



## **FACULTAD DE INGENIERÍA**

Memoria del proyecto para optar al Título de  
Ingeniero Civil Oceánico

**“METODOLOGÍA DE ANÁLISIS ESTÁTICO Y DINÁMICO PARA EL  
CÁLCULO DE SISTEMAS DE FONDEO EN BALSAS JAULAS DE  
30X30 METROS. IMPLEMENTACIÓN EN ISLA TAHUENAHUEC,  
REGIÓN DE AYSÉN, CHILE”**

---

*ROMINA ROXANA RIVERA LEMONAO*

*DICIEMBRE 2012*

**UNIVERSIDAD DE VALPARAÍSO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**INGENIERÍA CIVIL OCEÁNICA**

*ROMINA ROXANA RIVERA LEMONAO*

**COMISIÓN EVALUADORA**

**CALIFICACIÓN**

	<b>Nota</b>	<b>Firma</b>
<b>Víctor Pérez</b> Profesor Guía	_____	_____
<b>Raúl Oberreuter</b> Profesor Evaluador 1	_____	_____
<b>Matías Quezada</b> Profesor Evaluador 2	_____	_____

*MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL OCEÁNICO*

*VALPARAÍSO, CHILE  
DICIEMBRE 2012*

## DECLARACIÓN

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

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

*La base de datos de Empresa Exportadora Los Fiordos Ltda. y el software Aquastructures cuya licencia le pertenece a Empresas Marítimas Oxxean Ltda. utilizados para el desarrollo de esta memoria, han sido cedidos a la alumna tesista para fines académicos exclusivos de este proyecto de título. El uso comercial de esta información por parte de terceros, será de su responsabilidad y devengará eventualmente en el cobro de los derechos correspondientes.*

Víctor Pérez Valdés  
Profesor Guía

Romina Rivera Lemonao  
Alumna Memorista

## AGRADECIMIENTOS

*Quisiera expresar mis agradecimientos a:*

*Don Víctor Pérez Valdés, por acceder gentilmente a ser mi profesor guía y ayudarme a aclarar todas las dudas e interrogantes que se generaron durante el desarrollo de este documento. Además, por haber realizado todas las gestiones para que este proyecto finalmente llegase a su fin.*

*A Matías Quezada y Raúl Oberreuter por ofrecer toda su experiencia para el correcto planteamiento de este proyecto.*

*A Patricio Correa Morales quien ha sido uno de los pilares fundamentales para que esta memoria se llevase a cabo. Su constante apoyo, motivación y dedicación han sido una inspiración -más allá de lo académico- como experiencia de vida.*

*A Gabriela San Martín, Gerardo Andrade y Cristian Sánchez por su constante apoyo, preocupación y colaboración en toda la información que requiriese, y además por la paciencia que tuvieron ante cualquier requerimiento que se me ocurriera.*

*A las tripulaciones de los barcos de fondeo de Empresas Marítimas Oxxean, quienes en terreno me enriquecieron con toda su experiencia y sabiduría como gente de mar.*

*A Exportadora Los Fiordos y Empresas Marítimas Oxxean por facilitar todos los datos y software para el desarrollo de esta memoria.*

*A mi familia por haber inculcado en mí toda su sabiduría, llevándome a lo que hoy en día soy. Gracias a todo su cariño, tolerancia y paciencia me han formado como persona y como profesional.*

*A mis amigos Tiare Espinoza y Leonardo Rodríguez por estar siempre presente en los momentos más significativos de mi vida.*

*Finalmente a todos aquellos que de alguna forma contribuyeron al desarrollo de este documento y que no haya nombrado.*

*Infinitas gracias a todos.  
Romina Rivera Lemonao*

*Dedicada a Mario Guillermo Rivera Leiva,  
el mejor maestro que pudiese tener y quien  
me ha enseñado que para ser ingeniero  
hace falta más que un Título.*

*Aprende de los maestros porque de ellos heredarás un conocimiento que no se encuentra escrito en ningún papel...*

## CONTENIDOS

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>3</b>
2.1 MOTIVACIÓN .....	3
2.2 OBJETIVOS GENERALES .....	3
2.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	3
<b>3. MARCO TEÓRICO Y METODOLÓGICO .....</b>	<b>4</b>
3.1 ANÁLISIS LÍNEAS DE FONDEO .....	7
3.1.1 ANÁLISIS CONSIDERANDO LOS EFECTOS BATIMÉTRICOS .....	8
3.2 ANÁLISIS CONSIDERANDO SOFTWARE AQUASIM .....	18
3.2.1 GENERALIDADES .....	18
3.2.2 ANÁLISIS ESTÁTICO .....	18
3.2.3 ANÁLISIS DINÁMICO .....	20
3.2.4 RIGIDEZ Y ESFUERZOS INTERNOS SOBRE LOS ELEMENTOS .....	22
3.2.5 MASA Y FUERZAS AMORTIGUADORAS SOBRE LOS ELEMENTOS .....	28
3.2.6 CÁLCULO DE FUERZAS .....	32
3.2.7 APLICACIÓN DE LAS FUERZAS HIDRODINÁMICAS .....	37
3.2.8 FUERZAS HIDROSTÁTICAS .....	38
3.2.9 FUERZAS SOBRE BOYAS .....	39
3.2.10 DESCRIPCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE .....	40
<b>4. ANÁLISIS Y ESTIMACIÓN DE LAS FUERZAS .....</b>	<b>43</b>
4.1 ANÁLISIS CONDICIONES NATURALES .....	43
4.1.1 VIENTO .....	43
4.1.2 CORRIENTE .....	48
4.1.3 OLEAJE .....	51
4.1.4 FOULING .....	62
4.2 METODOLOGÍA GENERAL PARA EL CÁLCULO DE LAS FUERZAS .....	63
4.2.1 VIENTO .....	63
4.2.2 CORRIENTE .....	69
4.2.3 OLEAJE .....	76
4.3 CLASIFICACIÓN DE LA LOCALIDAD .....	87
<b>5. ANÁLISIS Y DIMENSIONAMIENTO ELEMENTOS DE FONDEO .....</b>	<b>90</b>
5.1 ANÁLISIS ELEMENTOS Balsa JAULA .....	90

5.1.1	ELEMENTOS DE MÓDULO .....	90
5.1.2	ELEMENTOS LÍNEAS DE FONDEO.....	91
5.1.3	ELEMENTOS DE FLOTACIÓN .....	109
5.1.4	ELEMENTOS DE REDES.....	114
5.2	DIMENSIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS DE FONDEO.....	117
5.2.1	GENERALIDADES.....	117
5.2.2	ELEMENTOS DE ANCLAJE.....	117
5.2.3	LÍNEA DE FONDEO .....	129
5.2.4	CADENAS DE FONDEO. ....	134
5.2.5	ELEMENTOS DE UNIÓN DE LÍNEAS DE FONDEO.....	134
5.2.6	BOYAS.....	134
5.2.7	CONSIDERACIONES ESPECIALES .....	134
<b>6.</b>	<b>VALIDACIÓN DE LA METODOLOGÍA EN ISLA TAHUENAHUEC .....</b>	<b>135</b>
6.1	GENERALIDADES.....	135
6.2	CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO .....	136
6.2.1	MAREAS .....	136
6.2.2	BATIMETRÍA.....	143
6.2.3	CORRIENTE .....	145
6.2.4	VIENTO.....	149
6.2.5	OLEAJE.....	151
6.3	CÁLCULO DE LAS FUERZAS.....	154
6.3.1	ANTECEDENTES DE LA ESTRUCTURA A MODELAR .....	154
6.3.2	RED PECERA:.....	154
6.3.3	ANTECEDENTES MEDIOAMBIENTALES A CONSIDERAR .....	154
6.3.4	CARACTERÍSTICAS DEL MODELO.....	155
6.3.5	DETERMINACIÓN DE ESFUERZOS.....	158
6.4	SELECCIÓN ELEMENTOS DE FONDEO .....	170
6.4.1	ELEMENTOS DE FONDEO.....	170
6.4.2	CÁLCULO DE BOYAS.....	173
6.4.3	ESQUEMA LÍNEAS DE FONDEO .....	174
<b>7.</b>	<b>FACTIBILIDAD TÉCNICA - ECONÓMICA.....</b>	<b>177</b>
7.1	ASPECTOS TÉCNICOS .....	177
7.1.1	SEGURIDAD Y MANTENCIÓN .....	177
7.2	ASPECTOS ECONÓMICOS.....	179

7.2.1	INVERSIÓN.....	179
7.2.2	GASTOS GENERALES .....	182
7.2.3	RENTABILIDAD .....	185
<b>8.</b>	<b>CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y COMENTARIOS.....</b>	<b>189</b>
8.1	CONCLUSIONES FINALES .....	189
8.1.1	ANÁLISIS LÍNEAS DE FONDEO.....	189
8.1.2	ESFUERZOS DEBIDO A VARIABLES OCEANOGRÁFICAS.....	190
8.1.3	DIMENSIONAMIENTO ELEMENTOS DE FONDEO.....	191
8.1.4	MODELACIÓN NUMÉRICA ISLA TAHUENAHUEC .....	191
8.1.5	ANÁLISIS DE COSTOS.....	192
8.2	RECOMENDACIONES .....	192
8.2.1	PARA FUTUROS LINEAMIENTOS .....	192
8.2.2	DEL SECTOR ESTUDIADO .....	193
8.3	COMENTARIOS .....	194
<b>9.</b>	<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>197</b>
<b>10.</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>201</b>
10.1	ANEXO I: METODOLOGÍA ESTUDIO CONDICIONES NATURALES .....	202
10.1.1	ESTUDIO MAREAS .....	203
10.1.2	ESTUDIO BATIMETRÍA.....	207
10.2	ANEXO II: CÁLCULO DE ESFUERZOS.....	209
10.2.1	ESFUERZOS ANÁLISIS AQUASIM .....	210
10.3	ANEXO III: ZONIFICACIÓN BARRIOS PRODUCCIÓN ACUICOLA.....	211
10.4	ANEXO IV: ANÁLISIS DE COSTOS.....	214
10.4.1	COSTOS GENERADOS POR MANTENCIONES.....	215



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Escala Beaufort del viento. ....	44
Tabla 2: Estimación de los parámetros del Oleaje. ....	57
Tabla 3: Valores coeficiente de forma.....	64
Tabla 4: Valores coeficiente de altura.....	64
Tabla 5: Valores coeficiente de forma según American Petroleum Institute. ....	65
Tabla 6: Valores coeficiente de forma según Lloyd's Register.....	65
Tabla 7: Coeficientes de arrastre para tipos de materiales para redes. ....	74
Tabla 8: Factor de multiplicación para la corriente como resultado del periodo de retorno. ....	76
Tabla 9: Coeficiente de Arrastre .....	81
Tabla 10: Coeficiente de Inercia. ....	82
Tabla 11: Resumen de las características de la ola según TLO. ....	84
Tabla 12: Clases localidad determinada por altura y periodo de ola.....	87
Tabla 13: Clases localidad sobre la base de la corriente media. ....	88
Tabla 14: Clases de zonas. Clasificación de la zona a través del oleaje y corriente. ....	88
Tabla 15: Condición de la zona. Relación entre las condiciones de la zona y los tipos de zonas. ....	89
Tabla 16: Parámetros para dimensionar.....	89
Tabla 17: Propiedades mecánicas del acero ASTM A 36. ....	91
Tabla 18: Propiedades físicas y mecánicas de la Cadena Galvanizada.....	93
Tabla 19: Propiedades físicas y mecánicas de Cadena con Mallete. ....	94
Tabla 20: Propiedades técnicas de los cables de fondeo. ....	96
Tabla 21: Recubrimiento de Zinc aplicado a los diferentes alambres. ....	98
Tabla 22: Propiedades mecánicas de los grilletes tipo Lira.....	101
Tabla 23: Propiedades mecánicas de los guardacabos. ....	102
Tabla 24: Propiedades mecánicas de las mordazas. ....	103
Tabla 25: Categoría de Anclas v/s Eficiencia. ....	105
Tabla 26: Eficiencia de anclas v/s tipo de sustrato. ....	106
Tabla 27: Resultados ensayos de resistencia perno anclaje Empresas Marítimas Oxxean S.A. ....	108
Tabla 28: Propiedades mecánicas de las boyas. ....	112
Tabla 29: Propiedades del polietileno utilizado en las boyas. ....	112
Tabla 30: Propiedades cabos de polipropileno y nylon. ....	116
Tabla 31: Coeficiente de adherencia para pesos muertos. ....	123
Tabla 32: Efecto pendiente en comportamiento técnico del ancla. ....	127
Tabla 33: Factores de seguridad recomendados para anclas dinámicas. ....	127

Tabla 34: Capacidad de carga del suelo.....	128
Tabla 35: Ángulo de fricción interna para suelos arenosos.....	129
Tabla 36: Parámetros geotécnicos para arcilla.....	129
Tabla 37: Factores de seguridad para dimensionar las líneas de fondeo.....	130
Tabla 38: Planos mareales para Puerto Chacabuco según pronóstico 2009 a 2011.....	140
Tabla 39: Corrección de los niveles de marea por efectos de la presión.....	142
Tabla 40: Planos mareales de diseño para Puerto Chacabuco.....	143
Tabla 41: Fases lunares del periodo en estudio.....	146
Tabla 42: Distribución porcentual de la intensidad de corrientes.....	147
Tabla 43: Frecuencia general de la dirección de la corriente.....	147
Tabla 44: Predicción de altura y periodo de ola, sector Isla Tahuenahuec.....	153
Tabla 45: Altura y periodo de ola de diseño.....	153
Tabla 46: Casos considerados para la determinación de los esfuerzos.....	158
Tabla 47: Esfuerzos máximos sobre las líneas de fondeo.....	171
Tabla 48: Materiales de fondeo considerados para las líneas de fondeo Cabecera. Weste.....	171
Tabla 49: Materiales de fondeo considerados para las líneas de fondeo Lateral Norte.....	172
Tabla 50: Materiales de fondeo considerados para las líneas de fondeo Cabecera Este.....	172
Tabla 51: Materiales de fondeo considerados para las líneas de fondeo Lateral Sur.....	172
Tabla 52: Periodo de protección de las redes.....	177
Tabla 53: Cantidad de cambios y recambios de redes, y limpieza de fondeos.....	178
Tabla 54: Costos puesta en marcha centro cultivo.....	179
Tabla 55: Comparación de la Rentabilidad para los Módulos estudiados.....	188

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Configuración del sistema de anclaje rotario a un solo punto. ....	6
Figura 2: Configuración anclaje fijo a múltiples puntos. ....	6
Figura 3: Flexibilidad geométrica de un sistema de fondeo. ....	7
Figura 4: Segmento de cable colgado libremente en equilibrio estático. ....	9
Figura 5: Modelo de cables colocados en una plataforma flotante. ....	10
Figura 6: Visualización de un cable de una plataforma flotante. ....	10
Figura 7: Diagrama de un elemento de cable en un fondo plano. ....	12
Figura 8: Diagrama de un cable en A) fondo plano y B) con pendiente de fondo. ....	12
Figura 9: Visualización de un cable de una plataforma flotante con pendiente variable. ....	13
Figura 10: Componentes de las fuerzas en los extremos del cable. ....	15
Figura 11: Elementos tipo barra en un sistema de coordenadas local. ....	22
Figura 12: Elementos tipo membrana. ....	31
Figura 13: Ejemplo en 2D de un flujo alrededor de un cilindro. ....	34
Figura 14: Flujo perpendicular a la red. ....	35
Figura 15: Definición básica para una red. ....	35
Figura 16: Estructura de un red típica. ....	36
Figura 17: Sección transversal típica de una balsa jaula. ....	37
Figura 18: Corrección por ubicación del instrumento de medición. ....	46
Figura 19: Corrección de la velocidad del viento por diferencia de temperatura. ....	46
Figura 20: Corrección por variabilidad temporal de la velocidad del viento. ....	47
Figura 21: Diagrama para determinar la velocidad del viento. ....	48
Figura 22: Correntómetro fijo para mediciones eulerianas. ....	49
Figura 23: Ubicación de ADCP para mediciones eulerianas. ....	50
Figura 24: Boya lagrangeana de tipo ARGOS. ....	50
Figura 25: Concepto de geometría radial en aguas interiores. ....	52
Figura 26: Altura de ola limitada por el fetch. ....	54
Figura 27: Periodo de la ola limitada por el fetch. ....	55
Figura 28: Altura de la ola limitada por el tiempo de generación. ....	55
Figura 29: Periodo de la ola limitada por el tiempo de generación. ....	56
Figura 30: Predicción de la ola significativa. ....	58
Figura 31: Predicción de la ola significativa (Continuación). ....	59
Figura 32: Variación de $(H_{max}/H_s)^2$ con N. ....	59
Figura 33: Altura de ola significativa y periodo peak para oleaje espectral. ....	60

Figura 34: Altura de ola significativa y periodo peak para oleaje espectral.....	60
Figura 35: Fouling sobre cable de fondeo. ....	62
Figura 36: Comparación de la fuerza del viento a través de distintas formulaciones. ....	66
Figura 37: Factor de forma de acuerdo a NS 3479. ....	69
Figura 38: Perfil de la velocidad de la corriente.....	70
Figura 39: Comparación fuerza de la corriente para tipos de redes con fouling. ....	75
Figura 40: Factor de reducción para balsas jaula de 25x25[m] y 30x30[m] .....	76
Figura 41: Parámetros característicos de una ola. ....	77
Figura 42: Clasificación de las olas, según su periodo.....	77
Figura 43: Definición de parámetros en Oleaje Regular.....	78
Figura 44: Definición de parámetros en Oleaje Irregular.....	78
Figura 45: Validación de las teorías de acuerdo al caso de aplicación.....	79
Figura 46: Velocidad y aceleración de las partículas en una onda. ....	83
Figura 47: Desplazamiento de las partículas en una onda.....	83
Figura 48: Tipos de pasillos utilizados en un Módulo 30x30 [m]. ....	90
Figura 49: Disposición de los pasillos en un Módulo de 14 jaulas 30x30m.....	91
Figura 50: Cadena de eslabón largo galvanizada. ....	92
Figura 51: Unión cadena galvanizada con cable de fondeo y conexión de boya.....	92
Figura 52: Modelo cadena con mallete. ....	93
Figura 53: Elementos que componen un cable de fondeo. ....	94
Figura 54: Tipos de cables de acuerdo al Tipo de Alma.....	95
Figura 55: Tipos de cables de acuerdo al Tipo de Construcción.....	96
Figura 56: Configuraciones típicas de cables de acero.....	96
Figura 57: Corrosión de cables de acero, dependiendo de su configuración. ....	97
Figura 58: Esquema a escala de la protección de zinc para cable de 1". ....	98
Figura 59: Efectos del tratamiento de lubricación.....	99
Figura 60: Capacidad de elongación de Cabos.....	99
Figura 61: Comparación Límite de ruptura de Cabos.....	100
Figura 62: Imagen de los grilletes tipo Lira. ....	101
Figura 63: Forma típica de los guardacabos. ....	102
Figura 64: Forma típica de las mordazas.....	102
Figura 65: Mordazas instaladas en una línea de fondeo. ....	103
Figura 66: Forma típica de los muertos de anclaje.....	104
Figura 67: Partes y componentes de un Ancla. ....	105
Figura 68: Experimento para determinar el poder de agarre del ancla. ....	107

Figura 69: Perno de anclaje in-situ. ....	107
Figura 70: Esfuerzo sobre un Perno Anclaje. ....	108
Figura 71: Sistema HIT RE-500. ....	108
Figura 72: Mecanismos de falla perno anclaje. ....	109
Figura 73: Vista en terreno de los flotadores en los pasillos. ....	110
Figura 74: Esquema de disposición de los flotadores en una balsa jaula. ....	110
Figura 75: Disposición de las boyas por pasillo. ....	111
Figura 76: Partes típicas de una boya. ....	111
Figura 77: Curva Esfuerzo – Deformación Acero. ....	113
Figura 78: Tipo y dimensiones de los contrapesos. ....	114
Figura 79: Dureza Brinell de acuerdo al diámetro de los elementos. ....	115
Figura 80: Propiedades mecánicas del acero tipo SAE1020. ....	115
Figura 81: Cabos utilizados en la salmonicultura. ....	116
Figura 82: Tipos de anclaje. ....	117
Figura 83: Diagrama de fuerzas sobre un peso muerto de hormigón. ....	119
Figura 84: Fuerzas sobre un peso muerto de hormigón. ....	120
Figura 85: Representación ángulo $\beta$ en la línea de fondeo. ....	126
Figura 86: Acoderamiento de Wellboat y efecto sobre el sistema de fondeo. ....	133
Figura 87: Ubicación Isla Tahuenahuec, Región de Aysén. ....	135
Figura 88: Centro cultivo Isla Tahuenahuec, Región de Aysén. ....	135
Figura 89: Localidades de referencia para estimar el Patrón de Mareas en Isla Tahuenahuec. ....	137
Figura 90: Patrón de Marea Bahía Orange y Puerto Chacabuco septiembre – octubre, 2011. ....	138
Figura 91: Registro del Nivel del Mar en Puerto Melinka y Puerto Lagunas. ....	139
Figura 92: Áreas representativas de los planos batimétricos de POCH. ....	144
Figura 93: Batimetría sector Isla Tahuenahuec 2D. ....	144
Figura 94: Batimetría sector Isla Tahuenahuec 3D. ....	145
Figura 95: Sector emplazamiento centro Tahuenahuec. ....	145
Figura 96: Magnitud de la corriente en la columna de agua. ....	148
Figura 97: Aeródromos de la Región de Aysén. ....	149
Figura 98: Aeródromo más cercano a la zona de Estudio. ....	150
Figura 99: Cálculo del fetch para vientos del WNW (Caso 1). ....	151
Figura 100: Cálculo del fetch para vientos del NNW (Caso 2). ....	152
Figura 101: Proyección del Módulo 30x30[m] en sector Norte de Isla Tahuenahuec. ....	156
Figura 102: Distribución de los materiales de fondeo por sección del Módulo. ....	156
Figura 103: Vista en planta en Modelo SuperDraw. ....	157

Figura 104: Vista en perspectiva en SuperDraw .	157
Figura 105: Esfuerzos producidos en el Caso 1. Sistema Intacto.	159
Figura 106: Esfuerzos producidos en el Caso 1. Sistema Línea Cortada.	160
Figura 107: Esfuerzos producidos en el Caso 2. Sistema Intacto.	161
Figura 108: Esfuerzos producidos en el Caso 2 a). Sistema Línea Cortada.	162
Figura 109: Esfuerzos producidos en el Caso 2 b). Sistema Línea Cortada.	163
Figura 110: Esfuerzos producidos en el Caso 3. Sistema Intacto.	164
Figura 111: Esfuerzos producidos en el Caso 3. Sistema Línea Cortada.	165
Figura 112: Esfuerzos producidos en el Caso 4. Sistema Intacto.	166
Figura 113: Esfuerzos producidos en el Caso 4 a). Sistema Línea Cortada.	167
Figura 114: Esfuerzos producidos en el Caso 4 b). Sistema Línea Cortada.	168
Figura 115: Esfuerzos producidos en el Caso 5. Sistema Intacto.	169
Figura 116: Esfuerzos producidos en el Caso 5, Sistema Línea Cortada.	170
Figura 117: Esquema líneas de fondeo Cabecera Weste.	175
Figura 118: Esquema líneas de fondeo Lateral Norte.	175
Figura 119: Esquema líneas de fondeo Cabecera Este.	176
Figura 120: Esquema líneas de fondeo Lateral Sur.	176
Figura 121: Adherencia en tramo boya pasillo y cable de fondeo.	178
Figura 122: Nivel de carga de fouling en redes.	178
Figura 123: Variación de los costos de inversión por Módulo.	180
Figura 124: Porcentaje de incidencia de los costos de redes y fondeos en la inversión.	181
Figura 125: Porcentaje aumento en la inversión separado por materiales de la línea de fondeo.	182
Figura 126: Costos mensuales de mantención para ciclo salar.	183
Figura 127: Gastos mensuales acumulados de mantención para ciclo salar.	184
Figura 128: Porcentaje de recuperación y pérdida de utilidades.	186
Figura 129: Distribución de la utilidad de la producción en costos de inversión y utilidad final.	186
Figura 130: Diferencia en las utilidades considerando inversión en fondeos.	187
Figura 131: Plano de fondeo Centro Tahuenahuec.	194
Figura 132: Sector Punta de Isla Tahuenahuec.	195

## RESUMEN

El presente Proyecto de Título tiene por objeto el plantear una metodología que permita de forma detallada analizar el comportamiento de las líneas de fondeo y dimensionar sus elementos, para balsas jaula, de acuerdo a una adecuada caracterización de las condiciones naturales. Para ello, se recogen conocimientos de la Ingeniería de Fondeos y Marítima de diferentes entidades extranjeras, con el fin de establecer parámetros bajo los cuales futuros centro de cultivos puedan ser fondeados bajo condiciones correctamente establecidas.

Este documento ha sido abordado en cinco puntos principales. Se comienza de la base de entender el comportamiento de los sistemas de fondeo, desde el análisis de una línea de fondeo de forma estática, a un conjunto de líneas analizadas de una forma dinámica a través del software AquaSim. Para ello se requiere caracterizar el medio, determinando las condiciones naturales presentes que son las forzantes que generan los esfuerzos sobre los sistemas de fondeo, para posteriormente realizar un caso de aplicación en Isla Tahuenahuec, en donde se compara un Módulo de 16 balsas jaulas de 25x25 [m] instalado bajo el alero de cálculos estáticos, versus un Módulo de 14 balsas jaulas de 30x30 [m] analizado de forma dinámica a través de AquaSim, de forma poder también analizar desde el punto de vista económico la utilización y/o cambio de módulos de dimensiones más pequeñas a balsas jaulas de 30x30 [m].

En el caso de validación, se propone en el sector de estudio un sistema de fondeo tal que permita la instalación de un Módulo de 30x30 [m] calculado en base a la metodología de análisis dinámico de las fuerzas. De acuerdo a esta propuesta, se determinó que los esfuerzos en el Módulo de 30x30 [m] (analizado de forma dinámica) son en promedio 2.5 veces<sup>1</sup> mayores a los esfuerzos generados en el Módulo de 25x25 [m] calculado desde el punto de vista estático.

Llevando los esfuerzos generados a costos de instalación debido a los diferentes listados de materiales de fondeo que se tiene y propone de los Módulos estudiados, se determinó que desde el punto de vista económico operacional que, si bien los costos de materiales al pasar de un Módulo de 25x25 [m] a uno de 30x30 [m] aumentan en un 85.7%, dadas las proyecciones de precio y costos de producción, la utilidad disminuye tan sólo un 23.9%, por lo que desde el punto de vista de la ingeniería de fondeo, no hay mayor limitaciones que las que puedan tener las diferentes empresas productoras en cuanto a los márgenes de utilidad y riesgos que éstas están dispuestas a asumir.

---

<sup>1</sup> El aumento de las cargas depende de la sección o lado del Módulo que se está observando (cabeceras o laterales).

## ABSTRACT

This Diploma Project aims at proposing a methodology that allows a detailed analysis of the behavior of mooring lines and gauges their components for floating cages, according to an adequate characterization of natural conditions. For this purpose, knowledge is gathered from the Moorings & Maritime Engineering, from different foreign entities, in order to establish future parameters under which farming centres can be moored under properly established conditions.

This document has been addressed on five main points. It starts from the basis of the comprehension of the behaviour of mooring systems, from the analysis of a mooring line in static form to a group of lines, analysed dynamically through AquaSim Software. This requires characterizing the environment, by determining the natural conditions which are forcing the stress on the mooring system, to later carry out a case of application on Tahuenahuéc Island, where we compare a Module of 16 floating cages of 25x25 [m] installed under structural calculations, versus a Module of 14 floating cages of 30x30 [m], analysed dynamically through AquaSim Software, and also to be able to analyse from an economical point of view, the use and/or change of modules of smaller dimensions to floating cages of 30x30 [m].

For validation, it is proposed in the field of study, such a mooring system that allows the installation of a Module of 30x30 [m] calculated on the basis of the dynamic analysis methodology of the stress. According to this proposal, it was determined that the stress in the Module of 30x30 [m] (analysed dynamically) is on average 2.5 times<sup>2</sup> greater than the stress generated in the Module of 25x25 [m] calculated from the structural point of view.

Carrying the generated stress to installation costs, due to the different lists of mooring materials that one has and proposes of the studied Modules, it is determined from the economically operational point of view that, while the costs of materials by passing from a Module of 25x25 [m] to one of 30x30 [m] increase by 85.7%, given the forecasts of price and production costs, the utility decreases only by 23.9%, so from the point of view of mooring engineering, there are no greater restrictions than those that the different production companies may have, in terms of profit margins and risks that they are willing to assume.

---

<sup>2</sup> The increase of the loads depends on the section or side of Module being observed (headboard or laterals).