

ESTUDIOS Y DOCUMENTOS

Informe final

Proyecto

CUI 2017-17-DAC-5

"Propuesta de elementos técnicos para la elaboración de una memoria de cálculo para el fondeo e instalación de módulos de cultivo"

Mandante

Subsecretaría de Pesca y Acuicultura

29 de junio de 2018



- Título : Propuesta de elementos técnicos para la elaboración de una memoria de cálculo para el fondeo e instalación de módulos de cultivo
- Documento : Informe Final
- Mandante : Subsecretaría de Pesca y Acuicultura
- Contraparte : Pontificia Universidad Católica de Valparaíso,
Facultad de Ciencias del Mar y Geografía
- Unidad Ejecutora: Laboratorio de Tecnología Pesquera
Escuela de Ciencias del Mar
Av. Altamirano 1480, Valparaíso
Fono: 56322274268, Fax: 56322274206
- Equipo Humano : Felipe Hurtado Ferreira, Director e Investigador
Jesús López Alarcón, Investigador
Jean Pierre Toledo Alvarado, Investigador
Alonso Echevarría Ubilla, Investigador
Cristian Cifuentes Salazar, Investigador

ÍNDICE DE CONTENIDO

1	Antecedentes generales.....	10
2	Objetivos	12
2.1	Objetivo General.....	12
2.2	Objetivos específicos.....	12
2.2.1	Definición de condiciones y metodología de cálculo para la determinación del sistema de fondeo, para las condiciones oceanográficas y ambientales de la zona sur austral de Chile.	12
2.2.2	Determinación de coeficientes de seguridad recomendados para los diferentes elementos en módulos de cultivo.	12
2.2.3	Estimación teórica del coeficiente de arrastre para una red de cultivo de salmones, con y sin incrustaciones (lobera y pecera).....	12
2.2.4	Determinación de condiciones de carga y metodología de cálculo para resguardar la integridad estructural de jaulas metálicas.	12
2.2.5	Establecimiento de procedimientos de inspecciones para elementos sobre y bajo la superficie, incluyendo parámetros para la detección de posibles fallas de los elementos constituyentes del módulo.....	12
2.2.6	Elaborar una pauta de evaluación que contenga los elementos de la normativa para determinar el cumplimiento de los requerimientos asociados al proceso de certificación de: memoria de cálculo y su anexo (Metodología de Levantamiento de Información Ambiental), post instalación e inspecciones anuales.....	12
3	Metodología	13
3.1	Metodología para objetivo específico 2.2.1:.....	13
3.1.1	Definición de condiciones y metodología de cálculo para la determinación del sistema de fondeo, para las condiciones oceanográficas y ambientales de la zona sur austral de Chile.	13
3.2	Metodología para objetivo específico 2.2.2:	14
3.2.1	Determinación de coeficientes de seguridad recomendados para los diferentes elementos en módulos de cultivo.	14
3.3	Metodología para objetivo específico 2.2.3:.....	15

3.3.1	Estimación teórica del coeficiente de arrastre para una red de cultivo de salmones, con y sin incrustaciones (lobera y pecera).....	15
3.4	Metodología para objetivo específico 2.2.4:	16
3.4.1	Determinación de condiciones de carga y metodología de cálculo para resguardar la integridad estructural de jaulas metálicas	16
3.5	Metodología para objetivo específico 2.2.5:	17
3.5.1	Establecimiento de procedimientos de inspecciones para elementos sobre y bajo la superficie, incluyendo parámetros para la detección de posibles fallas de los elementos constituyentes del módulo.....	17
3.6	Metodología para objetivo específico 2.2.6:	18
3.6.1	Elaborar una pauta de evaluación que contenga los elementos de la normativa para determinar el cumplimiento de los requerimientos asociados al proceso de certificación de: memoria de cálculo y su anexo (Metodología de Levantamiento de Información Ambiental), post instalación e inspecciones anuales.....	18
4	Resultados	20
4.1	Objetivo 2.2.1	20
4.1.1	Marco general	20
4.1.2	Procedimiento operacional para la toma de datos ambientales.....	26
4.1.3	Formulaciones para el análisis estático y dinámico	37
	F_D es la fuerza de arrastre o Drag por unidad de longitud.	41
	u_n : componente de la velocidad, normal al eje de elemento en (m/s).....	42
4.2	Objetivo 2.2.2	50
4.2.1	Marco general	50
4.2.2	Antecedentes	50
4.2.3	Propuesta objetivo 2.2.....	57
4.3	Objetivo 2.2.3	63
	Estimación teórica del coeficiente de arrastre para una red de cultivo de salmones, con y sin incrustaciones (lobera y pecera).....	63
4.3.1	Marco general	63

4.3.2	Recomendaciones para el dimensionamiento de sistemas de fondeo: normas	63
4.3.3	Propuesta objetivo 2.3 - Selección de coeficientes de arrastre en la determinación de carga hidrodinámica sobre redes	66
4.3.4	Determinación del coeficiente de arrastre de la red.....	68
4.4	Objetivo 2.2.4	70
	Determinación de condiciones de carga y metodología de cálculo para resguardar la integridad estructural de jaulas metálicas.	70
4.4.1	Marco general	70
4.4.2	Sistema de cultivo de peces.....	70
4.4.3	Cálculo del muerto másico para las líneas de fondeo.....	80
4.4.4	Riesgos estructurales para la balsa jaula	82
4.4.5	Clasificación de sitios para un sistema de cultivo de peces.....	87
4.4.6	Vida útil	89
4.4.7	Resultados de taller con panel de expertos en Puerto Montt.....	93
4.5	Objetivo 2.2.5	94
	Establecimiento de procedimientos de inspecciones para elementos sobre y bajo la superficie, incluyendo parámetros para la detección de posibles fallas de los elementos constituyentes del módulo.....	94
4.5.1	Marco general	94
4.5.2	Procedimientos de Inspecciones para elementos sobre la superficie	95
4.5.3	Procedimientos de Inspecciones para elementos bajo la superficie	98
4.5.4	Vida útil	103
4.5.5	Reserva de Boyantes	104
4.6	Objetivo 2.2.6	107
	A continuación, se presentará una pauta de evaluación para determinar el cumplimiento de los requerimientos de la memoria de cálculo de fondeo, tanto como la balsa jaula y sus componentes estructurales.	107
5	Layout de la Memoria de cálculo de fondeo	113

5.1	Primer paso	113
5.2	Segundo paso	113
5.2.1	Corrientes	113
5.2.2	Vientos.....	115
5.2.3	Oleaje	116
5.2.4	Batimetría.....	117
5.2.5	Tipo de fondo	119
5.2.6	Comentarios.....	119
5.3	Tercer paso	120
5.4	Cuarto paso.....	121
5.5	Quinto paso	125
6	Referencias	126
7	Anexos	129
7.1	Anexos Objetivo 2.2.1.....	129
7.1.1	Distribución de Pareto Generalizada.....	130
7.1.2	Distribución Gumbel.....	131
7.2	Anexos objetivo 2.2.3	132
7.2.1	Teoría Lineal de Oleaje.....	132
7.2.2	Coeficientes de arrastre para distintas formas y números de Reynolds	135
7.3	Anexos objetivo 2.2.4	137

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 - Tabla comparativa de normas extranjeras y pub 3201 SHOA para la medición de corrientes.....	26
Tabla 2 - Tabla comparativa de normas extranjeras y pub 3201 SHOA para la medición de vientos	28
Tabla 3 - Tabla comparativa de normas extranjeras y pub 3201 SHOA para la medición de oleaje.....	29
Tabla 4 - Tabla de propuesta para la medición de corrientes.....	30
Tabla 5 - Tabla de propuesta para la medición de vientos	31
Tabla 6 - Tabla de propuesta para la medición de oleaje	32
Tabla 7 - Tabla de propuesta para la medición de batimetría.....	34
Tabla 8 - Tabla de propuesta para determinar el tipo de fondo	36
Tabla 9 - Tipos de cargas a considerar para el diseño del sistema de cultivo	50
Tabla 10 - Formulas aplicadas para la relación de tensiones de los elementos estructurales del sistema de fondeo.....	51
Tabla 11 - Descripción de las expresiones de los factores de carga y material.....	52
Tabla 12 - Ejemplo de aplicación de la relación de tensiones	53
Tabla 13 - Factores de carga para el diseño estructural	53
Tabla 14 - Factores de material para los elementos de las líneas de amarre.....	54
Tabla 15 - Factores de carga respecto al tipo de análisis	55
Tabla 16 - Factores de material respecto a los estados límites de diseño.....	56
Tabla 17 - Propuesta de tipos de cargas a considerar para el diseño de un sistema de cultivo	57
Tabla 18 - Propuesta de fórmulas para aplicar en la relación de tensiones de un elemento estructural.....	58
Tabla 19 - Descripción de las expresiones de los factores de carga y material.....	58
Tabla 20 - Propuesta de los factores de carga para el diseño estructural	59
Tabla 21 - Factores de material para los elementos de las líneas de amarre.....	60
Tabla 22 - Propuesta de los factores de carga respecto al tipo de análisis	61
Tabla 23 - Propuesta de factores de material para estados limites	61
Tabla 24 - Clasificación de eficiencias en anclas	77
Tabla 25 - Clasificación de sitios respecto al tipo de oleaje.....	88
Tabla 26 - Clasificación de sitios respecto a la velocidad de corriente	88
Tabla 27 - Combinación de clases de oleaje y corrientes	88

Tabla 28 - Categorización de los sitios según la combinación de parámetros de oleaje y corriente.....	89
Tabla 29 - Vida útil de elementos estructurales de una balsa jaula	90
Tabla 30 - Intervalos de medición de cadenas y cancamo	102
Tabla 31 - Intervalos de medición de cables y cabos	103
Tabla 32 - Ejemplo de aplicación de reserva de boyantes	105
Tabla 33- Tabla de propuesta para la medición de corrientes.....	113
Tabla 34 - Tabla de propuesta para la medición de vientos	115
Tabla 35 - Tabla de propuesta para la medición de oleaje	116
Tabla 36 - Tabla de propuesta para la medición de batimetría.....	117
Tabla 37 - Tabla de propuesta para determinar el tipo de fondo	119
Tabla 38 - Propuesta de los factores de carga respecto al tipo de análisis	120
Tabla 40 - Propuesta de tipos de cargas a considerar para el diseño de un sistema de cultivo	121
Tabla 41 - Propuesta de fórmulas para aplicar en la relación de tensiones de un elemento estructural.....	122
Tabla 42 - Descripción de las expresiones de los factores de carga y material.....	122
Tabla 43 - Propuesta de los factores de carga para el diseño estructural	123
Tabla 44 - Factores de material para los elementos de las líneas de amarre.....	124
Tabla 47 - Mejor ajustes de funciones de distribución para cada base de datos	129
Tabla 48 - Formulaciones teoría lineal de oleaje.....	132

INDICE DE ESQUEMAS

Esquema 1 : Estructura de normas para diseño de módulos de cultivo de peces	21
---	----

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Configuración del sistema rotatorio a un solo punto (Rivera, 2012)	24
Figura 2 - Configuración del sistema de anclaje fijo o múltiples puntos (Rivera, 2012)	24
Figura 3 - Valores para coeficiente de arrastre e inercia en función de los números de Reynolds y Keulegan Carpenter de Sarpkaya (1976)	43
Figura 4 - Área proyectada (1.1) panel, (1,2) Componentes	67
Figura 5 - Patrones de red (a) Plano expandido, (b) Metálica entrelazada, (c) Soldada, (d) Moldeada, (e) Nylon sin nudos. (Tsukrov et al., 2011)	68
Figura 6 - Pasillo central de balsas jaulas metálicas cuadradas, Navtec 2011	71
Figura 7 - Estructura básica que conforma la balsa jaula metálica, Navtec 2011.....	71
Figura 8 - Estructura de flotación de balsas jaulas metálicas cuadradas, Navtec 2011....	71
Figura 9 - Grilletes y guardacabos de las balsas jaulas metálicas cuadradas, Navtec 2011	72
Figura 10 - Líneas de fondeo con boyas de plástico de balsas jaulas metálicas cuadradas	72
Figura 11 - Principales elementos de un ancla.....	75
Figura 12 - Esquema representativo de prueba de tracción	79
Figura 13 - Balsas jaulas metálicas destruidas tras un temporal, Navtec 2011	83
Figura 14 - Resultado típico de un ataque de lobos marinos.....	84
Figura 15 - Revisión de una jaula, cortada con cuchillo entre los 10 y 3 metros de profundidad para robar truchas, Navtec 2011	85
Figura 16 - Comparación contenido de cloruro y dióxido de azufre en las diferentes estaciones por un período de un año, R. Vera et al, 2012	92
Figura 17 - Aspecto superficial del producto de corrosión de acero al año de exposición	92
Figura 18 - Pasillo normal (recto).....	95
Figura 19 - Pasillo en T.....	95
Figura 20 - Cruzetas de pasillo	96
Figura 21 - Tipos de flotadores, fuente: www.wencosur.cl	97
Figura 22 - Detalle de pasillo	97
Figura 23 - Sistema de fondeo.....	98

Figura 24 Disco de Plimsoll.....	104
Figura 25 - nivel de flotación de un centro tipo en operación	105
Figura 26 - Fotografía de pesos sobre balsas jaulas, cerco perimetral y mangueras de alimentación.	106
Figura 27 - Periodos de retorno para cada base de datos, Alvarez et al., 2017	129
Figura 28 - Ajustes de funciones de distribución, Alvarez et al., 2017.....	130
Figura 29 - Parámetros de oleaje.....	132
Figura 30 - Relación entre largo, período de la ola y profundidad DNV-RP-C205, 2007	134
Figura 31 - Coeficiente de arrastre típico para cuerpos bidimensionales	135
Figura 32 - Coeficiente de arrastre típico para cuerpos tridimensionales	136
Figura 33 - Empresas salmoneras que participaron en el taller de Puerto Montt.....	137
Figura 34 - Empresas de ingeniería que participaron en el taller de Puerto Montt.....	137

1 ANTECEDENTES GENERALES

El diseño e instalación de los sistemas de anclaje o fondeos en acuicultura, así como también de las estructuras de cultivo, es un elemento crítico que debe ser cuidadosamente planteado. Las especificaciones técnicas de estos sistemas deben basarse como mínimo en las condiciones ambientales del sitio, las características del sistema y los requisitos operacionales.

Los sistemas de fondeo son requeridos para controlar los desplazamientos y dar estabilidad a las artes de cultivo, y así permitir el buen funcionamiento de las estructuras de cultivo con el objeto de mantener la supervivencia del stock de individuos contenidos en ellas. Tanto los sistemas de anclaje, como la estructura de balsa jaula, se encuentran constantemente sometidos a las fuerzas hidrodinámicas generadas por el viento, las corrientes y el oleaje, factores que ejercen efectos diferentes de acuerdo con el ambiente en el cual se desarrolla la actividad acuícola. En ejemplo de esto, es el caso de la acuicultura oceánica, en la que el efecto del oleaje puede tener una mayor importancia que las fuerzas ejercidas por las corrientes y los vientos sobre las estructuras de cultivo, aumentando también los requerimientos para los sistemas de anclaje o fondeo en comparación a la acuicultura de aguas protegidas.

En este sentido, la normativa ambiental vigente en nuestro país, Reglamento ambiental para la acuicultura (RAMA), DS. (MINECOM) N.º 320/2001 y sus modificaciones, en su artículo 4º letra e) establece que se debe “disponer de módulos de cultivo y fondeos que presenten condiciones de seguridad apropiadas a las características geográficas y oceanográficas del sitio concesionado, para prevenir el escape o pérdida masiva de recursos en sistemas de cultivo intensivo o desprendimiento o pérdida de recursos exóticos en cultivos extensivos. Deberá verificarse semestralmente el buen estado de los mencionados módulos, debiendo realizarse la mantención en caso necesario para el restablecimiento de las condiciones de seguridad, de lo cual se llevará registro en el centro. Las condiciones de seguridad de los módulos de cultivo y del fondeo de los centros de cultivo intensivo de peces, deberán ser certificadas anualmente, por un profesional o entidad debidamente calificados”.

Por otro lado, este marco regulatorio no contempla los estándares mínimos o los aspectos que deben ser considerados en el diseño de estructuras de cultivo y sistemas de fondeo.

Igualmente, no se establecen parámetros a utilizar en la verificación semestral o en la certificación anual de las estructuras de cultivo, tales que permitan prevenir los posibles escapes de los ejemplares o rotura de elementos estructurales o mallas. Por lo antes expuesto, la Subsecretaria se encuentra elaborando una disposición donde se ha avanzado en la definición de estándares de calidad de las estructuras de cultivo y sus correspondientes sistemas de fondeo, de tal forma de minimizar la posibilidad de escapes masivos de los organismos en cultivo, perdidas accidentales de alimento y/u otros materiales. Se han identificado y descrito los distintos tipos de estructuras de cultivo utilizados en el país, pero aún se necesita determinar algunos estándares mínimos bajo los cuales pueden constituir riesgo o producir daño ambiental derivado de fallas en las estructuras de cultivo o sistemas de fondeo. Además, mucha de las referencias bibliográficas y estudios realizados que se encuentran disponibles, no reflejan las condiciones oceanográficas y ambientales a las cuales nuestros sistemas son expuestos. Por lo tanto, dichas condiciones deben ser previamente caracterizada en función de sus variables oceanográficas, identificando las condiciones normales de operación y las condiciones extremas a las que eventualmente la estructura o sistema de fondeo deberá enfrentarse. La clasificación comparativa descrita en el párrafo anterior determina la identificación de distintos escenarios, por tipo de centro de cultivo, en los cuales el desempeño, durabilidad y requerimientos de mantenimiento serán distintos. La comprensión de la dinámica entre los escenarios y las estructuras de cultivo y fondeo deberá permitir la estimación y caracterización de los eventos de rotura o daño, coeficientes de arrastre y de seguridad frente a los cuales se debe establecer un conjunto de planes de contingencia, basados en criterios de evaluación derivados de la comprensión de cada tipo de evento. Tal como lo señala el RAMA, estos criterios deben establecerse tanto desde el punto de vista de la prevención como desde el punto de vista de la reacción ante un evento.

En este marco y en el contexto de su gestión, a continuación, se presentará el avance de la propuesta que concierne hasta el cuarto objetivo.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Elaborar una memoria de cálculo para el fondeo e instalación de módulos de cultivo, considerando los aspectos técnicos relevantes a las condiciones ambientales del sur de Chile, incluyendo los procedimientos de inspección y pautas de evaluación para las certificaciones.

2.2 Objetivos específicos

- 2.2.1 Definición de condiciones y metodología de cálculo para la determinación del sistema de fondeo, para las condiciones oceanográficas y ambientales de la zona sur austral de Chile.
- 2.2.2 Determinación de coeficientes de seguridad recomendados para los diferentes elementos en módulos de cultivo.
- 2.2.3 Estimación teórica del coeficiente de arrastre para una red de cultivo de salmones, con y sin incrustaciones (lobera y pecera).
- 2.2.4 Determinación de condiciones de carga y metodología de cálculo para resguardar la integridad estructural de jaulas metálicas.
- 2.2.5 Establecimiento de procedimientos de inspecciones para elementos sobre y bajo la superficie, incluyendo parámetros para la detección de posibles fallas de los elementos constituyentes del módulo.
- 2.2.6 Elaborar una pauta de evaluación que contenga los elementos de la normativa para determinar el cumplimiento de los requerimientos asociados al proceso de certificación de: memoria de cálculo y su anexo (Metodología de Levantamiento de Información Ambiental), post instalación e inspecciones anuales.

3 METODOLOGÍA

3.1 Metodología para objetivo específico 2.2.1:

3.1.1 Definición de condiciones y metodología de cálculo para la determinación del sistema de fondeo, para las condiciones oceanográficas y ambientales de la zona sur austral de Chile.

Para el cumplimiento del objetivo específico 2.2.1 se realizará un levantamiento de información respecto a las metodologías existentes para establecer una memoria de cálculo de sistemas de fondeo de balsas jaula. Para esto se considerará normas extranjeras como la noruega, literatura científica en papers de investigación y los actuales métodos utilizados por empresas que realizan tales estudios a la industria salmonera en el sur de Chile. Lo anterior permitirá construir una metodología que incluya aspectos como:

Procedimientos operacionales para la toma de datos ambientales como velocidad y dirección de corriente, oleaje y viento; estudios batimétricos y tipo de fondo. Además de las técnicas y herramientas utilizadas para establecer una memoria de cálculo de fondeo con sus ventajas y desventajas, las cuales pueden ser metodologías dinámicas como la utilización de herramientas computacionales como AquaSim (software utilizado por Aquastructure para la certificación de sistemas de fondeo, sistemas de cultivos y otros en Noruega) o metodologías estáticas considerando métodos como los referidos a los reglamentos de Casas Clasificadoras como Bureau Veritas (BV), American Bureau of Shipping (ABS) y Lloyd's Register; base teorica que toma como datos de entrada aquellos recogidos en terreno: Batimetría Exploratoria, Correntometria Euleriana y Lagrangeana y Análisis Granulométrico de muestras de material de fondo.

En cuanto a la metodología dinámica con softwares computacionales, se definirán las consideraciones mínimas que estos deben contemplar en sus cálculos matemáticos y en las ecuaciones involucradas en el análisis, para establecer las salidas de fuerza de arrastre, tensiones en líneas de fondeo, entre otros. Respecto a la metodología estática, se propondrá un método directo para realizar una memoria de cálculo de fondeo estableciendo claramente las ecuaciones a emplear (las cuales estarán debidamente respaldadas técnica y científicamente en función a la literatura existente) con sus respectivos parámetros y variables. De igual forma, se definirán los supuestos involucrados en el análisis si fuese necesario.

Finalmente, una vez recopilada la información respecto a las metodologías existentes, se establecerán los procedimientos para la toma de datos ambientales (corriente, oleaje y viento) con el fin de establecer una memoria de cálculo. De igual manera se establecerán las metodologías a emplear para la memoria de cálculo de fondeo según el tipo de análisis que se realice, el cual podrá ser estático o dinámico.

Dicha metodología de memoria de cálculo de fondeo y procedimientos para la toma de datos ambientales como corriente oleaje y viento, serán discutidos y validados en un panel de expertos a realizar en la ciudad de Puerto Montt donde se ratificarán o modificarán los valores de dichos factores propuestos. A este panel de expertos se invitará a participar, a representantes de distintas empresas proveedoras de servicios de fondeo, de estudios de fondeo, de estudios ambientales (corriente oleaje viento), entre estos. Se pretende contar con la presencia de representantes de empresas como Wallbush, AEXGroup, Oxxean, Akva group, Soeinsvik, Navtec, Salmoboats, Sermar, Metalfish, entre otros. Además, se invitará a participar de dicho panel a personas del sector académico que realicen su investigación con temas a fines como Richard Luco de la UACH e INTESAL órgano técnico de Salmon Chile, entre otros.

3.2 Metodología para objetivo específico 2.2.2:

3.2.1 Determinación de coeficientes de seguridad recomendados para los diferentes elementos en módulos de cultivo.

Para cumplir con el objetivo específico 2.2.2, se propondrán los coeficientes o factores de seguridad que se deberán emplear en el dimensionamiento de los distintos componentes del sistema de fondeo como cabos, cables cadenas, grilletes, guardacabos, anillos de distribución, anclas, muertos, pernos y otros elementos de conexión, además de los pasillos de las balsas y elementos de flotación. Los cuáles serán respaldados en función al criterio experto, literatura científica, técnicos (de acuerdo a las propiedades físicas de los distintos materiales), normas extranjeras (norma de noruega, Canadá etc.), y otros antecedentes bibliográficos.

Dichos coeficientes o factores de seguridad serán discutidos y validados en un panel de expertos a realizar en la ciudad de Puerto Montt donde se ratificarán o modificarán los valores de dichos factores propuestos. A este panel de expertos se invitará a participar a representantes de distintas empresas proveedoras de servicios de fondeo, de estudios de

fondeo, de estudios ambientales (corriente oleaje viento), entre estos. Se pretende contar con la presencia de representantes de empresas como Wallbush, AEXGroup, Oxxean, Akvagroup, Steinsvick, Navtec, Novatech, Salmoboats, Sermar, Metalfish, entre otros. Además, se invitará a participar de dicho panel a personas del sector académico que realicen su investigación con temas a fines como Richard Luco de la UACH e INTESAL órgano técnico de Salmon Chile, entre otros.

3.3 Metodología para objetivo específico 2.2.3:

3.3.1 Estimación teórica del coeficiente de arrastre para una red de cultivo de salmones, con y sin incrustaciones (lobera y pecera)

Para cumplir con el objetivo específico 2.2.3, se realizará una búsqueda de información referente a los coeficientes de arrastre (C_d) de los distintos tipos de redes utilizadas en la industria, tanto paños de redes peceras como loberas con y sin fouling. Dicha búsqueda de información se realizará en publicaciones científicas, informes técnicos confiables, trabajos de investigación, entre otros. Posteriormente, de los valores encontrados se propondrá el o los valores de coeficientes de arrastre para cada tipo de red o grupo de redes, pudiendo ser agrupadas por su función (lobera o pecera) y estado de suciedad (con o sin fouling). Cabe destacar que las estimaciones de C_d de los paños con y sin fouling serán realizadas de acuerdo a las condiciones de cultivo del sur de Chile, especialmente con los paños sucios donde la bibliografía considerada deberá considerar los típicos organismos que conforman el fouling en el sur de Chile como Mitílidos, algas, cirrípedos, etc.

Dichos coeficientes de arrastre (C_d) serán discutidos y validados en un panel de expertos a realizar en la ciudad de Puerto Montt donde se ratificarán o modificarán los valores de los coeficientes propuestos. A este panel de expertos se invitará a participar a representantes de distintas empresas proveedoras de servicios de fondeo, de estudios de fondeo, de estudios ambientales (corriente oleaje viento), entre estos. Se pretende contar con la presencia de representantes de empresas como Wallbush, AEX-Group, Oxxean, Akvagroup, Steinsvick Navtec, Salmoboats, Sermar, Metalfish, entre otros. Además, se invitará a participar de dicho panel de expertos a personas del sector académico que realicen su investigación con temas a fines como Richard Luco de la UACH e INTESAL órgano técnico de Salmon Chile, entre otros.

3.4 Metodología para objetivo específico 2.2.4:

3.4.1 Determinación de condiciones de carga y metodología de cálculo para resguardar la integridad estructural de jaulas metálicas

Para cumplir con el objetivo específico 2.2.4, es necesario realizar estudios que van más allá de una memoria de cálculo de fondeo, ya que es necesario un análisis del tipo estructural, los cuales, dada la complejidad de estos, se utilizan software en base a cálculo de elementos finitos que incluye ecuaciones diferenciales lineales y no lineales.

Es por esto que, para cumplir con el objetivo, se propone realizar una descripción de los elementos de conexión y distribución de cargas del sistema de fondeo. Además, se definirán las condiciones y requerimientos mínimos del estado de los componentes de las balsas para un desempeño seguro respecto a los niveles de tolerancia de operaciones tienen dichas estructuras (los que pueden ser referidos por medio de la intensidad de las fuerzas ambientales como altura de ola y corriente), de manera que en una memoria de cálculo de fondeo se establezca no solo las condiciones del dimensionamiento de éste propiamente tal, sino que también permita determinar el estado de los pasillos y los elementos de conexión de la balsa que aseguren la integridad estructural de las estructuras. Ejemplo de esto es lo establecido por la norma noruega NS9415 donde a ciertos niveles de energía, determinados según la intensidad de la corrientes y altura de oleaje del sitio, se establecen los factores de seguridad de todos los componentes que conforman en sistema de fondeo y las balsas (las cuales son principalmente circulares de plástico como HDPE y brackets de acero). Sin embargo, las balsas metálicas difieren bastante de éstas en cuanto a su dimensionamiento, puesto al ser rígidas sus principales daños ocurren en los pasadores y consecutivamente en el mismo pasillo (figura 1).

Dado lo anterior, el nivel de seguridad para la integridad estructural de las balsas estará en función a las especificaciones de los fabricantes de balsas metálicas para las condiciones de operación normales sin fallas (como por ejemplo grado de corrosión) y por medio del estudio de fondeo se establecerán los requerimientos a la estructura balsa en el caso de corte de líneas por impacto de wellboats (además por ejemplo: estado de cabos de fondeo, grado de corrosión y desgaste de herrajería que compone la línea de fondeo).

Dichos procedimientos para asegurar la integridad de la estructura balsa y sus elementos de conexión serán discutidos y validados en un panel de expertos a realizar en la ciudad de Puerto Montt donde se discutirán las tolerancias a esfuerzo en función de las condiciones ambientales. A este panel de expertos se invitará a participar a representantes de distintas empresas proveedoras de servicios de fondeo, de estudios de fondeo, de estudios ambientales (corriente oleaje viento), fabricantes de balsas metálicas, entre estos.

Se pretende contar con la presencia de representantes de empresas como Wallbush, AEXGroup, Oxxean, Akvagroup, Steinsvick Navtec, Novatech, Salmoboats, Orza, Sermar, Metalfish, entre otros. Además, se invitará a participar de dicho panel de expertos a personas del sector académico que realicen su investigación con temas a fines como Richard Luco de la UACH e INTESAL órgano técnico de Salmon Chile, entre otros.

3.5 Metodología para objetivo específico 2.2.5:

3.5.1 Establecimiento de procedimientos de inspecciones para elementos sobre y bajo la superficie, incluyendo parámetros para la detección de posibles fallas de los elementos constituyentes del módulo.

Para cumplir con el objetivo específico 2.2.5, es necesario realizar un análisis hidrostático que involucre aspectos como peso y empuje de la balsa jaula para lo cual se consideran componentes como los diferentes tipos de pasillos utilizados, contrapesos de las jaulas, flotadores, entre otros. Dado que en una memoria de fondeo no se establecen las condiciones que debe cumplir la balsa sino el sistema de fondeo. Se propone establecer los procedimientos y condiciones mínimas para establecer las condiciones flotabilidad de la balsa jaula, a través de la reserva de boyantes, franco bordo y tolerancia al exceso de peso, ya sea por la instalación de equipos sobre la balsa o aumento en peso por fouling en la jaula.

Por otra parte, se establecerán los procedimientos y periodicidad de inspección post instalación del sistema de fondeo y balsas jaulas, de manera de establecer las diferencias existentes entre lo que se propuso instalar en los estudios y lo que realmente quedo instalado (como por ejemplo la posición de los muertos o anclas) lo cual afecta la distribución de cargas al sistema. Además de las condiciones de fatiga y/o reemplazo de

los diferentes componentes del sistema (por ejemplo, el espesor de las planchas de acero que conforman los pasillos, corrosión de pasillos y componentes de conexión, entre otros) de manera quedar establecida las condiciones de mantención del sistema. De acuerdo a lo anterior, se ratificará o modificará el francobordo mínimo aceptable para la operación segura de los sistemas de cultivo tipo balsa jaula y parámetros de mantención propuestos por este equipo de trabajo en el panel de expertos a realizar en la ciudad de Puerto Montt. A este panel de expertos se invitará a participar a representantes de distintas empresas proveedoras de servicios de fondeo, de estudios de fondeo, de estudios ambientales (corriente oleaje viento), fabricantes de balsas metálicas, entre estos. Se pretende contar con la presencia de representantes de empresas como Wallbush, AEX-Group, Oxxean, Akvagroup, Steinsvick, Navtec, Novatech, Salmoboats, Orza, Sermar, Metalfish, entre otros. Además, se invitará a participar de dicho panel de expertos a personas del sector académico que realicen su investigación con temas a fines como Richard Luco de la UACH e INTESAL órgano técnico de SalmonChile, entre otros.

3.6 Metodología para objetivo específico 2.2.6:

3.6.1 Elaborar una pauta de evaluación que contenga los elementos de la normativa para determinar el cumplimiento de los requerimientos asociados al proceso de certificación de: memoria de cálculo y su anexo (Metodología de Levantamiento de Información Ambiental), post instalación e inspecciones anuales.

Para cumplir con el objetivo específico 2.2.6, se realizará una pauta de evaluación o check list que contemple al menos los siguientes ítems:

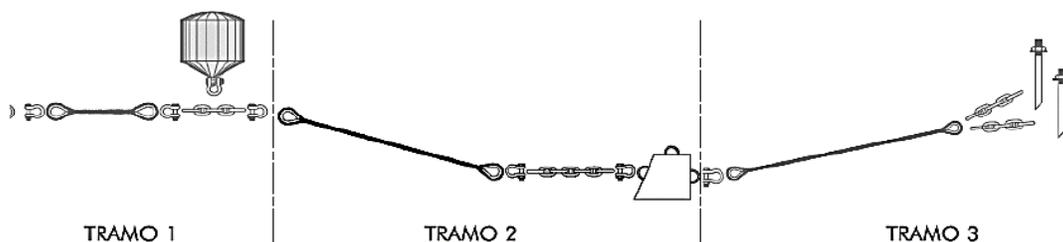
Estructura; Balsas Jaulas, como es la condición de los pasillos, flotadores, zunchos, etc.

Sistema de fondeo: Materiales y sus componentes utilizados en los tramos como se indica:

Tramo 1: jaula-boya

Tramo 2: Boya a muerto - ancla

Tramo 3: retenida



- Instalación redes peces, red lobera y red pajarera
- Solicitar estándares de las instalaciones y certificar los estándares mediante inspecciones visuales con equipos que entreguen datos objetivos.

Identificar los elementos que debe contener la pauta de evaluación que el certificador deberá evaluar para que se dé cumplimiento a los requerimientos establecidos en la normativa para la elaboración de:

Certificación de MCF y su anexo (Metodología de levantamiento de información Ambiental)

Revisar la MCF si cumple o no, cuáles son los datos de entrada y finalmente la lista de materiales que entrega. También es importante que se supervise y controle en tierra el cumplimiento de la adquisición de la lista de materiales indicadas, por ejemplo, si el productor utilizará 100% nuevo o hay una parte de la lista de materiales que va a ser reutilizado. De ser así ese material reutilizado deberá ser certificado con inspecciones visuales o ensayos de tracción en bancos de prueba como por ejemplo Hinrichsen en Talcahuano o Dictuc en Santiago.

Certificación post instalación de módulos de cultivo

Se definirán los componentes que el inspector deberá evaluar y su concordancia con lo presentado en el dimensionamiento del sistema de cultivo y fondeo, de acuerdo a la memoria de cálculo presentada.

Certificación de las inspecciones anuales

Se definirán las condiciones y elementos a evaluar en el sistema de fondeo y elementos de conexión de las balsas tanto en superficie como bajo el agua, de manera que el inspector certifique que la instalación de las estructuras de cultivo y fondeo se encuentra en condiciones óptimas para un desempeño seguro de dicho sistema disminuyendo de esta forma la probabilidad de escape de las especies en cultivo.

4 RESULTADOS

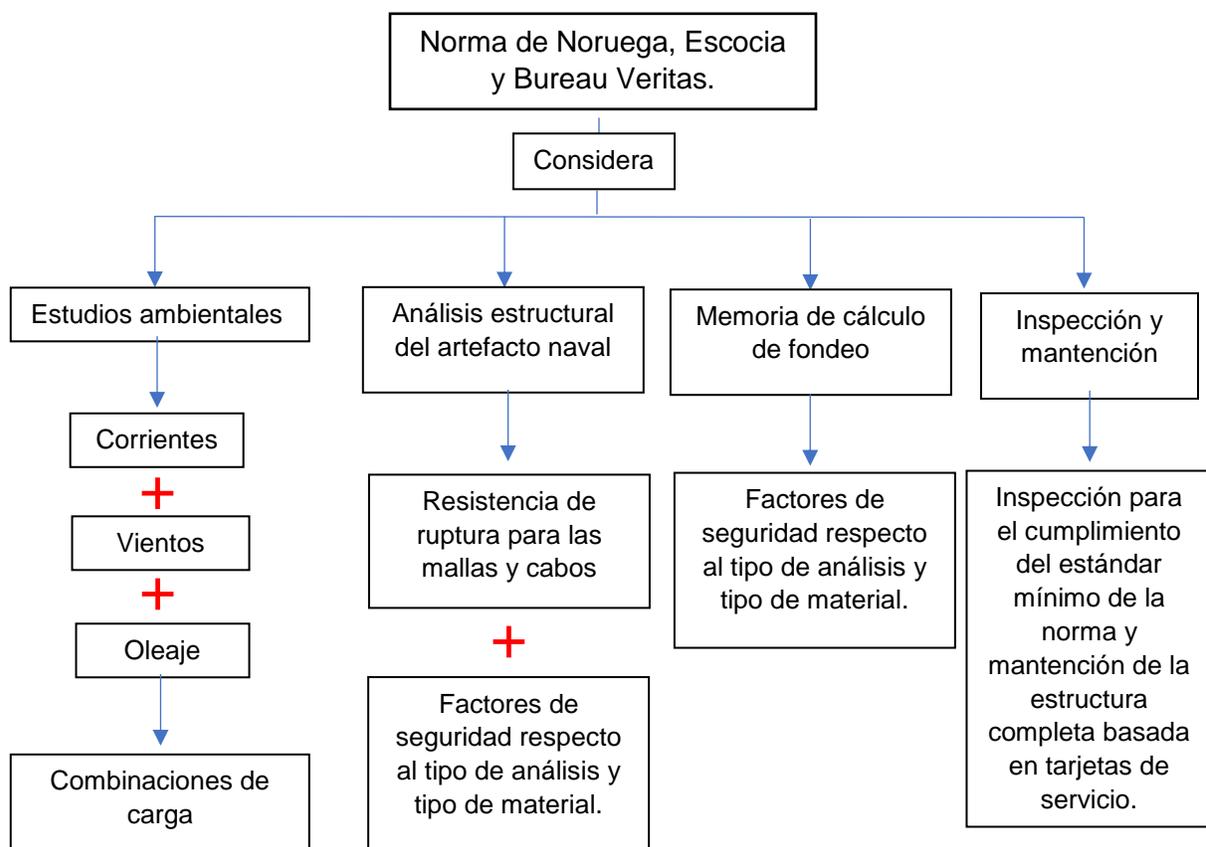
4.1 Objetivo 2.2.1

Definición de condiciones y metodología de cálculo para la determinación del sistema de fondeo, para las condiciones oceanográficas y ambientales de la zona austral de Chile.

4.1.1 Marco general

El diseño e instalación de los sistemas de anclaje o fondeos en acuicultura, así como también de las estructuras de cultivo, es un elemento crítico que debe ser cuidadosamente planteado. Las especificaciones técnicas de estos sistemas deben basarse como mínimo en las condiciones ambientales del sitio, las características del sistema y los requisitos operacionales. Como consecuencia, se analizaron diferentes normas extranjeras que proponen criterios similares para el diseño de sistemas de cultivos. Se analizó la norma de Noruega (NS9415 -Norwegian Standard), Escocia (A Technical Standard for Scottish Finfish Aquaculture), normas de Estados Unidos (American Petroleum Institute (API), Design and Analysis of Station Keeping System for Floating Structures; y ABS Rules for building and classing mobile offshore drilling unit, Reino Unido (Rules and Regulations for the Classification of a Floating Offshore Installation at a Fixed Location, Lloyd's register) y la casa clasificadora de origen francesa (Bureau Veritas - Rules for the classification and Certification of Fishfarms), sin embargo, la norma API, ABS y Lloyd's register están diseñadas para estructuras flotantes offshore, por lo tanto, las condiciones ambientales son de mayor intensidad, donde existen periodos de retornos superiores a 100 años. Es por esto, que estas tres normas se excluirán por los altos factores de seguridad que emplean, ya que los factores de seguridad de las estructuras flotantes (balsas jaulas) de aguas interiores son de menor rango, tal como se presentarán en esta norma. No obstante, en el futuro el uso offshore a nivel nacional debe ser referente a las normas API, ABS y Lloyd's register.

A continuación, se compararán las normas de Noruega (NS9415 -Norwegian Standard), Escocia (A Technical Standard for Scottish Finfish Aquaculture) y la casa certificadora de origen francesa (Bureau Veritas - Rules for the classification and Certification of Fishfarms), donde todas poseen la misma estructura normativa (Esquema 1).



Esquema 1 : Estructura de normas para diseño de módulos de cultivo de peces

En el mismo contexto, los criterios de diseños adoptados por cada norma (NS9315, ATFSA y Bureau Veritas) es basado en un panel de expertos, condiciones ambientales del lugar y la norma del código 3 europeo NS EN 1993 (Design of Steel structures, parte 1 y 2). Sin embargo, se tiene que considerar que los principales parámetros de diseño provienen de las condiciones ambientales, es decir, cada país contiene condiciones ambientales diferentes. Donde Chile es influenciado por la oscilación antártica, el fenómeno ENOS y el fuerte gradiente de presión que genera vientos alisios. Sin embargo, la futura norma chilena debe estar en constante actualización, ya que los factores de seguridad que se emplearán fueron sometidos a más de 1000 pruebas empíricas, sujeto a las condiciones ambientales extranjeras (NS EN 1993).

Hoy en día, el cambio climático afecta las variables medio ambientales de Chile, es decir, en el oleaje, la altura significativa aumenta en el tiempo, la dirección gira hacia el sur y la frecuencia de eventos extremos es consecutiva (Martínez et al.,2017). Es por esto, que en las próximas actualizaciones de la norma se debe corroborar que los factores de seguridad empleados en cada elemento estructural cubren la situación del cambio climático.

Por otra parte, el diseño del sistema de fondeo está sujeto al análisis estructural que depende de los factores de material (γ_m), del factor de seguridad ambiental (γ_f) y del límite de fluencia o ruptura de cada elemento ($\sigma_{critico}$). No obstante, se tiene que tomar en cuenta que cada análisis estructural dependerá del tipo análisis, es decir, las dimensiones dependerán de los factores de carga debido al tipo de análisis estático o dinámico (Ver 4.2). Luego de esto, los cálculos deberán ser inspeccionados por una entidad debidamente calificada para aprobar su uso, respaldando a largo plazo la estructura con certificaciones de mantención.

Det Norsk Veritas (1988), señala que, para propósitos de diseño de las líneas de fondeo, la determinación de las fuerzas, momentos, esfuerzos y deflexiones, así como los valores permisibles, deben basarse en principios aceptados de dinámica, estática, y resistencia de materiales.

Las líneas de fondeo deben cumplir con prerrequisitos para desempeñarse como elementos estructurales de un sistema de amarra, los cuales comprenden que:

- Deben funcionar predeciblemente y confiablemente en el ambiente marino corrosivo, al menos durante la vida útil de la estructura flotante.
- Deben ser capaces de resistir las condiciones de cargas de fatiga, y su vida útil debe exceder al menos entre dos a tres veces la vida en el terreno de la estructura, dependiendo del margen de seguridad.
- Deben ser dimensionadas de forma tal, que la falla de una línea no produzca la falla de los componentes restantes bajo una condición de tormenta máxima en un periodo de 50 años. Esto es lo que se conoce como la redundancia de las líneas.
- Deben ser diseñadas previniendo el efecto de la corrosión y su cambio.
- Deben fabricarse con los materiales disponibles a costos razonables.
- El tamaño y peso de las líneas debe ser minimizado, de acuerdo con los factores de seguridad y criterios de diseño considerados.

Por otro lado, de los seis grados de libertad que poseen las estructuras flotantes (balsas jaulas), sólo los desplazamientos horizontales podrían cambiar la tensión en las líneas de fondeo en forma significativa. En este contexto, el movimiento de traslación de levantamiento (heave), los rotacionales de inclinación (pitch) y de giro (roll) de la estructura flotante, por lo general no son considerados cuando se evalúan las fuerzas de anclaje, ya que no poseen un efecto considerable sobre las líneas de fondeo (Rivera, 2012).

Existen variadas configuraciones posibles de emplear para el anclaje de un sistema de fondeo, esto se debe a que el diseñador trata de obtener la máxima fuerza restauradora del sistema de fondeo a partir de la conjugación de las características de resistencia de la estructura flotante, la que varía dependiendo de qué parte de la estructura es la que va a estar expuesta a las cargas ambientales.

Se pueden señalar dos criterios de configuración básicos para los sistemas de fondeo, estos son:

a) Patrón de ataque omnidireccional: el sistema de fondeo está dispuesto para resistir cargas ambientales provenientes de cualquier dirección o ángulo de ataque (0° a 360°).

b) Patrón de ataque unidireccional: en este caso, el sistema de fondeo es diseñado para resistir las cargas ambientales que provienen fundamentalmente en una sola dirección característica. Esto implica conocer el patrón direccional de las cargas naturales, viento, oleaje y corrientes. Para poder resistir estos patrones de ataque (las peores combinaciones de cargas), se utilizan dos configuraciones de sistemas de líneas:

I. Anclaje rotatorio a un solo punto

Al utilizar este método de anclaje, la balsa –jaula es asegurada a un solo punto con cadena o cable al fondo marino. Esto permite que la balsa rote y se oriente a la posición de mínima resistencia. Este sistema debe tener un giratorio inmediatamente debajo de la boya amortiguadora.

II. Anclaje fijo a múltiples puntos.

Este mecanismo o disposición de fondeos, es usado en el 90% de los casos ya que las balsas son fondeadas a múltiples puntos de modo que no pueden rotar. Este tipo de sistemas tiene la ventaja de que cuando ocurren accidentes, existe una mayor posibilidad de salvar las balsas.

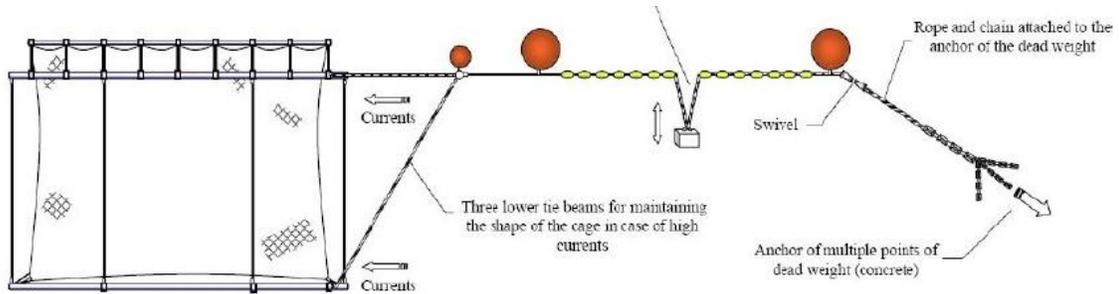


Figura 1 - Configuración del sistema rotatorio a un solo punto (Rivera, 2012)

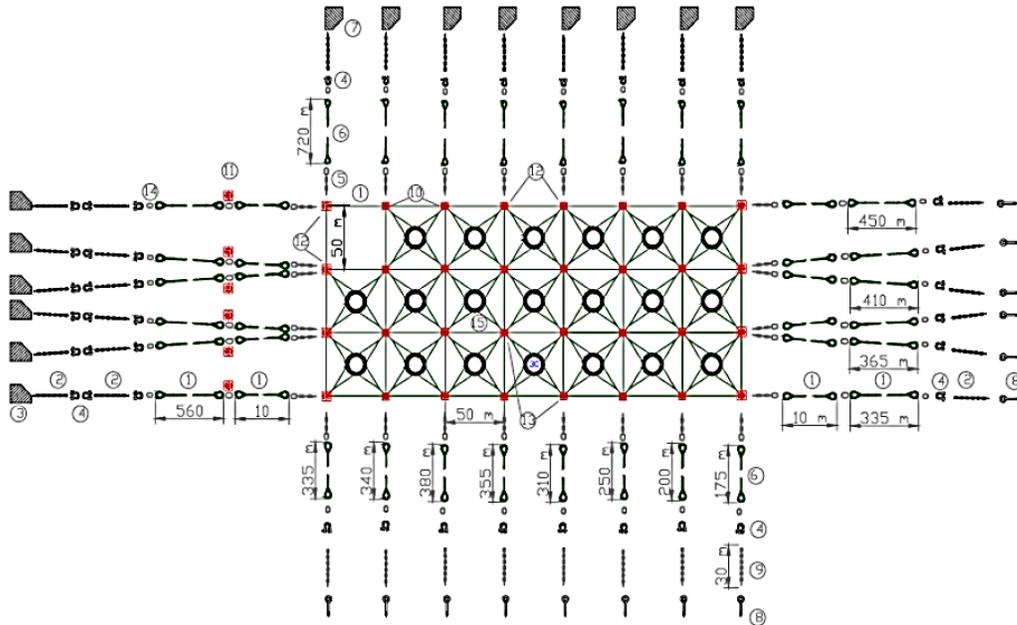


Figura 2 - Configuración del sistema de anclaje fijo o múltiples puntos (Rivera, 2012)

Sin embargo, el sistema de fondeo se debe analizar respecto a los criterios de diseño formulados por los estados últimos (DNVGL, 2015):

- a) Estado límite último: Se utiliza para garantizar que las líneas de amarre individuales tengan la resistencia adecuada para soportar los efectos de carga impuesto por acciones ambientales extremas.
- b) Estado límite accidental: Se utiliza para garantizar que el sistema de amarres tenga la capacidad adecuada para resistir la falla o corte de una línea de amarre.
- c) Estado límite de fatiga: Se utiliza para garantizar que las líneas de amarre individuales tengan la capacidad adecuada para soportar las cargas cíclicas.

4.1.2 Procedimiento operacional para la toma de datos ambientales

Para diseñar las líneas de fondeo se debe considerar 4.1.1 y, además, el procedimiento operacional de la toma de datos ambientales (corrientes, vientos y oleaje). Por lo tanto, se compararon las normas extranjeras (ATSFA, NS9415 y Bureau Veritas) y la publicación chilena 3201 del Servicio Hidrográfico oceanográfico de la Armada (SHOA) para describir el estado del arte, excluyendo batimetría y tipo de fondo, tal como se describe a continuación:

4.1.2.1 Antecedentes

Tabla 1 - Tabla comparativa de normas extranjeras y pub 3201 SHOA para la medición de corrientes

Medición de Corrientes			
Escocia (ATSFA)	Noruega (NS9415)	Bureau Veritas	Chile (SHOA)
Se realiza medición durante 90 días incluyendo o excluyendo la marea más alta del año con periodos mínimos de 15 minutos	Se realizan mediciones parciales durante 4 semanas con periodos mínimos de 30 minutos	No especifica	Se realizan Mediciones durante 30 días con campañas de sicigias y cuadratura. Si existe una instalación de hidro cultivos se determinará variabilidad estacional. No podrá exceder a intervalos de medición superior a 10 minutos.

<p>Al incluir la marea más alta, la velocidad de la corriente se debe multiplicar por 1 y si la excluye por 1,1.</p>	<p>Estimar la velocidad de la corriente con periodos de retorno de 10 y 50 años. Si el periodo es de 10 años la velocidad de la corriente se multiplica por 1,65 y si es 50 años se multiplica por 1,85.</p>	<p>Estimar la velocidad de corriente con periodos de retorno entre 1 y 50 años como mínimo, asumiendo una componente mareal y circulatoria a una velocidad de 0,5 [m/s]. Sin embargo, para la componente de viento se debe determinar la velocidad del viento a 10 metros de altura durante 10 minutos y luego multiplicarla por 0,02. Esta información debe ser clasificada y certificada.</p>	<p>No hay recomendación para estimar periodos de retornos</p>
<p>Luego esa velocidad multiplicada por el factor 1,1 o 1 se debe multiplicar por el tipo de marea, es decir, si la corriente mareal es fuerte se debe multiplicar por 1,4 y si la corriente mareal es débil se debe multiplicar por 1,7</p>	<p>No especifica</p>	<p>No especifica</p>	<p>No especifica</p>

Tabla 2 - Tabla comparativa de normas extranjeras y pub 3201 SHOA para la medición de vientos

Medición de Vientos			
Escocia (ATSFA)	Noruega (NS9415)	Bureau Veritas	Chile (SHOA)
Estimar la velocidad del viento con periodos de retorno de 10 y 50 años, utilizando la función de distribución Weibull	Estimar la velocidad del viento con periodos de retorno de 10 y 50 años	Estimar la velocidad del viento con periodos de retorno entre 1 y 50 años, utilizando una larga data y estadística de valores extremos. Se debe clasificar y certificar la información de la velocidad del viento medida a 10 metros de altura durante 10 minutos, a través de cálculos cuasi-estáticos.	Estimar la velocidad del viento con periodos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años. Se debe tener una estadística mínima de 10 años y la estación meteorológica no puede estar más lejana a 50 kilómetros del sitio de interés. No se acepta en la medición intervalos mayores a 10 minutos de muestreo.
No especifica	Si no existe información o estadística disponible, determinar la velocidad máxima del viento a través del Fetch	No especifica	No especifica

Tabla 3 - Tabla comparativa de normas extranjeras y pub 3201 SHOA para la medición de oleaje

Medición de Oleaje			
Escocia (ATSFA)	Noruega (NS9415)	Bureau Veritas	Chile (SHOA)
Estimar la altura significativa de la ola con periodos de retorno de 10 y 50 años, a través de la función de distribución Weibull.	Estimar la altura significativa de ola con periodos de retorno de 10 y 50 años	Estimar la altura significativa de ola con periodos de retornos entre 1 y 50 años como mínimo. Utilizando una larga data y estadística de valores extremos, esta información debe ser clasificada y certificada.	Determinar clima medio (clima operacional) y clima extremo, utilizando periodos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años. Se debe utilizar como mínimo una estadística de 20 años
No especifica	Para oleaje irregular en costas abiertas se debe utilizar espectro Jonswap, para sea y $\gamma = 2.5$ y swell $\gamma = 6$.	No especifica	No especifica
No especifica	Para oleaje regular $H = H_{max} = 1.9 \times H_s$	No especifica	No especifica
No especifica	Para oleaje irregular en fiordos utilizar espectro Moskowitz	No especifica	No especifica

4.1.2.2 Propuesta objetivo 2.2.1

A continuación, se describirá la propuesta de procedimientos operacionales para la toma de datos ambientales que estará sujeto a corrientes, vientos, oleaje, batimetría y tipo de fondo. Este procedimiento cumple con el estándar mínimo de Chile y además añade confiabilidad para el diseño y ubicación de las estructuras flotantes (balsas jaulas).

4.1.2.2.1 Corrientes

Tabla 4 - Tabla de propuesta para la medición de corrientes

Medición de corrientes	
i.	Se deben realizar mediciones durante 30 días en campaña de sicigia y cuadratura en ciclos estacionales (invierno y verano) con periodos mínimos de 30 minutos. No deben existir intervalos de medición mayores a 10 minutos y la instrumentación deberá ser instalada en el área que ubicará el módulo.
ii.	Se recomienda incluir en la medición de corrientes la marea más alta del año (Equinoccios) o en sicigias con perigeo lunar, y, si es excluida justificar él por qué.
iii.	La velocidad de corriente (V_c) se debe multiplicar por los siguientes factores de seguridad dependiendo del tipo de marea o corriente de marea: a) $V_c \times 1 = V_{cb}$ (Incluyendo en la medición la marea de Equinoccio). b) $V_c \times 1.1 = V_{cb}$ (Excluyendo en la medición la marea de Equinoccio).
iv.	Estimar la velocidad de corriente con periodos de retorno de 10 y 50 años utilizando los siguientes factores: a) $V_{cb} \times 1.65 =$ Periodo de retorno de 10 años. b) $V_{cb} \times 1.85 =$ Periodo de retorno de 50 años.
v.	Se debe realizar correntometría euleriana fija a 5, 15 y 25 metros de profundidad en la columna de agua, sin embargo, se podrá complementar esta información con correntometria lagrangiana.
vi.	Simultáneamente a la correntometria euleriana fija y en la búsqueda de agentes forzantes de las corrientes, se efectuarán mediciones horarias del nivel del mar y de la dirección e intensidad del viento por un mínimo de 30 días.
vii.	Para la medición de corrientes eulerianas se deberá utilizar instrumentación que profile corrientes, programado de forma que se establezcan celdas (capas) con un espesor y distribución tal que asegure la medición de la corriente, en las capas superiores, en cualquier estado de la marea.
viii.	Se debe realizar una tabla de al menos de 8 direcciones y 6 filas de bandas de intensidad de corriente, conteniendo la frecuencia de ocurrencia en cada combinación
ix.	Las mediciones serán válidas por un periodo de 2 ciclos o 5 años de servicio

4.1.2.2.1.1 Análisis e informe

El procesamiento por realizar sobre los datos correntometricos comprenderá los siguientes tipos de análisis:

- a) Análisis estadístico
- b) Análisis espectral
- c) Correlación entre procesos geofísicos
- d) Análisis de la corriente en la columna de agua

El informe técnico de corriente deberá contener a lo menos lo siguiente:

- a) Objetivo del estudio
- b) Descripción y características del instrumento utilizado
- c) Metodologías empleadas
- d) Análisis realizados (según corresponda)
- e) Posición en coordenadas geográficas y UTM de los puntos monitoreados, indicando el datum geodésico utilizado y la profundidad instrumental de fondeo de los equipos
- f) Esquemas de circulación de la corriente
- g) Valores de diseño de acuerdo con los requerimientos del proyecto

4.1.2.2.2 Vientos

Tabla 5 - Tabla de propuesta para la medición de vientos

Medición de vientos	
i.	Se deberá obtener una base de datos de mínimo 10 años cercana al sitio de interés.
ii.	La estación meteorológica no debe estar a más de 50 kilómetros del sitio de interés.
iii.	Si la estación meteorológica está a más de 50 kilómetros del sitio de interés se debe establecer una correlación entre la medición <i>in situ</i> (con instrumentos durante un periodo mínimo de 30 días de carácter estacional) y la estación meteorológica.
iv.	Se recomienda la utilización de mediciones a intervalos de muestreo máximos de un minuto con el fin de permitir el análisis posterior de los eventos máximos. Sin perjuicio de lo anterior, no se aceptará un intervalo de muestreo superior a 10 minutos.
v.	Se debe realizar una tabla de al menos de 8 direcciones y 6 filas de bandas de intensidad de viento, conteniendo la frecuencia de ocurrencia en cada combinación
vi.	Se debe estimar la velocidad del viento con periodos de retorno de 10, 25 y 50 años
vii.	Cuando se realicen mediciones de forma estacional, aquella información tendrá una validez de 5 años de servicio o 2 ciclos productivos.

4.1.2.2.1 Análisis e informe

Los procedimientos de análisis de los datos obtenidos deberán estar dirigidos a cumplir los siguientes objetivos:

- a) Control de calidad de la información.
- b) Caracterización estadística básica.
- c) Caracterización de la variabilidad temporal.
- d) Validación de los datos de viento de corto período con referencia a la información de estaciones permanentes.
- e) Análisis estadístico de extremos.
- f) Asimilación de la información sobre la base de características topográficas de la zona en la cual se ubica el sitio de interés.

El informe técnico de vientos deberá contener a lo menos la siguiente información:

- a) Objetivo del estudio.
- b) Descripción y características del instrumental utilizado.
- c) Metodologías empleadas.
- d) Análisis realizados.
- e) Resultados y conclusiones incluyendo valores de diseño.

4.1.2.2.3 Oleaje

Tabla 6 - Tabla de propuesta para la medición de oleaje

Medición de oleaje	
i.	Se deberá obtener una data de a lo menos 20 años de oleaje en aguas profundas.
ii.	La determinación del oleaje en aguas someras deberá ser por transferencia espectral direccional, desde aguas profundas al sitio de interés por medio de modelos numéricos de tercera generación como mínimo.
iii.	El uso de la modelación numérica deberá incluir los fenómenos de difracción, reflexión y asomeramiento.
iv.	Para aguas interiores se debe utilizar la metodología del Hindcasting, utilizando 10 años de información de vientos.
v.	Cuando no existe información disponible de oleaje ni de viento para generar Hindcasting, se deben realizar mediciones in situ de forma estacional (invierno y verano) con

	instrumentos en un periodo mínimo de 30 días, para caracterizar el oleaje en el rango de periodos de 3 a 30 segundos.
vi.	El instrumento deberá ser instalado cerca del sitio de interés y registrar olas cada 3 horas como máximo, por un periodo de muestreo de a lo menos 18 minutos y con una frecuencia de muestreo de 0,5 segundos (2 Hz) como mínimo.
vii.	Se deberá indicar como mínimo el huso horario empleado en mediciones y las coordenadas geográficas en UTM de la posición de fondeo del instrumento en datum WGS - 84. El instrumental por utilizar deberá ser capaz de registrar al menos periodo, altura y dirección de olas.
viii.	Las mediciones con instrumentos ubicados en el fondo deberán ser efectuadas preferentemente cerca de la instrumentación que mide corrientes.
ix.	Se deberá realizar un análisis de clima extremo y clima medio (clima operacional), utilizando periodos de retorno de 10, 25 y 50 años.
x.	Para estimar la altura significativa de ola con periodos de retorno, se recomienda utilizar la función de distribución de Gumbel, Weibull o Pareto y se debe utilizar la que posea el mejor ajuste.
xi.	Para oleaje regular (Teoría lineal de oleaje) se recomienda $H_{max} = 1.86 \times H_s$, solo cuando se utilicen mediciones instrumentales.
xii.	Para oleaje irregular en costa abierta se recomienda utilizar espectro Jonswap y para fiordos se recomienda utilizar espectro Pierson - Moskowitz
xiii.	Cuando se realicen mediciones de forma estacional, aquella información tendrá una validez de 5 años de servicio o 2 ciclos productivos.

Cabe mencionar, que existe estadística de oleaje gratis:

- a) 35 años de información (1980 - 2015) en aguas profundas, información calibrada para *input* de modelos numéricos. Beyá et al., 2016. Atlas de Oleaje de Chile. Primera edición. Valparaíso, Chile, Escuela de Ingeniería Civil Oceánica - Universidad de Valparaíso.
- b) Explorador de energía marina de la Universidad de Chile

4.1.2.2.3.1 Presentación del informe

El informe deberá contener una descripción del área de estudio, origen del estudio y sus objetivos, fuentes de datos e información, y cualquier otro antecedente que permita establecer el marco conceptual en el cual se desarrolló el trabajo.

Asimismo, se deberá indicar una descripción de los equipos utilizados durante el trabajo de terreno y sus rangos de operación y exactitud, metodologías empleadas, descripción del modelo, posicionamiento del instrumental, niveles de confianza y otros antecedentes que permitan reproducir el trabajo de terreno y el procesamiento en oficina.

La representación en figuras y gráficos es preferida antes que extensos listados de datos. Se exigirán memorias de cálculos, en caso de que se requiera profundizar sobre algún aspecto del informe, como es el caso de la proposición de metodologías para determinar el oleaje generado por vientos.

4.1.2.2.4 Batimetría

Tabla 7 - Tabla de propuesta para la medición de batimetría

i.	La escala de los levantamientos, por lo general será 1: 1.000 ó 1: 500, de modo que permita determinar el relieve batimétrico en la forma más clara y precisa posible. Si por motivos justificados no fuese posible confeccionar el plano final a estas escalas, se deberá informar a la Autoridad encargada de esta norma.
ii.	La separación máxima entre las líneas de sondas principales será de 20 metros en el terreno, independiente de la escala del plano. El sentido de las líneas será perpendicular a la línea de costa y equidistantes entre sí. Dicha separación es el máximo establecido, pudiendo ser menor, debiendo mantener igual separación de corridas en todo el sondaje.
iii.	Las líneas de sondas de comprobación se realizarán en forma transversal a las corridas principales, y su separación será cada 50 metros, como máximo.
iv.	La tolerancia de error en la medición de profundidades dependerá del largo de la sonda, es decir, para sondas de 10 metros se tolerará 10 centímetros de error, para 20 metros se tolerará 15 centímetros de error y para un largo de 30 metros se tolerará 30 centímetros de error.
v.	Con el propósito de aclarar la información contenida en un plano de sondas, se deberán incluir veriles. Como máximo se sugiere que sean cada 20 metros.
vi.	El posicionamiento de la embarcación durante el sondaje se efectuará mediante la intersección de tres ángulos simultáneos de teodolito o taquímetro, instalados en estaciones de sondaje en tierra. Los ángulos serán medidos a una señal instalada sobre el transductor en la embarcación.
vii.	Durante la ejecución de las líneas de sondas, la embarcación debe navegar a velocidad constante y será dirigida desde una de las estaciones de sondaje, o bien, desde una cuarta estación especialmente ubicada para este propósito con teodolito o taquímetro.

viii.	Para el posicionamiento del sondaje, se deberán utilizar instrumentos que permitan tomar una lectura directa de 1 minuto de arco en graduación sexagesimal o centesimal, y cuyo error de colimación horizontal no exceda en +/- 1 minuto.
ix.	Solo en el caso de utilizar un instrumento multihaz la frecuencia de muestreo de dichos equipos debe cumplir lo siguiente: <ul style="list-style-type: none"> • A una profundidad entre 100 [m] y 12 [km] - Frecuencia entre 10 y 15 [KHz] • A una profundidad entre 30 y 3000 [m] - Frecuencia entre 30 y 50 [KHz] • A una profundidad entre 5 y 500 [m] - Frecuencia entre 80 - 180 [KHz] • A una profundidad entre 0 y 100 [m] - Frecuencia entre 200 - 400 [KHz]
x.	En el caso de utilizar un instrumento monohaz, se debe utilizar la frecuencia de muestreo que posee el equipo.
xi.	La información batimétrica medida, tendrá una validez de 5 años de servicio o dos ciclos de cultivo debido a los cambios de fondo por los movimientos verticales cosismicos.
xii.	Respecto al control geodésico, posicionamiento del GPS, medición de profundidades, comprobación de ecosonda y todo lo que conlleve a una determinación batimétrica debe ser referente a la instrucción hidrográfica N°5 del SHOA "Especificaciones técnicas para la ejecución de sondaje"

4.1.2.2.4.1 Presentación del informe

El informe final, los planos y los antecedentes que lo avalan, deben ser firmados por el profesional responsable del levantamiento.

Para facilitar el proceso de revisión, el informe deberá ser entregado de la siguiente forma:

- a) Capítulo I: Memoria.
- b) Capítulo II: Control.
- c) Capítulo III: Sondaje.
- d) Capítulo IV: Nivel del Mar.
- e) Capítulo V: Referencia.
- f) Anexos: Control - Nivel del Mar - Sondaje

4.1.2.2.5 Tipo de fondo

Tabla 8 - Tabla de propuesta para determinar el tipo de fondo

i.	Se puede determinar el tipo de fondo con un análisis de resultados de sondaje multihaz
ii.	Se puede corroborar la eficiencia del muerto o anclaje con pruebas de tracción (Ver 4.4.2.2)
iii.	Se puede complementar la información del tipo de fondo con fotografías y/ o videos mediante ROV submarinos
iv.	En el caso de instalar pernos de anclaje, se debe caracterizar el tipo de costa y el tipo de roca donde se realizará el punto de anclaje.
v.	Se deberá tomar muestras de sedimento marino dentro del área del proyecto, considerándose al menos 10 puntos de muestreo, con espaciado adecuado que cubra toda el área de estudio
vi.	Se deberá realizar un análisis granulométrico con el método Wentworth (1922)

4.1.2.2.5.1 Presentación del informe

- a) Metodología de análisis.
- b) Tablas y gráficos de resultados granulométricos obtenidos para cada muestra.
- c) Tablas y gráficos de resultados del espesor de la capa de fondo, cuando corresponda.
- d) Análisis estadístico que valide la comparación entre muestras.
- e) Mapa de distribución superficial de sedimentos.
- f) Coordenadas UTM y geográficas de las estaciones de muestreo.
- g) Análisis de carácter descriptivo y estadístico de los resultados y su respectiva discusión.'

4.1.2.3 Comentarios

En el momento de realizar mediciones de parámetros ambientales para el diseño del sistema de cultivo, se debe hacer de forma simultánea entre variables, es decir, se debe medir corrientes, viento y oleaje de forma estacional (invierno y verano), en el mismo periodo de tiempo (30 días en invierno y 30 días en verano), sin embargo, esta información solo tendrá una validez de 5 años de servicio o dos ciclos productivos con el fin de aumentar en el tiempo la serie de datos para cada concesión, para prevalecer la calidad del diseño debido al comportamiento estocástico de la oceanografía.

4.1.3 Formulaciones para el análisis estático y dinámico

4.1.3.1 Método estático

La memoria de cálculo de fondeo a través del método estático consiste en determinar la fuerza de arrastre total de un sistema de cultivo con formulaciones lineales que tienden a sobre o subestimar los resultados. Estos resultados están en función de la acción de la corriente, oleaje y viento para luego dividir dicha fuerza de arrastre resultante en una cantidad de líneas de fondeo que, dado cierto dimensionamiento, resistan las fuerzas incidentes con un margen de seguridad.

A continuación, se presenta una metodología para la elaboración de una memoria de cálculo de fondeo a través de un método estático que permita evaluar el dimensionamiento de los componentes que conforman un sistema, sin embargo, es necesario presentar el proyecto del centro de cultivo en estudio, exponiendo información básica como:

- a) Empresa productora,
- b) Área de la concesión,
- c) Ubicación geográfica (en coordenadas UTM) y
- d) Objetivos del estudio (Cantidad de módulos y cantidad de peces)

4.1.3.2 Antecedentes (parámetro de cálculo, condición ambiental del sitio, descripción del sistema de cultivo)

4.1.3.2.1 Condición ambiental del sitio

Definir las condiciones ambientales del sitio de acuerdo con los estudios de corriente, oleaje y viento que posea la empresa de cultivo, los cuales deben haber sido realizados conforme a la normativa vigente.

Para la memoria de cálculo de fondeo (MCF), se debe presentar para cada lateral y cabezal del tren o módulo de jaulas, la máxima velocidad de corriente (kn o m/s) y viento (kn o m/s) considerando un periodo de retorno mínimo de 10 años. Mientras que para el caso del oleaje se deberá presentar la altura significativa (H_s) de la ola (m) y periodo (s) para cada lateral y cabezal del tren o módulo de jaulas, considerando un periodo de retorno mínimo de 10 años, sin embargo, hay que aclarar que no se excluye la dirección, sólo se considera un escenario probable desde donde vendría la mayor ola que afecte al tren de jaulas por cada lateral y cabezal, ya que actualmente la mayoría de los sitios presentan un % de cargas por olas inferior al de las corrientes.

Respecto a lo anterior, frecuentemente no se considera un periodo de retorno de 50 años dado la naturaleza del negocio, el cual consta del uso intensivo de un área por un periodo de no más de 2 años (ciclo productivo). Además, por otro lado, se podría sobredimensionar los materiales y todo lo que esto conlleva en términos operacionales y de costos, éste último punto es crucial debido a que se perdería competitividad con otros países productores.

4.1.3.2.2 Descripción del sistema de cultivo

Se debe presentar una descripción del sistema de cultivo, exponiendo como mínimo la siguiente información:

1. Tipo de balsa jaula
2. Dimensiones de la balsa y número de balsas por tren o módulo según corresponda el tipo de balsa.
3. Tipos de pasillos utilizados en cada módulo, dimensiones de cada pasillo, peso de cada pasillo, Tipo, dimensiones y cantidad de flotadores por pasillo.
4. Tamaño de la jaula o red de confinamiento (presentar planos)
5. Tamaño de malla de la red de confinamiento, material (es) y diámetro de hilo
6. Tamaño de la red lobera (Presentar planos), identificando su configuración funcional (tensores, reticulado etc.)
7. Tamaño de malla de la red lobera, material (es) y diámetro de hilo.

4.1.3.2.3 Descripción del sistema de fondeo

Presentar plano de ingeniería de detalle del sistema de fondeo, lo cual se entenderá como el diseño y dimensionamiento del sistema para cada línea de fondeo, lo cual incluye un plano con todos los componentes tales como cabos, cadenas, cables, muertos, anclas, pernos de anclaje, herrajes, boyas, entre otros.

4.1.3.2.3.1 Metodología para la determinación de la fuerza de arrastre

La fuerza de arrastre corresponde a la sumatoria de las fuerzas de arrastre (F_A) por viento (F_V), oleaje (F_W) y corriente (F_C), no obstante, cabe mencionar que la metodología de cálculo para la fuerza de arrastre se complementa con la información del capítulo 4.3

$$F_A = F_V + F_W + F_C$$

4.1.3.2.3.2 Fuerza de arrastre por viento

La fuerza de arrastre por viento se encuentra principalmente en función de la velocidad del viento y del área expuesta. También depende de algunas constantes propias de la forma y altura de la estructura a fondear. Se calcula con la siguiente ecuación:

$$F_v = \frac{1}{2} * \rho_a * C_h * C_s * A_{exp} * V_v^2$$

Donde:

F_v : Fuerza de arrastre por viento

ρ_a : Densidad del aire

C_h : Coeficiente de altura (1 para alturas inferiores a 10 m)

C_s : Coeficiente de forma (Ubicado en el anexo 6.22, similar a coeficiente de arrastre C_d)

A_{exp} : Área expuesta al flujo

V_v : Velocidad del viento

Se considera como área expuesta al flujo a los componentes que están sobre la línea de agua, aplicado específicamente a; el cerco perimetral lobero, redes peceras, redes pajareras, obra muerta de la estructura flotante (balsas) y pirámide pajarera.

4.1.3.2.3.3 Fuerza de arrastre por corriente

La estimación teórica de la fuerza por corriente depende de factores como densidad del agua de mar, la velocidad de la corriente, la superficie de impacto y el coeficiente de arrastre de la corriente sobre la estructura y/o mallas. La sociedad clasificadora ABS (American Boureau of Shipping) propone una fórmula empírica (Morison *et al.* 1950) para el cálculo de esta fuerza de arrastre producto de la acción de la corriente.

$$F_c = \frac{1}{2} * \rho_{h2O} * C_d * A_{exp} * V_c^2$$

Donde:

F_c : Fuerza de arrastre por corriente

ρ_{h2O} : Densidad del agua

C_d : Coeficiente de arrastre (En función del número de Reynolds y la forma del objeto a analizar)

A_{exp} : Área expuesta al flujo

V_c : Velocidad de la corriente

La fuerza por corriente depende principalmente de los flotadores en los pasillos del módulo, las redes peceras y las redes loberas. Para la determinación de la fuerza que ejerce la corriente sobre los flotadores se considera el impacto sobre una forma plana

El área expuesta al flujo de la red pecera se considera como la longitud total de hilo del primer paño de red de confinamiento (jaula) por el diámetro del hilo:

$$A_{exp} = L_h * \phi$$

L_h : Longitud total de hilo en el primer paño de red (Considera la longitud total del hilo expuesto al flujo)

ϕ : Diámetro del hilo

El coeficiente de arrastre para el caso de las redes dependerá del tipo de red, ya sea pecera o lobera, su geometría y el material del hilo puesto que la rugosidad del mismo definirá el régimen del flujo, siendo éste laminar o turbulento. La determinación de este valor es propuesta en este documento, sin embargo, es necesario entender que es un valor particular a cada red y debe ser estudiado a fin de entregar información certera y así evitar sobreestimaciones de carga sobre la red.

Sin embargo, el modelo estático debe incorporar un coeficiente de reducción de la velocidad de corriente (R) producto de la resistencia que ponen los paños, según lo descrito por Loland (1991) el cual debe aplicarse cada vez que se calcule la fuerza de arrastre para cada paño. Como convención se propone considerar una reducción de un 10% en la velocidad de corriente al atravesar cada paño de red. Lo anterior ha sido observado en mediciones en centros de cultivo con velocidades de corriente moderada por lo que se considera una reducción adecuada y conservadora en redes limpias.

4.1.3.2.3.4 Fuerza de arrastre por oleaje

En concordancia a los reglamentos señalados, las cargas por oleaje incidente son calculadas en consideración al régimen de carga, profundidad del lugar, características de la ola y las dimensiones estructurales del artefacto naval.

Para cada dirección de viento desfavorable, la combinación altura de ola - período debe ser calculada.

En primer orden de interés, la fuerza por olas y movimientos inducidos por oleaje en

sistemas de Anclaje permanente son calculados en el plano, es decir, para el cálculo se consideran las olas en el plano xy pero luego cuando se especifican las cargas por línea, se toma en cuenta un plano cuyo ángulo de inclinación es entre la superficie del mar y la línea de fondeo que se conecta al fondo marino en la dirección paralela al nivel del mar. Estas magnitudes son calculadas por teorías pertinentes, presentadas en adelante. Las magnitudes obtenidas son las fuerzas restauradoras inducidas por las líneas de fondeo.

Para estructuras esbeltas, las cuales no modifican significativamente el campo de olas incidente, la formulación semi – empírica como la de Morison puede ser usada. Para calcular cargas de ola en estructuras que modifican significativamente el oleaje, se deben usar métodos de difracción.

Cada combinación de altura de ola, período y profundidad de agua, considerado un rango de posiciones relativas a la estructura debe ser analizada para asegurar una adecuada determinación de máxima carga de oleaje en la jaula.

4.1.3.2.3.5 Elementos afectados por oleaje incidente

Para determinar la fuerza resultante, se establece cual es el área expuesta a su acción, en términos generales se deben considerar superestructuras y flotadores.

4.1.3.2.3.6 Formulas utilizadas

El cálculo de fuerzas por oleaje se subdivide en cargas horizontales; de arrastre y golpe de ola y cargas verticales, inercia, utilizando la formulación de Morison.

4.1.3.2.3.7 Ecuación de Morison

La fuerza hidrodinámica actuando normal al eje de una estructura cilíndrica está dada por la ecuación de Morison que se expresa como la suma de vectores indicados a continuación.

$$F_W = F_D + F_I$$

Donde:

F_W es la fuerza hidrodinámica por unidad de longitud a lo largo del miembro, actuando normal al eje de dicho miembro.

F_D es la fuerza de arrastre o Drag por unidad de longitud.

F_I es la fuerza de inercia por unidad de longitud.

El vector de fuerza de arrastre por unidad de longitud para un elemento rígido y estacionario esta dado por:

$$F_D = \frac{C_d}{2} * \rho * A * u_n * |u_n|$$

Donde:

A: área proyectada en metros, del elemento en la dirección de la componente de velocidad perpendicular al flujo.

C_D: coeficiente de arrastre (adimensional).

u_n: componente de la velocidad, normal al eje de elemento en (m/s).

(u_n): valor absoluto de u_n.

ρ: densidad de masa del agua de mar en (kg s²/m⁴).

El vector fuerza de inercia por unidad de longitud para un elemento rígido y estacionario esta dado por:

$$F_I = \rho * V * C_M * a_n$$

Donde:

V: volumen del elemento.

C_M: coeficiente de inercia basado en la masa del fluido desplazado por unidad de longitud (adimensional).

a_n: componente del vector aceleración, normal al eje del elemento en (m/s²).

Los valores de u_n y a_n usados en la ecuación de Morison son determinados usando la teoría de ondas para conocer la altura de ola y período de ola considerando las profundidades del agua. El coeficiente de arrastre e inercia varían considerablemente con la sección de la forma del elemento. El número de Reynolds y Keulegan Carpenter y la superficie rugosa, estarán basados en datos fiables obtenidos de literatura y pruebas de modelo o de prototipo. Para elementos cilíndricos con número de Reynolds mayores a 1 x 10⁶ y C_M y C_D pueden tomar valores de 0,6 y 1,8 respectivamente procurando que las incrustaciones marinas son removidas periódicamente. Para otros números de Reynolds se recomienda seleccionar valores en base a las siguientes figuras.

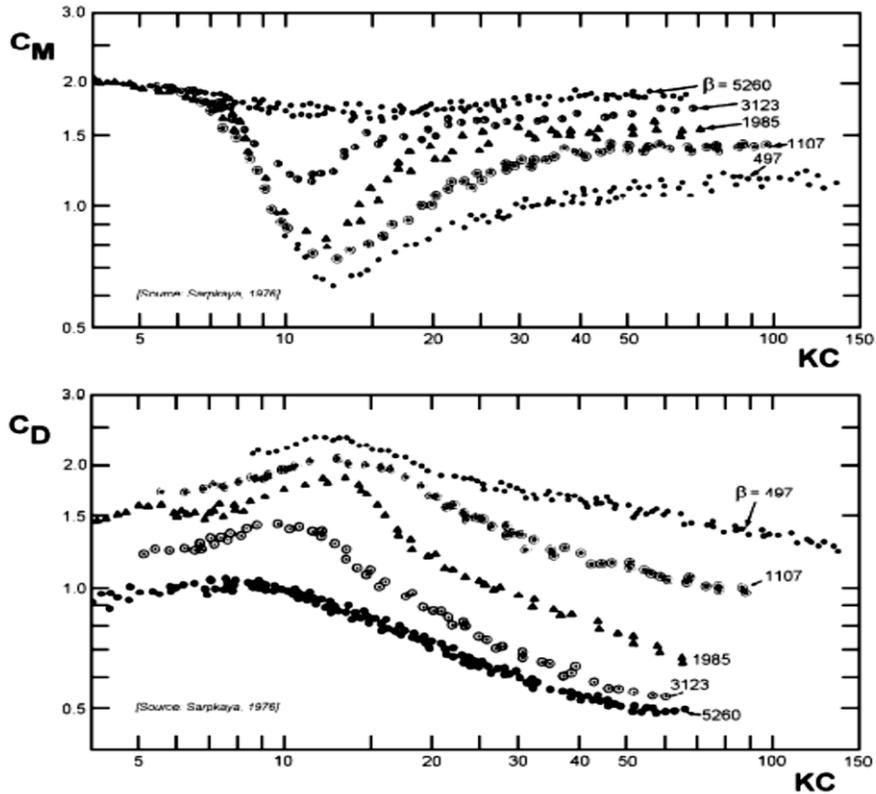


Figura 3 - Valores para coeficiente de arrastre e inercia en funcion de los números de Reynolds y Keulegan Carpenter de Sarpkaya (1976)

Considerando que:

$$Re = \frac{ud}{\nu}$$

$$KC = \frac{uT}{d}$$

$$\beta = \frac{Re}{KC}$$

4.1.3.2.4 Resultado de tensiones

4.1.3.2.4.1 Tensiones máximas en los componentes del sistema de fondeo

Estimar las tensiones máximas en todas las líneas de fondeo en función a las distintas combinaciones de viento, oleaje y corrientes que inciden en cada lateral y cabezal del tren o módulo de cultivo lo cual se entenderá como Sistema de fondeo intacto (SFI).

Para el caso de sistema con fouling (ScF), se deben estimar las tensiones de todas las líneas de fondeo a las distintas combinaciones de viento, oleaje y corrientes que inciden en cada lateral y cabezal del tren o módulo de cultivo, considerando el efecto del fouling como un aumento en la solidez, alcanzando en el caso de la red lobera y red pecera un valor de 0.5 (Ver 4.3.5.1).

Finalmente, se debe estimar el estado limite accidental (ELA), para lo cual se debe identificar claramente la línea de fondeo con la máxima tensión, para luego reevaluar las tensiones del sistema de fondeo con esta línea cortada.

4.1.3.2.4.2 Resumen de tensiones máximas

Presentar una tabla con un resumen de los resultados obtenidos en la simulación dinámica indicando la línea de fondeo que presento la máxima tensión en cada uno de los escenarios evaluados.

4.1.3.2.4.3 Factores de utilización de los distintos componentes del sistema de fondeo

Para cada uno de los tres escenarios (SFI, ScF y ELA) se debe presentar: la tensión calculada a la cual se expone cada componente del sistema de fondeo (excepto boya y elemento de sujeción como ancla o muerto), Los factores de seguridad utilizados y el factor de utilización (K) el cual debe ser menor que 1.

$$K = \frac{\sigma_{Max} * F_{Amb}}{\frac{\sigma_{Cri}}{F_{Mat} * F_{Ana}}}$$

Donde:

K: Factor de utilización

σ_{Max} : Tensión estimada

F_{Amb} : Factor de seguridad aplicada a la carga ambiental

σ_{Cri} : Tensión crítica (resistencia a la ruptura)

F_{Mat} : Factor de seguridad aplicada al material

F_{Ana} : Factor de seguridad aplicada al tipo de análisis

Para este caso en que el tipo de análisis es por Metodología estática por lo cual el factor a emplear es 1,6. Los factores de seguridad aplicados al material y a la carga ambiental para

el caso de sistema intacto, con fouling y carga limite accidental se encuentran detallados en el punto 4.2

Para el caso de los elementos de fijación como anclas, muertos, pernos de anclaje o boyas se debe considerar lo siguiente:

1. Para muertos

$$R_t = P_{Sum} * C_{Roce}$$

R_t : Resistencia a la tracción

P_{Sum} : Peso sumergido

C_{Roce} : Coeficiente de roce (utilizar factor 0,5)

2. Para anclas

$$R_t = P_{Seco} * C_{Agarre}$$

R_t : Resistencia a la tracción

P_{Seco} : Peso seco

C_{Agarre} : Coeficiente de agarre (utilizar factor menor igual a 20), es posible utilizar factores superiores previa realización de una prueba de tracción en la concesión donde se instalará el centro de cultivo.

3. Para Pernos de anclaje

Utilizar la resistencia a la ruptura al corte (shear) entregada por el fabricante de pernos y calcular el factor de utilización K.

4. Caculo de boyas

Es posible estimar mediante la simulación dinámica, la tensión de las líneas de fondeo para luego descomponerla en los tres ejes coordenados. La fuerza vertical calculada correspondería a la fuerza a la cual estará sometida la boya aplicando un factor de seguridad de 1.0

4.1.3.3 Método dinámico

Para realizar una memoria de cálculo de fondeo a través de un análisis de simulación dinámica, el software a utilizar debe estar sustentando como mínimo por el método de elementos finitos (MEF), método que se basa en la ley de Hooke, donde la deformación elástica es proporcional al esfuerzo generado. El objetivo es que realice un análisis global de las fuerzas de transmisión entre los componentes rígidos y flexibles, calculando las fuerzas locales y tensiones en cada componente.

Dado lo anterior, se propondrá una pauta básica para la elaboración de una memoria de cálculo de fondeo con el software de simulación dinámica que permita evaluar el dimensionamiento de los componentes de un sistema de fondeo de balsas jaulas, sin embargo, es necesario presentar el proyecto del centro de cultivo en estudio, exponiendo información básica como:

- a) Empresa productora,
- b) Área de la concesión,
- c) Ubicación geográfica (en coordenadas UTM) y
- d) Objetivos del estudio (Cantidad de módulos y cantidad de peces)

4.1.3.3.1 Antecedentes

4.1.3.3.1.1 Condición ambiental del sitio

Definir las condiciones ambientales del sitio de acuerdo a los estudios de corriente oleaje y viento que posea la empresa de cultivo, los cuales deben haber sido realizados conforme a la normativa vigente.

Para la memoria de cálculo de fondeo (MCF), se debe presentar la máxima velocidad de corriente (kn o m/s) y viento (kn o m/s) considerando un periodo de retorno mínimo de 10 años. Mientras que para el caso del oleaje se deberá presentar la máxima altura significativa (Hs) de la ola (m) y periodo (s), considerando un periodo de retorno mínimo de 10 años.

4.1.3.3.1.2 Descripción del sistema de cultivo:

Se debe presentar una descripción del sistema de cultivo, exponiendo como mínimo la siguiente información:

1. Tipo de balsa jaula
2. Dimensiones de la balsa y número de balsas por tren o módulo según corresponda el tipo de balsa.

3. Tipos de pasillos utilizados en cada módulo, dimensiones de cada pasillo, peso de cada pasillo, Tipo, dimensiones y cantidad de flotadores por pasillo.
4. Tamaño de la jaula o red de confinamiento (presentar dibujo)
5. Tamaño de malla de la red de confinamiento, material (es) y diámetro de hilo
6. Tamaño de la red lobera (Presentar plano), identificando su configuración funcional (tensores, reticulado etc.)
7. Tamaño de malla de la red lobera, material (es) y diámetro de hilo

4.1.3.3.1.3 Descripción del sistema de fondeo

Presentar Plano de ingeniería de detalle del sistema de fondeo, lo cual se entenderá como el diseño y dimensionamiento del sistema para cada línea de fondeo, lo cual incluye un plano con todos los componentes tales como cabos, cadenas, cables, muertos, anclas, pernos de anclaje, herrajes, boyas, entre otros.

Los componentes más importantes del sistema de fondeo como Cabos, Cables, cadenas y en general componentes que generen resistencia solo a las cargas axiales, deben contar además con las especificaciones técnicas del material como Módulo de elasticidad y Densidad, los cuales deben contar con certificación.

4.1.3.3.1.3.1 Simulación Dinámica

Al realizar la simulación dinámica, el operador del software deberá considerar todos los antecedentes expuestos con anterioridad para construir el modelo, en especial el sistema de fondeo, que debe considerar toda la información técnica respecto a la materialidad de los componentes empleados.

Respecto a las condiciones ambientales, bastará que el simulador considere la acción de la corriente, el viento y el oleaje.

4.1.3.3.1.3.1.1 Resultados de la simulación dinámica

4.1.3.3.1.3.1.1.1 Tensiones máximas en los componentes del sistema de fondeo

Estimar las tensiones máximas en todas las líneas de fondeo en función a la máxima velocidad de corriente, oleaje y viento las cuales deben actuar al mismo tiempo y al menos en las direcciones 0° 45° y 90° respecto al módulo (Sistema de fondeo intacto).

De igual manera se deben estimar las tensiones de todas las líneas de fondeo en función a la máxima velocidad de corriente, oleaje y viento las cuales deben actuar al mismo tiempo y al menos en las direcciones 0° 45° y 90° respecto al módulo considerando un factor de fouling que aumente la solidez de la pecera y lobera un 50% (Sistema con fouling).

Para cada uno de los tres análisis del sistema con fouling se deberá identificar claramente la línea de fondeo con la máxima tensión, para luego reevaluar las tensiones del sistema de fondeo con esta línea cortada (Estado limite accidental).

4.1.3.3.1.3.1.1.2 Resumen de tensiones máximas

Presentar una tabla con un resumen de los resultados obtenidos en la simulación dinámica indicando la línea de fondeo que presento la máxima tensión en cada uno de los escenarios evaluados.

4.1.3.3.1.3.1.1.3 Factor de utilización de los distintos componentes del sistema de fondeo

Para cada componente del sistema de fondeo (excepto boya y elemento de sujeción como ancla o muerto) se debe presentar la tensión máxima estimada en cada una de las simulaciones, Los factores de seguridad utilizados y el factor de utilización (K) el cual debe ser menor que 1.

$$K = \frac{\sigma_{Max} * F_{Amb}}{\frac{\sigma_{Cri}}{F_{Mat} * F_{Ana}}}$$

Donde:

K: Factor de utilización

σ_{Max} : Tensión máxima registrada en la simulación dinámica

F_{Amb} : Factor de seguridad aplicada a la carga ambiental

σ_{Cri} : Tensión crítica (resistencia a la ruptura)

F_{Mat} : Factor de seguridad aplicada al material

F_{Ana} : Factor de seguridad aplicada al tipo de análisis

Para este caso en que el tipo de análisis es por simulación dinámica el factor a emplear es 1,15. Los factores de seguridad aplicada al material y a la carga ambiental para el caso de sistema intacto, con fouling y carga limite accidental se encuentran detallados en el punto 4.2

Para el caso de los elementos de fijación como anclas, muertos o pernos de anclaje, se debe considerar lo siguiente

a) Para muertos

$$R_t = P_{Sum} * C_{Roce}$$

R_t : Resistencia a la tracción

P_{Sum} : Peso sumergido

C_{Roce} : Coeficiente de roce (utilizar factor 0,5)

b) Para anclas

$$R_t = P_{Seco} * C_{Agarre}$$

R_t : Resistencia a la tracción

P_{Seco} : Peso seco

C_{Agarre} : Coeficiente de agarre (utilizar factor menor igual a 20), es posible utilizar factores superiores previa realización de una prueba de tracción en la concesión donde se instalará el centro de cultivo.

c) Para Pernos de anclaje

Utilizar la resistencia a la ruptura al corte (shear) entregada por el fabricante de pernos y calcular el factor de utilización K.

d) Caculo de boyas

Es posible estimar mediante la simulación dinámica, la tensión de las líneas de fondeo para luego descomponerla en los tres ejes coordenados. La fuerza vertical calculada correspondería a la fuerza a la cual estará sometida la boya aplicando un factor de seguridad de 1.0

4.2 Objetivo 2.2.2

Determinación de coeficientes de seguridad recomendados para los diferentes elementos en módulos de cultivo.

4.2.1 Marco general

La determinación de los coeficientes o factores de seguridad se realizó respecto a tres normas extranjeras que son referencia mundial en memorias de cálculo de fondeo (NS9315, ATFSM y Berau Veritas). Estos factores se deberán emplear en el dimensionamiento de los distintos componentes del sistema de fondeo como cabos, cables cadenas, grilletes, guardacabos, anillos de distribución, anclas, muertos, pernos y otros elementos de conexión, además de los pasillos de las balsas y elementos de flotación. Por otra parte, la determinación de los factores de seguridad para cada elemento estructural fue a través de pruebas en laboratorios (NS 1993), pero se recomienda que exista un frecuente estudio o análisis de estos factores de seguridad.

4.2.2 Antecedentes

Se compararon las normas de Noruega (NS9415 - Norwegian Standard), Escocia (A Technical Standard for Scottish Finfish Aquaculture) y la casa certificadora francesa (Bureau Veritas - Rules for the classification and Certification of Fishfarms), tal como se describe a continuación:

4.2.2.1 Tipos de carga

Para diseñar un sistema de cultivo se deben considerar todos los tipos de carga de la siguiente tabla:

Tabla 9 - Tipos de cargas a considerar para el diseño del sistema de cultivo

Para Noruega, Escocia y Berau Veritas los tipos de cargas son iguales	
Cargas permanentes: Carga viva de equipamientos	
Incluye	Peso del sistema de cultivo en aire
	Peso fijo del equipamiento
	Fuerzas de boyas estáticas
Cargas variables: Cargas intermitentes	
Incluye	Equipamiento mecánico
	Personal
	Alimentación
	Estabilizador variable
	Carga común del equipamiento primario y secundario
	Impacto de embarcación

	Defensa o amarras de embarcación
	Cargas aplicadas respecto a las operaciones
Cargas de deformación	
Incluye	Pre - tensión
	Amarras
	Temperatura
Cargas ambientales	
Incluye	Corrientes
	Vientos
	Oleaje
Cargas accidentales	
Incluye	Ruptura en las líneas de amarre
	Ruptura en los conectores
	Perforación o pérdida de elementos de flotación

4.2.2.2 Formulas aplicadas para la relación de tensiones de los elementos estructurales

Las siguientes formulas se utilizan en el análisis de cada elemento estructural del sistema de fondeo, donde se incluye el factor de seguridad respecto a las condiciones ambientales y el factor de seguridad respecto al tipo de material.

Tabla 10 - Formulas aplicadas para la relación de tensiones de los elementos estructurales del sistema de fondeo

	Noruega (NS9415)	Escocia (ATSFA)	Bureau Veritas
Relación de tensiones	$S_f \gamma_f \leq \frac{R}{\gamma_m}$	$S_f \leq \frac{R}{\gamma_m}$	$R_f = \min(\sigma_e, \frac{R_t}{1.2})$
Tensión admisible	$\sigma_{max} = \frac{\sigma_{critico}}{\gamma_m \times \gamma_f}$	$\sigma_{max} = \frac{\sigma_{critico}}{\gamma_m}$	$\sigma_a = R_f$
Factor de utilización	$K = \frac{S_f \gamma_f}{\frac{R}{\gamma_m}} < 1$	No especifica	No especifica

Donde:

S_f : Tensión debido a las fuerzas calculadas (Fuerzas medio ambientales, propio peso, etc.).

γ_f : Factor de seguridad respecto a las condiciones ambientales.

γ_m : Factor de material.

R: Resistencia del material o esfuerzo critico (Punto de fluencia del material).

K: Factor de utilización (Si es menor a 1 cumple el diseño el elemento estructural y si es mayor a 1 no cumple).

σ : Esfuerzo

σ_e : Esfuerzo del límite de fluencia del material

σ_a : Esfuerzo o condición de carga para el diseño estructural

R_t : Resistencia a tracción del material

R_f : Esfuerzo de referencia del material

A continuación, en la tabla 11 se describen los valores de factores de carga y factores de material que se utilizan frecuentemente en el diseño del sistema de fondeo.

Tabla 11 - Descripción de las expresiones de los factores de carga y material

Expresión	Descripción	Valor
σ_{max}	Máximo esfuerzo	-
$\sigma_{critico}$	Límite de fluencia	25 Mpa (HDPE o plástico) 300 Mpa (Acero) 260 - 400 Mpa (Aleación de Cobre)
γ_f	Factor de carga	1.3
γ_f estado limite accidental	Factor de carga	1.0
γ_m	Factor de material	Plástico 1.25 Acero 1.1 Aleación de Cobre 1.25
γ_m estado limite accidental	Factor de material	Plástico 1.0 Acero 1.0 Aleación de Cobre 1.0

Para ejemplificar, se describen dos condiciones ambientales diferentes que generan esfuerzos (Mpa) en componentes específicos (tabla 12). El diseño se basa principalmente en la relación de tensiones (tabla 10), es decir, si el factor de utilización es menor a 1 cumple el diseño y si no, se tiene que volver a dimensionar aquel componente estructural.

Tabla 12 - Ejemplo de aplicación de la relación de tensiones

Componentes	H_s [m]	1.0	1.3	Relación de tensiones						
	T_p [s]	3.5	4.3							
	V_c [Kn]	1	1.2							
	$\sigma_{m\acute{a}x}$	Run 1	Run 2	γ_f	$T_{max} \times \gamma_f$	$T_{critico}$	γ_m	$T_{critico}/\gamma_m$	K	
Cabo de 44 [mm] de diámetro	10 [Ton]	9 [Ton]	10 [Ton]	1.3	13.0 [Ton]	35,8 [Ton]	3	11.9 [Ton]	1.09	✗
Cabo de 48 [mm] de diámetro	10 [Ton]	9 [Ton]	10 [Ton]	1.3	13.0 [Ton]	42 [Ton]	3	14 [Ton]	0.93	✓

En la tabla 12 se puede observar que el cabo de 48 [mm] cumple con el diseño debido al factor de utilización K, mientras que el cabo de 44 [mm] no cumple con el diseño, ya que el factor de utilización K es mayor a 1, por lo tanto, se tiene que volver a dimensionar aquel componente estructural.

4.2.2.3 Factores de carga

Se emplean factores de seguridad en la estructura respecto al tipo de carga (tabla 13), no obstante, para un análisis de capacidad de flotación todos los factores de carga son igual a 1, para el sistema de fondeo completo se utiliza un factor de carga ambiental 1.3, tal como se describe en la tabla 11 y para condiciones de daño los factores de carga son igual a 1.

Tabla 13 - Factores de carga para el diseño estructural

Situación de dimensionamiento	Norma	Cargas permanentes	Cargas variables	Cargas de deformación	Cargas ambientales
Capacidad de flotación	Noruega	*1.0/0.9	1.0	1.0	1.0
	Escocia	1.0	1.0	1.0	1.0
	Bureau Veritas	No especifica	N - e	No especifica	No especifica
Capacidad del sistema del cultivo	Noruega	1.0	1.0	1.0	1.3
	Escocia	1.0	1.0	1.0	1.3
	Bureau Veritas	No especifica	N - e	No especifica	No especifica
Condición de daño	Noruega	1.0	1.0	1.0	1.0
	Escocia	1.0	1.0	1.0	1.0
	Bureau Veritas	No especifica	N - e	No especifica	No especifica

*Para noruega se utiliza 0,9 para la situación ambiental más favorable

N - e: No especifica

4.2.2.4 Factores de seguridad para los elementos de las líneas de amarre (sistema de fondeo)

Los factores de seguridad de los elementos de las líneas de amarre dependerán de las normas estructurales, del tipo de material y el propósito que tiene aquel material, sin embargo, las tres normas proponen factores de material similares (tabla 14), no obstante, existen diferencias debido a la aplicación de fórmulas de la relación de tensiones descrito en la tabla 10.

Tabla 14 - Factores de material para los elementos de las líneas de amarre

Tipo de elemento	Norma	Factor de material (γ_m)
Cabo sintético	Noruega	3.0
	Escocia	3.0
	Bureau Veritas	4.0
Cabo sintético con nudos	Noruega	5.0
	Escocia	5.0
	Bureau Veritas	No especifica
Cadenas y componentes de cadenas	Noruega	2.0
	Escocia	3.0
	Bureau Veritas	3.0
Cadenas usadas	Noruega	5.0
	Escocia	5.0
	Bureau Veritas	No especifica
Disco de acoplamiento y conectores de acero	Noruega	1.5
	Escocia	5.0
	Bureau Veritas	No especifica
Grilletes	Noruega	2.0
	Escocia	4.0
	Bureau Veritas	No especifica
Pernos de roca y sistemas de unión	Noruega	3.0
	Escocia	3.0
	Bureau Veritas	No especifica

Anclaje	Noruega	No especifica
	Escocia	3.0
	Bureau Veritas	3.0
Amarres de cadenas	Noruega	No especifica
	Escocia	3.0
	Bureau Veritas	No especifica

4.2.2.5 Factores de carga para las líneas de amarre (sistema de fondeo)

El sistema de fondeo es analizado respecto a las condiciones ambientales, por lo tanto, de acuerdo con el tipo de análisis, es el tipo de fórmulas que se aplica. Para el análisis estático se utilizan formulas lineales, para el análisis cuasi - estático, las variables ambientales son calculadas con modelos numéricos en un instante de tiempo determinado mezclado con fórmulas lineales, y el análisis dinámico es resuelto por modelos numéricos más complejos, donde varía el espacio y el tiempo (Ej. AquaSim). A continuación, se caracteriza en la tabla 15 los factores de carga respecto al tipo de análisis empleado por cada norma:

Tabla 15 - Factores de carga respecto al tipo de análisis

Tipo de análisis	Norma	Factor de carga
Análisis estático	Noruega	1.6
	Escocia	1.6
	Bureau Veritas	No especifica
Análisis cuasi - estático	Noruega	1.15 x DAF
	Escocia	1.15 x DAF
	Bureau Veritas	No especifica
Análisis dinámico	Noruega	1.15
	Escocia	1.15
	Bureau Veritas	No especifica

Donde:

DAF: Es el factor de amplificación dinámica, en Escocia tiene que ser mayor a 1 y en Noruega mayor a 1.1. Este valor tiene que ser justificado y documentado

4.2.2.6 Factores de carga para las instalaciones de acero

En el caso de los factores de carga para las instalaciones de acero, los estados límites son los que caracterizan el factor de material, es decir, si quiero estimar el accidente límite o la fatiga límite de un componente estructural utilizo los factores de material mínimo, no obstante, para las fuerzas de ruptura aumenta, tal como se describe a continuación:

Tabla 16 - Factores de material respecto a los estados límites de diseño

Estados límites	Parámetros	Norma	Factor de material (γ_m)
Fuerza de ruptura	Capacidad de sección transversal	Noruega	1.1
		Escocia	1.1
		Bureau Veritas	No especifica
Fuerza de ruptura	Tornillo, fricción y conexiones de soldadura	Noruega	1.25
		Escocia	1.25
		Bureau Veritas	No especifica
Fatiga límite	Factor para todos los materiales	Noruega	1.0
		Escocia	1.0
		Bureau Veritas	No especifica
Accidente límite	Factor para todos los materiales	Noruega	1.0
		Escocia	1.0
		Bureau Veritas	No especifica

4.2.3 Propuesta objetivo 2.2.2

En este capítulo se presentarán todas las propuestas de factores de seguridad para norma nacional de cálculo de fondeo, en el cual se describirán los tipos de carga, las fórmulas de relación de tensiones, las expresiones del factor de carga, factor de material y los factores de seguridad respecto al tipo de análisis.

A continuación, en la tabla 17 se caracterizan todas las cargas que deben ser consideradas para el diseño de un sistema de cultivo de peces.

Tabla 17 - Propuesta de tipos de cargas a considerar para el diseño de un sistema de cultivo

Chile	
Cargas permanentes: Carga viva de equipamientos	
Incluye	Peso del sistema de cultivo en aire
	Peso fijo del equipamiento
	Fuerzas de boyas estáticas
Cargas variables: Cargas intermitentes	
Incluye	Equipamiento mecánico
	Personal
	Alimentación
	Estabilizador variable
	Carga común del equipamiento primario y secundario
	Impacto de embarcación
	Defensa o amarras de embarcación
Cargas aplicadas respecto a las operaciones	
Cargas de deformación	
Incluye	Pre - tensión
	Amarras
	Temperatura
Cargas ambientales	
Incluye	Corrientes
	Vientos
	Oleaje
Cargas accidentales	
Incluye	Ruptura en las líneas de amarre
	Ruptura en los conectores
	Perforación o pérdida de elementos de flotación

Por otra parte, las siguientes formulas se utilizan en el análisis de cada elemento estructural del sistema de fondeo, donde se incluye el factor de seguridad respecto a las condiciones ambientales y el factor de seguridad respecto al tipo de material

Tabla 18 - Propuesta de fórmulas para aplicar en la relación de tensiones de un elemento estructural

	Chile
Relación de tensiones	$S_f \gamma_f \leq \frac{R}{\gamma_m}$
Tensión admisible	$\sigma_{max} = \frac{\sigma_{critico}}{\gamma_m \times \gamma_f}$
Factor de utilización	$K = \frac{S_f \gamma_f}{\frac{R}{\gamma_m}} < 1$

Donde:

S_f : Tensión debido a las fuerzas calculadas (Fuerzas medio ambientales, propio peso, etc.).

γ_f : Factor de seguridad respecto a las condiciones ambientales.

γ_m : Factor de material.

R: Resistencia del material o esfuerzo critico (Punto de fluencia del material).

K: Factor de utilización (Si es menor a 1 cumple el diseño el elemento estructural y si es mayor a 1 no cumple).

Para complementar la información, a continuación, se caracterizan las expresiones de los factores de carga y factores de material:

Tabla 19 - Descripción de las expresiones de los factores de carga y material

Expresión	Descripción	Valor
σ_{max}	Máximo esfuerzo	-
$\sigma_{critico}$	Límite de fluencia	25 Mpa (HDPE o plástico) 300 Mpa (Acero) 260 - 400 Mpa (Cobre)
γ_f	Factor de carga	1.3
γ_f estado limite accidental	Factor de carga	1.0

γ_m	Factor de material	Plástico 1.25 Acero 1.1 Cobre 1.25
γ_m estado limite accidental	Factor de material	Plástico 1.0 Acero 1.0 Cobre 1.0

En el mismo contexto, se emplean factores de seguridad en la estructura respecto al tipo de carga (tabla 19), no obstante, para un análisis de capacidad de flotación todos los factores de carga son igual a 1, para el sistema de fondeo completo se utiliza un factor de carga ambiental 1.3 (tabla 11) y para condiciones de daño los factores de carga son igual a 1, tal como se describe a continuación:

Tabla 20 - Propuesta de los factores de carga para el diseño estructural

Situación de dimensionamiento	Cargas permanentes	Cargas variables	Cargas de deformación	Cargas ambientales
Capacidad de flotación	1.0	1.0	1.0	1.0
Capacidad del sistema del cultivo	1.0	1.0	1.0	1.3
Condición de daño	1.0	1.0	1.0	1.0

Sin embargo, el correcto dimensionamiento de los sistemas de fondeo reviste una importancia trascendental si se considera que toda la producción de una empresa va a estar contenida en una estructura flotante, la que a su vez debe estar bien anclada y poseer un adecuado nivel de seguridad y mínimo riesgo ante el colapso mecánico de cualquiera de sus componentes estructurales. La selección del elemento apropiado para fijar las estructuras no es algo trivial, ya que esta debe basarse en las características geotécnicas del suelo existente en el lugar de emplazamiento de la balsa jaula. Los aspectos más importantes por considerar para lograr una correcta selección y dimensionamiento del elemento de anclaje son:

- Material constituyente del suelo marino
- Batimetría
- Dirección de carga: uni u omni-direccional
- Magnitud de las cargas verticales máximas

- Magnitud de las cargas horizontales máximas
- Posicionamiento requerido: Inexacto o Exacto

Por otra parte, la elección de uno u otro elemento de anclaje, dependerá principalmente de la relación costo-beneficio, en términos de poder de agarre y seguridad que proporcionan en relación con la carga máxima que deben resistir. Es por esto, que se consideran los siguientes factores de material para los elementos del sistema de fondeo:

Tabla 21 - Factores de material para los elementos de las líneas de amarre

Tipo de elemento	Factor de material (γ_m)
Cabo sintético	3.0
Cabo sintético con nudos	5.0
Cadenas y componentes de cadena	3.0
Cadenas usadas	5.0
Disco de acoplamiento y conectores de acero	5.0
Grilletes	4.0
Pernos de roca y sistemas de unión	3.0
Boyas	1.0
Amarres de cadenas	3.0

El sistema de fondeo es analizado respecto a las condiciones ambientales, por lo tanto, de acuerdo con el tipo de análisis, es el tipo de fórmulas que se aplica. Para el análisis estático se utilizan formulas lineales, y el análisis dinámico es resuelto por modelos numéricos más complejos, donde varía el espacio y el tiempo (Ej. AquaSim). A continuación, se caracteriza en la tabla 22 la propuesta de los factores de carga respecto al tipo de análisis empleado.

Tabla 22 - Propuesta de los factores de carga respecto al tipo de análisis

Tipo de análisis	Factor de carga
Análisis estático	1.60
Análisis dinámico	1.15

En esta condición, la estimación de las cargas límites y la ruptura por fatiga se pueden estimar mediante la elección de un valor de seguridad conservador para los elementos del sistema de anclaje o mediante la consideración de efectos dinámicos en las líneas de fondeo. Debido al largo tiempo que los componentes del sistema de anclaje van a estar expuestos a las excitaciones cíclicas, se hace necesario realizar un análisis de fatiga.

Respecto a lo anterior, en el caso de los factores de carga para las instalaciones de acero, los estados límites son los que caracterizan el factor de material, es decir, si quiero estimar el accidente límite o la fatiga límite de un componente estructural utilizo los factores de material mínimo, tal como se describe a continuación:

Tabla 23 - Propuesta de factores de material para estados límites

Estados límites	Parámetros	Factor de material (γ_m)
Fatiga límite	Factor para todos los materiales	1.0
Accidente límite	Factor para todos los materiales	1.0

Las cargas por desastres que se deben controlar y supervisar corresponden a las de; ruptura progresiva, el garreo o la deriva libre, volcamiento, hundimiento, y situaciones anormales como, por ejemplo, colisión con embarcaciones propulsadas. Para el primero de ellos, se debe hacer hincapié de que las líneas de fondeo y sus uniones deben poseer la suficiente resistencia y flexibilidad. Sin embargo, todos los accesorios y herrajes de unión de las líneas de fondeos deben dimensionarse para una fuerza de ruptura igual a la

calculada para la línea del sistema de anclaje. Con los elementos de unión de las líneas de fondeo como los grilletes, se debe tener cuidado ya que cuando se utilizan en zonas expuestas o donde interactúan corrientes y oleaje, el pasador de éste puede fallar en el corto plazo (Rivera, 2012).

4.3 Objetivo 2.2.3

Estimación teórica del coeficiente de arrastre para una red de cultivo de salmones, con y sin incrustaciones (lobera y pecera).

4.3.1 Marco general

Dentro de las áreas de la construcción naval e industria offshore orientada a la extracción de petróleo, existen instituciones que delinear las prácticas recomendadas para la industria a fin de asegurar la seguridad de la vida humana en el mar y la integridad de las estructuras. Un ejemplo de dichas publicaciones son los reglamentos que entregan los parámetros de estabilidad mínimos que deben cumplir las embarcaciones en múltiples condiciones de carga. Lo anterior asegura que la embarcación podrá navegar segura siempre que se cumplan en operación los supuestos con los que se desarrollan los cálculos. Para lo anterior es la Organización Marítima Internacional (OMI) quien establece los reglamentos de estabilidad y otros como por ejemplo los Cargos de Cubierta para asegurar la existencia de los elementos mínimos para la navegación segura. El cumplimiento de dichos reglamentos en territorio nacional está a cargo de la Autoridad Marítima a través de Directemar. Además, la Armada de Chile establece procedimientos y normativa que afectan a zonas específicas del país dadas condiciones o actividades particulares de la zona como es la acuicultura en la zona desde Puerto Montt al sur.

4.3.2 Recomendaciones para el dimensionamiento de sistemas de fondeo: normas

En el caso del dimensionamiento de sistemas de fondeo en estructuras flotantes, no existe en el país un reglamento o ente público que entregue recomendaciones para la estimación de carga sobre los sistemas. Si bien el Ministerio de Obras Públicas a través de la Dirección de Obras Portuarias posee una Guía para el diseño, construcción, operación y conservación de obras marítimas y costeras, esta guía se orienta a estructuras con fundaciones. Lo anterior no aplica a estructuras que tienen cierto grado de libertad como son los centros de cultivo.

En el mundo existen dos reglas que entregan lineamientos generales para el dimensionamiento de sistemas de fondeo usados en balsas jaulas. La primera es Technical Standard for Scottish Finfish Aquaculture, en él es posible encontrar la metodología de cálculo de carga sobre redes. Además, la norma entrega una lista de bibliografía en la cual

es posible encontrar más detalles acerca de la determinación de la carga hidrodinámica sobre las redes, la que será la base para el dimensionamiento del sistema de fondeo. Sin embargo, no hace mención en detalle a los parámetros a usar en la formulación ni consideraciones para las cargas externas tanto de olas, corriente y viento. La única información relacionada con la carga por corriente corresponde a la cantidad de fouling a considerar en las redes. Se indica que se deberá considerar en un porcentaje de 50% de obstrucción en el caso de redes ubicadas en zonas de mar abierto mientras que, para zonas de agua dulce, el área proyectada de la red será de un 40%, ambos números son los mínimos establecidos para la determinación de la carga hidrodinámica. La determinación de la carga queda abierta a la aplicación del criterio del ingeniero a cargo del diseño del sistema de fondeo.

La segunda norma aplicada a la estimación de cargas sobre sistemas de fondeo ha sido desarrollada en Noruega con título Marine fish farms: Requirements for site survey, risk analyses, design, dimensioning, production, installation and operation. En la citada norma se entregan lineamientos básicos como factores a ser incluidos en la estimación de cargas; sin embargo, no se detallan los procedimientos de cálculo sino más bien se entregan recomendaciones para algunos parámetros tales como porcentajes de obstrucción debido a fouling y parámetros para estimación de la intensidad de olas y corrientes. Además, se entregan las combinaciones de carga en las cuales se considera la suma de cargas por presencia de fouling, olas, corrientes y carga propia de la estructura.

Si bien existe diversa literatura científica para la determinación de carga sobre redes usando diversos métodos desde el simple uso de la ecuación de Morison, hasta la determinación de carga a través de métodos de Mecánica de Fluidos Computacional (CFD) pasando por complejos software que resuelven el problema de la interacción fluido estructura a través de la iteración del cálculo estático de la posición de la red frente a factores ambientales, la mayoría de éstas fuentes entregan información particular a un tipo de red o sistema de cultivo (jaulas circulares en su mayoría). Además, la información es entregada para un uso académico que no generaliza sino más bien centra su atención en partes del sistema sin, muchas veces considerar la superposición de efectos o la interacción con otros componentes de las balsas jaulas.

Es por lo anterior que se realizó una búsqueda de estándares técnicos en otras industrias relacionadas y es así como se analizó información proveniente de la industria de extracción de petróleo offshore. Particularmente a aquella reglamentación relacionada con la

estimación de carga sobre estructuras flotantes en la sección específica referente a estimación de carga en miembros delgados, lo que calza con la condición de las redes. Lo anterior se justifica dado que en miembros delgados se considera que los gradientes de velocidad y aceleración en dirección normal al objeto son despreciables, indicando que el objeto no modifica de manera significativa el flujo. En particular se analizó el documento de la casa clasificadora Noruega-alemana DNVGL llamado Recommended Practice DNVGL-RP-C205 Environmental Conditions and Environmental Loads 2017. Este manual entrega recomendaciones para el cálculo de cargas aplicadas a plataformas flotantes considerando sistemas de producción y fondeo. Dicho documento entrega información acerca de procedimientos de cálculo, condiciones ambientales a considerar, efectos de carga a incluir en el sistema, así como también procedimientos para la realización de ensayos de laboratorio para estudiar la interacción de estructuras flotantes y sus sistemas de fondeo.

En el documento DNV-RP-C205 es posible encontrar la formulación de Morison para distintas condiciones de frontera tales como estructura fija o libre con respecto al flujo, así como también fórmulas que permiten evaluar la relevancia de la carga de corriente con respecto a la carga de oleaje. De igual forma entrega valores concretos para el coeficiente de arrastre de cilindros delgados considerando el acabado superficial de los elementos y el aumento en la resistencia por la presencia de fouling, lo anterior basado en años de experiencia en la industria offshore. Estos apartados del documento pueden ser usados de manera directa en el cálculo de la carga hidrodinámica sobre redes cuando esta se considera formada por un conjunto de elementos de diámetro menor. Lo anterior dado que los procedimientos de cálculo y principios físicos en los que se basa la determinación de carga son comunes tanto a líneas de fondeo, tuberías y redes, en las cuales la carga predominante es debido a la resistencia de forma.

4.3.3 Propuesta objetivo 2.2.3 - Selección de coeficientes de arrastre en la determinación de carga hidrodinámica sobre redes

4.3.3.1 Generalidades

Para la determinación de carga hidrodinámica en un centro de cultivo, es decir, producto de la interacción entre la red y factores tales como corriente, viento y olas la formulación de Morison es ampliamente usada, dado que los elementos componentes de las redes se consideran esbeltos en relación a la longitud de olas presentes en zonas de operación. En dicha formulación la carga es determinada en base a una componente que representa la carga de arrastre y otra componente de inercia. En el caso de las redes, la carga debido al arrastre es dominante siendo los principales parámetros para la determinación de la carga el área normal expuesta al flujo y el coeficiente de arrastre de la red.

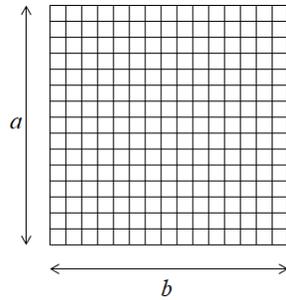
$$F_w(t) = \frac{1}{2} \rho C_d dl [v(t) - u(t)] |v(t) - u(t)| + \rho C_M \frac{\pi}{4} d^2 \dot{v}(t) - \rho (C_M - 1) \frac{\pi}{4} d^2 \dot{u}(t) \quad (1)$$

En la expresión anterior, que representa la forma general de la ecuación de Morison, $F_w(t)$ es la fuerza ejercida por el fluido, ρ es la densidad del fluido, d es el diámetro efectivo del elemento de red, l es la longitud del elemento de red, C_M y C_d son los coeficientes de inercia y arrastre respectivamente, $u(t)$ y $v(t)$ son las velocidades del elemento y del flujo mientras que $\dot{u}(t)$ y $\dot{v}(t)$ son las aceleraciones del elemento y del fluido. En esta formulación, $v(t)$ y $\dot{v}(t)$ considera el efecto de interacción fluido estructura.

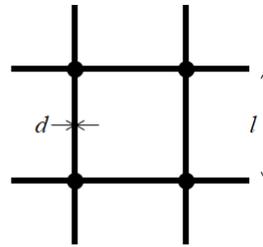
La expresión anterior es utilizada en la mayor parte del software capaz de predecir la respuesta hidrodinámica de redes, sin embargo, en el caso de un análisis cuasi-estático, sólo la parte correspondiente a la carga de arrastre es utilizada. Adicionalmente, en ese tipo de análisis, se considera la red siempre en posición perpendicular al flujo y estática por lo que la expresión se reduce a:

$$F_D = \frac{1}{2} \rho C_d A [v] |v| \quad (2)$$

En la formulación anterior el área A corresponde al área proyectada de los elementos de red (dl) en el panel sobre el cual se está calculando la carga por arrastre, siendo l el largo total del hilo en el paño de red a calcular y d el diámetro del hilo.



(1.1)



(1.2)

Figura 4 - Area proyectada (1.1) panel, (1,2) Componentes

Determinar el área completa de un panel resulta sencillo al conocer las dimensiones de la jaula a instalar. Por el contrario, determinar el área de los componentes de la red resulta un trabajo complejo, es por esto que se define la razón de solidez S_n que es la razón entre el área proyectada de los componentes de la red y el área del paño de red al cual corresponden.

$$S_n = \frac{A_{proyectada}}{A_{total}} = \frac{l_{total} d}{A_{total}} \quad (3)$$

En la expresión anterior el Área total se define como el producto ab de las dimensiones del paño de red sobre el cual se quiere determinar la carga de arrastre, como se define en la figura anterior. Esta razón de solidez es una característica de las redes y es generalmente entregada por el fabricante, ya que varía dependiendo de la geometría de la red debido a la presencia de nudos en el caso de redes plásticas o cruces de filamentos como es el caso de redes metálicas. Algunos ejemplos de geometrías a continuación.

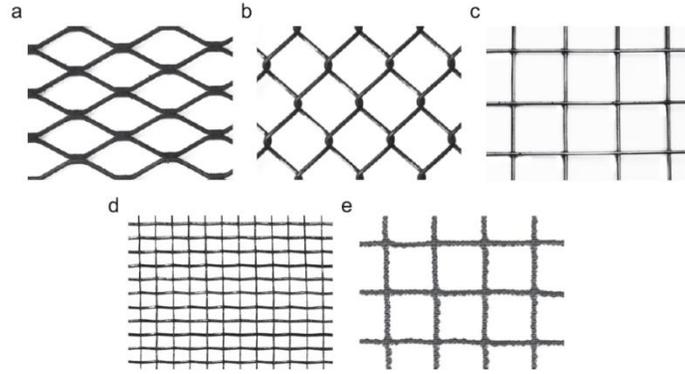


Figura 5 - Patrones de red (a) Plano expandido, (b) Metálica entrelazada, (c) Soldada, (d) Moldeada, (e) Nylon sin nudos. (Tsukrov et al., 2011)

4.3.3.2 Condiciones de carga sobre la red

La carga sobre la red es debida a la acción principalmente de corrientes y olas sobre la estructura. La intensidad de ambos efectos debe ser determinada en función de mediciones en el sitio a ejecutar la instalación del centro de cultivo. Ambas cargas deberán aplicarse de acuerdo con las consideraciones presentadas a continuación.

4.3.3.3 Corriente

La corriente se considera uniforme en todo el paño de red en estudio, por lo que la misma velocidad de corriente afecta a todos los componentes de la red en el flanco analizado y no varía con la profundidad.

4.3.3.4 Oleaje

Para el caso de redes, se deberá considerar la superposición de la velocidad de las partículas en la ola y la velocidad de corriente. Para lo anterior se utilizará la teoría de oleaje lineal y se usará la máxima velocidad de partículas, en la posición de aguas tranquilas.

4.3.3.5 Condiciones de cálculo

Para efectos de cálculo de las cargas sobre las redes, se considerarán dos condiciones definidas como operación y supervivencia las que se diferencian en la intensidad de vientos, corriente, olas y fouling presente en las redes.

4.3.4 Determinación del coeficiente de arrastre de la red

Los valores de coeficiente de arrastre a usar en la formulación de Morison deben ser determinados para cada tipo de red a distintas velocidades de flujo. Al no existir información empírica para todas las redes utilizadas en nuestro país, se opta por usar los valores obtenidos en la Universidad de New Hampshire, Estados Unidos en el estudio presentado

el año 2011 titulado Characterization of geometry and normal drag coefficients of copper nets. En dicho estudio se incluyen dos redes de nylon con valores de solidez de 17 y 20% lo que corresponde a redes peceras típicas usadas en centros de cultivo. Los valores para el coeficiente de arrastre en dicho estudio varían entre 1.3 y 1.5 por lo que se recomienda usar un valor de C_d de 1.4 para redes limpias. Para otros tipos de redes usando diferentes materiales es necesario realizar pruebas de laboratorio que puedan caracterizar los valores de arrastre en un rango amplio de velocidades de corriente y geometrías de redes.

Los valores previamente declarados para coeficiente de arrastre son aplicables a redes de nylon considerando que cerca del 90% de las redes usadas actualmente en la industria son de este tipo. Para otras redes los valores son incluso menores por lo que al usar los valores dados como mínimos éstos adicionan un factor de seguridad en los cálculos.

4.3.4.1 Fouling

Dado que las redes con el paso del tiempo son afectadas por algas y crustáceos que se adhieren a su superficie, se hace necesario estimar la carga en presencia de fouling. Para lo anterior se recomienda considerar este efecto mediante un aumento en la razón de solidez de la red, manteniendo el valor del coeficiente de arrastre al no existir información empírica acerca de la variación de C_d en presencia de fouling.

Para el caso de redes loberas, se recomienda usar un valor de S_n mínimo de 0.1 para redes limpias, 0.3 para condición de operación y 0.5 para condición de supervivencia. Para el caso de redes peceras, se recomienda un valor de S_n mínimo de 0.2 para redes limpias, 0.4 para condición de operación y 0.5 para condición de supervivencia.

En cuanto al aumento de masa a considerar por la presencia de fouling, particularmente mitílidos, se recomienda usar un peso mojado correspondiente al 30% del peso en seco de los mitílidos. Para el caso de algas, éstas se consideran con boyantes neutra por los que no suman carga vertical al sistema, incrementando sólo la carga horizontal por efecto de incremento del área proyectada de los paños de red.

4.4 Objetivo 2.2.4

Determinación de condiciones de carga y metodología de cálculo para resguardar la integridad estructural de jaulas metálicas.

4.4.1 Marco general

Para la determinación de las condiciones de carga y metodología de cálculo para resguardar la integridad estructural, se propone realizar una descripción de los elementos de conexión y distribución de cargas del sistema de fondeo. Además se definirán las condiciones y requerimientos mínimos del estado de los componentes de las balsas para un desempeño seguro respecto a los niveles de tolerancia de operaciones de dichas estructuras (los que pueden ser referidos por medio de la intensidad de las fuerzas ambientales como altura de ola y corriente), de manera que en una memoria de cálculo de fondeo se establezca no solo las condiciones del dimensionamiento de éste propiamente tal, sino que también permita determinar el estado de los pasillos y los elementos de conexión de la balsa que aseguren la integridad estructural de los elementos.

4.4.2 Sistema de cultivo de peces

En los centros de cultivo de peces, se puede señalar que el 100% de estos posee un sistema de producción intensivo cuyas especies en cultivo son salmones o truchas, sin embargo, las jaulas metálicas cuadradas representan el 88% del total de las estructuras utilizadas en el sistema de cultivo, no obstante, el 12% restante son balsas jaulas circulares de HDPE (Navtec, 2011).

La unidad básica de la estructura metálica (Figura 5) posee una forma cuadrada de acero galvanizado, cuyos dos lados están constituidos por pasillos articulados con barandas del mismo material (Figura 6). Las dimensiones de los pasillos de las balsas no superan los 10 metros lineales y los 2.2 metros de ancho (pasillos centrales longitudinales), en tanto que los pasillos laterales o transversales no superan los 1,8 metros de ancho, que al unirse pueden formar cuadrados desde 10 hasta 40 metros por lado. Las balsas se unen a través de pasadores metálicos para conformar el módulo de cultivo, lo cual varía en tamaño según el objetivo de producción. La flotabilidad de estas estructuras se debe a que poseen elementos de flotación de poliestireno revestido en plástico debajo de los pasillos (Figura 7). Otra estructura que conforma la balsa jaula son las redes de cultivo (crianza de peces), redes loberas y pajareras (anti depredadores). Por otra parte, la fijación de estas estructuras al fondo marino, se utilizan líneas de fondeo conectadas con grilletes y guardacabos (Figura 8) cuyas dimensiones están en función de los diseños del sistema de fondeo, sin embargo,

estas líneas de fondeo están constituidas por cabos, cadenas, cables de acero o combinación de estos, dichas líneas de fondeo utilizan boyas de metal o plástico (Figura 9) cuya función principal es disipar las cargas ambientales, como consecuencia, el volumen de las boyas depende de cada diseño de fondeo. Por otra parte, en el anclaje se puede señalar que existen principalmente 3 tipos, en el cual su uso va en directa relación con el tipo de fondo y sustrato que se encuentra en el set de las balsas jaulas, los más utilizados son: anclas, pesos muertos de hormigón, pernos de anclaje o una mezcla de estos. Con todo lo descrito anteriormente, se puede señalar que este sistema de cultivo se divide en tres componentes principales a) estructura básica (flotación); b) sistema de fondeo; y c) sistema de redes.



Figura 7 - Estructura básica que conforma la balsa jaula metálica, Navtec 2011.



Figura 6 - Pasillo central de balsas jaulas metálicas cuadradas, Navtec 2011



Figura 8 - Estructura de flotación de balsas jaulas metálicas cuadradas, Navtec 2011.



Figura 9 - Grilletes y guardacabos de las balsas jaulas metálicas cuadradas, Navtec 2011



Figura 10 - Líneas de fondeo con boyas de plástico de balsas jaulas metálicas cuadradas

4.4.2.1 Propuesta objetivo 2.2.4

A continuación, se describirán todos los componentes que pertenecen a un centro de cultivo (Navtec, 2011):

- a) **Pasillo Metálico, "T" Simple, "Cruz Simple"**: Constituyen los elementos rígidos del sistema y su número y tamaño dependerá de la cantidad de jaulas del set o modulo a instalar, encontrándose balsas jaulas desde 10 a 40 m de lado. Su fabricación es Acero estructural del tipo A 37/24 ES y A 42/27 ES, cuyo límite elástico es de 2400 a 2700 kgf/cm² y límite de rotura es de 3700 kgf/cm². Respecto del espesor, los más utilizados son de 4 a 5 mm. La protección al ambiente marino lo proporciona un Galvanizado en inmersión en caliente según Norma ASTM-A 123-02 tanto por el exterior como interior con un espesor promedio de 80 micras. El piso

de metal desplegado que posee perforaciones que facilitan la evacuación del agua y dan seguridad a los operadores al ser antideslizante.

- b) **Flotadores:** Este elemento entrega la flotabilidad al sistema (pasillos, T simple y Cruces), se encuentran debajo del pasillo y están unidos a través de abrazaderas metálicas denominados los cuales están fabricados de una barra plana de 32x3 mm y fijados a la estructura mediante pernos de ½". Los flotadores son de polietileno roto moldeado de 5 mm de espesor promedio, son inyectados con poliestireno (plumavit) entre 15 a 18 kg/m³ entregando una flotabilidad a las balsas jaulas que en general deja a 450 mm sobre el nivel del agua sin carga. En el mercado se pueden encontrar distintas dimensiones y volúmenes, los más utilizados en las balsas jaulas metálicas cuadradas poseen las siguientes dimensiones en mm: 2000 x 1000 x 700, 1000 x 1000 x 700 y 1000 x 850 x 700.

- c) **Pasadores:** Elemento que entrega la articulación a los pasillos, está construido en acero inoxidable revestido en caucho, trabaja en línea con las vigas principales encontrándose dos a tres por unión de pasillo. También se pueden encontrar en jaulas más antiguas eslabones de cadena con pernos recubiertos por un butilo de goma para darle elasticidad al sistema.

- d) **Barandas:** Cañería metálica de 1" construidas de acero de 3 mm de espesor galvanizado insertas en calzos que van soldados por el costado interior de los perfiles de los pasillos mediante una plancha plegada, su principal función es de protección de los operarios y sujeción de redes.

- e) **Protección entre pasillos (Tapas):** Corresponden a tapas apernadas entre pasillos. Las tapas están fabricadas en acero en perfil "C" galvanizados al igual que los pasillos. Estos elementos permiten la circulación del personal que realiza operaciones sobre las jaulas disminuyendo la accidentabilidad por caídas.

- f) **Grilletes:** Construidos de acero alta tenacidad galvanizado en caliente para cuerpo y acero de aleación para el pasador. Los más utilizados tienen una dimensión de 7/8" a 1 ¾". Existen del tipo lira y recto, siendo el más utilizado es el de tipo lira y su

principal función es la unión de los elementos de fondeo. Poseen una carga límite de trabajo de 6.5 a 25 ton respectivamente y un factor de seguridad de 6 veces la carga límite de trabajo, su peso varía de 1,6 a 13 kg.

- g) **Guardacabos:** Fabricados de láminas de acero de alta resistencia galvanizado en caliente, su principal función es proteger y proporcionar un radio de curvatura adecuados a los cabos y cables sometidos a tracción en las líneas de fondeo. Los más utilizados son de 7/8" a 2" y su peso va de 0,83 a 1,82 kg respectivamente.

- h) **Boyas Metálicas:** Fabricadas de planchas de acero A37-24 ES con espesores de 3 a 4 mm vacías, generalmente de forma cilíndrica con volúmenes de 1000 a 2000 litros, poseen un esquema de protección galvanizado o de pintura epóxica para evitar la corrosión, presentan una mayor capacidad de resistencia ante los golpes que las plásticas, sin embargo, su uso actualmente es cada vez menor, encontrándose sólo en algunos sitios.

- i) **Boyas Plásticas:** Fabricadas en polietileno de media densidad aproximadamente 0,935 gr/cm³ mediante sistema de fabricado roto moldeado e inyectados con poliestireno virgen (plumavit) densidad de 16 a 19 Kg/m³, pueden variar en sus volúmenes 500 a 3500 litros. Su principal función es de descomponer las fuerzas de tensión (amortiguación) que se generan en la línea de fondeo.

- j) **Anillo de distribución:** Utilizado generalmente en las balsas jaulas plásticas circulares, confeccionado de una barra de acero galvanizada de 2" de diámetro, su principal función es de amarre entre las estructuras de cultivo y las líneas de fondeo. Existen también platos de distribución que a diferencia del anterior se trata de una plancha de acero perforada para que se conecten grilletes.

- k) **Cabos:** Es el material más utilizado para sistemas de fondeo, existen cabos de varios materiales, siendo el más utilizado los confeccionados de polipropileno. Los diámetros están en función de su aplicación y requerimiento, encontrándose desde

6.6 a 60 mm. Su principal función es la unión de las estructuras, con el elemento de anclaje, siendo un material muy dúctil y fácil de manipular.

- l) **Cables:** Principalmente construido de acero de alta resistencia, pueden variar en diámetro según requerimiento, su función al igual que los cabos es de unión de las estructuras al sistema de anclaje posee un mayor grado de resistencia a la abrasión que los cabos, pero menos elongación, además su manejo es más complejo que el cabo. Los más utilizados son de 7/8" a 1 ¼" cuya resistencia a la ruptura va de 31 a 64 Ton.

- m) **Cadenas:** Fabricadas de acero con diferentes diámetros, recubrimiento (galvanizado) y construcción (con y sin mallete). Los diámetros más utilizados con eslabón largo sin mallete son de 16 a 20 mm cuya resistencia es de 20,1 a 31,5 ton, así como también cadena con mallete de 28 a 32 mm cuya resistencia va de 45,8 a 59,4 Ton. Su función principal es conectar el elemento de anclaje con la línea de fondeo.

4.4.2.2 Especificaciones técnicas de elementos de anclaje

El uso de anclas cada vez se ha masificado más dentro de los productores de peces y moluscos, principalmente debido a su versatilidad y alta eficiencia en comparación al peso muerto, ya que en un tipo de fondo blando (arena-fango) un ancla de 1000 kg equivale a utilizar un peso muerto de 20.000 Kg. Las principales partes y elementos constituyentes de un ancla de resistencia son las siguientes y se ilustran en la Figura siguiente:

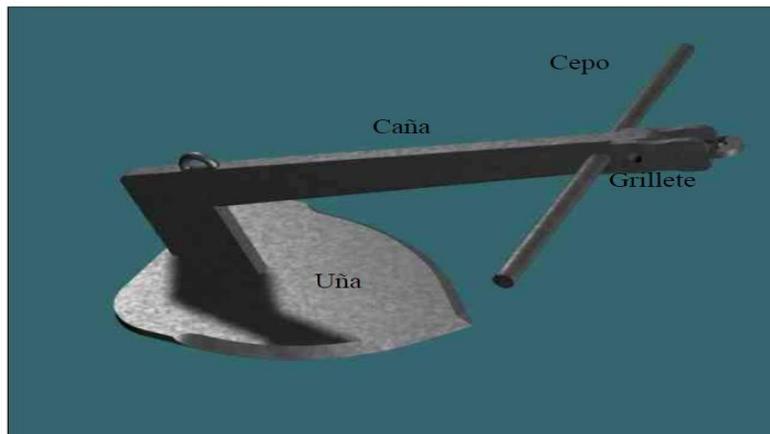


Figura 11 - Principales elementos de un ancla

- La uña, es la lámina o placa, que se ubica o está dispuesta en un cierto ángulo crítico con la caña, y cuya función es la de excavar o enterrarse en el fondo para así crear la resistencia al deslizamiento.
- La caña, es el elemento que tiene por función, transmitir el tiro de la línea de fondeo u anclaje hacia el ancla. Para que un ancla sea eficiente este elemento debe permitir el paso del suelo.
- El cepo, es el elemento que previene que el ancla rote sobre sí misma y le confiere estabilidad. Los estabilizadores eficientes son una parte integral de un buen diseño de anclas. Hay anclas con y sin cepo
- El grillete del ancla, es el elemento que permite la unión con la línea de anclaje respectiva.

En la actualidad podemos encontrar varios tipos de anclas que han sido diseñadas y comercializadas en los últimos años para ser utilizada en acuicultura en el sur de Chile. Tenemos que distinguir aquellas anclas Patentadas de las No patentadas, la diferencia radica en que un ancla patentada entrega seguridad de que el producto cumple con una serie de requisitos tanto en su diseño como en su construcción y que su resultado está asegurado en función del tipo de fondo que exista, es fundamental, no perder de vista, con carácter previo a la elección, el tipo de fondo marino al que va a ir destinada.

En nuestro país lo que se ha hecho es simplemente copiar un determinado diseño de ancla y fabricarlas en diferentes maestranzas, manteniendo las dimensiones principales de un ancla patente original, lo anterior se debe principalmente a un tema de costos. Es por ello que en acuicultura vemos frecuentemente anclas de diferentes tamaños y formas que derivan generalmente de anclas patentes utilizadas principalmente en la industria del gas y petróleo. El Manejo de estas anclas es más fácil que el utilizar pesos muertos, pero su instalación es más compleja y requiere experiencia, es muy fácil dejar mal instalada un ancla sobre todo en profundidades sobre los 100 m. El ancla necesita para su buen funcionamiento tener un bajo Angulo de tiro entre el suelo y la línea de fondeo, es decir, se busca que el tiro del ancla sea paralelo al fondo marino y que el tipo de fondo no sea duro, dado que lo que se busca es que el ancla penetre el fondo logrando así su máximo rendimiento.

Las características generales que debe poseer un ancla para ser empleada en distintos tipos de fondo son las siguientes:

- Poseer una adecuada velocidad de entierro, para desarrollar una resistencia apropiada.
- Además de rápido, el empotramiento debe ser profundo para evitar desprendimientos;
- Capacidad para excavar en lechos duros;
- Tener estabilidad y libertad de balanceo;
- Peso apropiado y alta efectividad, para ser útil en sustratos de bajo poder de agarre;

Sin embargo, para la fabricación de las anclas se utiliza como material el denominado Acero estructural A 24 – 36 E. Se utiliza plancha de acero que no superan los 100 mm de espesor para la zona de mapa y caña y barra de acero para el Cepo. Esta especificación trata sobre perfiles, placas, y barras de acero al carbono de calidad estructural para usar en construcción remachada, atornillada o soldada, en puentes y edificios, y para propósitos estructurales generales. Como la mayoría de los aceros, el A36, tiene una densidad de 7850 kg/m³ (0.28 lb/in³).

La información anterior no asegura que un ancla no presente problemas estructurales en su funcionamiento y son exactamente este tipo de resultados los que un ancla patentada entrega al usuario de manera certificada.

Por otra parte, dado que existen diferentes elementos que diferencian un ancla de otra, como por ejemplo su peso, el área del mapa, la caña, ángulo de ataque, si posee o no cepo, el consultor propone establecer una clasificación en base a su eficiencia:

Tabla 24 - Clasificación de eficiencias en anclas

Clase	Eficiencia
A	Mayor a 20
B	15 a 20
C	10 a 15
D	5 a 10
E	Menor a 5

El concepto de eficiencia empleado en el dimensionamiento de elementos de anclaje es un resultado, obtenido en términos prácticos mediante mediciones in situ denominadas pruebas de tracción, donde se registra la fuerza requerida para sacar este elemento desde su posición de instalación. De este modo se obtiene un valor efectivo que incluye, sin necesidad de evaluaciones individuales, tanto la pérdida de peso en el agua como el roce con el sustrato submarino. Desde esta perspectiva, los valores que suelen asumirse para

el dimensionamiento, tanto de pesos muertos de concreto como de anclas y pernos de anclaje, surgen de la experiencia obtenida mediante pruebas de tracción, y se manejan como rangos, dentro de ese rango el proyectista utiliza el valor que le da más seguridad en función del tipo de fondo presente. Lógicamente los rangos aceptables de eficiencia difieren entre pesos muertos y anclas, Lo mismo sucede entre distintos diseños de anclas. Aun cuando estos rangos son razonables para el dimensionamiento, siempre se sugiere validar el valor de eficiencia, mediante la realización de pruebas de tracción, de preferencia previo a la instalación de un centro de cultivo, de modo de detectar anticipadamente posibles subdimensionamientos.

La eficiencia corresponde a la razón que existe entre la masa del ancla su capacidad de agarre medida en la Prueba de Tracción.

$$E = \frac{F.T.}{P.S.}$$

Donde:

E: Eficiencia (factor adimensional)

F.T: Fuerza de tracción en toneladas

P.S: Peso en seco del elemento de anclaje en toneladas.

La eficiencia del elemento de fondeo depende de diversos factores, siendo estos:

- a) Tipo de fondo
- b) Longitud de la línea de fondeo y Angulo respecto a la horizontal.
- c) Materiales que componen la línea de fondeo (cabos, cadenas. Cables, etc)
- d) Diseño del ancla
- e) Cantidad de cadena incluida en la línea de fondeo

En base a lo anterior y a modo de ejemplo podemos decir que las anclas que se utilizan en acuicultura y que se han testeado en terreno han arrojado valores de eficiencia que van desde 6 a 22, esto significa por ejemplo que una eficiencia de 15 implica que un ancla de 1.000 Kg. Llegó a un poder de agarre de 15.000 kg (medido con dinamómetro) Y esos 15.000 kg es la tensión que tendrá la línea de fondeo y cuyos materiales (cabos, cables, cadena, grilletes, etc.) deben soportar. Sobre el tipo de fondo recomendado a utilizar anclas podemos mencionar que es ideal en fondos blandos como arena y fango, pero en fondos duros o semi duros no es recomendable ya que tiene altos problemas para penetrar en el fondo marino y se incrementan las posibilidades de garrear, que es cuando el ancla no es

capaz de sujetarse por sí misma lo que se traduce en un agarre nulo. Por lo anterior es que se sugiere que se realicen pruebas en terreno denominadas prueba de tracción.

4.4.2.2.1 Pruebas de tracción.

Consiste en un método empírico en donde lo que se busca es conocer justamente el poder de agarre del ancla o elemento de anclaje. Lo que se hace en definitiva es instalar una línea de fondeo exactamente como lo indica los planos de la memoria de Cálculo de fondeo, dicha línea debe estar constituida por los materiales que indican los planos de esta manera se puede conocer de manera precisa y real el comportamiento que tendrá y por ende es posible validar y modificar a tiempo lo que el proyecto de fondeo original contemplaba, alguno de los resultados esperados son los siguientes:

1. Determinación del verdadero Poder de agarre del elemento de anclaje en el lugar estudiado. (Independiente del tipo de fondo supuesto o medido)
2. Verificar la tensión máxima de la línea de fondeo cuando falla el agarre del fondeo, (esto debido a que la prueba lleva al límite el poder de agarre del anclaje)
3. Establecer con seguridad los materiales a utilizar dado que se conoce el valor de trabajo máximo, por ende, se mejora la selección del material y su factor de seguridad.

Para el desarrollo de una prueba de tracción es necesario contar fuera de la línea de fondeo a probar con un apoyo lo suficientemente mayor a la línea de fondeo, se denomina punto fijo, y la función es justamente entregar seguridad de que la tensión que se va a medir o ha sufrido desplazamientos o algún tipo de influencia externa como para invalidar el resultado.

A continuación, se muestra un esquema de planta y perfil en donde se puede apreciar con mayor detalle:

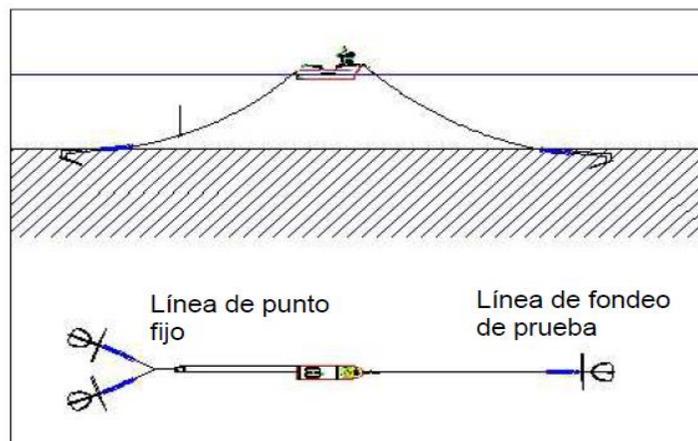


Figura 12 - Esquema representativo de prueba de tracción

4.4.3 Cálculo del muerto másico para las líneas de fondeo

El anclaje más utilizado en el sistema de fondeo de los módulos de cultivo es el muerto másico (material de hormigón), sin embargo, la determinación de su volumen es realizada de varias formas por la falta de consenso, por lo tanto, para esta norma se deberá hacer de una forma única, tal como se presenta a continuación:

Para el cálculo se debe considerar lo siguiente:

- a) Angulo de las líneas de fondeo (no es siempre fijo, el análisis dinámico permite su cálculo exacto)
- b) Angulo del fondo marino (es diferente considerar un muerto cuesta arriba o cuesta abajo)
- c) Roce con el fondo (tipo de fondo marino)
- d) Tensión máxima en la línea
- e) Densidad del hormigón

El peso bajo agua (P_w) debería calcularse considerando la descomposición de las fuerzas con las siguientes consideraciones:

$$\begin{cases} T_x - f - P_x = 0 \\ T_y + N - P_y = 0 \\ f = \mu N \end{cases}$$

$$\begin{cases} T_x = T \cos(\vartheta - \alpha) \\ T_y = T \sin(\vartheta - \alpha) \\ P_{w_x} = P_w \sin \alpha \\ P_{w_y} = P_w \cos \alpha \end{cases}$$

Obteniendo:

$$P_w = T * \frac{\mu \sin(\vartheta - \alpha) + \cos(\vartheta - \alpha)}{\mu \cos \alpha + \sin \alpha} [\text{Ton}]$$

Donde:

T= Tensión en la línea [Ton]

μ = Coeficiente de roce entre muerto y fondo

ϑ = Angulo de la línea

α =Angulo de fondo (> cuesta arriba; < 0 cuesta abajo)

El peso seco del muerto (P) se calcula con la formula

$$P = \frac{\rho_{Hormigón}}{(\rho_{hormigón} - \rho_{agua})} P_W \text{ [Ton]}$$

Donde:

ρ_{agua} = densidad del agua (valor indicativo de 1,025 [ton/m³])

$\rho_{Hormigón}$ = Densidad del hormigón (valor indicativo de 2,4 [ton/m³])

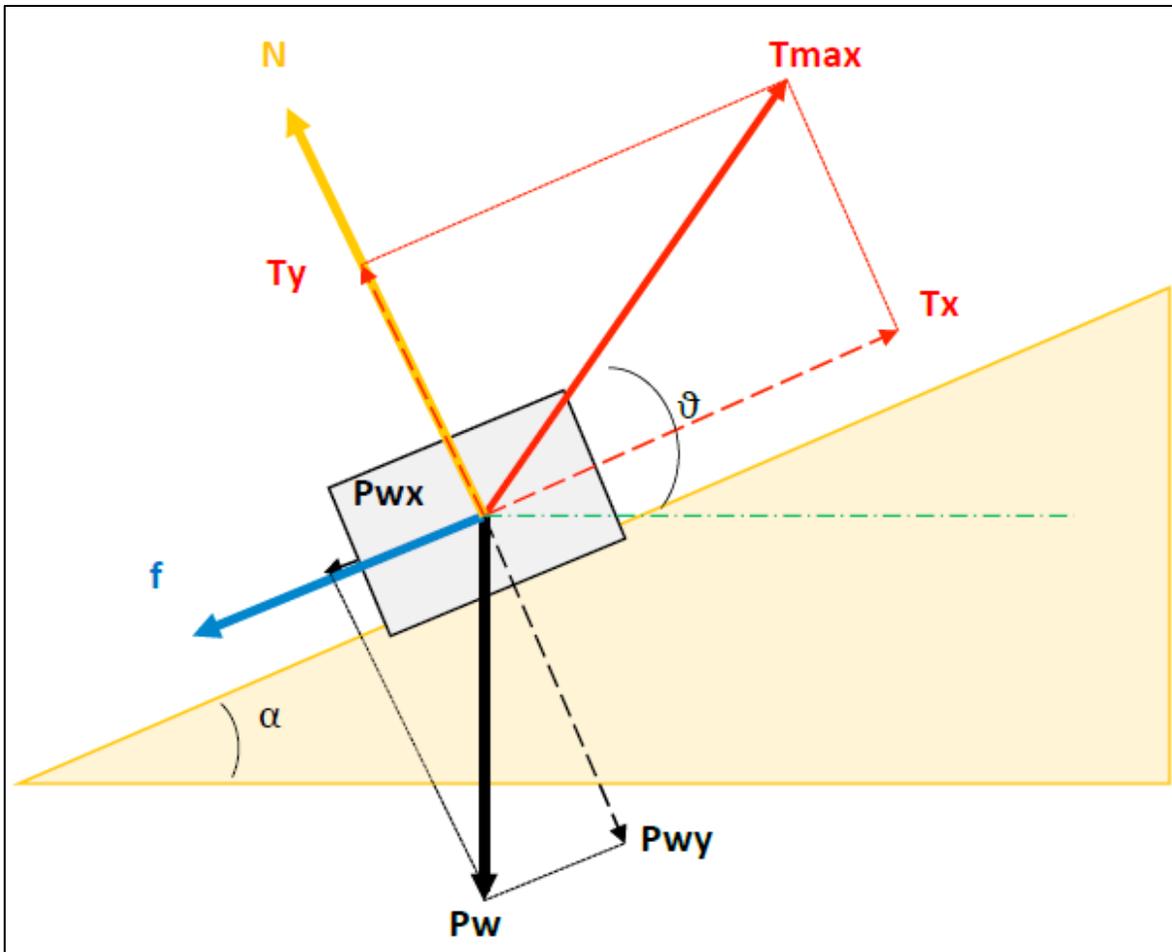


Figura 13 - Diagrama de cuerpo libre de un muerto másico

- El coeficiente de roce depende de la tipología de fondo y se evalúa con prueba de tracción
- Cuando el coeficiente de roce no esté definido por una prueba de tracción, se deberá considerar un factor de 0.6, un factor que históricamente hemos visto que es un valor mínimo.

- c) Con el mismo procedimiento es necesario averiguar que el Angulo de fondo no sea excesivo y no apto a la instalación del muerto (Ej. considerando un coeficiente de roce de 0.6, un muerto el Angulo que permite su desplazamiento por peso propio resulta ser 30°).

4.4.4 Riesgos estructurales para la balsa jaula

Es sabido que el escape de peces y el desprendimiento o pérdida de recursos exóticos desde sus estructuras de cultivo pueden causar daño al medio ambiente. Las principales causas de escape de peces y de desprendimiento de recursos exóticos son las provocadas por distintos tipos de eventos, tales como ambientales, industriales, predadores, robos, etc. Es de suma importancia caracterizar los eventos que pueden constituir riesgo de escape de peces y el desprendimiento de especies exóticas con el propósito de prevenir y disminuir en lo posible un daño ambiental.

A continuación, se describirán los eventos que causan daño estructural en las balsas jaulas metálicas y a su vez el escape o muerte de peces:

4.4.4.1 Temporales

Los temporales obedecen al cambio de las condiciones atmosféricas a nivel de troposfera, que pueden durar unas horas a días y afectan a los sistemas de cultivo por la generación de vientos fuertes y oleaje superior al habitual, comprometiendo a la obra muerta del artefacto naval y parte de la obra viva que se encuentra inmediatamente bajo la superficie, y en casos extremos al conjunto total (balsas-jaulas-sistema de fondeos) como también su desgaste y fortaleza. Así, un centro instalado en un lugar expuesto estará más afecto a este tipo de riesgo y tanto la materialidad de sus partes como el diseño son fundamentales para su buen desempeño.

Sin embargo, la frecuencia, persistencia y fuerza en los temporales son muy diversos, y por lo general causan daños estructurales con caídas de barandas, torsión de pasillos, quiebre de uniones de pasillos, pérdida de flotadores, corte de amarres a fondeos, deslizamiento de fondeos, hundimiento parcial de pasillos y en casos muy extremos destrucción total y hundimiento del módulo completo (Figura 12). Destrucción de las jaulas, redes loberas y pajareras y pérdida de peces.



Figura 14 - Balsas jaulas metálicas destruidas tras un temporal, Navtec 2011

4.4.4.2 Marejadas y corrientes

Las corrientes de alta velocidad que se registran con más frecuencia en canales y esteros cuya conformación geomorfológicas genera movimientos de masas de aguas en distintas direcciones pero principalmente en sentido del flujo de las mareas tanto de creciente como vaciantes, aceleran la velocidad normal del flujo y provocan daños a nivel de los elementos sumergidos del centro, vale decir directamente en las jaulas (de las que el 93% se encuentra bajo el agua) y de los sistemas de fondeo y amarres de las mismas jaulas y de las redes anti predadores. Aquí tiene especial relevancia el estudio de la conformación del fondo y la caracterización de la costa para estimar de qué manera podrían actuar los movimientos de las masas de aguas en situaciones de excepción, (las mayores Sicigias del año, por ejemplo).

En este contexto las solicitaciones del temporal afectan gravemente los puntos críticos de la estructura (esquinas o cabezales) con lo cual pierden su geometría y pueden llegar incluso a hundirse completamente. En tales circunstancias se producen escapes de especies en forma masiva al medio natural, por la consecuente rotura de las jaulas que los contienen y como en la mayoría de los casos graves, el personal a cargo no podrá reaccionar con prontitud debido a las malas condiciones ambientales y la pérdida será irrecuperable (esto se ha visto en innumerables siniestros a lo largo de la historia de la industria), considerando además que en tales circunstancias la autoridad correspondiente cierra los puertos para la actividad acuícola.

4.4.4.3 Ataque de predadores

Una de las causas más recurrentes de escape de peces (salmones) es el ataque de predadores, más específicamente Lobos marinos (*Otaria flavescens*), en forma secundaria por nutria marina o chungungo (*Lontra felina*), el huillín (*Lontra provocax*) y desde hace

algún tiempo visones americanos (*Mustelus vison*) en agua dulce, lagos, pisciculturas en tierra y en centros de mar cercanos a la costa. Todos sin excepción provocan escapes de peces en diferente magnitud, pero sin duda los provocados por lobos son la mayoría. En cuanto al riesgo, está catalogado por la industria y el mercado asegurador como uno de los más frecuentes, y sus pérdidas se asocian en promedio al 12% de la biomasa en crianza- engorda en el mar, ya que el ataque de lobos al causar la rotura de las jaulas y redes de protección genera una mínima pérdida por muerte y predación, pero la mayor parte por escape masivo de peces (ver figura 13).



Figura 15 - Resultado típico de un ataque de lobos marinos

4.4.4.4 Robos y actos maliciosos

Riesgo que también provoca pérdidas por escapes significativas, (Acto malicioso, rotura de redes por antisociales con el único fin de dañar a la empresa, generalmente perpetrado por personal despedido). El robo cuando sucede se constituye en un evento que significa entre 80 y 90% en fuga de peces y apenas el 20 a 10% de la pérdida en el robo, dada la escasa capacidad de extracción de peces vivos desde las jaulas que tienen los delincuentes y la poca carga que pueden llevar en las embarcaciones que normalmente usan para cometer los ilícitos (ver figura 14).



Figura 16 - Revisión de una jaula, cortada con cuchillo entre los 10 y 3 metros de profundidad para robar truchas, Navtec 2011

4.4.4.5 Bloom de microalgas

Aparentemente este riesgo, no guarda relación con el escape de peces, sin embargo, debe considerarse como potencial causante de impacto ambiental por escape dado que actualmente las jaulas que se ocupan de la engorda de peces son de grandes dimensiones (una jaula de 30x30x15 m equivale en volumen efectivo a un edificio de 6 pisos) donde se siembran en promedio 50.000 peces, cuya cosecha se programa para efectuarla a lo menos en 2 semanas continuas (180.000 Kg. a cosecha aproximadamente se extraen en 8 a 10 días). Cuando ocurre un Bloom de microalgas la mortalidad siempre es masiva, y dado que no es posible una extracción de mortalidad a la misma velocidad, entonces se produce la acumulación de ésta en el fondo de las jaulas, la que puede llegar al punto de colapsarlas por el peso acumulado y por ende romperse, provocando el escape de los peces que aún están vivos. Eventos como éste se pudieron apreciar durante marzo-abril 2009 en la XI desde Melinka al Sur y el 2016 en Chiloé. Es menester entonces que como medidas preventivas se cuente con un protocolo de auxilio mayor en embarcaciones y elementos operativos en pocas horas para evitar la rotura de las jaulas por acumulación de mortalidad, usando métodos de extracción masivos (sistemas lift-up) y barcos de gran capacidad.

4.4.4.6 Colisión de embarcaciones

El común denominador de este riesgo ha sido el descuido del piloto en la navegación, malas condiciones de navegación (neblina) y de maniobrabilidad de la nave, colisionando con las estructuras flotantes de cultivo y rompiendo la flotación de las balsas con lo que se ha

provocado el hundimiento de las jaulas y el escape parcial de los peces. No se han registrado eventos en que las pérdidas hayan sido significativas y esto porque la colisión es en superficie y porque los cascos de la mayoría de las naves que proveen a los centros son de fondo plano, lo que en cierta forma causa el abordaje del barco sobre las balsas y no el quiebre frontal de éstas, las que además se hunden con el peso de la embestida de proa. Las pérdidas registradas por eventos de este riesgo han sido menores al 2% de la biomasa de la jaula afectada.

4.4.4.7 Malas maniobras (manejos inadecuados)

El escape de peces y especies exóticas de cultivo, pueden darse en el contexto de manejos que, siendo acostumbrados, se varían sin considerar las consecuencias y por tanto derivar en pérdidas. En el caso de los manejos acostumbrados que pueden provocar escape de peces se cuentan:

- a) Traspaso de peces de selección, para homogenizar tamaños, para cosecha, para reproductores, para tratamientos inyectables (vacunaciones).

- b) Mal manejo de las redes en su instalación y/o virado de la red, cuando éstas contienen peces y el cambio de la red se hace para variar el tamaño de luz (de 1" a 2" de abertura, la más frecuente), cuando se saca una red para enviarla a taller, lavado, reparaciones y renovación del antifouling. Mala maniobra de atraque de un wellboat a las balsas-jaulas para descargar smolts o cargar peces de cosecha, cuando las redes se sueltan de las orillas y se requiere hacer la maniobra de carga/descarga, pudiendo enredarse una parte del paño de la red con las hélices de los thrusters (hélices para maniobras laterales), rompiendo la red y provocando escapes.

- c) Mala maniobra de instalación de amarras de las jaulas debajo del agua para fijarlas y cuadrarlas en su caída al fondo, faena que se realiza por buzos y que al no ser supervisada no siempre resulta bien efectuada, dejando cabos sueltos.

4.4.4.8 Mantenimiento Inadecuado o falta de ella

La mantención inadecuada o la falta de ella puede ser causa de pérdida de especies en cultivo cuando se deja de limpiar de fouling los sistemas, esto incluye grandes algas que se acumulan en los amarres o frente a las jaulas provocando una pared que aumenta sosteniblemente la carga a las corrientes. Otra causa de falta de mantención es el uso de jaulas con demasiadas reparaciones o con reparaciones que comprometen su fortaleza

tanto en las costuras como en los paños. También la falta de mantención de los sistemas de fondeos es una causa –aunque no recurrente - de escapes de peces y generalmente va asociada a eventos de la naturaleza como temporales y/o marejadas, entonces se producen los escapes de peces.

4.4.4.9 Sobreestimación de la vida útil de los elementos

Este riesgo es más común de lo que se piensa, dado que se insiste vehementemente en mantener sistemas con materiales que de acuerdo a las recomendaciones de los fabricantes ya han cumplido con creces su vida útil, el ejemplo más común es la reutilización de cables de fondeos que se instalan en los puntos supuestamente- de menor sollicitación a las cargas de esfuerzo y tracción pero que en su conjunto la fatiga de éstos es mayor y someten puntos críticos del sistema flotante y del sistema de fondeo en general a esfuerzos límites que pueden terminar en cortes de cables, hundimientos de boyas, deformaciones de pasillos y quiebres de módulos por completo. La vida útil de cada elemento que conforma el sistema de cultivo debe ser controlada en virtud del diseño, el lugar de instalación, los factores ambientales a que será sometido en particular y la calidad o certificación que éstos tengan de parte de los fabricantes. Así, un centro de cultivo en zona expuesta tendrá una vida útil menor que uno instalado en lugar protegido y en tanto sus elementos sean cambiados previo a cumplir su vida útil, se minimizará el riesgo del colapso.

4.4.4.10 Diseños y/o instalaciones defectuosas o incompletas

Este es el menos común de los riesgos que conducen a un evento que provoque escapes de peces al medio ambiente, dado que en la actualidad se trabaja con memorias de cálculo de fondeos y con estudios de apoyo que ayudan a efectuar instalaciones bien diseñadas y minimizar el riesgo de una instalación defectuosa. Existe, sin embargo, la posibilidad que ocurra la instalación defectuosa y que no se manifieste en el tiempo sino hasta un evento de temporal o marejada y que debido a su mala instalación (fondeos mal puestos en el fondo, fondos rocosos que afectan los cables por roce, mala estimación de las tensiones de los elementos de amarre o ángulos de trabajo de los cables demasiado dispares, anclajes a tierra en rocas de mala conformación granítica, etc.) provoque la rotura de pasillos y con ello de las jaulas, consecuentemente el escape de peces.

4.4.5 Clasificación de sitios para un sistema de cultivo de peces

Para la localización del centro de cultivo es necesario establecer una clasificación del sitio respecto a las condiciones ambientales. La idea es determinar si aquel sitio es factible para

la instalación y operación de acuerdo con los niveles de riesgos. A continuación, se propondrá una clasificación de sitios respecto al oleaje y la velocidad de corriente que describe la norma de Noruega (NS9415 -Norwegian Standard):

Tabla 25 - Clasificación de sitios respecto al tipo de oleaje, NS9415 -Norwegian Standard

Clase de oleaje	Hs [m]	Tp [s]	Designación
A	0.0 - 0.5	0.0 - 2.0	Exposición mínima
B	0.5 - 1.0	1.6 - 3.2	Exposición moderada
C	1.0 - 2.0	2.5 - 5.1	Exposición considerable
D	2.0 - 3.0	4.0 - 6.7	Exposición alta
E	>3.0	5.3 - 18	Exposición extrema

Tabla 26 - Clasificación de sitios respecto a la velocidad de corriente, NS9415 -Norwegian Standard

Clase de corriente	Velocidad de corriente [m/s]	Designación
a	0.0 - 0.3	Exposición mínima
b	0.3 - 0.5	Exposición moderada
c	0.5 - 1.0	Exposición considerable
d	1.0 - 1.5	Exposición alta
e	>1.5	Exposición extrema

4.4.5.1 Combinación de clases de oleaje y corrientes

A continuación, se presenta la combinación de los parámetros de oleaje y corriente:

Tabla 27 - Combinación de clases de oleaje y corrientes, NS9415 -Norwegian Standard

Altura de ola	Velocidad de corriente				
	a	b	c	d	e
A	Aa	Ab	Ac	Ad	Ae
B	Ba	Bb	Bc	Bd	Be
C	Ca	Cb	Cc	Cd	Ce
D	Da	Db	Dc	Dd	De
E	Ea	Eb	Ec	Ed	Ee

Al observar la tabla, se pueden obtener 25 clases de sitios, entre las cuales se encuentran sitios denominados Aa, que corresponde a un sitio con baja exposición a la altura de ola y

corriente- También se obtienen sitios con moderada exposición a la altura de ola y corriente como es la clase Bb, no obstante, para un sitio de extrema exposición podemos encontrar la clasificación Ee.

4.4.5.2 Categorización de los sitios según sus clases

Tabla 28 - Categorización de los sitios según la combinación de parámetros de oleaje y corriente, NS9415 -Norwegian Standard

Categoría sitios	Clase de sitios				
Protegido	Aa	Ab			
	Ba				
Semi protegido			Ac	Ad	Ae
		Bb	Bc	Bd	
	Ca				
Semi expuesto					Be
		Cb	Cc	Cd	Ce
	Da				
Expuesto		Db	Dc	Dd	De
	Ea	Eb	Ec	Ed	Ee

4.4.6 Vida útil

Con respecto a la vida útil de los materiales que conforman la estructura del sistema de cultivo, se señala que pueden tener diferencias en sus características dentro del mismo sistema, esto debido a la materialidad de los elementos como también a distintos factores a los cuales los sistemas de cultivo se encuentran sometidos, como por ejemplo fuerzas ejercidas por corrientes, vientos, roses de material, etc. En consecuencia, a lo anterior, se puede mencionar que la estructura está en función del tipo de elemento y de la ubicación del sitio. En general, los periodos de revisión tienen relación con las partes que más fallan, como flotadores y pasadores en el caso de las balsas jaulas metálicas.

En general las compañías productoras revisan permanentemente sus instalaciones y con mayor énfasis después de tormentas y antes y/o durante faenas importantes como siembra, cambios de redes y cosecha. Los periodos de revisión en jaulas metálicas se enfocan principalmente a los pasadores engomados, que en el peor de los casos tienen una duración de 6 meses (sitios expuestos) y en el mejor de los casos puede llegar a 2 años. El pasador que se utiliza hoy en día es engomado y este recubrimiento es el que le da la

flexibilidad a la articulación, una vez que se gasta, comienza el roce entre partes de acero. Las barandas metálicas se cambian cuando su deformación entorpece las actividades normales y comienzan a ser un peligro más que una seguridad para las personas que operan.

Por lo tanto, a continuación, se caracteriza la vida útil de los elementos estructurales que conforman una balsa jaula, basados en el sitio de exposición de la tabla 27, sin embargo, esta propuesta de vida útil fue aprobada por el proyecto “Diagnostico y definición de estándares de calidad y seguridad para la certificación de estructuras de cultivo y sus fondeos” el 2011. El proyecto fue solicitado por la Subsecretaria de pesca y acuicultura.

Tabla 29 - Vida útil de elementos estructurales de una balsa jaula

Materiales	Categoría del sitio	Vida útil en meses											
		6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72
Jaulas metálicas (pasillos)	Protegido	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	Expuesto	■	■	■	■	■	■	■	■	■			
Pasadores pasillos metálicos	Protegido	■	■	■	■								
	Expuesto	■											
Barandas metálicas	Protegido	■	■	■	■	■	■	■	■				
	Expuesto	■	■	■	■	■							
Boyas plásticas	Protegido	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
	Expuesto	■	■	■	■	■	■						
Boyas metálicas	Protegido	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
	Expuesto	■	■	■	■	■	■	■					
Flotadores	Protegido	■	■	■	■	■	■	■	■				
	Expuesto	■	■	■	■	■	■						
Grilletes	Protegido	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
	Expuesto	■	■	■	■	■	■						
Guardacabos	Protegido	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
	Expuesto	■	■	■	■	■	■						
Brackets	Protegido	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
	Expuesto	■	■	■	■	■	■						
Cabos	Protegido	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
	Expuesto	■	■	■	■	■	■						
Cadena	Protegido	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

	Expuesto												
Cable	Protegido												
	Expuesto												
Muerto	Protegido												
	Expuesto												
Anclaje	Protegido												
	Expuesto												
Pernos de anclajes	Protegido												
	Expuesto												

4.4.6.1 Corrosión y desgaste

La corrosión atmosférica se caracteriza por ser un fenómeno electroquímico que causa un desgaste generalmente uniforme, al que son muy susceptibles el hierro y sus aleaciones, generando cambios en la vida útil de una estructura. Estos al encontrarse con un ambiente marino dan a lugar la ocurrencia de oxidación sobre la superficie, formando principalmente óxido de hierro (R. Vera et al., 2005). Es por esto, que la corrosión dependerá de las condiciones atmosféricas y del tipo de recubrimiento (Galvanizado de Zinc), sin embargo, la norma API (American Petroleum Institute) señala que el análisis de la resistencia de las cadenas y componentes de acero de las balsas jaulas no debe incluir la corrosión. Por otra parte, determina que, por un año de servicio en agua de mar, un componente estructural de acero disminuye en espesor por corrosión 0,1 [mm] a 0,2 [mm] por año, no obstante, la norma noruega (NS 9315) describe que los componentes disminuyen 0,4 [mm] por año.

En el mismo contexto, la balsa jaula metálica al estar expuesta a condiciones atmosféricas, tales como humedad relativa, rayos ultravioletas, temperatura y aire salino, su oxidación dependerá directamente de estas variables, sin embargo, de acuerdo con R. Vera et al., 2012 el porcentaje de cloruro y dióxido de azufre en el aire genera grandes diferencias de oxidación, es decir, mientras más cloruro y dióxido de azufre contiene el aire, la velocidad de corrosión en una estructura metálica es mucho más rápida.

A continuación, se describe el contenido de dióxido de azufre y cloruro en el aire, en ciertos lugares de Chile y luego la velocidad de corrosión respecto a estas variables:

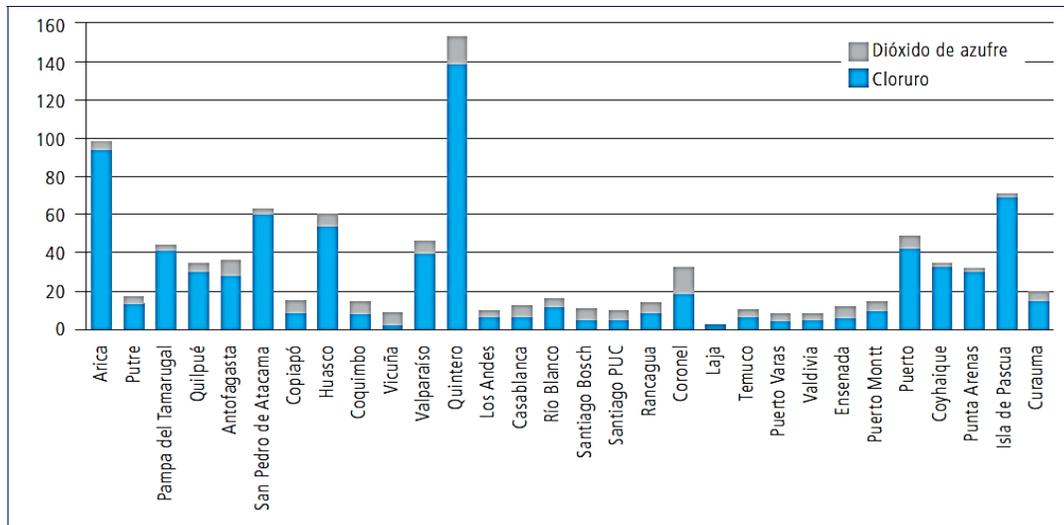


Figura 17 - Comparación contenido de cloruro y dióxido de azufre en las diferentes estaciones por un período de un año, R. Vera et al, 2012

La figura 15 describe que, en Quintero y Arica, el aire contiene altos porcentajes de cloruro y dióxido de azufre, por lo tanto, en la figura 16 se puede observar que la oxidación es proporcional a estos parámetros,

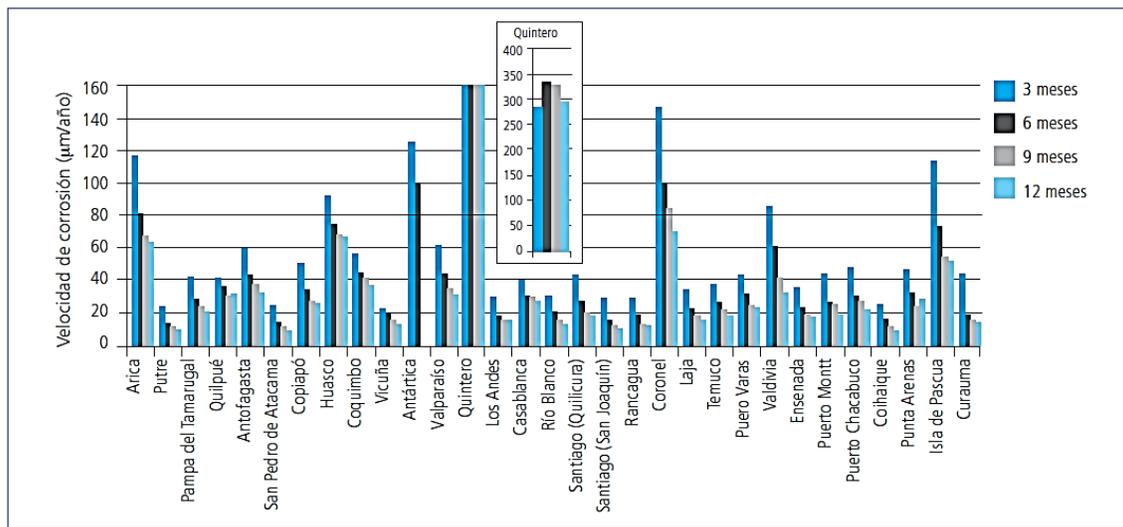


Figura 18 - Aspecto superficial del producto de corrosión de acero al año de exposición

4.4.6.2 Memoria de cálculo para análisis estructural de balsas metálicas

Para este punto en particular, el productor de balsas es quien determina las condiciones ambientales de operación (oleaje, corrientes y vientos) máximas que permitan asegurar la integridad estructural de sus productos. Para tales efectos, será necesario realizar los estudios estructurales en base a modelos numéricos (Métodos de elementos finitos) y/o físicos que permitan acreditar dichos márgenes operacionales. Estos análisis deben

contemplar esfuerzos, deformaciones y resistencia de materiales, sin embargo, estos análisis deben ser entregados al cliente que requiera la balsa jaula como antecedente. Sin embargo, se deberá hacer énfasis a los puntos de conexión y elementos de articulación que pertenezcan al módulo de cultivo, principalmente pruebas de tracción en los cáncamos para corroborar los puntos de fluencias respecto a las tensiones máximas de estudio. Se debe destacar que cada componente tiene una función en particular, por lo tanto, no deben trabajar en su estado límite último para cumplir con el estándar de diseño.

4.4.7 Resultados de taller con panel de expertos en Puerto Montt

El día 30 de mayo del 2018 se realizó el taller “Propuesta de elementos técnicos para la elaboración de una memoria de cálculo de fondeo” en Puerto Montt en conjunto con las empresas salmoneras y las empresas de servicios de ingeniería que diseñan el sistema de fondeos, balsas jaulas y todas las componentes que pertenecen al sistema de cultivo (listado de participantes en Anexo 7.3). Aquel día se presentó al panel de expertos todo lo relevante del proyecto, desde el objetivo 1 al objetivo 5. Como consecuencia, se hicieron acotaciones técnicas en base a la experiencia de industria:

- a) Incluir como complemento en la medición de corrientes la medición Lagrangiana.
- b) Se debe privilegiar la medición instrumental sobre el resto.
- c) Respecto al tipo de fondo, las muestras con dragas son en extremo puntuales, por lo que se debe sugerir o proponer técnicas que abarquen una mayor área. Puede ser por medio de equipos multi haz con discriminación de fondo y/o filmación con ROV.
- d) Respecto a los factores de seguridad para cada tipo de elemento, se debe precisar para las boyas un factor 1 y no 1.5, debido a que las líneas de fondeo ya están resguardadas para los impactos ambientales.
- e) Las empresas salmoneras presentaron inconformidad con la renovación de datos ambientales cada dos ciclos o 5 años de servicio por el aumento de sus costos, mientras que, las empresas de servicios de ingeniería estaban totalmente de acuerdo. Dejando en claro que esta petición es para aumentar la información oceanográfica de las concesiones, y, a su vez aumentar la seguridad estructural de los módulos de cultivo.
- f) Finalmente, en todos los otros puntos presentados el panel de expertos se estuvo de acuerdo con los factores de seguridad para cada componente del sistema, y el procedimiento operacional para la toma de datos ambientales, por lo tanto, este taller es concedido un éxito,

4.5 Objetivo 2.2.5

Establecimiento de procedimientos de inspecciones para elementos sobre y bajo la superficie, incluyendo parámetros para la detección de posibles fallas de los elementos constituyentes del módulo.

4.5.1 Marco general

Es importante conocer detalles de las estructuras de cultivo instaladas y los materiales que componen su sistema de fondeo, se deberá solicitar a las empresas productoras que entreguen información técnica y detalles de la operación de instalación por parte de los servicios que realizaron la instalación, dicho informe deberá considerar a lo menos los siguientes elementos:

- Fecha de inicio y término de las actividades.
- Identificación de la nave y su dotación.
- Documentos y/o certificados que acrediten la trazabilidad de los materiales utilizados, como boyas, cabos, cables, cadenas, anclas, pesos muertos, entre otros).
- Indicar claramente si los materiales utilizados son nuevos o usados, en cuyo caso se deberá precisar cuáles de ellos y la cantidad.
- En el caso de materiales usados deberá detallarse la data de estos y el lugar desde donde provienen además del estado en que se encontraban.
- Indicar nivel de pretensión de líneas de fondeo.
- Planos referenciados geográficamente en formatos normalizados. Presentados en papel y digital (*.dwg o compatible), en los cuales se incluya a lo menos:

Posición de las estructuras de cultivo en coordenadas geográficas y UTM (datum WGS 84), debido a posibles modificaciones durante la instalación, o detalle de los materiales que componen el sistema de fondeo efectivamente instalados en cada una de las líneas de fondeo. Posición (coordenadas geográficas y UTM, datum WGS 84) y profundidad definitiva de los elementos de anclajes como pesos muertos, anclas y pernos de anclaje en costa, así como también cualquier detalle de conexión entre los elementos de anclaje.

4.5.2 Procedimientos de Inspecciones para elementos sobre la superficie

Antes de una inspección In situ, se deberá contar con toda la información que ayude a ejecutar una visita conforme a los objetivos planteados. En una reunión con el jefe de centro se establecerán las acciones a seguir en base a las condiciones del tiempo reinantes y los recursos que existan.

Una vez que el inspector llegue al módulo de jaulas, deberá contar el número de jaulas, asegurando de registrar dimensiones principales y alguna información adicional que permita establecer el tipo, modelo, fabricante, origen y en definitiva el estado de la estructura en sí.

Actualmente se puede decir que la mayoría de las balsas jaulas que existen son de un tamaño de 30 x 30 m, pero en los últimos años están utilizándose también las de 40x40 m.

En general las balsas jaulas se componen de pasillos que poseen flotadores y barandas, cada uno de esos pasillos está unido a otro pasillo por un pasador lo que permite su articulación.

Los pasillos están constituidos por pisos y vigas que en general son de perfiles rectangulares los cuales se definen con 3 medidas por ejemplo 150x50x5 esto significa una viga de acero de 150 mm de alto de 50 mm de ancho y 5 mm de espesor, las medidas se pueden verificar en terreno con un pie de metro y el espesor de la viga con un equipo que registre el espesor de la viga.

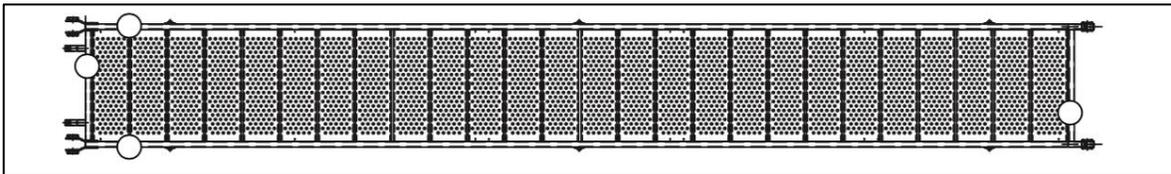


Figura 19 - Pasillo normal (recto)

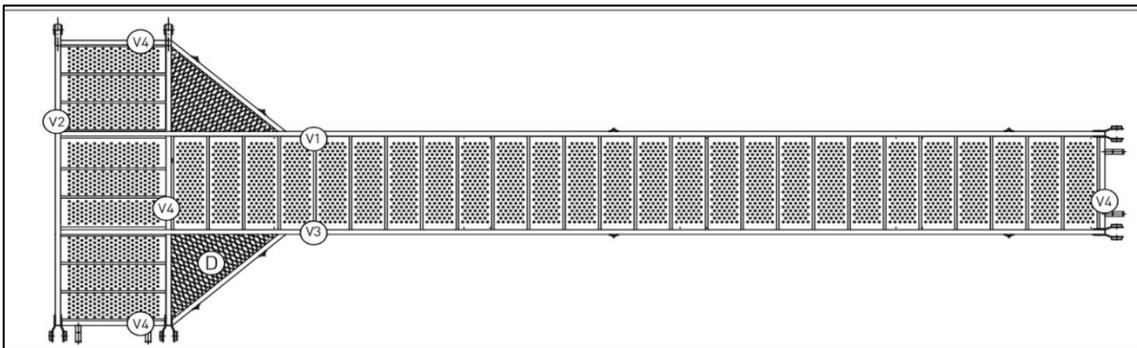


Figura 20 - Pasillo en T

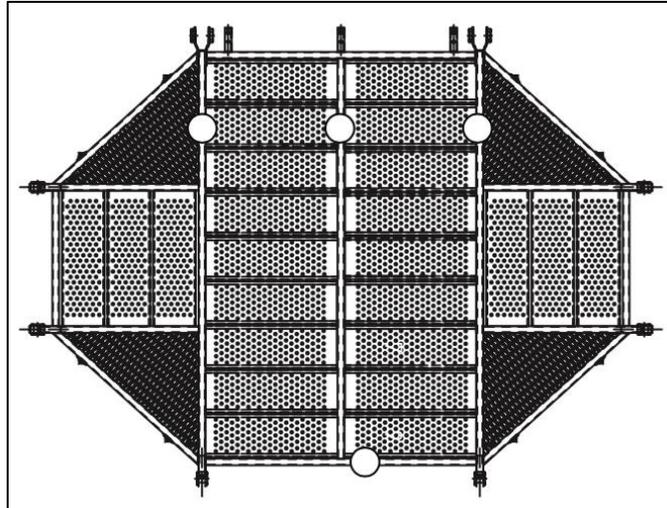


Figura 21 - Crucetas de pasillo

Respecto de los pisos de los pasillos, podemos decir que existen variados modelos dependiendo del fabricante, sin embargo, en la mayoría de los casos en donde no sean nuevas las balsas jaulas se podrá apreciar corrosión en distintos niveles, pero es importante registrar esto con fotografías y a su vez especificar aquellos casos más críticos en donde se evidencia falta de mantenimiento, el objetivo de este procedimiento es que sea una inspección objetiva.

Los pasillos tienen en general flotadores asociados en un número que va de los 3 a 8 unidades o más según sea el caso y tipo de balsa Jaula. Estos flotadores se pueden encontrar de 2 tipos hay unos rellenos de poliestireno expandido revestidos de plástico y hay otros con aire en su interior (soplados).

La manera de revisar los flotadores es visual y se deberá poner énfasis en los zunchos y pernos que mantienen a los flotadores unidos a los pasillos.



Figura 22 - Tipos de flotadores, fuente: www.wencosur.cl

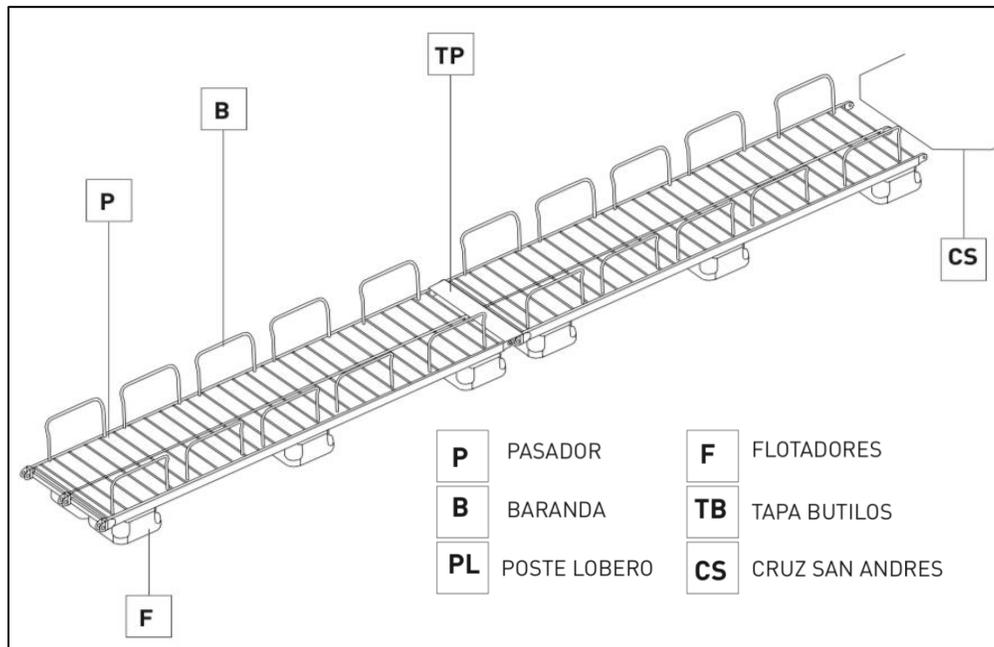


Figura 23 - Detalle de pasillo

4.5.3 Procedimientos de Inspecciones para elementos bajo la superficie

Determinación de Parámetros para detección de posibles fallas de los elementos que constituyen al módulo.

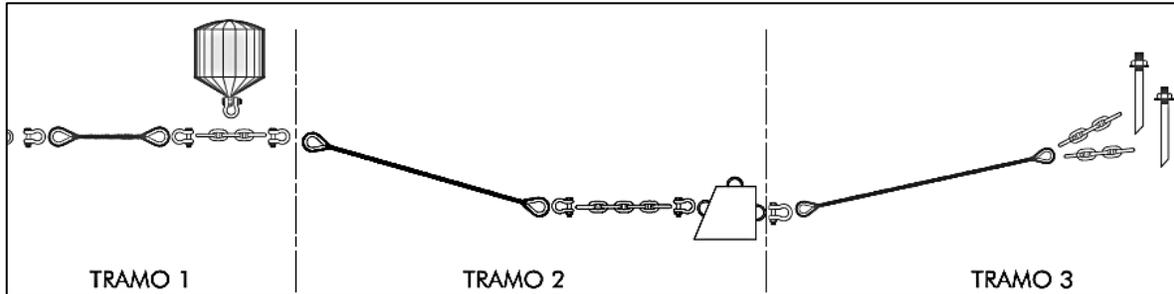


Figura 24 - Sistema de fondeo

En función del sistema de fondeo que exista, se considera realizar una inspección al 100% de las líneas instaladas.

Se pueden diferenciar 3 sectores o tramos, cada uno de los cuales considera materiales y elementos que se deben inspeccionar, a continuación, se detallan cada uno de estos:

4.5.3.1 Tramo 1; Tramo jaula-Boyas:

Aquí se deberá establecer la condición de seguridad de los elementos como grilletes y guardacabos que están conectados a la balsa jaula, importante verificar si existe roce, corrosión o cualquier otra observación que implique riesgo de fatiga o corte.

Este tramo puede tener uno o más tramos de conexiones, los cuales están constituidos en ocasiones por cadenas y en otras cabos. Se deberá revisar de manera visual la condición de estos materiales e indicar y registrar cualquier anomalía.

Este tramo termina en la conexión de la o las boyas de fondeo, las que pueden ser de distintos materiales, las más utilizadas son plástico de alta resistencia (HDPE) y acero galvanizado.

La condición de francobordo de la boya nos indica la carga vertical del fondeo, se deberá tomar registro de la condición de trabajo, su estado y conexiones con el sistema de fondeo.

Debido al gran número de boyas que se utilizan en un sistema de fondeo, el certificador deberá tomar las medidas del caso para identificar y registrar cada boya.

Este tramo se podrá realizar de manera superficial y con apoyo de un ROV o buzo con cámara submarina.

La posición relativa de las boyas, distancia entre éstas será de importancia para establecer una comparación con la MCF original que se utilizó para instalar el centro de cultivo en cuestión.

4.5.3.2 Tramo 2; Tramo Boya- Anclaje principal:

Aquí se deberá establecer la condición de seguridad de los elementos como grilletes que conectan la boya con el elemento de anclaje principal que puede ser un peso muerto, ancla y/o pernos de anclaje.

Tomando en cuenta un orden de inspección desde la boya al primer anclaje, se deberá recorrer el cable, cabo o cadena que exista en la línea de fondeo. Para cualquier caso, se deberá poner cuidado en la inspección que realiza el ROV en cuanto a la condición del cabo, cable o cadena inspeccionado, sobre todo para determinar el espesor y condición de trabajo.

Durante el recorrido se deberá identificar claramente la línea que se está inspeccionando y dejar registro de cualquier no conformidad como cruces o roces con otras líneas.

En el caso de uniones entre diferentes materiales, se deberá tener registro y control del elemento de unión entre éstos, como por ejemplo grilletes y/o piezas metálicas, así como también la condición de nudos en el caso de no utilizar grilletes.

Una vez que se alcance el elemento de anclaje principal, se deberá dejar registro de la condición de la unión entre la línea de fondeo y el elemento de anclaje, según se indique:

- a) **Peso muerto:** En este caso deberá tener cuidado de identificar la condición de trabajo, vale decir, si está en una buena posición, estable con el fondo, revisar su integridad (Daños, funcionalidad, etc.) y aspectos importantes que lo definan. El tipo de fondeo es importante evidenciar. Es importante determinar la profundidad donde está trabajando el anclaje.

- b) **Anclas:** Importante revisar la conexión con la cadena y el ángulo de ésta con el fondo, así como también establecer la posición de ataque con el fondo. El tipo de fondo es importante evidenciar. Establecer el tamaño y tipo de anclas es fundamental para comparar con la MCF original. Cualquier diferencia o problema deberá manifestarse en el reporte de inspección. Es importante determinar la profundidad donde está trabajando el anclaje.

- c) **Pernos de anclaje:** Existen casos en donde el sistema de fondeo necesita de anclarse directo a la costa, en cuyo caso el ángulo de trabajo respecto del nivel del mar es mucho menor que en los casos de pesos muertos y anclas. Se deberá tener cuidado con representar la curva de catenaria que forman estas líneas objeto de no generar problemas con la navegación de barcos en la zona. La zona en donde se insertan los pernos de anclaje se deberá evidenciar con registros y medidas especialmente en sitios donde se instale más de un perno de anclaje. Por otra parte, se debe evidenciar el ángulo que se adopta entre la posición del perno de anclaje y la línea de fondeo.

4.5.3.3 Tramo 3; Anclaje Principal una Retenida (anclaje auxiliar):

Aquí se deberá establecer la condición de seguridad de los elementos como grilletes que unen a los 2 anclajes.

Dependiendo del sitio, se utilizan conexiones desde pesos muertos a otros pesos muertos, de pesos muertos a anclas y de pesos muertos a Pernos de anclaje.

La combinación de éstos depende de muchos factores, en cualquier cosa, el certificador deberá controlar el estado de las conexiones críticas de los elementos que los unen y las condiciones de operación en las que están actuando.

Es importante tomar registros del lugar de conexión desde donde se fijan los tramos que unen a estos anclajes, generalmente se utilizan cables de acero o cadenas para las retenidas.

Se deberá tener en cuenta que para el aseguramiento y Control de condiciones de seguridad de la estructura instalada resulta imprescindible cumplir con un plan de mantenimiento preventivo, así como ejecutar acciones para el control de las mismas. Se sugiere contar con los siguientes documentos:

Manual de prevención: Mediante el llenado de información en formularios tipo y posterior registro se podrá conocer el comportamiento del centro de cultivo relativo a eventos o daños de importancia los cuales deberán ser corregidos para mantener la situación segura del sistema de fondeo.

Plan de mantención de estructura de cultivo, sistema de fondeo y redes: Con esta información es posible organizar y mantener un estándar de seguridad para el módulo de

cultivo en tanto se respeten las consideraciones de diseño contenidas en la memoria de cálculo de fondeo.

Con el fin de que exista un mayor control en las certificaciones, se sugiere que exista por parte del Productor un aviso con antelación (por ejemplo 5 días) a la autoridad indicando la empresa que certificará, fecha y lugar de salida hacia el centro que será revisado.

A continuación, se desarrollan los tópicos indicados anteriormente para lograr la certificación:

4.5.3.4 Verificación semestral para centros de cultivo

Se realizarán Inspecciones en cada uno de los centros de cultivo a través de un plan documentado de inspección el cual deberá contener a lo menos los siguientes ítems:

1. Inspección superficial al 100% de las estructuras de cultivo instaladas, enfocándose en puntos críticos como, por ejemplo, estado de los cáncamos, pasadores de los pasillos metálicos, flotadores, nivel de corrosión de los grilletes y guardacabos, alineación de las boyas, estado de las boyas, posicionamiento actual del módulo de cultivo, etc.
2. Inspección submarina utilizándose equipos de filmación y fotografía submarina manejados por personal con competencia en la materia debidamente calificada. Dicha inspección deberá abarcar el 100% de líneas del sistema de fondeo para el caso de balsas jaulas.
3. Una vez terminada los trabajos antes mencionados, se deberá dejar un registro a través de un informe técnico detallado en qué condiciones de seguridad se encuentran las estructuras inspeccionadas con el propósito de evidenciar fallas en el sistema de fondeo como por ejemplo: Fatiga de material, mal funcionamiento de elementos , corrosión, desgaste, etc. y tomar las acciones de mejoras correspondientes tales como: reemplazo, adaptaciones, restauraciones de los materiales inspeccionados las cuales deberán estar calendarizadas dentro de un periodo no mayor de 6 meses.

4.5.3.5 Niveles mínimos de aceptación en elementos del sistema de fondeo

El objetivo es confeccionar un documento que permita discernir sobre el estado de una serie de elementos que conforman estructuras de cultivo y sus sistemas de fondeo, lo que se traduce en aplicar un criterio de aceptabilidad basado en fundamentos técnico-prácticos.

Cabe destacar que es de suma importancia contar con un certificador idóneo el cual se supone conoce a cabalidad los detalles técnicos empíricos que son propios del área y del estado del arte de la acuicultura en particular.

A modo de sugerencia sobre el Intervalo de Inspección se propone utilizar las siguientes tablas recogidas de la Norma para estructuras flotantes en la industria petrolera API Recommended practice.

Tabla 30 - Intervalos de medición de cadenas y cáncamo

Número de años en servicio	Intervalo recomendado entre inspecciones *
0 a 3	36 meses
4 a 10	24 meses
Sobre 10	8 meses
* Con un periodo de gracia que no exceda 4 meses	

Tabla 31 - Intervalos de medición de cables y cabos

Número de años en servicio	Intervalo recomendado entre inspecciones *
0 a 2	18 meses
3 a 5	12 meses
Sobre 5	9 meses
* Con un periodo de gracia que no exceda 4 meses	

4.5.4 Vida útil

Con respecto a la vida útil de los materiales que conforman las estructuras de los distintos sistemas de cultivo, se señala que estos pueden tener diferencias en sus características dentro del mismo sistema, esto debido a la materialidad de los elementos como también a distintos factores a los cuales los sistemas de cultivo se encuentran sometidos, como por ejemplo fuerzas ejercidas por corrientes, vientos, roses de material, etc.

Después de haber realizado una serie de entrevistas y reuniones con proveedores y productores sobre la vida útil y de las mantenciones, podemos mencionar que la mayoría están en función del tipo de elemento y de la ubicación del sitio.

En general, los periodos de revisión tienen relación con las partes que más fallan, como flotadores y pasadores en el caso de las balsas jaulas metálicas cuadradas.

En general las compañías productoras revisan permanentemente sus instalaciones y con mayor énfasis después de tormentas y antes y durante faenas importantes como siembra, cambios de redes y cosecha.

Los periodos de revisión en balsas jaulas metálicas se enfocan principalmente a los pasadores engomados, que en el peor de los casos tienen una duración de 6 meses (sitios expuestos) y en el mejor de los casos puede llegar a 2 años. El pasador que se utiliza hoy en día es engomado y este recubrimiento es el que le da la flexibilidad a la articulación, una vez que se gasta, comienza el roce entre partes de acero.

Las barandas metálicas se cambian cuando su deformación entorpece las actividades normales y comienzan a ser un peligro más que una seguridad para las personas que operan.

4.5.5 Reserva de Boyantes

Es importante mantener un control de los pesos que existirán sobre los pasillos de las balsas Jaulas, sobre todo su distribución y cantidad. Si bien es cierto, que podemos encontrar en un set de balsas jaulas, un gran número de flotadores, esto no significa que se podrá cargar las estructuras sin control. Es en este aspecto que podríamos hablar de un eventual francobordo mínimo de operación, el cual estará dado en función de la capacidad de boyantes del set de balsas jaulas y el peso de la estructura más los componentes y elementos de operación como se indica a continuación:

- Redes de cultivo y anti depredadores
- Sistema de retiro de mortalidad
- Contrapesos para mantener la geometría de las redes
- Sistema de alimentación
- Gabinetes de equipos de medición
- Compresores, etc.

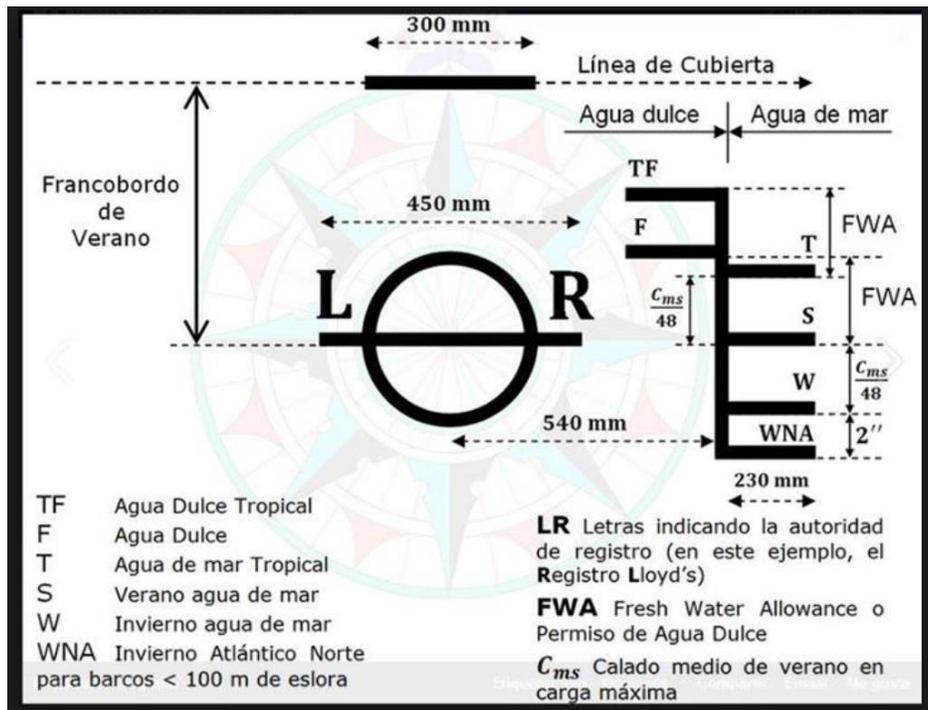


Figura 25 Disco de Plimsoll

Una alternativa que podría ser útil es que se pinten marcas en algunos flotadores del set de balsas jaulas tal cual lo tienen los barcos como en el caso del disco de plimsoll,

La marca de francobordo, disco Plimsoll o marca de Plimsoll es una marca esquemática que han de llevar los buques pintada en su casco. Su nombre oficial es «marca de francobordo», y recibe los otros dos en honor del parlamentario británico Samuel Plimsoll, que impuso su uso en 1875. Sin embargo, se propone para la norma una reserva de boyantes de 70% para cuando el módulo de cultivo está recién instalado y una reserva de boyantes mínimas del 30% cuando está actuando el fouling, las cargas extras y la operación.

Tabla 32 - Ejemplo de aplicación de reserva de boyantes

Ejemplo módulo 12 jaulas de 30 x30 x15	
Peso del módulo completo	86 [ton]
Empuje del módulo	292 [ton]
Reserva de boyantes (70%)	206 [ton]
Reserva de boyantes mínima (30%)	87,6 [ton]
Carga máxima al módulo (cargas extras, fouling y operación)	118 [ton]



Figura 26 - nivel de flotación de un centro tipo en operación



Figura 27 - Fotografía de pesos sobre balsas jaulas, cerco perimetral y mangueras de alimentación.

Para determinar un francobordo mínimo de operación, se deberá considerar realizar mediciones en momentos de calma y en fases de marea que no afecten, ya que la corriente de marea afecta a las redes y éstas generan una componente vertical que hunde los pasillos con la eventual pérdida de flotabilidad y disminución del francobordo.

Respecto de la tolerancia deberá quedar establecida por el usuario, a modo de referencia debería existir un listado de los pesos reales a utilizar para una operación normal y contrastarlo con lo que afecta a la reserva de flotabilidad del módulo de balsas jaulas, de manera que se defina un límite de operación en cuanto al francobordo.

4.6 Objetivo 2.2.6

A continuación, se presentará una pauta de evaluación para determinar el cumplimiento de los requerimientos de la memoria de cálculo de fondeo, tanto como la balsa jaula y sus componentes estructurales.

Ficha de evaluación estructural de módulos de cultivo para la Acuicultura

1. Alcance

La ficha de evaluación estructural de módulos de cultivo para la acuicultura es un documento que sirve para evaluar cada componente estructural del sistema completo, que debe ser referente a la memoria de cálculo de fondeo y a la memoria de cálculo del artefacto naval (balsa jaula), con el fin de analizar el cumplimiento de los estándares de diseño, y, que en el tiempo de cultivo sus componentes cumplan a cabalidad su integridad estructural, en cuanto a corrosión, vida útil y funcionalidad. Esta evaluación visual debe ser realizada por un inspector altamente calificado en el área.

2. Identificación del inspector

Fecha de inspección: _____ Hora de inspección: _____

Nombre del Evaluador: _____ Firma: _____

Institución a la que pertenece: _____ Profesión: _____

3. Identificación de la concesión

Región: _____ Provincia: _____ Comuna: _____ Localidad: _____

Nombre de la empresa a cargo de la concesión _____

Dirección (Coordenadas U.T.M.) _____ Cantidad de módulos _____

Cantidad de balsas jaulas _____ Cantidad de peces en cultivo _____

Especie de cultivo: _____ Área de la concesión (Ha o m2) _____

4. Sistema estructural

Marque con una X o un ticket sobre el círculo si aquel componente estructural se encuentra en el sistema.

Sistema de fondeo	Material	Cantidad	¿Concuerda con la memoria de cálculo?	
<input type="radio"/> Grilletes			<input type="radio"/> Si	<input type="radio"/> No
<input type="radio"/> Cadenas			<input type="radio"/> Si	<input type="radio"/> No
<input type="radio"/> Cabos			<input type="radio"/> Si	<input type="radio"/> No
<input type="radio"/> Guardacabos			<input type="radio"/> Si	<input type="radio"/> No
<input type="radio"/> Boyas			<input type="radio"/> Si	<input type="radio"/> No
<input type="radio"/> Anillos de distribución			<input type="radio"/> Si	<input type="radio"/> No
<input type="radio"/> Muertos			<input type="radio"/> Si	<input type="radio"/> No
<input type="radio"/> Anclas			<input type="radio"/> Si	<input type="radio"/> No
<input type="radio"/> Pernos de anclaje			<input type="radio"/> Si	<input type="radio"/> No

Sistema balsa jaula	Material	Cantidad	¿Concuerda con la memoria de cálculo?	
<input type="radio"/> Pasillos			<input type="radio"/> Si	<input type="radio"/> No
<input type="radio"/> Barandas			<input type="radio"/> Si	<input type="radio"/> No
<input type="radio"/> Pasadores			<input type="radio"/> Si	<input type="radio"/> No
<input type="radio"/> Flotadores			<input type="radio"/> Si	<input type="radio"/> No
<input type="radio"/> Redes peceras			<input type="radio"/> Si	<input type="radio"/> No
<input type="radio"/> Redes loberas			<input type="radio"/> Si	<input type="radio"/> No
<input type="radio"/> Brackets			<input type="radio"/> Si	<input type="radio"/> No
<input type="radio"/> Cuerdas			<input type="radio"/> Si	<input type="radio"/> No
<input type="radio"/> Cáncamo			<input type="radio"/> Si	<input type="radio"/> No

5. Inspección específica

En este ítem se debe realizar una inspección específica en daños y corrosión de los elementos estructurales que pertenecen al sistema completo. Esta inspección debe ser complementada con registros fotográficos y deben ser adjuntos en el ítem 6.

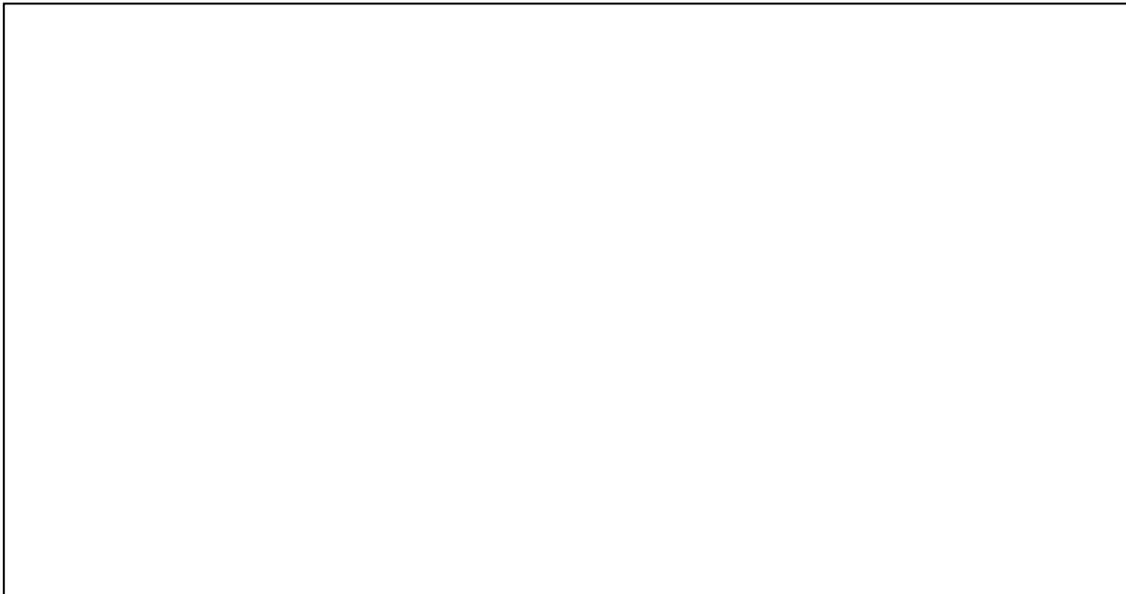
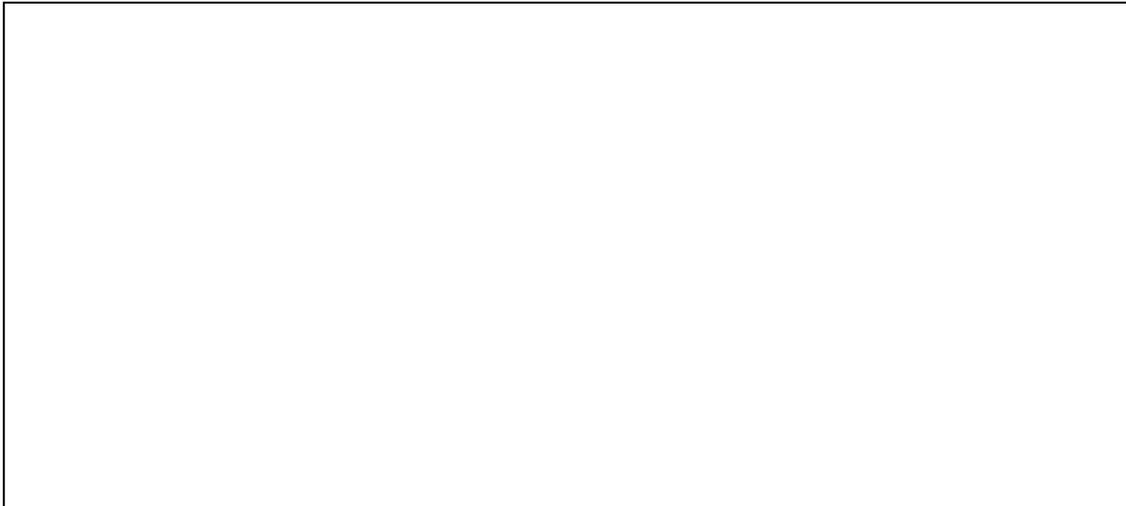
La clasificación de daño y corrosión estará dada por los siguientes rangos:

- a) Ninguno 0% de corrosión y/o daño
- b) Leve 0 - 25 % de corrosión y/o daño
- c) Moderado 25 - 50% de corrosión y/o daño
- d) Fuerte 50 - 75 % de corrosión y/o daño
- e) Severo 75 - 100% de corrosión y/o daño

Elementos	Rango de daño				
	Ninguno	Leve	Moderado	Fuerte	Severo
Grilletes					
Cadenas					
Cabos					
Guardacabos					
Boyas					
Anillos de distribución					
Muertos					
Anclas					
Pernos de anclaje					
Pasillos					
Barandas					
Pasadores					
Flotadores					
Redes peceras					
Redes loberas					
Brackets					
Cuerdas					
Cáncamos					

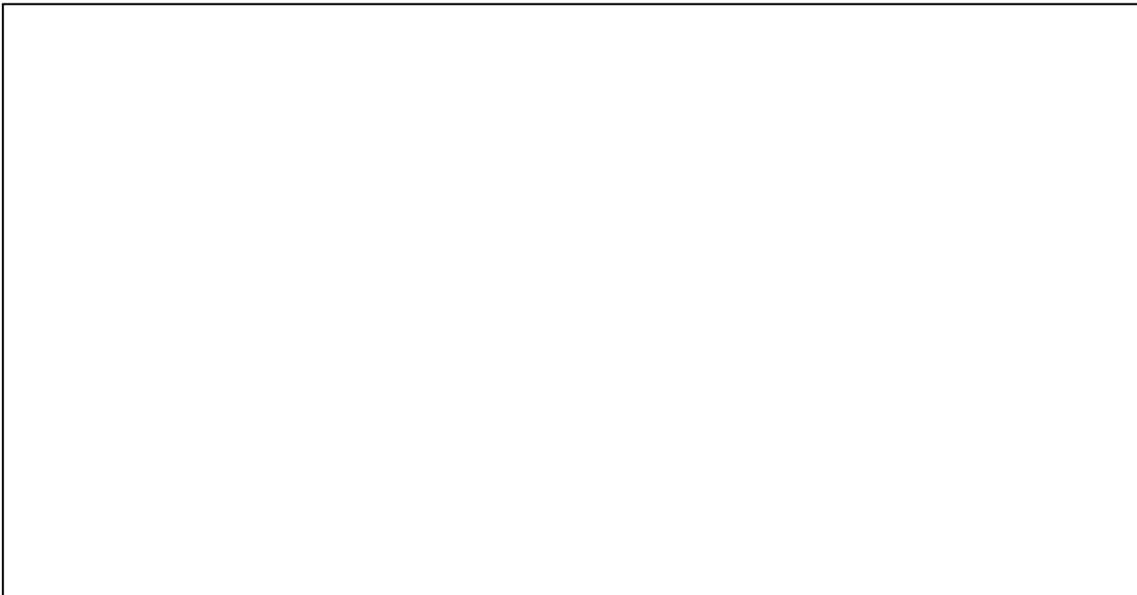
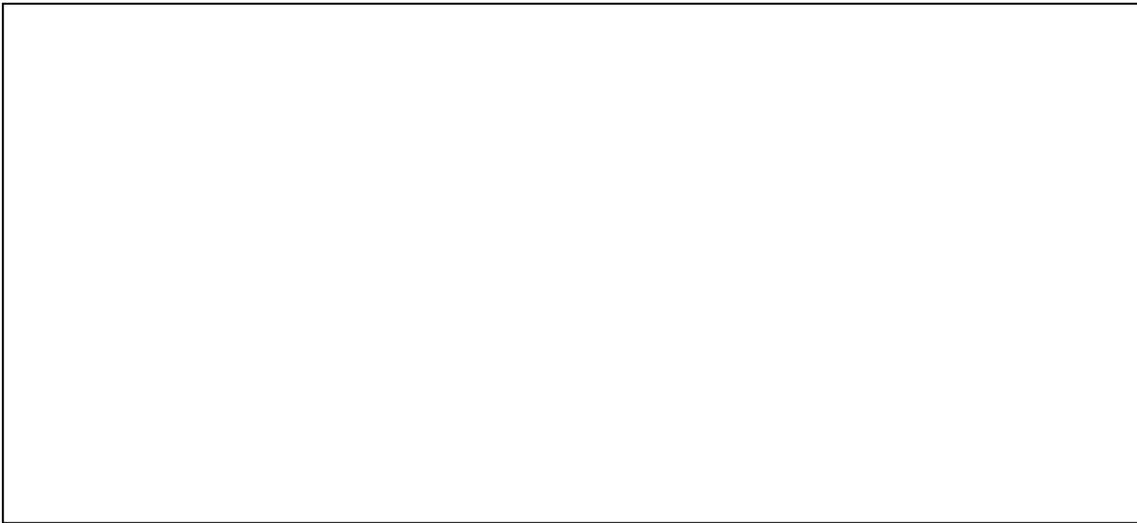
6. Registros fotográficos

En este ítem el inspector debe adjuntar todos los registros fotográficos, esto considera las fotografías de cada elemento que pertenece al sistema y las fotografías que se realizan en el fondo marino con ROV. Los registros fotográficos del fondo marino son para validar el posicionamiento de cada línea de fondeo respecto al plano del sistema de fondeo. En este sistema no puede estar corrida ninguna línea porque la distribución de fuerzas cambiaría respecto al diseño original.



7. Corroboración reserva de boyantes

En este ítem en particular, el inspector debe verificar las marcas de reserva de boyantes en los flotadores del módulo de cultivo. Se debe verificar que el módulo al contener cargas extras ((fouling, operación u otros) no debe poseer una reserva de boyantes inferior al 30 %. Este registro debe ser por medios fotográficos y deben ser adjuntados en este punto.



5 LAYOUT DE LA MEMORIA DE CÁLCULO DE FONDEO

En el presente capítulo se describan los pasos a seguir de forma general para determinar la memoria de cálculo de fondeo, respecto a los ítems anteriores del presente proyecto.

5.1 Primer paso

Se deberá describir en detalle el lugar de la concesión:

- a) Ubicación geográfica en coordenadas UTM.
- b) Área de la concesión en metros cuadrados o hectáreas.
- c) Características de la empresa involucradas en el sistema de cultivo (Empresas de cultivo y de instalación de artefactos navales y fondeo).
- d) Objetivos de la empresa productora (cantidad de jaulas, cantidad de peces, etc.).

5.2 Segundo paso

Se debe seguir el procedimiento operacional para la toma de datos ambientales, para las forzantes de corriente, viento, oleaje, y, además batimetría y tipo de fondo:

5.2.1 Corrientes

Tabla 33- Tabla de propuesta para la medición de corrientes

Medición de corrientes	
i.	Se deben realizar mediciones durante 30 días en campaña de sicigia y cuadratura en ciclos estacionales (invierno y verano) con periodos mínimos de 30 minutos. No deben existir intervalos de medición mayores a 10 minutos y la instrumentación deberá ser instalada en el área que ubicará el módulo.
ii.	Se recomienda incluir en la medición de corrientes la marea más alta del año (Equinoccios) o en sicigias con perigeo lunar, y, si es excluida justificar él por qué.
iii.	La velocidad de corriente (V_c) se debe multiplicar por los siguientes factores de seguridad dependiendo del tipo de marea o corriente de marea: c) $V_c \times 1 = V_{cb}$ (Incluyendo en la medición la marea de Equinoccio). d) $V_c \times 1.1 = V_{cb}$ (Excluyendo en la medición la marea de Equinoccio).
iv.	Estimar la velocidad de corriente con periodos de retorno de 10 y 50 años utilizando los siguientes factores: c) $V_{cb} \times 1.65 =$ Periodo de retorno de 10 años. d) $V_{cb} \times 1.85 =$ Periodo de retorno de 50 años.
v.	Se debe realizar correntometría euleriana fija a 5, 15 y 25 metros de profundidad en la columna de agua, sin embargo, se podrá complementar esta información con correntometría lagrangiana.

vi.	Simultáneamente a la correntometría euleriana fija y en la búsqueda de agentes forzantes de las corrientes, se efectuarán mediciones horarias del nivel del mar y de la dirección e intensidad del viento por un mínimo de 30 días.
vii.	Para la medición de corrientes eulerianas se deberá utilizar instrumentación que profile corrientes, programado de forma que se establezcan celdas (capas) con un espesor y distribución tal que asegure la medición de la corriente, en las capas superiores, en cualquier estado de la marea.
viii.	Se debe realizar una tabla de al menos de 8 direcciones y 6 filas de bandas de intensidad de corriente, conteniendo la frecuencia de ocurrencia en cada combinación
ix.	Las mediciones serán válidas por un periodo de 2 ciclos o 5 años de servicio

5.2.1.1 Análisis e informe

El procesamiento por realizar sobre los datos correntométricos comprenderá los siguientes tipos de análisis:

- e) Análisis estadístico
- f) Análisis espectral
- g) Correlación entre procesos geofísicos
- h) Análisis de la corriente en la columna de agua

El informe técnico de corriente deberá contener a lo menos lo siguiente:

- h) Objetivo del estudio
- i) Descripción y características del instrumento utilizado
- j) Metodologías empleadas
- k) Análisis realizados (según corresponda)
- l) Posición en coordenadas geográficas y UTM de los puntos monitoreados, indicando el datum geodésico utilizado y la profundidad instrumental de fondeo de los equipos
- m) Esquemas de circulación de la corriente
- n) Valores de diseño de acuerdo con los requerimientos del proyecto

5.2.2 Vientos

Tabla 34 - Tabla de propuesta para la medición de vientos

Medición de vientos	
i.	Se deberá obtener una base de datos de mínimo 10 años cercana al sitio de interés.
ii.	La estación meteorológica no debe estar a más de 50 kilómetros del sitio de interés.
iii.	Si la estación meteorológica está a más de 50 kilómetros del sitio de interés se debe establecer una correlación entre la medición <i>in situ</i> (con instrumentos durante un periodo mínimo de 30 días de carácter estacional) y la estación meteorológica.
iv.	Se recomienda la utilización de mediciones a intervalos de muestreo máximos de un minuto con el fin de permitir el análisis posterior de los eventos máximos. Sin perjuicio de lo anterior, no se aceptará un intervalo de muestreo superior a 10 minutos.
v.	Se debe realizar una tabla de al menos de 8 direcciones y 6 filas de bandas de intensidad de viento, conteniendo la frecuencia de ocurrencia en cada combinación
vi.	Se debe estimar la velocidad del viento con periodos de retorno de 10, 25 y 50 años
vii.	Cuando se realicen mediciones de forma estacional, aquella información tendrá una validez de 5 años de servicio o 2 ciclos productivos.

5.2.2.1 Análisis e informe

Los procedimientos de análisis de los datos obtenidos deberán estar dirigidos a cumplir los siguientes objetivos:

- a) Control de calidad de la información.
- b) Caracterización estadística básica.
- c) Caracterización de la variabilidad temporal.
- d) Validación de los datos de viento de corto período con referencia a la información de estaciones permanentes.
- e) Análisis estadístico de extremos.
- f) Asimilación de la información sobre la base de características topográficas de la zona en la cual se ubica el sitio de interés.

El informe técnico de vientos deberá contener a lo menos la siguiente información:

- a) Objetivo del estudio.
- b) Descripción y características del instrumental utilizado.
- c) Metodologías empleadas.
- d) Análisis realizados.
- e) Resultados y conclusiones incluyendo valores de diseño.

5.2.3 Oleaje

Tabla 35 - Tabla de propuesta para la medición de oleaje

Medición de oleaje	
i.	Se deberá obtener una data de a lo menos 20 años de oleaje en aguas profundas.
ii.	La determinación del oleaje en aguas someras deberá ser por transferencia espectral direccional, desde aguas profundas al sitio de interés por medio de modelos numéricos de tercera generación como mínimo.
iii.	El uso de la modelación numérica deberá incluir los fenómenos de difracción, reflexión y asomeramiento.
iv.	Para aguas interiores se debe utilizar la metodología del Hindcasting, utilizando 10 años de información de vientos.
v.	Cuando no existe información disponible de oleaje ni de viento para generar Hindcasting, se deben realizar mediciones in situ de forma estacional (invierno y verano) con instrumentos en un periodo mínimo de 30 días, para caracterizar el oleaje en el rango de periodos de 3 a 30 segundos.
vi.	El instrumento deberá ser instalado cerca del sitio de interés y registrar olas cada 3 horas como máximo, por un periodo de muestreo de a lo menos 18 minutos y con una frecuencia de muestreo de 0,5 segundos (2 Hz) como mínimo.
vii.	Se deberá indicar como mínimo el huso horario empleado en mediciones y las coordenadas geográficas en UTM de la posición de fondeo del instrumento en datum WGS - 84. El instrumental por utilizar deberá ser capaz de registrar al menos periodo, altura y dirección de olas.
viii.	Las mediciones con instrumentos ubicados en el fondo deberán ser efectuadas preferentemente cerca de la instrumentación que mide corrientes.
ix.	Se deberá realizar un análisis de clima extremo y clima medio (clima operacional), utilizando periodos de retorno de 10, 25 y 50 años.
x.	Para estimar la altura significativa de ola con periodos de retorno, se recomienda utilizar la función de distribución de Gumbel, Weibull o Pareto y se debe utilizar la que posea el mejor ajuste.
xi.	Para oleaje regular (Teoría lineal de oleaje) se recomienda $H_{max} = 1.86 \times H_s$, solo cuando se utilicen mediciones instrumentales.
xii.	Para oleaje irregular en costa abierta se recomienda utilizar espectro Jonswap y para fiordos se recomienda utilizar espectro Pierson - Moskowitz
xiii.	Cuando se realicen mediciones de forma estacional, aquella información tendrá una validez de 5 años de servicio o 2 ciclos productivos.

Cabe mencionar, que existe estadística de oleaje gratis:

- a) 35 años de información (1980 - 2015) en aguas profundas, información calibrada para *input* de modelos numéricos. Beyá et al., 2016. Atlas de Oleaje de Chile. Primera edición. Valparaíso, Chile, Escuela de Ingeniería Civil Oceánica - Universidad de Valparaíso.
- b) Explorador de energía marina de la Universidad de Chile

5.2.3.1 Presentación del informe

El informe deberá contener una descripción del área de estudio, origen del estudio y sus objetivos, fuentes de datos e información, y cualquier otro antecedente que permita establecer el marco conceptual en el cual se desarrolló el trabajo.

Asimismo, se deberá indicar una descripción de los equipos utilizados durante el trabajo de terreno y sus rangos de operación y exactitud, metodologías empleadas, descripción del modelo, posicionamiento del instrumental, niveles de confianza y otros antecedentes que permitan reproducir el trabajo de terreno y el procesamiento en oficina.

La representación en figuras y gráficos es preferida antes que extensos listados de datos. Se exigirán memorias de cálculos, en caso de que se requiera profundizar sobre algún aspecto del informe, como es el caso de la proposición de metodologías para determinar el oleaje generado por vientos.

5.2.4 Batimetría

Tabla 36 - Tabla de propuesta para la medición de batimetría

I.	La escala de los levantamientos, por lo general será 1: 1.000 ó 1: 500, de modo que permita determinar el relieve batimétrico en la forma más clara y precisa posible. Si por motivos justificados no fuese posible confeccionar el plano final a estas escalas, se deberá informar a la Autoridad encargada de esta norma.
II.	La separación máxima entre las líneas de sondas principales será de 20 metros en el terreno, independiente de la escala del plano. El sentido de las líneas será perpendicular a la línea de costa y equidistantes entre sí. Dicha separación es el máximo establecido, pudiendo ser menor, debiendo mantener igual separación de corridas en todo el sondaje.
III.	Las líneas de sondas de comprobación se realizarán en forma transversal a las corridas principales, y su separación será cada 50 metros, como máximo.

IV.	La tolerancia de error en la medición de profundidades dependerá del largo de la sonda, es decir, para sondas de 10 metros se tolerará 10 centímetros de error, para 20 metros se tolerará 15 centímetros de error y para un largo de 30 metros se tolerará 30 centímetros de error.
V.	Con el propósito de aclarar la información contenida en un plano de sondas, se deberán incluir veriles. Como máximo se sugiere que sean cada 20 metros.
VI.	El posicionamiento de la embarcación durante el sondaje se efectuará mediante la intersección de tres ángulos simultáneos de teodolito o taquímetro, instalados en estaciones de sondaje en tierra. Los ángulos serán medidos a una señal instalada sobre el transductor en la embarcación.
VII.	Durante la ejecución de las líneas de sondas, la embarcación debe navegar a velocidad constante y será dirigida desde una de las estaciones de sondaje, o bien, desde una cuarta estación especialmente ubicada para este propósito con teodolito o taquímetro.
VIII.	Para el posicionamiento del sondaje, se deberán utilizar instrumentos que permitan tomar una lectura directa de 1 minuto de arco en graduación sexagesimal o centesimal, y cuyo error de colimación horizontal no exceda en +/- 1 minuto.
IX.	Solo en el caso de utilizar un instrumento multi haz, la frecuencia de muestreo de dichos equipos debe cumplir lo siguiente: <ul style="list-style-type: none"> • A una profundidad entre 100 [m] y 12 [km] - Frecuencia entre 10 y 15 [KHz] • A una profundidad entre 30 y 3000 [m] - Frecuencia entre 30 y 50 [KHz] • A una profundidad entre 5 y 500 [m] - Frecuencia entre 80 - 180 [KHz] • A una profundidad entre 0 y 100 [m] - Frecuencia entre 200 - 400 [KHz]
X.	En el caso de utilizar un instrumento mono haz, se debe utilizar la frecuencia de muestreo que posee el equipo.
XI.	La información batimétrica medida, tendrá una validez de 5 años de servicio o dos ciclos de cultivo debido a los cambios de fondo por los movimientos verticales cosísmicos.
XII.	Respecto al control geodésico, posicionamiento del GPS, medición de profundidades, comprobación de ecosonda y todo lo que conlleve a una determinación batimétrica debe ser referente a la instrucción hidrográfica N°5 del SHOA "Especificaciones técnicas para la ejecución de sondaje"

5.2.4.1 Presentación del informe

El informe final, los planos y los antecedentes que lo avalan, deben ser firmados por el profesional responsable del levantamiento.

Para facilitar el proceso de revisión, el informe deberá ser entregado de la siguiente forma:

- a) Capítulo I: Memoria.
- b) Capítulo II: Control.
- c) Capítulo III: Sondaje.
- d) Capítulo IV: Nivel del Mar.
- e) Capítulo V: Referencia.
- f) Anexos: Control - Nivel del Mar - Sondaje

5.2.5 Tipo de fondo

Tabla 37 - Tabla de propuesta para determinar el tipo de fondo

i.	Se puede determinar el tipo de fondo con un análisis de resultados de sondaje multi-haz
ii.	Se puede corroborar la eficiencia del muerto o anclaje con pruebas de tracción (Ver 4.4.2.2)
iii.	Se puede complementar la información del tipo de fondo con fotografías y/ o videos mediante ROV submarinos
iv.	Se deberá tomar muestras de sedimento marino dentro del área del proyecto, considerándose al menos 10 puntos de muestreo, con espaciamiento adecuado que cubra toda el área de estudio
v.	Se deberá realizar un análisis granulométrico con el método Wentworth (1922)

5.2.5.1 Presentación del informe

- a) Metodología de análisis.
- b) Tablas y gráficos de resultados granulométricos obtenidos para cada muestra.
- c) Tablas y gráficos de resultados del espesor de la capa de fondo, cuando corresponda.
- d) Análisis estadístico que valide la comparación entre muestras.
- e) Mapa de distribución superficial de sedimentos.
- f) Coordenadas UTM y geográficas de las estaciones de muestreo.
- g) Análisis de carácter descriptivo y estadístico de los resultados y su respectiva discusión.'

5.2.6 Comentarios

En el momento de realizar mediciones de parámetros ambientales para el diseño del sistema de cultivo, se debe hacer de forma simultánea entre variables, es decir, se debe medir corrientes, viento y oleaje de forma estacional (invierno y verano), en el mismo periodo de tiempo (30 días en invierno y 30 días en verano), sin embargo, esta información solo tendrá una validez de 5 años de servicio o dos ciclos productivos con el fin de aumentar

en el tiempo la serie de datos para cada concesión, para prevalecer la calidad del diseño debido al comportamiento estocástico de la oceanografía.

5.3 Tercer paso

En este paso se debe determinar la metodología de análisis para el cálculo de fondeo, es decir, metodología estática o metodología dinámica. De forma general se puede decir que la metodología estática utiliza ecuaciones lineales empíricas y tiene a sub o sobre estimar los valores de cálculo, mientras que la metodología dinámica utiliza ecuaciones diferenciales parciales en función del espacio tiempo, y pueden variar sus ecuaciones en cinco ordenes, a su vez, las ecuaciones de gobierno que utilizan los modelos numéricos generalmente se basan en la conservación de energía, conservación de la masa y la conservación de momentum.

Luego de haber seleccionado la metodología de análisis se le debe aplicar un factor de seguridad a los cálculos, debido al comportamiento estocástico de la oceanografía.

Tabla 38 - Propuesta de los factores de carga respecto al tipo de análisis

Tipo de análisis	Factor de carga
Análisis estático	1.60
Análisis dinámico	1.15

5.4 Cuarto paso

En este paso se den incluir los factores de seguridad para los elementos estructurales de módulos de cultivo.

A continuación, en la tabla 40 se caracterizan todas las cargas que deben ser consideradas para el diseño de un sistema de cultivo de peces.

Tabla 39 - Propuesta de tipos de cargas a considerar para el diseño de un sistema de cultivo

Chile	
Cargas permanentes: Carga viva de equipamientos	
Incluye	Peso del sistema de cultivo en aire
	Peso fijo del equipamiento
	Fuerzas de boyas estáticas
Cargas variables: Cargas intermitentes	
Incluye	Equipamiento mecánico
	Personal
	Alimentación
	Estabilizador variable
	Carga común del equipamiento primario y secundario
	Impacto de embarcación
	Defensa o amarras de embarcación
Cargas aplicadas respecto a las operaciones	
Cargas de deformación	
Incluye	Pre - tensión
	Amarras
	Temperatura
Cargas ambientales	
Incluye	Corrientes
	Vientos
	Oleaje
Cargas accidentales	
Incluye	Ruptura en las líneas de amarre
	Ruptura en los conectores
	Perforación o pérdida de elementos de flotación

Por otra parte, las siguientes formulas se utilizan en el análisis de cada elemento estructural del sistema de fondeo, donde se incluye el factor de seguridad respecto a las condiciones ambientales y el factor de seguridad respecto al tipo de material

Tabla 40 - Propuesta de fórmulas para aplicar en la relación de tensiones de un elemento estructural

	Chile
Relación de tensiones	$S_f \gamma_f \leq \frac{R}{\gamma_m}$
Tensión admisible	$\sigma_{max} = \frac{\sigma_{critico}}{\gamma_m \times \gamma_f}$
Factor de utilización	$K = \frac{S_f \gamma_f}{\frac{R}{\gamma_m}} < 1$

Donde:

S_f : Tensión debido a las fuerzas calculadas (Fuerzas medio ambientales, propio peso, etc.).

γ_f : Factor de seguridad respecto a las condiciones ambientales.

γ_m : Factor de material.

R: Resistencia del material o esfuerzo critico (Punto de fluencia del material).

K: Factor de utilización (Si es menor a 1 cumple el diseño el elemento estructural y si es mayor a 1 no cumple).

Para complementar la información, a continuación, se caracterizan las expresiones de los factores de carga y factores de material:

Tabla 41 - Descripción de las expresiones de los factores de carga y material

Expresión	Descripción	Valor
σ_{max}	Máximo esfuerzo	-
$\sigma_{critico}$	Límite de fluencia	25 Mpa (HDPE o plástico) 300 Mpa (Acero) 260 - 400 Mpa (Cobre)
γ_f	Factor de carga	1.3
γ_f estado límite accidental	Factor de carga	1.0
	Factor de material	Plástico 1.25 Acero 1.1

γ_m		Cobre 1.25
γ_m estado limite accidental	Factor de material	Plástico 1.0 Acero 1.0 Cobre 1.0

En el mismo contexto, se emplean factores de seguridad en la estructura respecto al tipo de carga (tabla 40), no obstante, para un análisis de capacidad de flotación todos los factores de carga son igual a 1, para el sistema de fondeo completo se utiliza un factor de carga ambiental 1.3 y para condiciones de daño los factores de carga son igual a 1, tal como se describe a continuación:

Tabla 42 - Propuesta de los factores de carga para el diseño estructural

Situación de dimensionamiento	Cargas permanentes	Cargas variables	Cargas de deformación	Cargas ambientales
Capacidad de flotación	1.0	1.0	1.0	1.0
Capacidad del sistema del cultivo	1.0	1.0	1.0	1.3
Condición de daño	1.0	1.0	1.0	1.0

Sin embargo, el correcto dimensionamiento de los sistemas de fondeo reviste una importancia trascendental si se considera que toda la producción de una empresa va a estar contenida en una estructura flotante, la que a su vez debe estar bien anclada y poseer un adecuado nivel de seguridad y mínimo riesgo ante el colapso mecánico de cualquiera de sus componentes estructurales. La selección del elemento apropiado para fijar las estructuras no es algo trivial, ya que esta debe basarse en las características geotécnicas del suelo existente en el lugar de emplazamiento de la balsa jaula. Los aspectos más importantes por considerar para lograr una correcta selección y dimensionamiento del elemento de anclaje son:

- Material constituyente del suelo marino
- Batimetría
- Dirección de carga: uni u omni-direccional
- Magnitud de las cargas verticales máximas
- Magnitud de las cargas horizontales máximas
- Posicionamiento requerido: Inexacto o Exacto

Por otra parte, la elección de uno u otro elemento de anclaje, dependerá principalmente de la relación costo-beneficio, en términos de poder de agarre y seguridad que proporcionan en relación con la carga máxima que deben resistir. Es por esto, que se consideran los siguientes factores de material para los elementos del sistema de fondeo:

Tabla 43 - Factores de material para los elementos de las líneas de amarre

Tipo de elemento	Factor de material (γ_m)
Cabo sintético	3.0
Cabo sintético con nudos	5.0
Cadenas y componentes de cadena	3.0
Cadenas usadas	5.0
Disco de acoplamiento y conectores de acero	5.0
Grilletes	4.0
Pernos de roca y sistemas de unión	3.0
Boyas	1.0
Amarres de cadenas	3.0

Posteriormente para la determinación de los coeficientes de arrastre, se propone lo siguiente:

Forzante ambiental	Cd para red pecera	Cd para red lobera
Corriente	1,4	1,4
Viento	Respecto a la forma geométrica (Anexo 7.2.2)	Respecto a la forma geométrica (Anexo 7.2.2)
Oleaje	1,8	1,8

Sin embargo, se tiene que tomar en cuenta que el coeficiente de inercia de la ecuación de arrastre o ecuación de Morrison, para el oleaje se utiliza 0,6. Posteriormente después de haber determinado todas las forzantes con sus respectivos factores de seguridad se debe emplear el factor de utilización para comprobar el dimensionamiento de los elementos estructurales.

Finalmente se debe determinar el muerto másico, con sus las respectivas tensiones máximas, calculando el peso seco tal como se demuestra en 4.4.3

5.5 Quinto paso

Este paso consiste en determinar la reserva de boyantes del módulo de cultivo, por lo que, se debe mantener un 70% de reserva de boyantes cuando recién se instala el módulo, y, luego en el tiempo tras cargas extras como fouling y operación un 30 % de reserva de boyantes.

6 REFERENCIAS

- Aarnes, J. V, Loland, G., 1990. Current forces on cage, net deflection, in: Engineering for Offshore Fish Farming. London, pp. 137–152.
- ABS Rules for building and classing mobile offshore drilling unit
- Álvarez M., Beyá J. y Gallardo A., 2016. Comparación de análisis extremos uni y bivariado para marejadas recientes en Chile. XXVII congreso latinoamericano de hidráulica Lima, Perú.
- American Petroleum Institute (API), Design and Analysis of Station Keeping System for Floating Structures
- Berau Veritas - Rules for the classification and certification of fish farm.
- Beyá J., Álvarez M., Gallardo A., Hidalgo H., Aguirre C., Valdivia J., Parra C., Méndez L., Contreras F., Winckler P., Molina M. (2016). Atlas de Oleaje de Chile. Primera edición. Valparaíso, Chile, Escuela de Ingeniería Civil Oceánica - Universidad de Valparaíso.
- DeCew, J., Tsukrov, I., Risso, a., Swift, M.R., Celikkol, B., 2010. Modeling of dynamic behavior of a single-point moored submersible fish cage under currents. Aquac. Eng. 43, 38–45. doi: 10.1016/j.aquaeng.2010.05.002
- Det Norske Veritas. 1988.
- DNVGL 2015- Offshore standard, position mooring
- DNVGL 2017. Recommended Practice DNVGL-RP-C205 Environmental Conditions and Environmental Loads
- Gansel, L.C., Plew, D.R., Endresen, P.C., Olsen, A.I., Misimi, E., Guenther, J., Jensen, Ø., 2015. Drag of Clean and Fouled Net Panels – Measurements and Parameterization of Fouling. PLoS One 10. doi: 10.1371/journal.pone.0131051
- Klebert, P., Lader, P., Gansel, L., Oppedal, F., 2013. Hydrodynamic interactions on net panel and aquaculture fish cages: A review. Ocean Eng. 58, 260–274. doi: 10.1016/j.oceaneng.2012.11.006
- Lader, P.F., Enerhaug, B., 2005. Experimental investigation of forces and geometry of a net cage in uniform flow. IEEE J. Ocean. Eng. 30, 79–84. doi:10.1109/JOE.2004.841390

- Løland, G., 1993. Current forces on, and water flow through and around, floating fish farms. *Aquac. Int.* 1, 72–89. doi:10.1007/BF00692665
- Marine Scotland, 2015. A technical standard for Scottish Finfish Aquaculture
- Martinez., Contreras., Winckler., Hidalgo, Godoy.,Agredano.,(2017). Coastal erosion in central Chile: A new hazard?
- MOP-DOP, 2013. Guía para el diseño, construcción, operación y conservación de obras marítimas y costeras. Volumen 2: Diseño, Parte II
- Morison, J.R., Johnson, J.W., Schaaf, S. a., 1950. The Force Exerted by Surface Waves on Piles. *J. Pet. Technol.* 2, 149–154. doi:10.2118/950149-G
- Munson, B., Young, D., Okiishi,T., Huebsch,W., *Fundamentals of fluid mechanics*, Sixth Edition, 2009.
- Navtec, 2011. Informe final “Diagnóstico y definición de estándares de calidad y seguridad para la certificación de estructuras de cultivo y sus fondeos.
- Norway Standard, 2009. “NS 9415:2009” Marine fish farms - Requirements for site survey, risk analyses, design, dimensioning, production, installation and operation.
- Publicación 3105 Servicio Hidrográfico y oceanográfico de la Armada de Chile “Especificaciones técnicas para la ejecución de sondaje”
- Publicación 3201 Servicio Hidrográfico y oceanográfico de la Armada de Chile “Especificaciones técnicas para mediciones y análisis oceanográficos”
- R. Vera, F. Cañas (2005). Corrosion Behaviour of Galvanized and Coated Galvanized Steel (Duplex) in Marine Environment
- R. Vera, M. Puentes, R. Araya, P. Rojas y A. Carvajal (2012). Mapa de corrosión atmosférica de Chile: Resultados después de un año de exposición
- Recommended practice DNV-RP-C205, 2007. Environmental conditions and environmental loads
- Roxana Rivera, 2012. Metodología de análisis estático y dinámico para el cálculo de sistemas de fondeo en balsas jaulas de 30 x 30 metros. Implementación en isla Tachuenahuec, región de Aysén, Chile
- Rules and Regulations for the Classification of a Floating Offshore Instalation at a Fixed Location, Lloyd’s register.

Sarpkaya, T., 1976. Vortex shedding and resistance in harmonic flow about smooth and rough circular cylinders at high Reynolds numbers. Monterey, California

Tsukrov, I., Drach, A., DeCew, J., Robinson Swift, M., Celikkol, B., 2011. Characterization of geometry and normal drag coefficients of copper nets. *Ocean Eng.* 38, 1979–1988. doi: 10.1016/j.oceaneng.2011.09.0

7 ANEXOS

7.1 Anexos Objetivo 2.2.1

Álvarez et al, 2016 analizaron 6 bases de datos, seleccionando 35 eventos extremos por cada base. Los eventos extremos destacados fueron el 3 de julio del 2013 y el 8 de agosto del 2015 (figura 5), donde se analizaron diferentes funciones de distribución, tales como Normal, Lognormal, Gamma, Weibull, Gumbel, Logistic, Loglogistic y Pareto. Como consecuencia, las funciones que tuvieron un mejor ajuste fue la función de Pareto y Gumbel tal como se describe en la siguiente tabla:

Tabla 44 - Mejor ajustes de funciones de distribución para cada base de datos

Base de datos	Función de Distribución de Mejor ajuste		
	Altura	Periodo	Cópula
AOC1	Pareto	Gumbel	Independiente
AOC2	Pareto	Gumbel	Clayton
FUGRO-OCEANOR	LogLogistic	Gumbel	Clayton
NOAA CFSR	Pareto	Normal	Clayton
NOAA WW3	GEV	Gumbel	Gumbel
DOP	Pareto	Weibull	Frank

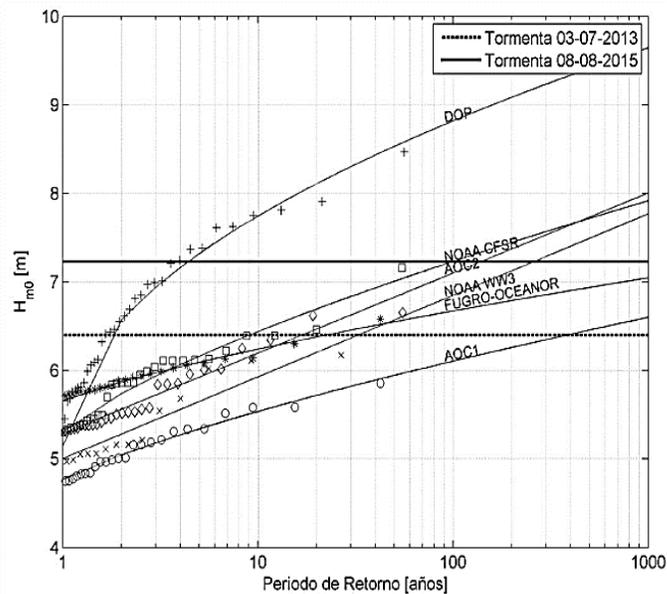


Figura 28 - Períodos de retorno para cada base de datos, Álvarez et al., 2017

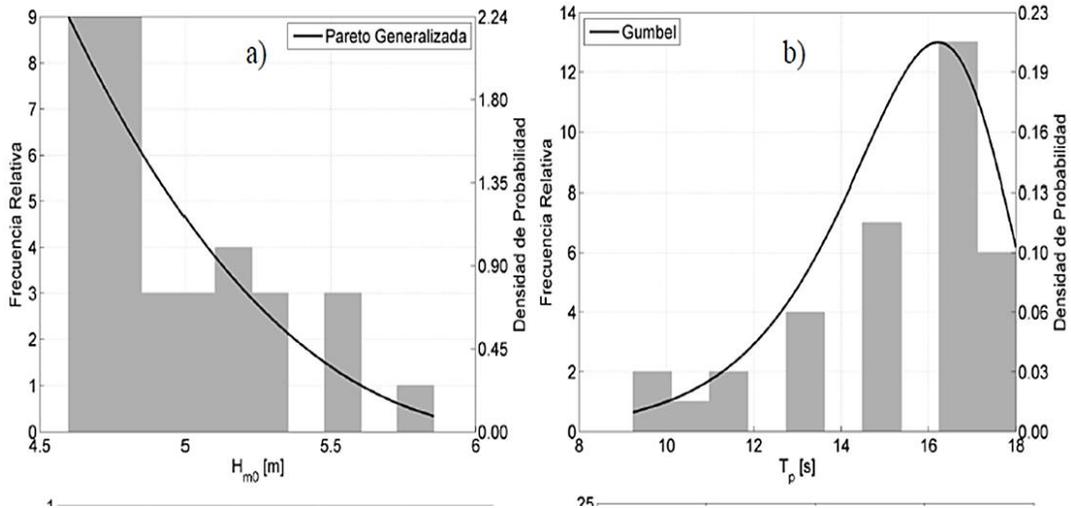


Figura 29 - Ajustes de funciones de distribución, Álvarez et al., 2017

7.1.1 Distribución de Pareto Generalizada

La distribución de Pareto generalizada tiene una gran importancia en modelos de umbrales en particular y en la teoría de valores extremos en general, ya que es la distribución límite de las excedencias de umbrales. Los parámetros de la distribución son μ (parámetro de localización), σ (parámetro de escala) y ξ (parámetro de forma) (Ibáñez, 2011).

Su función de densidad viene dada por:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma} \left(1 + \frac{\xi(x - \mu)}{\sigma} \right)^{\left(\frac{1}{\xi} - 1\right)}$$

Para $x \geq \mu$ cuando $\xi \geq 0$, y $x \leq \mu - \frac{\sigma}{\xi}$ cuando $\xi < 0$, mientras que la función de distribución es la siguiente:

$$F(x) = \begin{cases} 1 - \left(1 + \frac{\xi(x - \mu)}{\sigma} \right)^{\frac{1}{\xi}}, & \text{si } \xi \neq 0 \\ 1 - \exp\left(-\frac{x - \mu}{\sigma}\right), & \text{si } \xi = 0 \end{cases}$$

Para $x \geq \mu$, cuando $\xi \geq 0$, y $\mu \leq x \leq \mu - \frac{\sigma}{\xi}$ cuando $\xi < 0$, donde $\mu \in \mathbb{R}$

Algunas características de esta distribución son las siguientes:

Media	$\mu + \frac{\sigma}{1 - \xi}$ (siempre que $\xi < 1$)
Varianza	$\frac{\sigma^2}{(1 - \xi)^2 (1 - 2\xi)}$ (siempre que $\xi < \frac{1}{2}$)
Mediana	$\mu + \frac{\sigma(2^\xi - 1)}{\xi}$

En caso de que la distribución tenga dos parámetros (caso más común, corresponde a $\mu = 0$). Su función de densidad viene dada por:

$$f(x; \lambda, k) = \left\{ \frac{1}{\sigma} \left(1 - \frac{\xi x}{\sigma}\right)^{\frac{1}{\xi}}, \left(1 - \frac{\xi x}{\sigma}\right) \geq 0, \xi \neq 0, \sigma > 0 \right.$$

Mientras que la función de distribución es:

$$F(x; \lambda, k) = \begin{cases} 1 - \left(1 - \frac{\xi x}{\sigma}\right)^{\frac{1}{\xi}}, & \left(1 - \frac{\xi x}{\sigma}\right) \geq 0, \xi \neq 0, \sigma \geq 0 \\ 1 - e^{-\frac{x}{\sigma}}, & x \geq 0, \xi = 0, \sigma > 0 \end{cases}$$

7.1.2 Distribución Gumbel

La distribución de Gumbel es un caso particular para analizar valores extremos, también conocida como la distribución Log-weibull, o como la distribución exponencial doble.

La función de la distribución de la distribución Gumbel es:

$$F(x) = e^{-e^{-\frac{(\mu-x)}{\beta}}}$$

Mientras que la función de densidad viene dada por:

$$f(x) = \frac{e^{-\frac{(\mu-x)-e^{-\frac{(\mu-x)}{\beta}}}{\beta}}}{\beta} \quad x \in (-\infty, +\infty)$$

La distribución de Gumbel corresponde al caso en el que $\mu = 0$ y $\beta = 1$. En este caso, la función de distribución viene dada por:

$$F(X) = e^{-e^{-x}}$$

Mientras que la función de densidad de probabilidad sería $f(x) = e^{-e^{-x}}$

7.2 Anexos objetivo 2.2.3

7.2.1 Teoría Lineal de Oleaje

La teoría lineal considera que las olas son largas y bajas por lo que su pendiente las mantiene lejos de la zona de rompimiento. Su forma permanece constante en el tiempo manteniendo su período (T), altura (H) y longitud (λ).

Longitud de ola λ se define como la distancia entre dos crestas.

Altura de ola H se define como la distancia vertical entre la cresta y el seno de la ola.

Período de ola T se define como el tiempo entre crestas sucesivas.

Amplitud de ola η se define como la distancia vertical entre la línea de aguas tranquilas y el perfil de la ola.

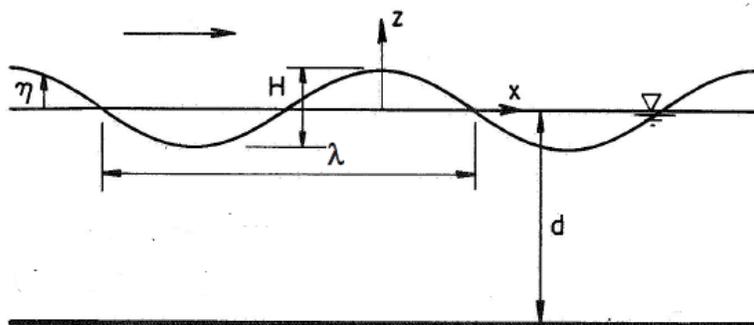


Figura 30 - Parámetros de oleaje

Para describir un tren de olas mediante la teoría lineal, se presentan a continuación las expresiones a utilizar:

Tabla 45 - Formulaciones teoría lineal de oleaje

Parámetro	Forma general
Potencial de velocidad	$\phi = \frac{\pi H}{kT} \frac{\cosh[k(z+d)]}{\sinh(kd)} \sin(kx - \omega t)$
Relación de dispersión	$\omega^2 = gk \tanh(kd)$
Velocidad de fase	$c = \sqrt{\frac{g}{k} \tanh(kd)}$

Longitud de ola	$\lambda = cT$
Elevación	$\eta = \frac{H}{2} \cos(kx - \omega t)$
Velocidad horizontal de partículas	$u = \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh[k(z+d)]}{\sinh(kd)} \cos(kx - \omega t)$
Velocidad vertical de partículas	$w = \frac{\pi H}{T} \frac{\sinh[k(z+d)]}{\sinh(kd)} \sin(kx - \omega t)$
Aceleración horizontal de partículas	$\dot{u} = \frac{2\pi^2 H}{T^2} \frac{\cosh[k(z+d)]}{\sinh(kd)} \sin(kx - \omega t)$
Aceleración vertical de partículas	$\dot{w} = -\frac{2\pi^2 H}{T^2} \frac{\sinh[k(z+d)]}{\sinh(kd)} \cos(kx - \omega t)$

En la tabla anterior se considera:

g es aceleración de gravedad y t tiempo

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \text{ Número de ola}$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \text{ Frecuencia angular}$$

Una forma simplificada de obtener la longitud de onda cuando se conoce la profundidad en la zona y el período de la ola es a través del siguiente gráfico.

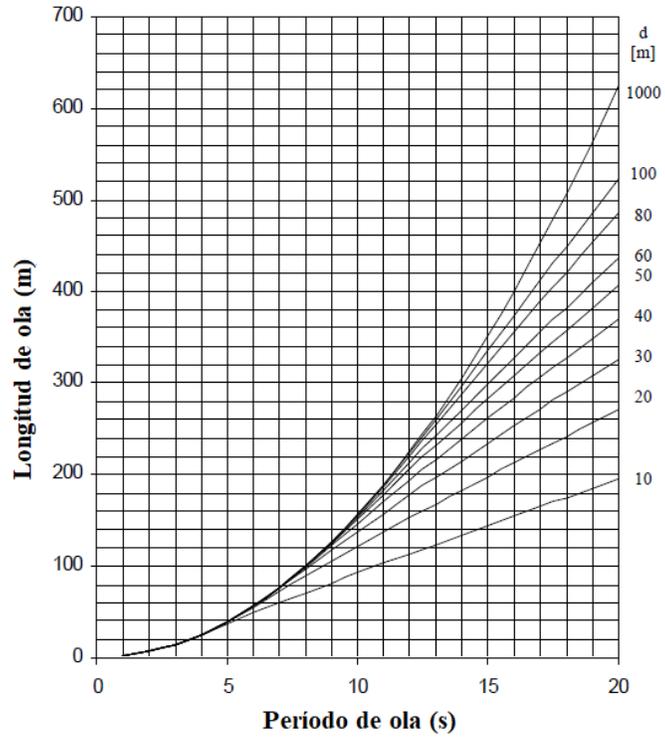


Figura 31 - Relación entre largo, período de la ola y profundidad DNV-RP-C205, 2007

7.2.2 Coeficientes de arrastre para distintas formas y números de Reynolds

La presente información ha sido extraída del texto “Fundamentals of fluid mechanics” by Munson, Young, Okiishu and Huebsh

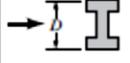
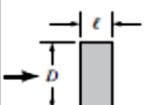
Shape	Reference area A (b = length)	Drag coefficient $C_D = \frac{Q}{\frac{1}{2} \rho U^2 A}$	Reynolds number $Re = \rho U D / \mu$																		
 Square rod with rounded corners	$A = bD$	<table border="1"> <thead> <tr> <th>R/D</th> <th>C_D</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>2.2</td> </tr> <tr> <td>0.02</td> <td>2.0</td> </tr> <tr> <td>0.17</td> <td>1.2</td> </tr> <tr> <td>0.33</td> <td>1.0</td> </tr> </tbody> </table>	R/D	C_D	0	2.2	0.02	2.0	0.17	1.2	0.33	1.0	$Re = 10^5$								
R/D	C_D																				
0	2.2																				
0.02	2.0																				
0.17	1.2																				
0.33	1.0																				
 Rounded equilateral triangle	$A = bD$	<table border="1"> <thead> <tr> <th>R/D</th> <th colspan="2">C_D</th> </tr> <tr> <td></td> <th>→</th> <th>←</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>1.4</td> <td>2.1</td> </tr> <tr> <td>0.02</td> <td>1.2</td> <td>2.0</td> </tr> <tr> <td>0.08</td> <td>1.3</td> <td>1.9</td> </tr> <tr> <td>0.25</td> <td>1.1</td> <td>1.3</td> </tr> </tbody> </table>	R/D	C_D			→	←	0	1.4	2.1	0.02	1.2	2.0	0.08	1.3	1.9	0.25	1.1	1.3	$Re = 10^5$
R/D	C_D																				
	→	←																			
0	1.4	2.1																			
0.02	1.2	2.0																			
0.08	1.3	1.9																			
0.25	1.1	1.3																			
 Semicircular shell	$A = bD$	<table border="1"> <thead> <tr> <th>→</th> <th>C_D</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>→</td> <td>2.3</td> </tr> <tr> <td>←</td> <td>1.1</td> </tr> </tbody> </table>	→	C_D	→	2.3	←	1.1	$Re = 2 \times 10^4$												
→	C_D																				
→	2.3																				
←	1.1																				
 Semicircular cylinder	$A = bD$	<table border="1"> <thead> <tr> <th>→</th> <th>C_D</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>→</td> <td>2.15</td> </tr> <tr> <td>←</td> <td>1.15</td> </tr> </tbody> </table>	→	C_D	→	2.15	←	1.15	$Re > 10^4$												
→	C_D																				
→	2.15																				
←	1.15																				
 T-beam	$A = bD$	<table border="1"> <thead> <tr> <th>→</th> <th>C_D</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>→</td> <td>1.80</td> </tr> <tr> <td>←</td> <td>1.65</td> </tr> </tbody> </table>	→	C_D	→	1.80	←	1.65	$Re > 10^4$												
→	C_D																				
→	1.80																				
←	1.65																				
 I-beam	$A = bD$	2.05	$Re > 10^4$																		
 Angle	$A = bD$	<table border="1"> <thead> <tr> <th>→</th> <th>C_D</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>→</td> <td>1.98</td> </tr> <tr> <td>←</td> <td>1.82</td> </tr> </tbody> </table>	→	C_D	→	1.98	←	1.82	$Re > 10^4$												
→	C_D																				
→	1.98																				
←	1.82																				
 Hexagon	$A = bD$	1.0	$Re > 10^4$																		
 Rectangle	$A = bD$	<table border="1"> <thead> <tr> <th>l/D</th> <th>C_D</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>≤ 0.1</td> <td>1.9</td> </tr> <tr> <td>0.5</td> <td>2.5</td> </tr> <tr> <td>0.65</td> <td>2.9</td> </tr> <tr> <td>1.0</td> <td>2.2</td> </tr> <tr> <td>2.0</td> <td>1.6</td> </tr> <tr> <td>3.0</td> <td>1.3</td> </tr> </tbody> </table>	l/D	C_D	≤ 0.1	1.9	0.5	2.5	0.65	2.9	1.0	2.2	2.0	1.6	3.0	1.3	$Re = 10^5$				
l/D	C_D																				
≤ 0.1	1.9																				
0.5	2.5																				
0.65	2.9																				
1.0	2.2																				
2.0	1.6																				
3.0	1.3																				

Figura 32 - Coeficiente de arrastre típico para cuerpos bidimensionales

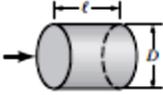
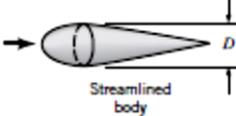
Shape	Reference area A	Drag coefficient C_D	Reynolds number $Re = \rho U D / \mu$										
 Solid hemisphere	$A = \frac{\pi}{4} D^2$	\rightarrow 1.17 \leftarrow 0.42	$Re > 10^4$										
 Hollow hemisphere	$A = \frac{\pi}{4} D^2$	\rightarrow 1.42 \leftarrow 0.38	$Re > 10^4$										
 Thin disk	$A = \frac{\pi}{4} D^2$	1.1	$Re > 10^3$										
 Circular rod parallel to flow	$A = \frac{\pi}{4} D^2$	<table border="1"> <thead> <tr> <th>l/D</th> <th>C_D</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.5</td> <td>1.1</td> </tr> <tr> <td>1.0</td> <td>0.93</td> </tr> <tr> <td>2.0</td> <td>0.83</td> </tr> <tr> <td>4.0</td> <td>0.85</td> </tr> </tbody> </table>	l/D	C_D	0.5	1.1	1.0	0.93	2.0	0.83	4.0	0.85	$Re > 10^3$
l/D	C_D												
0.5	1.1												
1.0	0.93												
2.0	0.83												
4.0	0.85												
 Cone	$A = \frac{\pi}{4} D^2$	<table border="1"> <thead> <tr> <th>θ, degrees</th> <th>C_D</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10</td> <td>0.30</td> </tr> <tr> <td>30</td> <td>0.55</td> </tr> <tr> <td>60</td> <td>0.80</td> </tr> <tr> <td>90</td> <td>1.15</td> </tr> </tbody> </table>	θ , degrees	C_D	10	0.30	30	0.55	60	0.80	90	1.15	$Re > 10^4$
θ , degrees	C_D												
10	0.30												
30	0.55												
60	0.80												
90	1.15												
 Cube	$A = D^2$	1.05	$Re > 10^4$										
 Cube	$A = D^2$	0.80	$Re > 10^4$										
 Streamlined body	$A = \frac{\pi}{4} D^2$	0.04	$Re > 10^5$										

Figura 33 - Coeficiente de arrastre típico para cuerpos tridimensionales

7.3 Anexos objetivo 2.2.4

Participantes taller propuestas de elementtos técnicos para la elaboración de una memoria de calculo de fondeo

Proyecto CUI 2017-17-DAC-5 30-05-2018

	Nombre	Institución	Cargo	Correo electrónico
1	RODOLFO MOLINA	INVERMARSA	Jefe de zona	RMOLINA@INVERMAR.CL
2	LEO STRIKA	YADRAN	Subgte con	lstrika@yadranchil.cl
3	GUINDO FUENTES	AQUACULTA	CITE OPERACIONES	GUINDO.FUENTES@AQUACULTA.CL
4	Carlos Romero C.	J. Nocturnos	Apudante	CROMERO@AQUACULTA.CL
5	Jose Luis Bizco	RAPALAB	G. Operaciones	operaciones@rapalab.cl
6	Jorge de la Fuente M.	ARMADA	Jefe CLIN	delafuente@directemar.cl
7	Aldano Pery	M. MANUA	Oficina	aldano.per@manuhm.com
8	Luis Poblete	S. Comandancia	J J OOPER	lpoblete@comandancia.cl
9	CLAUDIO PAZ	AQUACULTA	Supte Comandancia	claudio.paz@aquacult.cl
10	Carlos Gallardo	Cooper Chile	J. Operaciones	carlos.gallardo@cooperchile.com
11	Richard Vignatin	MULTIEXPORT	Sup. Log. de	rvignatin@multiexportfoods.com
12	Jonathan de la Cruz	Salmones Gleta by	Medico Amb	jdelacruz@salmones.cl
13	Juan Carlos Pizarro M.	Salmones Pisco	Log. Operaciones	juan.pizarro@salmones.com
14	David Gálvez	Salmones Gleta by	At. Operaciones	dgalvez@salmones.cl
15	SUSANA BIGLIO	SUBPESCA	Profesora	sbiglio@SUBPESCA.CL
16				
17				
18				
19				

Figura 34 - Empresas salmoneras que participaron en el taller de Puerto Montt

Participantes taller propuestas de elementtos técnicos para la elaboración de una memoria de calculo de fondeo

Proyecto CUI 2017-17-DAC-5 30-05-2018

	Nombre	Institución	Cargo	Correo electrónico
1	ROMINA RIVERA TORRES	OXXEAN	ANALISTA SIV	RRIVERA@OXXEAN.CL
2	Juan Luis J.	Oxxean	Ingeniero	lrojls@OXXEAN.CL
3	WALTER RUSCHMANN	WALBUSCH	G. GERENTE	WRUSCHMANN@WALBUSCH.CL
4	Fdo. AZULILLAR C	WALBUSCH	CITE SERVICIO	FAZULILLAR@WALBUSCH.CL
5	OSCAR GALLARDO D	WALBUSCH	ING. PROYECTO	OGALLARDO@WALBUSCH.CL
6	JUAN PABLO VERA G.	WALBUSCH	JEFE ING.	vera@walbusch.cl
7	HARTRUNDRICHTER	RETORAS	JEFE OP.	HARTRUNDRICHTER@RETORAS.ME.CL
8	CLAUDIA MARTIN	HINRICHSEN	REPR. ZONA	CMARTIN@HINRICHSEN.ME.CL
9	MAURICIO RATES	AKVA	PRODUCT MANAGER	rates@akva.com
10	CHRISTIAN STADORE	AKVA	G. COMERCIAL	STADORE@AKVAGROUP.COM
11	MANFRED OLEA	AKVA	JEFE ING.	molea@akvagroup.com
12	Andreas Dieck	AKVA	St. Dir. Prod.	andreas@akvagroup.com
13	Mauricio Vivar	Rymnet	Ingeniero	M.VIVAR@RYMNET.CL
14	PABLO VICENTE GARCIA	PÉLICANOS	Chief MARINO	PABLO@PELICANOS.CL
15	SUSANA BIGLIO	SUBPESCA	Profesora	sbiglio@SUBPESCA.CL
16	DAVIDE CAPRILE	BADINOTTI	ING. NAVAL	daVIDE.cAprile@badinotti.com
17	Javier Casar	Badinotti	Dir. Estructural	casar@badinotti.com
18	Esteban Patróni	Salmoboats	G. Ingeniería	generencia@salmoboats.cl
19	Nora Barrera Carr	Salmoboats	Log. Operaciones	operaciones@salmoboats.cl
20	NICOLA ESCOBAR D.	BADINOTTI	INGENIERO	HESCOBAR@BADINOTTI.COM
21	NICTOR PEREZ U	OXXEAN	Sub. Ger. Ing.	uperez@OXXEAN.CL
22				
23				

Figura 35 - Empresas de ingeniería que participaron en el taller de Puerto Montt

