALUACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE LOS EFECTOS NO LINEALES EN EL
PROCESO DE TRANSFORMACIÓN DE OLEAJE EN AGUAS SOMERAS.
UNA APLICACIÓN EN BAHÍA LOS VILOS, IV REGIÓN DE COQUIMBO.”**

CHRISTOPHER NICOLÁS SÁEZ AHUMADA

DICIEMBRE, 2016

PRESENTACIÓN

La presente Tesis de pregrado es el fruto del trabajo técnico realizado en conjunto con el Sr. Arnaldo Torres Contador y el autor, en el área de Mecánica de Ondas Gravitatorias; cuyo investigador principal y responsable es el Licenciado en Ciencias de la Ingeniería Sr. Christopher Sáez Ahumada.

Cumpliendo los requisitos para optar al Título Profesional de Ingeniero Civil Oceánico se presentan los principales resultados de la investigación conjunta en dichos tópicos.

Christopher Sáez Ahumada
Licenciado en Ciencias de la Ingeniería

Arnaldo Torres Contador
Meteorólogo, Mag. en Ingeniería y Tecnología Ambiental

Escrita con L^AT_EX—2016

APROBACIÓN

La Tesis de “Evaluación y cuantificación de los efectos no lineales en el proceso de transformación de oleaje en aguas someras. Una aplicación en Bahía Los Vilos, IV Región de Coquimbo.” del Sr. Christopher Nicolás Sáez Ahumada, realizada en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Valparaíso, ha sido aprobada por la siguiente Comisión de Evaluación:

NOMBRE

NOTA

FIRMA

Arnaldo Torres Contador

Gerente de Ciencias y Tecnología Ambiental
MetOcean Solutions Chile Ltda.
Profesor Guía

José Beyá Marshall

Universidad de Valparaíso
Miembro de Comité Tesis

Matías Quezada Labra

Ecotecnos S.A.
Profesor Co-Referente
Miembro de Comité Tesis

Valparaíso, 12 de Diciembre de 2016.

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 del presente Proyecto de Título es resultado exclusivamente de mis esfuerzos personales.

El trabajo incluye dos publicaciones generadas en marco del desarrollo del presente trabajo de Tesis, cuya anexión ha sido justificada por el profesor Guía y autorizada por su autor:

- i. **Sáez A. C.**, A. Torres C., J. Mercado C., T. Mundon & C. Hutchings (2009). *Análisis de sensibilidad de la resolución de engrillamiento en modelos de propagación parabólicos de fase promediada*. Enviado a Cuadernos de Mecánica Computacional.
- ii. **Sáez C.** & A. Torres, (2011). *Determinación de zonas de transición y acoplamiento para modelos de oleaje lineal y no lineal*. Enviado a Cuadernos de Mecánica Computacional.

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

Christopher Sáez Ahumada
Estudiante Ingeniería Civil Oceánica

Arnaldo Torres Contador
Meteorólogo, Mag. en Ingeniería y Tecnología Ambiental

AGRADECIMIENTOS

Sin duda quisiera agradecer a mi madre y mi padre por su fortaleza y entrega durante este arduo camino y aventura; así como mis hermanos, Lucas y Maximiliano que siempre tuvieron la paciencia y me prestaron su colaboración en los momentos más importantes estos últimos años.

Dedico estas líneas a una gran persona en mi vida, todo mi cariño e infinito aprecio y gratitud, me refiero a mi gran amiga, la Sra. Carmina Muena Q., ya que siempre tuviste más de alguna palabra de aliento y sobre todo de apoyo, en los momentos difíciles. Te quiero mucho, amiga.

Otra persona importante que dedico estas líneas de agradecimiento es a mi amigo, profesor, maestro y mentor Arnaldo Torres C. por todas las instrucciones, consejos. Estarán siempre en mí, esas mañanas y tardes de conversaciones sobre las repercusiones de una buena investigación, el papel de la ciencia en la ingeniería, entre tantos temas diversos, como la geofísica, meteorología y climatología e incluso tan diversos como la filosofía, la vida, la muerte o el universo.

Agradezco también a Leonello Vicenti por su significativa e importante ayuda en el manejo del instrumental y compartir conmigo sus conocimientos en oceanografía física, colaborar cuando necesite alguna traducción urgente o cualquier tipo de información sobre las condiciones oceanográficas del sector de estudio.

Agradezco al profesor Pedro Delgado A. que ha sido un verdadero amigo, que con sus enseñanzas me permitió apreciar el verdadero esplendor de la matemática aplicada y su infinita sabiduría y ganas de aprender cada área fueron una gran motivación en toda mi carrera.

También tengo que dar un especial y bien afectuoso agradecimiento a Viviana Varas Fredes, pese a que te conocí empezando mi postgrado realmente pareciera que fuera más tiempo y sin duda tu apoyo y consejos han sido importantes, muchas gracias amiga. Gracias a ti tuve las armas para poder luchar y tuve el valor de terminar este trabajo, cuando quise en un momento abandonar la lucha.

Agradezco sinceramente al Sr. Mario Cáceres M., por ser un apoyo en el desarrollo de la investigaciones hechas en la Tesis y entregar las herramientas de procesamiento en IDL.

A la empresa Aquacien Limitada, en especial al Sr. Ricardo Rubio, por realizar las gestiones para la utilización de la base de datos utilizadas para la validación de los resultados, así como sus comentarios y consejos del estudio realizado en la zona de los Los Vilos. A la empresa Mediterra Ingeniería Limitada, en particular al Sr. Manuel Villar por la disponibilidad de entrega de mediciones de terreno realizadas en Bahía Nuestra Señora, que también fueron parte de la validación del algoritmo de transferencia de parámetros de resumen.

Otro actor importante en esta Tesis son el Sr. Juan Carlos Mercado (Q.E.P.D), quién con su entusiasmo y colaboración cuando tuve ciertos inconvenientes fueron de gran ayuda, estaré muy agradecido por su tiempo y apoyo. También agradezco al Dr. Tim Mundon y Dr. Colin Skipper (HR-Wallinford) por ser un fuerte apoyo en los temas específicos de la presente Tesis.

También un especial agradecimiento al personal de la biblioteca de la Facultad de Ciencias del Mar y de Recursos Naturales Jeanette Santana y Pamela Contreras por su ayuda en fase de búsqueda información y revisión de formatos para la presente Tesis.

Christopher Sáez A.
Diciembre, 2016.

“Yo creo que fumar pipa contribuye a un juicio un tanto tranquilo y objetivo en todos los asuntos humanos.”

Albert Einstein (1879-1955). Físico alemán.

A mi linda madre Sandra, mi padre Alejandro, mi querido hermano Lucas su gran apoyo fue muy significativo y de corazón infinitas gracias... y sobre todo a mi abuelo Juan (Q.E.P.D) siempre llevo tus enseñanzas y consejos sabios, a todos los quiero mucho con todo mi corazón.

RESUMEN

La presente Tesis se denomina: “*Evaluación y cuantificación de los efectos no lineales en el proceso de transformación de oleaje en aguas someras. Una aplicación en Bahía Los Vilos, IV Región de Coquimbo*”; el propósito de este trabajo es complementar las técnicas de análisis del proceso de transformación de oleaje en aguas someras, para ello se ha propuesto implementar distintos modelos numéricos con distintos grados de no linealidad pasando desde un modelo lineal de fase promediada (SWAN) hasta un modelo no lineal de fase resuelta (MIKE 21 BW).

Para evaluar si los efectos no lineales en la zona de estudio son significativos se realizó en primer lugar un análisis a escala regional mediante el empleo de datos espectrales bidimensionales y parámetros de resumen obtenidos mediante la integración de estos últimos, los cuales fueron transferidos mediante una metodología semi-purista hasta un punto donde se cuentan antecedentes instrumentales. A partir de estos resultados se evidencia que a esta escala, a través de la interpretación del número de Ursell, no se detecta en ningún caso donde la interacción no lineal sea significativo. El segundo análisis está basado en una escala de corto plazo, para ello cada *burst* de datos en la última campaña fue analizado en forma individual; es importante destacar que el proceso estandarizado para este tipo de estudio, muestran que existe a esta escala una leve no linealidad según las estimaciones del sesgo y kurtosis, no obstante el peso que tienen distribuciones no lineales sobre una normal no evidencian una contribución altamente no lineal, lo que implicaría un contrapeso entre la condición del *swell* y el oleaje local *sea*.

Finalmente, el último ejercicio realizado correspondió a un análisis local en la bahía de estudio, mediante el cálculo del número de Ursell ($\log Ur$), como estimador para definir las zonas donde se generaría eventualmente el cambio de zonas lineales a no lineales ($\log Ur = 0.0$). En ellas se aprecia que mayoritariamente la zona de influencia de las zonas lineales abarcan gran parte de la bahía y su desplazamiento de esta zona de transición se desplaza proporcionalmente en función del período y la altura de ola, sin embargo la dirección no es relevante. En Sáez y Torres (2011) se logró establecer adicionalmente la frontera de transición de condiciones lineales sobre no lineales es independiente de la forma espectral.

ABSTRACT

The following thesis has been denominated: "*Evaluation and quantification of non-linear effects of the transformation process of surf on shallow water. An application on Los Vilos Bay, IV Region of Coquimbo*"; the purpose of this work is to complement the analysis technique of the wave transformation process on shallow water. For this, it's been proposed the implementation of different numeric models of distinct non-linear degrees from a linear model of averaged phase (SWAN) to a non-linear model of solved phase (MIKE 21 BW).

To evaluate if the non-linear effects of the study zone are significant, was done on first place a regional scale analysis through bidimensional spectral data and summary parameters obtained through integration of latter, which were transferred following a semi-purist methodology till the point of counting instrumental measurements. From this results its evident that from this scale across the interpretation of Ursell number haven't been detected in no case significant non-lineal interaction. The second analysis it's based on a short term scale, for this every data burst on the last campaign was analyzed individually; it's important to highlight that the standard process for this type of study, shows that exist on this scale is a low non linearity according to skewness and kurtosis. However, the weight from non-linear distributions over a normal distribution doesn't prove a high non-lineal contribution, implicating a counterweight between swell condition and local sea.

Finally, the last exercise done correspond a local analysis on the bay on study, through Ursell calculation ($\log U_r$), as denir estimate the zones were eventually would generate zone lineal change to non-lineal ($\log U_r = 0.0$). It is perceived on them that mostly the zone of influence of linear zones covers large part of the bay and its displacement from this transition zone moves proportionally according the period and height of the wave, without being relevant the direction. In Sáez and Torres (2011) was achieved to additionally establish the transition frontier of linear over non-linear conditions its independent from spectral shape.

CONTENIDOS

PRESENTACIÓN	I
APROBACIÓN	II
DECLARACIÓN	III
AGRADECIMIENTOS	IV
RESUMEN	VII
ABSTRACT	VIII

I Generalidades	1
1. GENERALIDADES	2
1.1. Introducción	2
1.1.1. Exposición de motivos	3
1.2. Organización de la tesis	4
1.3. Zona de estudio	6
1.3.1. Bahía Los Vilos	6
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y OBJETIVOS	8
2.1. Planteamiento del problema	8
2.2. Objetivos de la tesis	8
2.2.1. Objetivos generales	8
2.2.2. Objetivos específicos	9

II Marco teórico	10
3. PREDICCIÓN DE OLEAJE EN AGUAS SOMERAS	11
3.1. Asomeramiento (<i>Shoaling</i>)	11

3.1.1. Definición	11
3.1.2. Solución por la teoría lineal	11
3.1.3. Otras teorías	12
3.2. Refracción	14
3.2.1. Definición	14
3.2.2. Refracción debido al asomeramiento	14
3.3. Difracción	17
3.3.1. Definición	17
3.4. Disipación por rompimiento	18
3.4.1. Inicio de rotura	18
3.5. Refracción y difracción combinada	20
3.5.1. Aproximación elíptica	20
3.5.2. Aproximación parabólica	21
3.6. Métodos de propagación	21
3.6.1. Método de los parámetros de resumen	21
3.6.2. Método cuasi-purista	21
3.6.3. Método cuasi-purista modificado	22
3.6.4. Método purista	22
3.7. Escalas relacionadas con el oleaje	22
3.7.1. Ola individual	22
3.7.2. Estado de mar o estadística de corto plazo	22
3.7.3. Evento de tormenta	22
3.7.4. Climatología de medio plazo	23
3.7.5. Climatología de largo plazo	23
4. PROPIEDADES ESTADÍSTICAS DEL OLAJE	24
4.1. Desplazamiento de la superficie	24
4.1.1. Distribución de probabilidad del desplazamiento de la superficie	24
4.1.2. Distribuciones no lineales para el desplazamiento de la superficie libre	26
4.1.3. Distribución de probabilidad del desplazamiento de superficie con profundidad finita	27
4.2. Altura de ola	28
4.2.1. Distribución de probabilidad de altura con profundidad finita	30
4.3. Período de ola	31
4.3.1. Distribución conjunta de alturas y períodos	31
4.3.2. Distribución de probabilidad para período de ola	33
5. PROPIEDADES ESPECTRALES DEL OLAJE	35
5.1. Introducción	35
5.2. Espectro de frecuencia de energía	35
5.2.1. Momentos espectrales y anchura espectral	36

5.3. Espectros sintéticos de frecuencia típicos	37
5.3.1. Espectro de Pierson-Moskowitz	37
5.3.2. Espectro JONSWAP y sus modificaciones	38
5.3.3. Espectro TMA	40
5.3.4. Espectros multipeak	41
5.4. Funciones de dispersión direccional	44
5.4.1. Modelos de potencia coseno	45
5.5. Tipos de espectros	46
5.5.1. Discriminación de los <i>peak</i> espectrales	49

III Materiales y métodos **51**

6. MATERIALES Y MÉTODOS	52
6.1. Materiales	52
6.1.1. Cartas náuticas y otras fuentes batimétricas	52
6.1.2. Herramientas computacionales	53
6.1.3. Herramientas de modelamiento numérico	54
6.1.4. Descripción de instrumental utilizado	56
6.2. Métodos	57
6.2.1. Caracterización en aguas profundas	60
6.2.2. Transferencia de oleaje	60
6.2.3. Configuración de dominios numéricos	62

IV Resultados **65**

7. CONDICIONES DE OLEAJE EN BAHÍA LOS VILOS	66
7.1. Variabilidad temporal basado en información de espectros bidimensionales	66
7.1.1. Características espectrales	68
7.1.2. Variabilidad basado en información de parámetros resumen	70
7.2. Caracterización en aguas someras	78
7.2.1. Coeficientes de transferencia	78
7.2.2. Transformación de oleaje	88
7.3. Validación de resultados	104
7.3.1. Campaña 13 de junio 1996 a 4 de octubre 1996	104
7.3.2. Campaña 12 de agosto 1997 a 13 noviembre 1997	108
7.3.3. Campaña 23 de junio 2010 a 23 de julio 2010	114
7.4. Evaluación de la contribución de la no linealidad	121
7.4.1. Características no lineales en el registro corto plazo	121

7.4.2. Características no lineales globales en el sector de estudio	128
---	-----

V Conclusiones	130
-----------------------	------------

8. <u>CONCLUSIONES</u>	131
-------------------------------	------------

VI Referencias	134
-----------------------	------------

9. <u>REFERENCIAS</u>	135
------------------------------	------------

VII Anexos	144
-------------------	------------

A. <u>CARTA DE AUTORIZACIÓN DE USO DE DATOS</u>	145
--	------------

B. <u>RESUMEN DE TRABAJOS</u>	146
--------------------------------------	------------

B.1. Cuadernos de Mecánica Computacional (2009)	146
---	-----

B.2. Cuadernos de Mecánica Computacional (2011)	149
---	-----

C. <u>TABLAS DE INCIDENCIA ANUAL</u>	151
---	------------

C.1. Aguas profundas	151
--------------------------------	-----

C.2. Aguas someras	154
------------------------------	-----

C.2.1. Modelo lineal de fase promediada	154
---	-----

C.2.2. Modelo débilmente no lineal de fase resuelta	157
---	-----

C.2.3. Modelo no lineal de fase resuelta	160
--	-----

LISTA DE TABLAS

6.1. Arquitectura computacional empleada en el modelaje numérico	53
6.2. Características correntómetro ADCP RDI WHS600 utilizado para el registro de corrientes en Bahía Los Vilos	57
6.3. Parámetros empleados para la propagación de acuerdo a la metodología semi-purista	61
6.4. Configuración de dominios en modelos numéricos empleados en propagación espectral, dominio mayor. Configuración empleada en modelo: SWAN	63
6.5. Configuración de dominios en modelos numéricos empleados en propagación espectral, dominio menor. Configuración empleada en modelos: SWAN, REF/DIFS y MIKE BW	63
7.1. Clasificación de tipo de espectro en función del criterio de Lopatoukhin, <i>et al.</i>	67
7.2. Resumen estadístico mensual para la altura significativa espectral en aguas profundas	76
7.3. Resumen estadístico mensual para la período <i>peak</i> espectral en aguas profundas .	76
7.4. Posición de instalación del ADCP utilizado para el registro de las condiciones de oleaje en el sector de estudio	78
7.5. Comparación de estadígrafos básico según tipo de modelo aplicado en transferencia espectral bidimensional en forma semi-purista	89
7.6. Comparación de estadígrafos básicos según tipo de modelo aplicado en transferencia de parámetros de resumen en forma semi-purista	101
7.7. Estadígrafos de comparación y validación según tipo de modelo aplicado en transferencia espectral bidimensional en forma semi-purista; registros de campaña 12 de agosto 1997 a 13 noviembre 1997	112
7.8. Comparación de estadígrafos básicos según tipo de modelo aplicado en transferencia de parámetros de resumen en forma semi-purista; registros de campaña 12 de agosto 1997 a 13 noviembre 1997	113
7.9. Comparación de estadígrafos básicos según tipo de modelo aplicado en transferencia espectral bidimensional en forma semi-purista; registros de campaña 12 de agosto 1997 a 13 noviembre 1997	113
7.10. Estadígrafos de comparación y validación según tipo de modelo aplicado en transferencia de parámetros de resumen en forma semi-purista; registros de campaña 23 de junio 2010 a 23 de julio 2010	119

C.1. Tabla de incidencia altura significativa espectral - dirección del <i>peak</i> espectral, condiciones en aguas profundas	151
C.2. Tabla de incidencia período <i>peak</i> espectral - dirección del <i>peak</i> espectral, condiciones en aguas profundas	152
C.3. Tabla de incidencia período <i>peak</i> espectral - altura significativa espectral, condiciones en aguas profundas	153
C.4. Tabla de incidencia altura significativa espectral - dirección media espectral, condiciones en aguas someras (propagación espectral bidimensional – modelo lineal de fase promediada)	154
C.5. Tabla de incidencia altura significativa espectral - dirección media espectral, condiciones en aguas someras (propagación de parámetros resumen – modelo lineal de fase promediada)	154
C.6. Tabla de incidencia período <i>peak</i> espectral - dirección media espectral, condiciones en aguas someras (propagación espectral bidimensional – modelo lineal de fase promediada)	155
C.7. Tabla de incidencia período <i>peak</i> espectral - dirección media espectral, condiciones en aguas someras (propagación de parámetros resumen – modelo lineal de fase promediada)	155
C.8. Tabla de incidencia período <i>peak</i> espectral - altura significativa espectral, condiciones en aguas someras (propagación espectral bidimensional – modelo lineal de fase promediada)	156
C.9. Tabla de incidencia período <i>peak</i> espectral - altura significativa espectral, condiciones en aguas someras (propagación de parámetros resumen – modelo lineal de fase promediada)	156
C.10. Tabla de incidencia altura significativa espectral - dirección media espectral, condiciones en aguas someras (propagación espectral bidimensional – modelo débilmente no lineal de fase resuelta)	157
C.11. Tabla de incidencia altura significativa espectral - dirección media espectral, condiciones en aguas someras (propagación de parámetros resumen – modelo débilmente no lineal de fase resuelta)	157
C.12. Tabla de incidencia período <i>peak</i> espectral - dirección media espectral, condiciones en aguas someras (propagación espectral bidimensional – modelo débilmente no lineal de fase resuelta)	158
C.13. Tabla de incidencia período <i>peak</i> espectral - dirección media espectral, condiciones en aguas someras (propagación de parámetros resumen – modelo débilmente no lineal de fase resuelta)	158
C.14. Tabla de incidencia período <i>peak</i> espectral - altura significativa espectral, condiciones en aguas someras (propagación espectral bidimensional – modelo débilmente no lineal de fase resuelta)	159

C.15.Tabla de incidencia período <i>peak</i> espectral - altura significativa espectral, condiciones en aguas someras (propagación de parámetros resumen – modelo débilmente no lineal de fase resuelta)	159
C.16.Tabla de incidencia altura significativa espectral - dirección media espectral, condiciones en aguas someras (propagación espectral bidimensional – modelo no lineal de fase resuelta)	160
C.17.Tabla de incidencia altura significativa espectral - dirección media espectral, condiciones en aguas someras (propagación de parámetros resumen – modelo no lineal de fase resuelta)	160
C.18.Tabla de incidencia período <i>peak</i> espectral - dirección media espectral, condiciones en aguas someras (propagación espectral bidimensional – modelo no lineal de fase resuelta)	161
C.19.Tabla de incidencia período <i>peak</i> espectral - dirección media espectral, condiciones en aguas someras (propagación de parámetros resumen – modelo no lineal de fase resuelta)	161
C.20.Tabla de incidencia período <i>peak</i> espectral - altura significativa espectral, condiciones en aguas someras (propagación espectral bidimensional – modelo no lineal de fase resuelta)	162
C.21.Tabla de incidencia período <i>peak</i> espectral - altura significativa espectral, condiciones en aguas someras (propagación de parámetros resumen – modelo no lineal de fase resuelta)	162

LISTA DE FIGURAS

1.1. Vista general de zona de estudio, sectores Bahía Quintero a Bahía Los Vilos	6
1.2. Vista detalle de zona de estudio, sector de Bahía Los Vilos	7
3.1. Coeficiente de asomeramiento derivado de la teoría lineal de oleaje	12
3.2. Coeficiente de asomeramiento derivado de la teoría de Shuto	13
3.3. Diagrama de difracción en un dique semi-infinito con un ángulo de incidencia de 45°	17
3.4. Tipos de rotura	19
4.1. Ejemplo de desplazamiento de la superficie libre, $\zeta(t)$ en banda gravitatoria e infragravitatoria	24
4.2. Comparación de número de eventos (densidad de probabilidad) con una distribución Gaussiana	25
4.3. Distribución Rayleigh en función de la altura media	29
4.4. Función de densidad de probabilidad de Glukhovskiy para n en el rango de 0 a 0.5 con paso de 0.1	31
4.5. Contornos de densidades de probabilidad $f_2(\xi, \tau)$ para $v = 0.2$	32
4.6. Contornos de densidades de probabilidad $f_2(\xi, \tau)$ para $v = 0.6$	33
4.7. Funciones de densidad de probabilidades para períodos de ola para $v = 0.2, 0.4$ y 0.6	34
5.1. Distribución de energía en el espectro de frecuencias $S(\omega)$	36
5.2. Distribución de energía en espectro de frecuencia $S(\omega)$ de Pierson-Moskowitz en función de la velocidad del viento	38
5.3. Distribución de energía en espectro de frecuencia $S(\omega)$ de Pierson-Moskowitz en función del período <i>peak</i>	38
5.4. Distribución de energía en el espectro de frecuencia $S(f)$ de JONSWAP para períodos $T_p = 10, 15$ y 20 [s]	39
5.5. Factor de transformación como una función de la frecuencia adimensional ω_h , Kitaigorodskii <i>et al.</i> , 1975	40
5.6. Distribución de energía en espectro de frecuencia $S(\omega)$ en espectro TMA para período $T_p = 20$ [s] y profundidades $h = 500, 250, 100, 50$ y 10 [m]	41

5.7. Distribución de energía del espectro de frecuencias multipeak $S(\omega)$ con el espectro de Torsethaugen para períodos de oleaje con dominancia del oleaje tipo <i>swell</i> $T_p = 10, 15$ y 20 [s]	44
5.8. Función de dispersión direccional tipo coseno de Pierson (1955)	45
5.9. Función de dispersión tipo coseno de Longuet-Higgins (1961) con parámetro s dado por Hasselmann <i>et al.</i> (1980)	46
5.10. Espectro de un solo <i>peak</i> en el que prevalecen las condiciones de oleaje del tipo <i>swell</i>	47
5.11. Espectro de un solo <i>peak</i> en el que prevalece las condiciones de oleaje tipo <i>sea</i>	47
5.12. Espectro con dos <i>peak</i> con separación en frecuencia y dirección	48
5.13. Espectro con dos <i>peak</i> con separación sólo en la dirección	48
5.14. Espectro con dos <i>peak</i> con separación en frecuencia	49
5.15. Espectro multipeak en general	49
6.1. Correntómetro ADCP RDI WHSW600	56
6.2. Configuración de grillas numéricas utilizadas para el estudio de propagación de oleaje en el sector de Bahía Los Vilos	64
7.1. Ubicación de nodo en aguas profundas y bahías notables en el sector	66
7.2. Serie de tiempo de la anchura espectral, según Cartwright & Longuet-Higgins, condiciones en aguas profundas	68
7.3. Serie de tiempo de edad del oleaje	69
7.4. Serie de tiempo de factor de aguzamiento del espectro	69
7.5. Serie de tiempo de logaritmo de base 10 de número Ursell espectral, condiciones en aguas profundas	70
7.6. Serie de tiempo de altura significativa espectral, condiciones de aguas profundas	71
7.7. Serie de tiempo de período <i>peak</i> espectral, condiciones de aguas profundas	71
7.8. Serie de tiempo de dirección media espectral, condiciones de aguas profundas	72
7.9. Rosas de oleaje altura significativa espectral y período <i>peak</i> espectral	73
7.10. Ciclo mensual promedio para la altura significativa espectral en aguas profundas	75
7.11. Ciclo mensual promedio para el período <i>peak</i> espectral en aguas profundas	75
7.12. Ajuste a distribución Gamma para la altura significativa espectral en aguas profundas	77
7.13. Ajuste a distribución de Bretschneider para la período <i>peak</i> espectral en aguas profundas	78
7.14. Posición de instalación del ADCP utilizado para el registro de las condiciones de oleaje en el sector de estudio	79
7.15. Coeficiente de agitación obtenido con modelo de transformación lineal de fase promediada, nodo mediciones instrumentales	80
7.16. Dirección incidente con modelo de transformación lineal de fase promediada, nodo mediciones instrumentales	80

7.17. Coeficiente de agitación obtenido mediante modelo lineal de transformación de oleaje; direcciones: SW, W y NW y períodos <i>peak</i> de 8, 12 y 24 [s]	81
7.18. Dirección incidente con modelo de transformación débilmente no lineal de fase resuelta, nodo mediciones instrumentales	82
7.19. Coeficiente de agitación obtenido con modelo de transformación débilmente no lineal de fase resuelta, nodo mediciones instrumentales	82
7.20. Coeficiente de agitación obtenido mediante modelo débilmente no lineal de transformación de oleaje; direcciones: SW, W y NW y períodos <i>peak</i> de 8, 12 y 24 [s]	83
7.21. Frente de ola incidente obtenido mediante modelo débilmente no lineal de transformación de oleaje; direcciones: SW, W y NW y períodos <i>peak</i> de 8, 12 y 24 [s]	84
7.22. Coeficiente de agitación obtenido con modelo de transformación no lineal de fase resuelta, nodo mediciones instrumentales	85
7.23. Coeficiente de agitación obtenido mediante modelo no lineal de transformación de oleaje; direcciones: SW, W y NW y períodos <i>peak</i> de 8, 12 y 24 [s]	86
7.24. Frente de ola incidente obtenido mediante modelo no lineal de transformación de oleaje; direcciones: SW, W y NW y períodos <i>peak</i> de 8, 12 y 24 [s]	87
7.25. Ciclo mensual para altura significativa espectral obtenidas de la propagación espectral bidimensional semi-purista	90
7.26. Ciclo mensual para período <i>peak</i> espectral obtenidas de la propagación espectral bidimensional semi-purista	91
7.27. Series de tiempo altura significativa espectral obtenidas de la propagación espectral bidimensional semi-purista	92
7.28. Series de tiempo período <i>peak</i> espectral obtenidas de la propagación espectral bidimensional semi-purista	93
7.29. Series de tiempo dirección medio espectral obtenidas de la propagación espectral bidimensional semi-purista	94
7.30. Series de tiempo factor de aguzamiento del espectro obtenidas de la propagación espectral bidimensional semi-purista	95
7.31. Series de tiempo factor de la anchura espectral, según Cartwright & Longuet-Higgins, obtenidas de la propagación espectral bidimensional semi-purista	96
7.32. Series de tiempo factor de la anchura espectral, según Longuet-Higgins M.S., obtenidas de la propagación espectral bidimensional semi-purista	97
7.33. Series de tiempo factor de irregularidad espectral, según Cartwright & Longuet-Higgins, obtenidas de la propagación espectral bidimensional semi-purista	98
7.34. Series de tiempo de logaritmo de base 10 de número Ursell espectral, obtenidas de la propagación espectral bidimensional semi-purista	99
7.35. Rosas de oleaje altura significativa espectral obtenidas de la propagación espectral bidimensional semi-purista	100

7.36. Rosas de oleaje período <i>peak</i> espectral obtenidas de la propagación espectral bidimensional semi-purista	100
7.37. Serie de tiempo período <i>peak</i> espectral obtenidas de la propagación semi-purista de parámetros resumen	101
7.38. Series de tiempo altura significativa espectral obtenidas de la propagación semi-purista de parámetros resumen	102
7.39. Series de tiempo dirección media espectral obtenidas de la propagación semi-purista de parámetros resumen	103
7.40. Rosas de oleaje altura significativa espectral obtenidas de la propagación semi-purista de parámetros resumen	103
7.41. Rosas de oleaje período <i>peak</i> espectral obtenidas de la propagación semi-purista de parámetros resumen	104
7.42. Comparación entre distribución conjunta de altura significativa espectral y período <i>peak</i> espectral tanto para propagación espectral bidimensional (panel superior) y de parámetros de resumen y tipo de modelo empleado (panel inferior); registros de campaña 13 de junio 1996 a 4 de octubre 1996	105
7.43. Comparación entre distribución conjunta de altura significativa espectral y dirección media espectral tanto para propagación espectral bidimensional y de parámetros de resumen y tipo de modelo empleado; registros de campaña 13 de junio 1996 a 4 de octubre 1996	106
7.44. Comparación entre distribución conjunta de período <i>peak</i> espectral y dirección media espectral tanto para propagación espectral bidimensional (panel central) y de parámetros de resumen y tipo de modelo empleado (panel inferior); registros de campaña 13 de junio 1996 a 4 de octubre 1996	107
7.45. Comparación de series de tiempo para la estimación de altura significativa espectral para la propagación de parámetros de resumen y tipo de modelo empleado; registros de campaña 12 de agosto 1997 a 13 noviembre 1997	109
7.46. Comparación de series de tiempo para la estimación de altura significativa espectral para la propagación espectral bidimensional y tipo de modelo empleado; registros de campaña 12 de agosto 1997 a 13 noviembre 1997	109
7.47. Comparación de series de tiempo para la estimación de período medio para la propagación de parámetros resumen y tipo de modelo empleado; registros de campaña 12 de agosto 1997 a 13 noviembre 1997	110
7.48. Comparación de series de tiempo para la estimación de período medio para la propagación espectral bidimensional y tipo de modelo empleado; registros de campaña 12 de agosto 1997 a 13 noviembre 1997	110
7.49. Comparación entre distribución conjunta de altura significativa espectral y período <i>peak</i> espectral tanto para propagación espectral bidimensional (panel superior) y de parámetros de resumen (panel inferior) y tipo de modelo empleado; registros de campaña 12 de agosto 1997 a 13 noviembre 1997	111

7.50. Análisis de correlación entre datos simulados y de campo tanto para propagación espectral bidimensional (panel superior) y de parámetros de resumen (panel inferior) y tipo de modelo empleado; registros de campaña 12 de agosto 1997 a 13 noviembre 1997	112
7.51. Comparación de series de tiempo para la estimación de altura significativa espectral para la propagación de parámetros de resumen y tipo de modelo empleado; registros de campaña 23 de junio 2010 a 23 de julio 2010	115
7.52. Comparación de series de tiempo para la estimación de período <i>peak</i> espectral para la propagación de parámetros resumen; registros de campaña 23 de junio 2010 a 23 de julio 2010	115
7.53. Comparación de series de tiempo para la estimación de dirección media espectral para la propagación de parámetros resumen y tipo de modelo empleado; registros de campaña 23 de junio 2010 a 23 de julio 2010	116
7.54. Comparación de curvas de excedencia para la estimación de altura significativa espectral para la propagación de parámetros de resumen y tipo de modelo empleado; registros de campaña 23 de junio 2010 a 23 de julio 2010	116
7.55. Comparación de curvas de excedencia para la estimación de período <i>peak</i> espectral para la propagación de parámetros de resumen; registros de campaña 23 de junio 2010 a 23 de julio 2010	117
7.56. Comparación entre distribución conjunta de altura significativa espectral y dirección media espectral para propagación de parámetros de resumen y tipo de modelo empleado; registros de campaña 23 de junio 2010 a 23 de julio 2010	117
7.57. Comparación entre distribución conjunta de período <i>peak</i> espectral y dirección media espectral para propagación de parámetros de resumen y tipo de modelo empleado; registros de campaña 23 de junio 2010 a 23 de julio 2010	118
7.58. Análisis de correlación entre datos simulados y de campo obtenidos mediante propagación de de parámetros de resumen y tipo de modelo empleado; registros de campaña 23 de junio 2010 a 23 de julio 2010	118
7.59. Resumen estadístico para período <i>peak</i> espectral, propagación de parámetros de resumen; registros de campaña 23 de junio 2010 a 23 de julio 2010	119
7.60. Resumen estadístico para altura significativa espectral, propagación de parámetros de resumen y tipo de modelo empleado; registros de campaña 23 de junio 2010 a 23 de julio 2010	120
7.61. Serie de desnivelaciones instantáneas data cruda, registros seguimiento acústico de la superficie obtenidos mediante el ADCP; campaña 23 de junio 2010 a 23 de julio 2010	122
7.62. Serie de desnivelaciones instantáneas normalizada, registros seguimiento acústico de la superficie obtenidos mediante el ADCP; campaña 23 de junio 2010 a 23 de julio 2010	123

7.63. Serie de desnivelaciones instantáneas a la cual se aplicó filtro cosenoidal, registros seguimiento acústico de la superficie obtenidos mediante el ADCP; campaña 23 de junio 2010 a 23 de julio 2010	123
7.64. Comparación de ajuste de distribución de desnivelaciones instantáneas a una distribución normal estándar y distribución de Huang <i>et al.</i> (1983b), registros seguimiento acústico de la superficie obtenidos mediante el ADCP; campaña 23 de junio 2010 a 23 de julio 2010	124
7.65. Comparación de ajuste de alturas en un <i>burst</i> de datos a una distribución Rayleigh y distribución de Glukhovskiy (1966), registros seguimiento acústico de la superficie obtenidos mediante el ADCP; campaña 23 de junio 2010 a 23 de julio 2010	124
7.66. Distribución de frecuencias relativas para el período en un <i>burst</i> de datos, registros seguimiento acústico de la superficie obtenidos mediante el ADCP; campaña 23 de junio 2010 a 23 de julio 2010	125
7.67. Distribución de frecuencias relativas para las alturas y el período en un <i>burst</i> de datos, registros seguimiento acústico de la superficie obtenidos mediante el ADCP; campaña 23 de junio 2010 a 23 de julio 2010	125
7.68. Espectro de potencias para la serie de desnivelaciones instantáneas normalizadas en un <i>burst</i> de datos, registros seguimiento acústico de la superficie obtenidos mediante el ADCP; campaña 23 de junio 2010 a 23 de julio 2010	126
7.69. Espectro tipo <i>wavelet</i> de potencias para la serie de desnivelaciones instantáneas normalizadas en un <i>burst</i> de datos, registros seguimiento acústico de la superficie obtenidos mediante el ADCP; campaña 23 de junio 2010 a 23 de julio 2010	126
7.70. Serie de tiempo de la varianza de todos los <i>burst</i> de datos, registros seguimiento acústico de la superficie obtenidos mediante el ADCP; campaña 23 de junio 2010 a 23 de julio 2010	127
7.71. Serie de tiempo del sesgo de todos los <i>burst</i> de datos, registros seguimiento acústico de la superficie obtenidos mediante el ADCP; campaña 23 de junio 2010 a 23 de julio 2010	127
7.72. Serie de tiempo del kurtosis de todos los <i>burst</i> de datos, registros seguimiento acústico de la superficie obtenidos mediante el ADCP; campaña 23 de junio 2010 a 23 de julio 2010	128
7.73. No linealidad global expresada en función del logaritmo del número de Ursell; direcciones: SW, W y NW y períodos <i>peak</i> de 8, 12 y 24 [s]	129