

## CÁLCULO Y DISEÑO BALSAS DE CULTIVO

### 1. Introducción

La presente memoria trata sobre el diseño estructural de una balsa de cultivo acuícola de pequeña escala para el proyecto de investigación FONDEF HUAM AQ12I0010 conducido por la universidad Austral.

Se construirán dos balsas iguales que serán fondeadas en dos localidades diferentes. Una en bahía Ilque, localizada a 26,8 [km] por carretera de la ciudad de Calbuco, Comuna de Calbuco y otra en punta Metri, localizada a 28,5 [km] por carretera de la ciudad de Puerto Montt, Comuna de Puerto Montt, ambas localizadas en la región de Los Lagos.

Las estructuras de las balsas son de acero galvanizado. Los dispositivos de flotación son flotadores de poliestireno expandido recubiertos con polietileno y adosados a la balsa mediante zunchos de acero galvanizado. Además las balsas cuentan con un entablado de madera de Tineo que permite que los operadores se suban a las balsas y una estructura de izaje de cargas sobre la estructura.

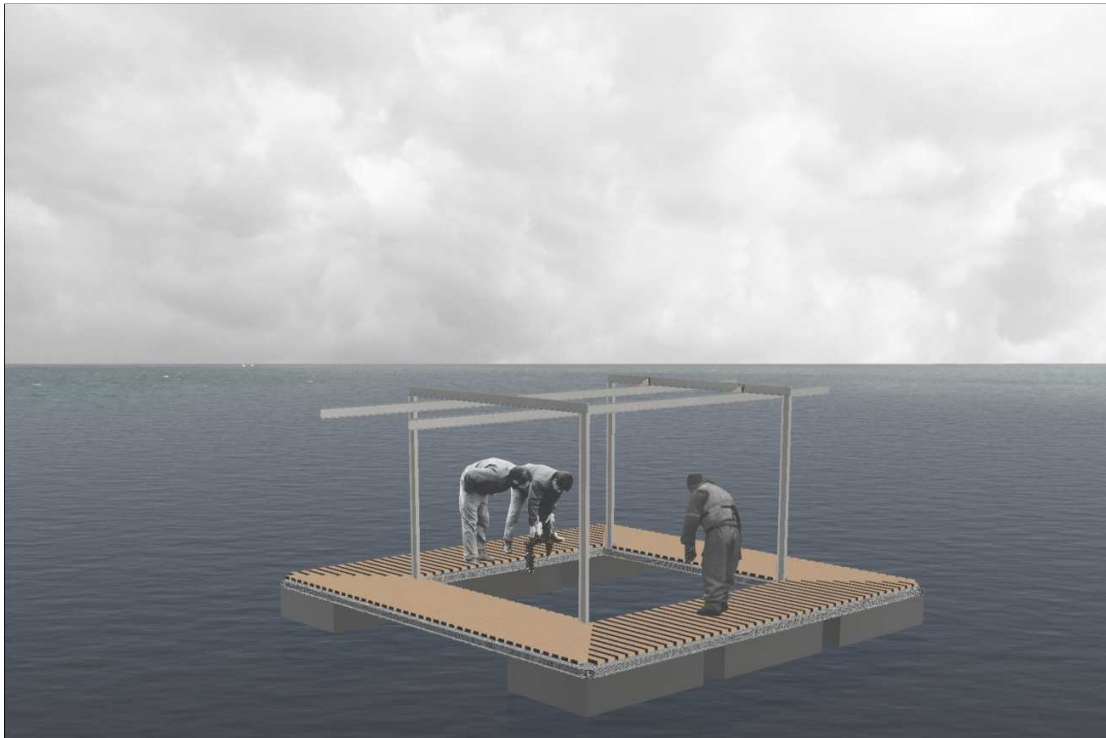


FIGURA 1: Render de la balsa. FUENTE: elaboración propia.

## **2.- Diseño.**

### **2.1. Requerimientos de los usuarios:**

Los requerimientos de los usuarios fueron recogidos a partir de una reunión realizada con los pescadores artesanales en su sede social.

1. La balsa deberá tener un área de 38m<sup>2</sup> aproximadamente.
2. Debe fondearse con muerto y cabo de fondeo, que es el método utilizado por acuicultura de pequeña escala.
3. El diseño debe incluir la menor cantidad de partes hechas a medida, de modo que la estructura pueda ser ensamblada por los productores, con un mínimo de herramientas en el sitio.
4. La estructura en su conjunto, como el dimensionamiento de los elementos estructurales, debe ser capaz de soportar la solicitación calculada.
5. Los elementos de suspensión de los cultivos, debe ser independiente de los elementos estructurales, para que un eventual fallo en los cultivos, no comprometa la integridad estructural de la balsa.
6. Asegurar una vida útil de a lo menos 20 años.
7. Separar la estructura de la balsa de los equipamientos de faena, de modo de que éstos puedan ser movidos de balsa en balsa.
8. Poseer flotadores plásticos rellenos que no supongan una pérdida de flotación si se dañan y que sean capaces de soportar distintas condiciones de clima.

### **2.2. Consideraciones de diseño**

1. La balsa tendrá una longitud máxima de 6m, por ser éste el largo normal de los perfiles estructurales de acero.
2. La balsa se diseñará a partir de cuatro cerchas de acero que se ensamblarán en el lugar de la botadura. Esto con el fin de facilitar el transporte.

## 2.3 Planos

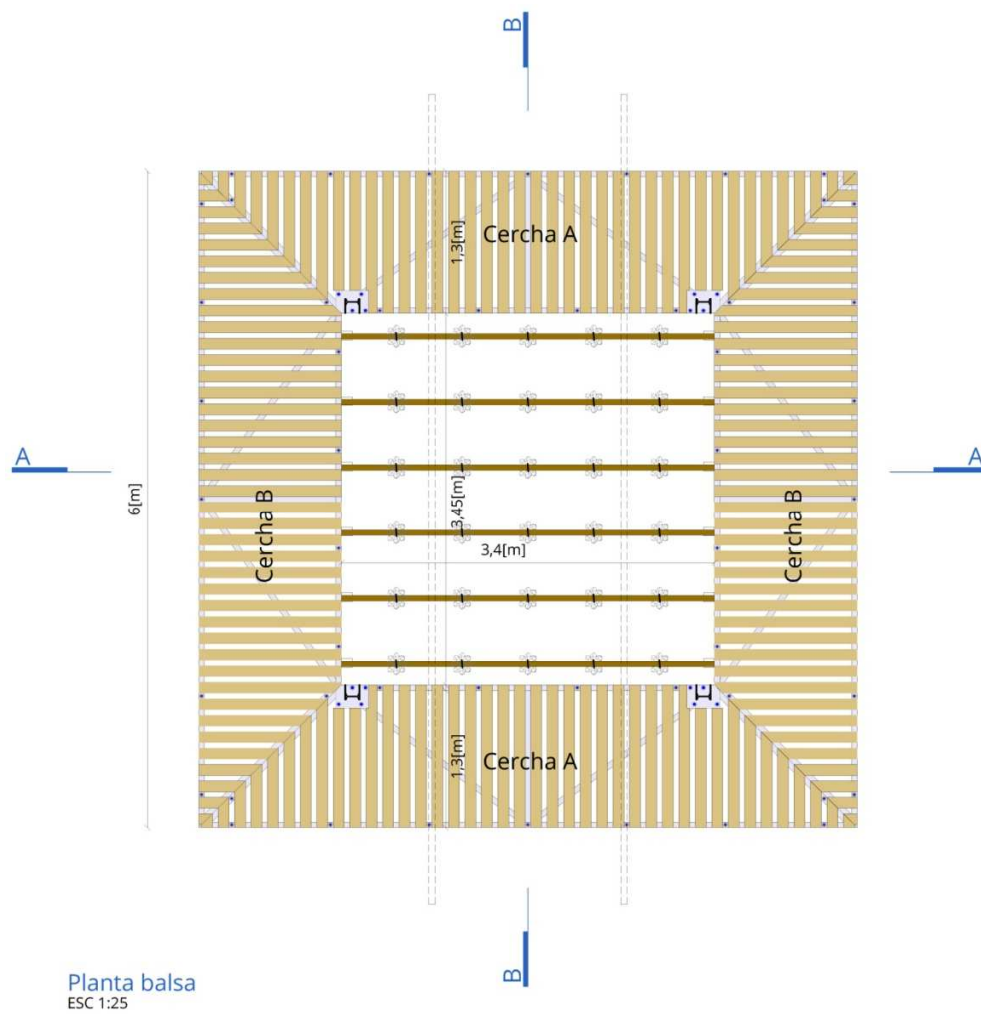


FIGURA 2: Planta de la balsa. FUENTE: Elaboración propia.

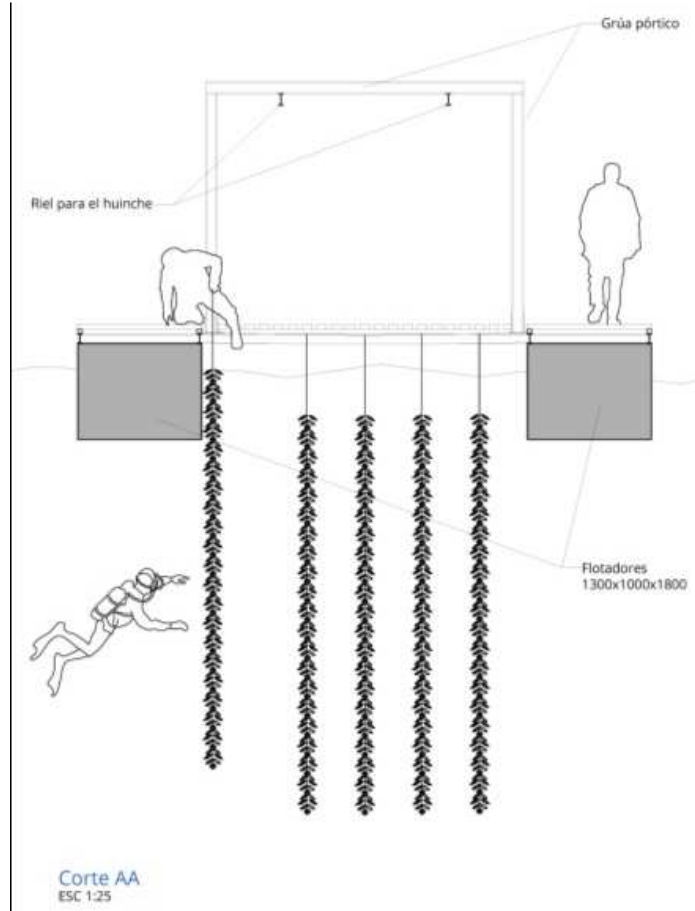


FIGURA 3: Corte balsa. FUENTE: Elaboración propia.

## 2.4 Sistema estructural

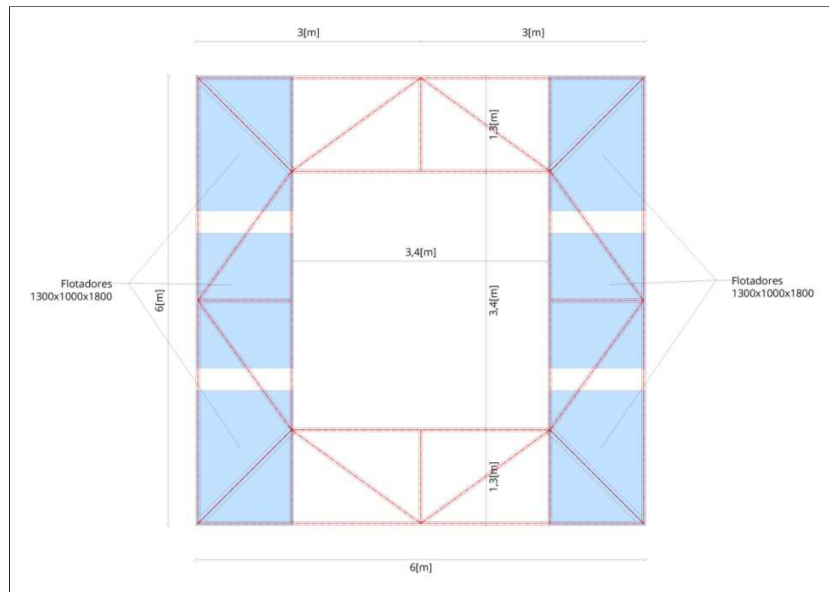


FIGURA 4: Estructura de acero. FUENTE: Elaboración propia.

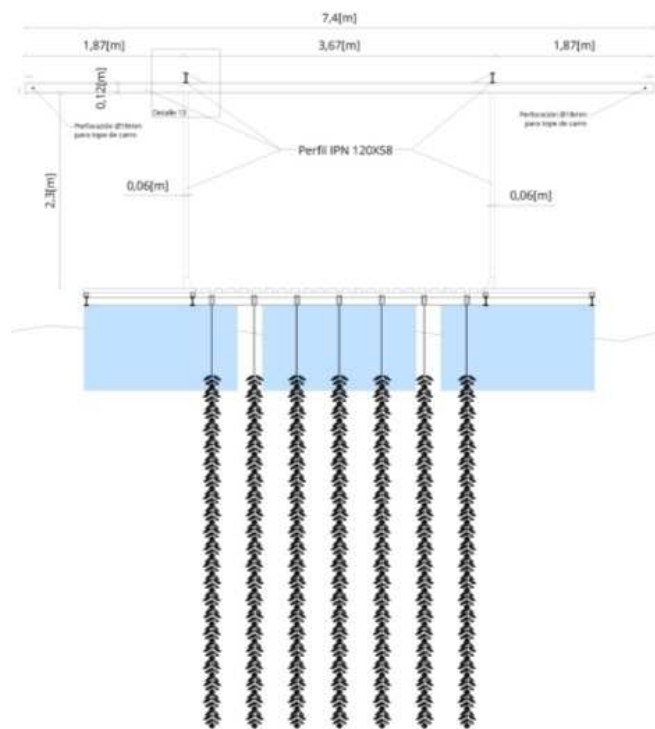


FIGURA 5: Estructura de acero. FUENTE: Elaboración propia.



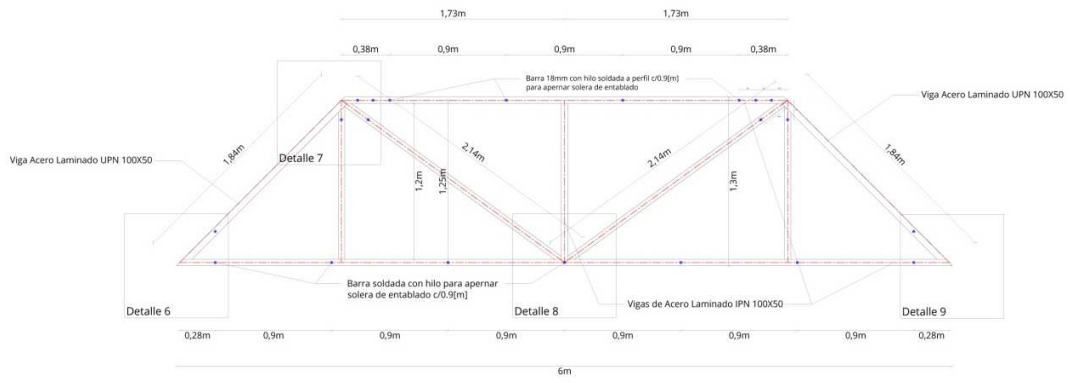


FIGURA 7: Detalle de cercha de acero 2. FUENTE: Elaboración propia.

### **3.- Objetivos**

El objetivo general de esta memoria de cálculo es proponer un diseño para la estructura de de acero de la balsa de cultivo acuícola de pequeña escala y dimensionar los elementos que componen la estructura.

Los objetivos específicos de esta memoria de cálculo son:

Determinar las solicitaciones a las que se verá sometida la estructura durante su vida útil, según las disposiciones legales vigentes en el país.

Dimensionar los elementos estructurales de acero para soportar las solicitaciones descritas en el punto anterior.

### **4.- Alcance**

Esta memoria no contempla el diseño de los componentes prefabricados de la balsa, como flotadores, zunchos y maquinarias o herramientas que puedan ser adosadas a la balsa. Tampoco contempla el diseño de los elementos de fondeo como los muertos, los cabos de fondeo, la grilletería, debido a que se desconocen las condiciones climatológicas y de servicio a las que estará sometida la balsa en sus lugares de fondeo finales. No obstante, se presentan recomendaciones en este aspecto. Tampoco es materia de esta memoria las uniones de los elementos estructurales, ya que estos serán propuestos por el fabricante.

### **5.- Normativa**

En esta memoria de cálculo se aplicó el marco normativo que se detalla a continuación:

REF 1: ANSI/AISC 360-10 para construcciones de acero

REF 2: DS61 of.2011 "Reglamento que fija el diseño sísmico de edificios"

REF 3: NCh 432 of.1971, "Cálculo de la Acción del Viento sobre las construcciones"

REF 4: NCh433 of1976 mod.2000

REF 5: NCh1537 of.2009. "Diseño Estructural de Edificios: Cargas permanentes y Sobrecargas de Uso

REF 6: NCh3171 of.2010. "Diseño Estructural de Edificios: Disposiciones generales y combinaciones de cargas"

REF 7: "ABS Rules for Building and Classing Mobile Offshore Drilling Units", año 2012, parte 3: "Hull construction and equipment"



## 6.- Bibliografía

**Cómo criar mejores peces** [Publicación periódica] / aut. Bourne Joel // National Geographic en español / ed. Johns Chris. - Junio de 2014. - Vol. 34. - págs. 26-47.

**Design of Ocean Systems, Spring 2011.** / aut. Chryssostomidis Chryssostomos y Yuming Liu. - Boston : MIT OpenCourseWare: Massachusetts Institute of Technology, 2011.

**Development of new raft technologies for the bc shellfish aquaculture industry** [Informe] : Project / aut. Centre for Shellfish Research / Centre for Shellfish Research ; Vancouver Island University. - Vancouver : Centre for Shellfish Research, 2010.

**Manual de Diseño de Estructuras de Acero** [Libro] / aut. Instituto Chileno del Acero. - Santiago : Instituto Chileno del Acero, 2001. - Segunda.

**Norma Chilena Oficial NCh 03171 of. 2010: Diseño Estructural - Disposiciones Generales y Combinaciones de Carga** [Libro] = NCh 03171 of. 2010 / aut. Instituto Nacional de Normalización. - Santiago : [s.n.], 2010.

**Norma Chilena Oficial NCh1537 of2009 Diseño Estructural - Cargas Permanentes y Cargas de Uso** [Libro] / aut. Instituto Nacional de Normalización. - Santiago : INN Chile, 2009.

**Norma Chilena Oficial NCh432 of2010 Diseño Estructural - Cargas de viento** [Libro] / aut. Instituto Nacional de Normalización. - Santiago : INN Chile, 2010.

**Norma Chilena Oficial NCh433 of1996 modificada en 2009** [Libro] / aut. Instituto Nacional de Normalización. - Santiago : INN Chile, 2009. - Segunda.

**Offshore mariculture: Mooring system design** [Sección del libro] / aut. Turner Robin // Mediterranean offshore mariculture / ed. Muir J y Basurco M. - Zaragoza : CIHEAM, 2000.

**Part 3: Hull Construction and Equipment** [Sección del libro] / aut. American Bureau of Shipping // Rules for Building and Classing Mobile Offshore Drilling Units. - Huston : American Bureau of Shipping, 2012.

Instituto Chileno del Acero. (2001). *Manual de Diseño de Estructuras de Acero* (Segunda ed.). Santiago, Chile: Instituto Chileno del Acero.

## 7. Estados de carga

Para el diseño de la balsa se considerarán 3 tipos de cargas clasificadas según su ocurrencia durante la vida útil de la balsa. Estas son:

1. **Cargas permanentes:** Corresponden al peso propio de la estructura, el peso elementos fijos (revestimientos, cubiertas, barandas, habitáculos etc) el peso de los cultivos en suspensión de la balsa en el agua y el peso de los fondeos.
2. **Cargas de servicio o sobrecargas de uso:** Corresponden al peso de las personas que operarán en la balsa y a cualquier instalación temporal de maquinaria de faena.
3. **Cargas eventuales o sobrecargas eventuales:** Corresponde a las solicitaciones que pudiera ejercer el viento y las olas sobre la estructura.

Se considerará las cargas extremas, es decir, la carga máxima a la que estará sometida la estructura, por cada tipo de carga antes especificada, pero **se diseñará para el estado de combinaciones de carga más desfavorable**. Este no es el escenario más desfavorable posible que resulta la sumatoria algebraica de todas las cargas extremas, sino que es la sumatoria de todas las cargas extremas multiplicados por un factor de acuerdo a la probabilidad estadística de que una o más cargas extremas tengan lugar en un mismo instante, como está establecido en la normativa vigente REF 6: NCh3171 of.2010. "Diseño Estructural de Edificios: Disposiciones generales y combinaciones de cargas"

### 7.1 Cargas permanentes

A continuación se presente el listado de cargas permanentes.

Cargas Permanentes			TOTAL	5.760[kg]
Nº	Elemento	Carga unitaria	Dimensiones	Sub Total
1	Estructura	7.850[kg/m <sup>3</sup> ]	0,09 [m <sup>3</sup> ]	700[kg]
2	Cubierta	24 [kg/m <sup>2</sup> ]	16,67[m <sup>2</sup> ]	400[kg]
3	Flotadores	15 [kg/m <sup>3</sup> ]	14[m <sup>3</sup> ]	210[kg]
4	Cultivo	200 [kg/m <sup>2</sup> ]	12,25[m <sup>2</sup> ]	2.450[kg]
5	Fondeo	500[kg]	4	2000[kg]

TABLA 1: Listado de cargas permanentes. FUENTE: Elaboración propia.

La determinación de las cargas permanentes se detalla a continuación:

1. Se consultó el peso de una viga IPN de 100x50.

Para la determinación del peso de la cubierta de madera de tino de 1" con una densidad anhidra de 583[kg/m<sup>3</sup>] y 60% de humedad, con lo cual el peso de la cubierta por metro cuadrado está determinado por:

Peso= [(Porcentaje de humedad x peso seco) /100] – Peso seco.

Se consultó 6 flotadores de polietileno de alta densidad relleno con poliestireno expandido de 15[kg/m<sup>3</sup>].

Para la determinación del peso de los cultivos suspendidos, se calculó a partir de una densidad de cultivo de 4 cuelgas choritos por metro cuadrado. Se consideró que cada cuelga suspendida tenía un peso dentro del agua de 50[kg].

Se determinó la componente vertical de la tensión normal media en los cables de fondeo.

## 7.2 Cargas de servicio

A continuación se presente el listado de cargas de servicio.

Cargas de Uso			TOTAL	2.200 [kg]
6	Personas	100 [kg/m <sup>2</sup> ]	16[m <sup>2</sup> ]	1.600[kg]
7	Maquinaria	40 [kg/m <sup>2</sup> ]	16[m <sup>2</sup> ]	600[kg]

TABLA 2: Listado de cargas de servicio. FUENTE: Elaboración propia.

La determinación de las cargas de servicio se detalla a continuación:

Se consideró una densidad máxima de 0.5 personas por metro cuadrado.

Se consideró un peso de 20[kg/m<sup>2</sup>] de maquinaria.

### 7.3 Cargas eventuales

A continuación se presenta el listado de cargas eventuales.

Sobrecargas eventuales			TOTAL	5.700[kg]
8	Olas	250 [kg/m]	6[m]	3.075[kg]
9	Corriente	906 [kg/m <sup>2</sup> ]	27[m <sup>2</sup> ]	2.625[kg]

TABLA 3: Listado de cargas de eventuales. FUENTE: Elaboración propia.

Para el diseño, se considerará como sobrecargas eventuales a las fuerzas o cargas ambientales, que corresponde, en este caso, a la sumatoria de la fuerza de las olas y la corriente. Estas fuerzas se determinarán con las fórmulas recomendadas por la “*American Bureau of Shipping*” en su norma REF 7: “ABS Rules for Building and Classing Mobile Offshore Drilling Units”, año 2012, parte 3: “Hull construction and equipment”

Las sobrecargas eventuales quedan determinadas por la sumatoria:

$$F_E = F_w + F_d$$

Donde:

F<sub>E</sub>: Fuerzas ambientales.

F<sub>w</sub>: Fuerza de las olas.

F<sub>d</sub>: Fuerza de la corriente.

Respecto de estas sobrecargas eventuales, téngase presente las siguientes consideraciones:

1. Las sobrecargas eventuales consideradas para el diseño estructural de la balsa actúan en el plano horizontal y no vertical, por lo que no pueden ser consideradas en el mismo estado de combinaciones de carga.
2. No se cuenta con datos in situ de las condiciones climáticas extremas a las que podría estar sometida la estructura y, por lo tanto, no se diseñará para los requerimientos reales de la balsa en su lugar de operación, sino para un escenario ficticio. En otras palabras, la estructura de la balsa será diseñada para resistir sobrecargas eventuales de una determinada magnitud, sin que esto de cuenta de las verdaderas condiciones ambientales en las que trabajará la estructura.
3. El oleaje real del mar es una superposición compleja de numerosos trenes de olas no regulares con distintos valores de su período, altura, dirección etc y cuyo comportamiento depende de muchas variables, como el tipo de fondo marino, la pendiente, la densidad relativa etc, lo que hace su modelación extremadamente compleja.

4. El oleaje es consecuencia del roce del viento sobre la superficie del agua y, por lo tanto, ambas fuerzas actúan siempre de manera conjunta, aún cuando la ciencia no ha esclarecido del todo el mecanismo en que el viento en que estos dos fenómenos se relacionan.
5. Se despreciará la acción del viento sobre la estructura, debido a que la balsa no cuenta con paramentos verticales que opongan resistencia significativa al viento. La construcción de cualquier tipo de arquitectura sobre la balsa, no está considerada en su diseño estructural ni en el empuje hidrostático necesario para mantener la balsa a flote y podría comprometer su integridad.

### 7.3.1 Cargas por efecto de las olas

Para poder determinar la fuerza de las olas, se necesita conocer las características del oleaje en el sitio. Como estos datos son desconocidos, se diseñara en base a desarrollos similares en Canadá (Centre for Shellfish Research, 2010), con el siguiente oleaje máximo:

Altura	:	1,0	m
Velocidad de propagación	:	7,8	m/seg
Período	:	5,0	seg
Longitud de onda	:	39,0	m
Aceleración	:	1,56	m/seg <sup>2</sup>

TABLA 4: Información de la ola de diseño. FUENTE: Elaboración propia.

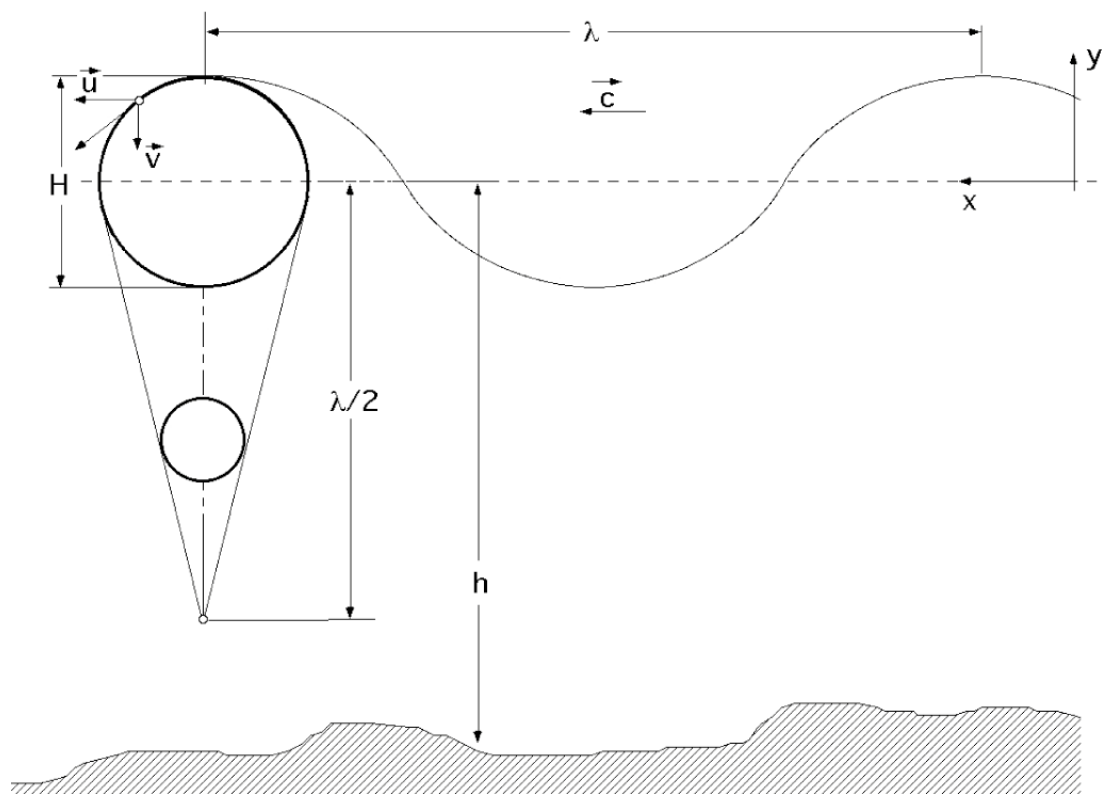


FIGURA 8: Ola de diseño. FUENTE: Google Images.

Donde:

C: Velocidad de propagación

V: Velocidad angular

h: Altura de la ola

$\lambda$ : Longitud de onda

Según la American Bureau of Shipping, las cargas por efecto de las olas deben ser determinadas a través las ecuaciones de Morison. Mediante este modelo matemático, las se obtiene la fuerza de inercia y la fuerza de arrastre por efecto de las olas, lo que resulta en valores muy elevados, puesto que están concebidas para mar adentro y no en zonas mediterráneas o ensenadas protegidas.

Para fondeos en lugares protegidos, la fuerza predominante por acción de las olas corresponde a la fuerza de deriva o "wave drift force", que es la fuerza promedio que ejercen las olas de pequeño tamaño en estructuras flotante o semisumergidas.

La fuerza de deriva puede determinarse empleando la ecuación propuesta por (Turner, 2000), que para mares regulares es:

$$F_{wd} = \frac{\rho \cdot L \cdot h^2}{8}$$

Donde:

$F_{wd}$ : Fuerza de deriva medida en kilogramos-fuerza.

$\rho$ : densidad del agua salada (1.025 [kg/m<sup>3</sup>]).

L: Largo de la estructura que enfrenta las olas.

h: La altura de una ola significativa.

### **7.3.2 Cargas por efecto de la corriente**

Las cargas por efecto de la corriente o fuerza de arrastre, se determinará mediante las ecuaciones de Morison, de acuerdo a lo establecido por la American Bureau of Shipping:

$$F_d = 0,5 \cdot \rho \cdot C_d \cdot A \cdot v^2$$

Donde:

$F_d$ : Fuerza de arrastre.

$\rho$ : densidad del agua salada (1.025 [kg/m<sup>3</sup>])

$C_d$ : Coeficiente de arrastre

A: Área que opone resistencia a la corriente.

v: velocidad de la corriente [m/seg].

## 7.4 Listado de cargas extremas

Con todo, el listado de cargas extremas es el siguiente:

Cargas Permanentes			TOTAL	6.500[kg]
Nº	Elemento	Carga unitaria	Dimensiones	Sub Total
1	Estructura	7.895[kg/m <sup>3</sup> ]	0,19[m <sup>3</sup> ]	1.390[kg]
2	Cubierta	24 [kg/m <sup>2</sup> ]	16,67[m <sup>2</sup> ]	400[kg]
3	Flotadores	15 [kg/m <sup>3</sup> ]	14[m <sup>3</sup> ]	210[kg]
4	Cultivo	200 [kg/m <sup>2</sup> ]	12,5[m <sup>2</sup> ]	2.500[kg]
5	Fondeo	500[kg]	4	2000[kg]
Cargas de Uso			TOTAL	1.800[kg]
6	Personas	80 [kg/m <sup>2</sup> ]	16,67[m <sup>2</sup> ]	1.300[kg]
7	Maquinaria	30 [kg/m <sup>2</sup> ]	16,67[m <sup>2</sup> ]	500[kg]
Sobrecargas eventuales			TOTAL	5.700[kg]
8	Olas	250 [kg/m]	6[m]	3.075[kg]
9	Corriente	906 [kg/m <sup>2</sup> ]	27[m <sup>2</sup> ]	2.625[kg]

TABLA 5: Resumen de estado de cargas. FUENTE: Elaboración propia.

## 8.- Combinaciones de carga

La estructura será diseñada para el estado de combinaciones de carga que establece la REF 6: NCh3171 of.2010. "Diseño Estructural de Edificios: Disposiciones generales y combinaciones de cargas" para el diseño por resistencia LRFD. En el diseño de la balsa, no se aplicaran criterios de serviciabilidad, debido a que el desplazamiento o deformación de la balsa durante su operación es irrelevante.

La estructura de la balsa debe ser diseñada de manera que su resistencia nominal sea mayor o igual que el efecto de las cargas extremas en la combinación siguiente:

$$1,2D + 1,6L + 1,2F$$

Donde: D: Carga permanente, L: Sobrecarga de uso, F: Cargas debido a líquidos con presiones y alturas máximas bien definidas.



## 9.- Memoria de cálculo

### 9.1 Identificación de los elementos estructurales

Los elementos estructurales consideración en el diseño están identificados a continuación:

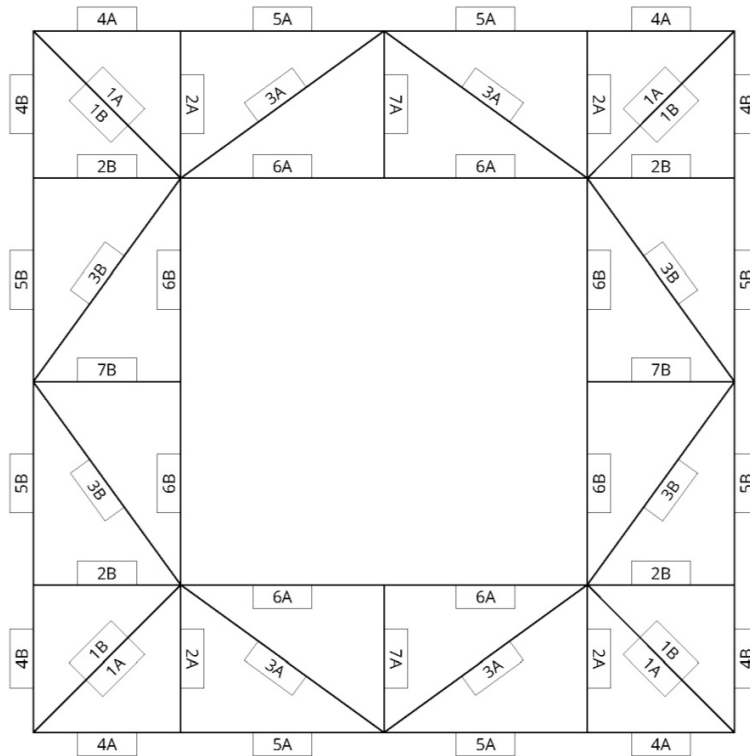


FIGURA 9: Identificación de los elementos estructurales. FUENTE: Elaboración propia.

## 9.2 Esfuerzos internos

<b>Código del elemento</b>	<b>Perfil</b>	<b>Área</b>	<b>Ix</b>	<b>Sx</b>
Nº	[Texto]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>4</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]
1A	UPN 100X50	0,0013	0,00000191	0,0000399
2A	IPN 100X50	0,0011	0,00000169	0,00003453
3A	IPN 100X50	0,0011	0,00000169	0,00003453
4A	IPN 100X50	0,0011	0,00000169	0,00003453
5A	IPN 100X50	0,0011	0,00000169	0,00003453
6A	IPN 100X50	0,0011	0,00000169	0,00003453
7A	IPN 100X50	0,0011	0,00000169	0,00003453
1B	UPN 100X50	0,0013	0,00000191	0,0000399
2B	IPN 100X50	0,0011	0,00000169	0,00003453
3B	IPN 100X50	0,0011	0,00000169	0,00003453
4B	IPN 100X50	0,0011	0,00000169	0,00003453
5B	IPN 100X50	0,0011	0,00000169	0,00003453
6B	IPN 100X50	0,0011	0,00000169	0,00003453
7B	IPN 100X50	0,0011	0,00000169	0,00003453

TABLA 6: Propiedades mecánicas de los elementos estructurales. FUENTE: Elaboración propia.

<b>Código del elemento</b>	<b>Perfil</b>	<b>Momento</b>	<b>Corte</b>	<b>Esfuerzo Normal</b>	<b>Resistencia</b>
Nº	[Texto]	[kgm]	[kg]	[kg]	
1A	UPN 100X50	0	-	4.047	Cumple
2A	IPN 100X50	0	0		-
3A	IPN 100X50	0	0	-5.250	Cumple
4A	IPN 100X50	0	1.175,5	1.140	Cumple
5A	IPN 100X50	3.232,5	1.175,5	1.140	Cumple
6A	IPN 100X50	3.232,5	1.175,5	-1.539	Cumple
7A	IPN 100X50	-	0	5.700	Cumple
1B	UPN 100X50	0	-	4.047	Cumple
2B	IPN 100X50	0	0		-
3B	IPN 100X50	0	0	-5.250	Cumple
4B	IPN 100X50	0	1.175,5	1.140	Cumple
5B	IPN 100X50	3.232,5	1.175,5	1.140	Cumple
6B	IPN 100X50	3.232,5	1.175,5	-1.539	Cumple
7B	IPN 100X50	-	0	5.700	-

TABLA 7: Lista de los elementos estructurales y sus esfuerzos internos. FUENTE: Elaboración propia.

## 10.- Recomendaciones de flotabilidad

### 10.1 Determinación del empuje hidrostático

El empuje hidrostático (E) es la fuerza que ejerce el agua sobre la balsa en sentido opuesto al peso y que la mantiene a flote. Según el principio de Arquímedes, el empuje hidrostático es equivalente al peso del volumen del líquido que desaloja el cuerpo sumergido y está definido por la ecuación:

$$E = \rho \cdot V$$

Donde:

V= volumen sumergido [m<sup>3</sup>], E= empuje hidrostático [kp],  $\rho$ = densidad del fluido [kg/m<sup>3</sup>]

Cargas Permanentes			TOTAL	6.500[kg]
Nº	Elemento	Carga unitaria	Dimensiones	Sub Total
1	Estructura	7.895[kg/m <sup>3</sup> ]	0,19[m <sup>3</sup> ]	1.390[kg]
2	Cubierta	24 [kg/m <sup>2</sup> ]	16,67[m <sup>2</sup> ]	400[kg]
3	Flotadores	15 [kg/m <sup>3</sup> ]	14[m <sup>3</sup> ]	210[kg]
4	Cultivo	200 [kg/m <sup>2</sup> ]	12,5[m <sup>2</sup> ]	2.500[kg]
5	Fondeo	500[kg]	4	2000[kg]
Cargas de Uso			TOTAL	1.800[kg]
6	Personas	80 [kg/m <sup>2</sup> ]	16,67[m <sup>2</sup> ]	1.300[kg]
7	Maquinaria	30 [kg/m <sup>2</sup> ]	16,67[m <sup>2</sup> ]	500[kg]
Sobrecargas eventuales			TOTAL	1.160[kg]
Componente vertical de las líneas de fondeo				1.160 [kg]
TOTAL				9.460[kg]

TABLA 8: Resumen de estado de cargas. FUENTE: Elaboración propia

El Principio de Arquímedes nos permite determinar el volumen de flotador necesario:

$$V = 9,23[m^3]$$

## 10.2 Dispositivos de flotación

Se consultan flotadores de polietileno de alta densidad rellenos con poliestireno expandido de densidad media  $15\text{kg/m}^3$  disponibles comercialmente.

Alto (h)	Largo (l)	Ancho (w)	Volumen (m3)	Peso $\text{kg/m}^3$	Empuje (kg)
0,69	0,915	0,69	0,44	6,6	450
0,7	1	0,85	0,6	9	615
0,7	1	1	0,7	10,5	717
0,6	1,2	1,025	0,74	11,1	758
0,6	2	1	1,2	18	1.230
0,7	2	1	1,4	21	1.435
<b>1</b>	<b>1,8</b>	<b>1,3</b>	<b>2,34</b>	<b>35,1</b>	<b>2.400</b>

TABLA 9: Flotadores disponibles comercialmente. FUENTE: Elaboración propia

**Se recomiendan seis (6) flotadores de  $2,34[\text{m}^3]$  cada uno, los cuales proveerán  $14.400[\text{kg}]$  de empuje suficientes para mantener la balsa a flote. Esto supone un 34% de margen de seguridad respecto del empuje necesario para mantener la balsa a flote calculado en  $9.460[\text{kg}]$ .**

## 10.3 Determinación de la carena

La carena o volumen sumergido determina el empuje hidrostático necesario para mantener la balsa a flote, calculado en  $10[\text{t}]$ . En consecuencia, la línea de flotación queda determinada por el volumen no sumergido del flotador. Utilizando la ecuación de empuje hidrostático, nos queda que:

$$V = \frac{E}{\rho} \Rightarrow l \cdot w \cdot h = \frac{E}{\rho}$$

Donde:

l=largo

w=ancho

h=alto

Por lo tanto, para la carga extrema de la balsa calculada en 8[t], la línea de flotación no debería superar los 0,66[m] de la altura del flotador sumergido. Esto implica que la balsa siempre se encontrará sobre los 0,34[m] del nivel del agua.

## 11.- Recomendaciones de fondeo.

### 11.1 Dimensionamiento de las líneas de fondeo

El esfuerzo normal de un cabo de fondeo no catenaria está determinada por la ecuación:

$$T_N = T_H \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{h}{x}\right)^2}$$

Donde:

$T_N$ : Esfuerzo normal o axial del cable.

$T_H$ : Componente del Esfuerzo horizontal del cable.

$x$ : Distancia del punto de fondeo al punto de amarre a la balsa.

$h$ : Profundidad del fondeo.

La componente horizontal de la tensión del fondeo depende de la magnitud de las cargas ambientales y de la disposición geométrica que se haya proyectado para los fondeos.

Dada la disposición de fondeo proyectada, con líneas de fondeo en cada esquina de la balsa dispuestas y con un ángulo de trabajo máximo de  $35^\circ$  respecto de la dirección en actúa las cargas ambientales, como se muestra en el diagrama a continuación:

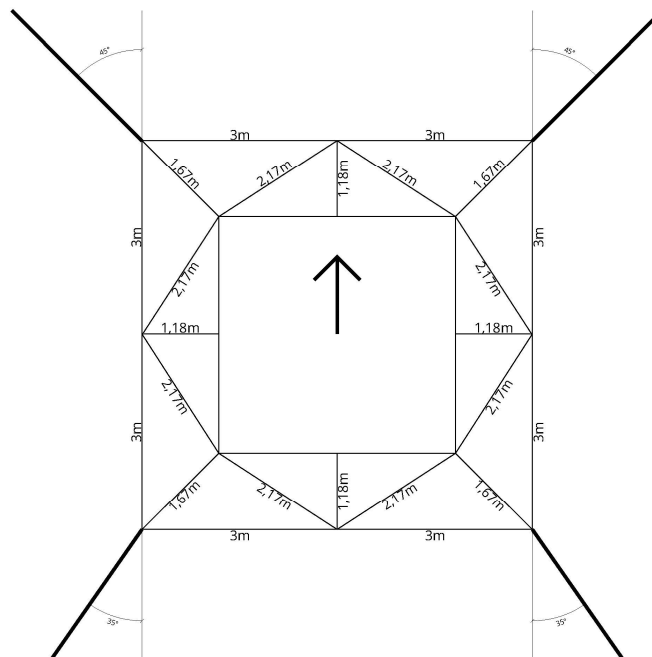


FIGURA 10: Disposición de los fondeos. FUENTE: Elaboración propia.

Si consideramos la distancia recomendada de fondeo de 3 veces la profundidad (regla práctica de fondeo) y una profundidad estimada de fondeo de 25 [m] el esfuerzo normal máximo por fondeo nos queda:

$$T_N = 3.670[\text{kg}]$$

**Se recomienda cabos de fondeo de polipropileno de 28mm de diámetro con una carga de ruptura de 12.200[kg].**

Compruébese que la contribución de la componente vertical de los fondeos a las cargas verticales no supere el 75% del empuje hidrostático. Se debe cumplir que:

$$2T_V + \text{cargas permanentes} \leq 0,75 \cdot E$$

$$T_V \leq 3.455[\text{kg}]$$

La componente vertical de los fondeos está determinada por la ecuación:

$$T_V = T_H \cdot \frac{h}{x}$$

$$T_V = 3.480[\text{kg}] \cdot \frac{25[\text{m}]}{75[\text{m}]}$$

$$T_V \approx 1.160[\text{kg}] \leq 3.455[\text{kg}]$$



## 11.2 Dimensionamiento del sistema de anclaje

Para el anclaje de la balsa se considerará dos sistemas posibles, anclas de arado y pesos muertos de hormigón. Se podrá utilizar cualquiera y su elección estará determinada por las ventajas operacionales de cada uno.

La capacidad de agarre de un muerto de anclaje está dada por la fórmula:

$$T_H = (W - T_V) \cdot \tan \varphi$$

Donde:

$T_H$ : Componente del Esfuerzo horizontal del cable.

$W$ : Peso del muerto.

$T_V$ : Componente vertical de la tensión del cable.

$\varphi$ : Angulo de rozamiento interno del material

Si consideramos un suelo de grava con arena, al que le corresponde un ángulo de rozamiento interno de  $48^\circ$ , el peso del muerto queda determinado por:

$$W \geq \frac{T_H}{\tan \varphi} + T_V$$

**Se recomienda emplear para el anclaje un sistema de cuatro muertos de hormigón armado de 4.000[kg].**

### **Implementación balsas de cultivo**

En las fotos 1, 2 y 3 se muestran la instalación y puesta de las balsas de cultivo en los sectores de Metri e Ique, para el desarrollo de co-cultivos.

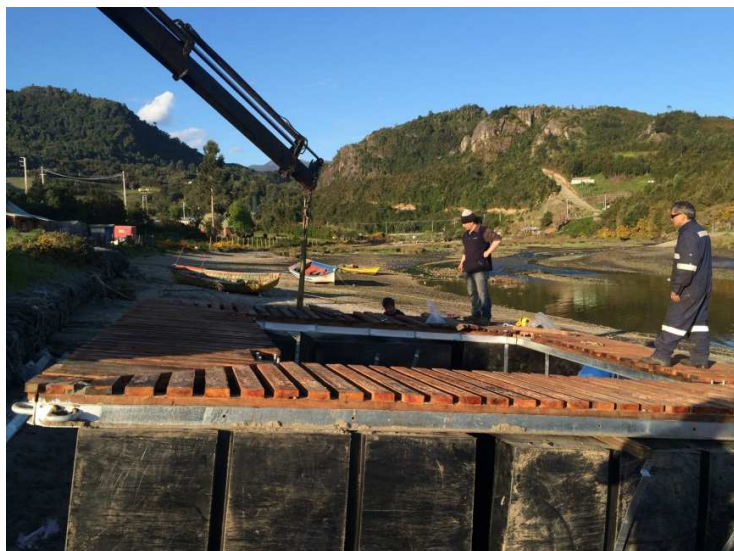


Foto 1.- Implementación de balsa en sector Metri, carretera austral, comuna de Puerto Montt.



Foto 2.- Balsa terminada en sector Metri, carretera austral, comuna de Puerto Montt.



Foto 3.- Balsa terminada en sector Bahía Ilque, comuna de Calbuco.

Diseño y Cálculo: Camilo José García Andrade, Arquitecto.  
(ARAKM, Small Scale Technologies).  
Director Proyecto: Richard Miranda Torres. UCh.