



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias de la Ingeniería

Escuela de Ingeniería Naval

# DISEÑO DE UN MUELLE FLUVIAL PARA EL TRANSPORTE DE PASAJEROS

Tesis para optar al título de:

***Ingeniero Naval***

Mención: Arquitectura Naval

Profesor Patrocinante:

Sr. Claudio Troncoso Paredes

Ingeniero Naval

Licenciado en Ingeniería Naval

GREGORIO IGNACIO PARRA URR

VALDIVIA-CHILE

2018



Esta tesis ha sido sometida para su aprobación a la Comisión de Tesis, como requisito para obtener el grado de Licenciado en Ciencias de la Ingeniería.

La Tesis aprobada, junto con la nota de examen correspondiente, le permite al alumno obtener el título de **Ingeniero Naval**, mención: **Arquitectura Naval**

**EXAMEN DE TÍTULO:**

Nota de Presentación (*Ponderada*) (1) : .....

Nota de Examen (*Ponderada*) (2) : .....

Nota Final de Titulación (1+2) : .....

**COMISIÓN EXAMINADORA:**

..... Decano	..... Firma
..... Examinador	..... Firma
..... Examinador	..... Firma
..... Examinador	..... Firma
..... Secretario Académico	..... Firma

Valdivia

*Nota Presentación = NC/NA\*0,6 + Nota de Tesis\*0,2*

*Nota Final = Nota de Presentación + Nota Examen\*0,2*

*NC = Sumatoria Notas de Currículo, sin Tesis*

*NA = Número de Asignaturas Cursadas y Aprobadas, incluida Práctica Profesional*



*A todos quienes me acompañaron en este largo proceso.*

*Gracias.*



# Índice

Índice.....	7
Resumen.....	10
Summary .....	10
1. Introducción .....	11
2. Objetivos .....	12
2.1    Objetivo general.....	12
2.2    Objetivos específicos.....	12
3. Muelles.....	13
3.1    Clasificación de muelles.....	13
3.1.1 <i>Clasificación según funcionalidad</i> .....	13
3.1.1.1    Comerciales.....	13
3.1.1.2    Pesqueros.....	14
3.1.1.3    Industriales .....	14
3.1.1.4    Militares .....	15
3.1.1.5    Náutico-deportivos .....	15
3.1.2 <i>Clasificación según estructura</i> .....	16
3.1.2.1    Cerrados .....	16
3.1.2.2    Abiertos .....	16
3.1.2.3    Flotantes .....	16
3.1.3 <i>Clasificación según su configuración espacial</i> .....	17
3.1.3.1    Marginal .....	17
3.1.3.2    Espigón.....	17
3.1.3.3    Tipo “T” .....	18
3.1.3.4    Tipo isla.....	18
3.2    Muelles flotantes .....	19
3.2.1 <i>Componentes de un muelle flotante</i> .....	20
3.2.1.1    Pontón flotante .....	20
3.2.1.2    Puente de acceso.....	21
3.2.1.3    Sistema de amarre y fondeo .....	23
3.2.1.4    Sistema de defensa .....	25
4. Metodología de diseño .....	26
4.1    Diagrama de diseño.....	26

4.2	Requerimientos para la construcción de un muelle flotante.....	27
4.3.1	Batimetría.....	28
4.3.2	Vientos.....	29
4.3.3	Mareas.....	29
4.3.4	Oleaje.....	30
4.3.5	Correntometría.....	30
4.3.6	Análisis de suelo.....	31
4.4	Estudios de arquitectura naval.....	32
4.4.1	<i>Hidrostáticas</i> .....	32
4.4.2	<i>Estabilidad</i> .....	34
4.4.3	<i>Seakeeping</i> .....	37
4.5	Determinación de cargas.....	40
4.5.1	<i>Peso propio</i> .....	40
4.5.2	<i>Impacto de embarcaciones</i> .....	40
4.5.3	<i>Viento</i> .....	42
4.5.4	<i>Presión hidrostática</i> .....	42
4.5.5	<i>Corrientes de agua</i> .....	43
4.5.6	<i>Oleaje</i> .....	43
4.6	Elementos estructurales.....	45
4.7	Normativa aplicable a la construcción de muelles flotantes.....	45
4.8	Evaluación de criterios.....	45
4.8.1	<i>Criterio de resistencia estructural</i> .....	45
4.8.2	<i>Criterio de estabilidad</i> .....	45
5.	Diseño de un muelle flotante.....	46
5.1	Geo ubicación.....	46
5.2	Nave de diseño.....	47
5.3	Servicios.....	47
5.4	Vientos.....	48
5.5	Mareas.....	49
5.6	Propuesta de estructura.....	49
5.7	Evaluación de criterios estructurales.....	53
5.7.1	<i>Peso propio</i> .....	53
5.7.2	<i>Impacto de embarcaciones</i> .....	53

5.7.3	<i>Viento</i> .....	54
5.7.4	<i>Fuerza hidrostática</i> .....	54
5.7.5	<i>Corrientes de agua</i> .....	54
5.7.6	<i>Oleaje</i> .....	54
5.8	Evaluación de criterios de arquitectura naval.....	55
5.8.1	<i>Francobordo</i> .....	55
5.8.2	<i>Estabilidad</i> .....	55
5.8.3	<i>Hidrostáticas</i> .....	58
5.8.4	<i>Seakeeping</i> .....	59
5.9	Evaluación final.....	61
6.	Conclusión.....	62
7.	Bibliografía .....	63
Anexo A	.....	64
Anexo B	.....	67

## Resumen

La presente tesis pretende aportar información que se debe tener en cuenta a la hora de la construcción de un muelle flotante destinado al atraque de embarcaciones.

Este muelle flotante está basado en un pontón de acero, que actuará de manera estacionaria en un lugar, por lo que no dispondrá de propulsión propia.

Estará destinado a soportar las fuerzas y cargas a las que puede encontrar durante su vida útil, las cuales serán nombradas dentro de esta tesis.

Para la construcción de los refuerzos estructurales se optará por una casa clasificadora de renombre como lo es Det Norske Veritas (DNV), que posee un reglamento para el cálculo de estos refuerzos en una estructura de este tipo, ya que para nuestro país no existen regulaciones en este ámbito.

## Summary

The present thesis aims to provide information that must be taken into account for the construction of a floating dock intended for docking boats.

This floating dock is based on a steel pontoon, which will act stationary in one place, so it will not have its own propulsion.

It will be destined to support the forces and burdens that can be found during its useful life, which will be named within this thesis.

For the construction of structural reinforcements will be chosen by a classification society renowned as is Det Norske Veritas (DNV), which has a regulation for calculating these reinforcements in a structure of this type, since our country there are no regulations in this ambit.

# 1. Introducción

El transporte marítimo hoy en día representa un papel impórtate para el desarrollo tanto comercial como social. Además, de servir como una conexión entre el medio acuático y el borde costero, un muelle es fundamental en un puerto pues es una obra de ingeniería asociada directamente al atraque de embarcaciones. Pueden existir de variadas maneras, según se presenten las características geográficas de la zona de emplazamiento. Cuando estas características presentan malas condiciones para la construcción de un muelle convencional, ya sea la profundidad, las malas condiciones del subsuelo, una gran variación del nivel de marea, o cuando económicamente es poco viable la instalación de un muelle convencional, la implementación de un muelle flotante asoma como una solución ventajosa.

La velocidad de construcción se vuelve un desafío a nivel de ingeniería o si la estructura necesita ser trasladada para ser utilizada en otro sitio, un muelle flotante proporciona una solución al problema, así como cuando el sitio de emplazamiento no presenta las condiciones para la construcción, los pontones flotantes pueden ser construidos en algún astillero y ser remolcados al lugar.

Los muelles flotantes en sí son muy parecidos a un muelle convencional, con la diferencia que no posee fundaciones como tal, sino que está compuesta de pontones flotantes que irán fondeados, ya sea costa adentro o en el borde costero. Esta característica los hace una estructura que necesita de algunos estudios especiales como requerimientos para su instalación.

La utilización de muelles flotantes en la actualidad comprende un amplio rango, existen algunos muelles flotantes de carga y descarga para grandes puertos industriales, también hay pequeños pontones flotantes para el atraque de embarcaciones menores, como pequeños pesqueros o embarcaciones de recreo.

Si bien se prefieren los muelles convencionales, el desarrollo de muelles flotantes para la creación de pequeños puertos de embarque y desembarque es cada vez más popular. La experiencia constructiva en países como Perú, Brasil, Estados Unidos, Japón y otros países, además de un gran número de aplicaciones militares han demostrado que, bajo ciertas condiciones, los muelles flotantes pueden representar una solución competitiva.

En el sur de nuestro país, donde las olas presentan una pequeña altura y además existe una gran variación en el nivel de marea, presentan una gran solución al problema constructivo con la posibilidad de ser usadas durante todo el año, puesto que no presentan inundaciones.

Esta tesis presentara recomendaciones y consideraciones a la hora de la construcción de una estructura como un muelle flotante.

## 2. Objetivos

### 2.1 Objetivo general

Analizar y estudiar las metodologías de diseño de un muelle flotante para el transporte de pasajeros.

### 2.2 Objetivos específicos

- Definir las clasificaciones y características de un muelle.
- Definir las características que hacen viable la instalación de un muelle flotante.
- Definir los componentes básicos de un muelle flotante.
- Definir los estudios para el diseño de un muelle flotante.
- Desarrollar el diseño de un muelle flotante para pasajeros.
- Aplicación de reglamento de casa de clasificación para definición de la estructura.

## 3. Muelles

Son estructuras cuya función es conformar una línea de atraque que, en general rebasa la longitud de la embarcación fondeada en ella, y que están conectadas con tierra de forma total o parcial. Proporciona, además, una superficie horizontal apta para realizar operaciones de carga y descarga.

### 3.1 Clasificación de muelles

Se presentarán tres tipos de criterios para la clasificación del muelle, el primero de ellos tiene que ver con la finalidad de este, ósea el para que será utilizado. El segundo considerara la forma en que estos son construidos, y el tercero basado en la configuración espacial de este.

#### *3.1.1 Clasificación según funcionalidad*

Según el tipo de mercancía o personas que se embarca o manipula. Estos pueden ser comerciales, pesqueros, industriales, militares o náutico-deportivo.

##### *3.1.1.1 Comerciales*

Destinados al comercio de mercancías, cuentan con la infraestructura adecuada para la estiba de embarcaciones que atracan en sus instalaciones.



*Fig. 1 Muelle Comercial Guixar. Fuente: [www.civisglobal.com](http://www.civisglobal.com)*

### 3.1.1.2 *Pesqueros*

Albergan embarcaciones con mercancía perecedera, en su mayoría pescado y moluscos.



*Fig. 2 Muelle pesquero Oza. Fuente: [www.elidealgallego.com](http://www.elidealgallego.com)*

### 3.1.1.3 *Industriales*

Están orientados a la construcción y reparación de embarcaciones. Cuentan con toda la implementación necesaria para la reparación de estas como grúas, dique seco, zonas de botadura, etc.



*Fig. 3 Muelle Industrial AguaDulce. Fuente: [www.conconcreto.com](http://www.conconcreto.com)*

#### 3.1.1.4 Militares

Destinadas al atraque de naves de uso militar, poseen infraestructura para un amplio rango de usos, que van desde el embarque y desembarque de pasajeros hasta operaciones de guerra y rescate.



Fig. 4 Muelle Base Naval de Rota. Fuente: [www.rotadirecto.com](http://www.rotadirecto.com)

#### 3.1.1.5 Náutico-deportivos

Albergan yates y otros tipos de embarcaciones de recreo durante estancias más o menos prolongadas.



Fig. 5 Muelle deportivo Las Palmas. Fuente: [www.canariasdiario.com](http://www.canariasdiario.com)

### 3.1.2 Clasificación según estructura

Según el tipo de elementos utilizados en su construcción.

#### 3.1.2.1 Cerrados

Están formados por una elevación vertical (o cuasi) desde la línea de atraque a la cimentación que no permite el flujo de agua a través.

#### 3.1.2.2 Abiertos

La estructura está formada por una plataforma sustentada en pilotes, siendo la elevación de estos discontinua en la línea de atraque, permitiendo así el paso de agua.



Fig. 6 Muelle Vergara, Viña del Mar. Fuente: [www.24horas.cl](http://www.24horas.cl)

#### 3.1.2.3 Flotantes

Aquellos en los que parte de su estructura se encuentra flotando, con la posibilidad de moverse si es necesario en sentido vertical/horizontal.



Fig. 7 Muelle Terminal pesquero Chiquihue, Puerto Montt. Fuente: [www.propuerto.cl](http://www.propuerto.cl)

### 3.1.3 Clasificación según su configuración espacial

Según la disposición de este frente a la zona de emplazamiento.

#### 3.1.3.1 Marginal

La estructura estará orientada de forma aproximadamente paralela al borde costero. Generalmente la plataforma está apoyada en la tierra.



Fig. 8 Muelle Puerto Bolívar, Ecuador. Fuente: [www.elorito.com](http://www.elorito.com)

#### 3.1.3.2 Espigón

La estructura se proyectará desde el borde costero hacia el mar en dirección perpendicular a este, brinda la posibilidad de atraque por ambos costados del muelle.



Fig. 9 Muelle Espigón, Puerto de Ilo. Fuente: [www.infraestructuraperuana.com](http://www.infraestructuraperuana.com)

### 3.1.3.3 Tipo "T"

La estructura está conectada a tierra mediante un acceso perpendicular al borde costero. Principalmente son empleados en donde la necesidad de espacio para atracar no es demasiada.



Fig. 10 Muelle Tipo T, Tomé. Fuente: [www.maritimoportuario.com](http://www.maritimoportuario.com)

### 3.1.3.4 Tipo isla

La estructura se encontrará separada de la playa y estará destinada a embarcación de gran calado.



Fig. 11 Muelle Tipo Isla, Texas. Fuente: [www.kenjonesfishing.com](http://www.kenjonesfishing.com)

## 3.2 Muelles flotantes

La instalación de un muelle flotante dependerá de factores como el fondo marino, los niveles de marea, la configuración de la costa y de la disponibilidad de recursos económicos [8]. En la práctica, se recomienda la instalación de estos cuando se cumple alguna de las siguientes condiciones:

- *Aguas profundas*

En lugares donde la profundidad presente un impedimento para realizar fundiciones, los muelles flotantes han presentado una solución por la simplicidad de las líneas de fondeo que lo mantienen en su posición.

- *Terrenos inestables*

Cuando la construcción de las fundiciones del muelle se complica por lo inestable del terreno, un muelle flotante puede ser la solución, pues este se puede remolcar y ser reubicado en otra locación más estable.

- *Gran variación de marea*

Desde el punto de vista operacional, es preferible un muelle flotante pues la posición relativa entre la embarcación y el pontón se mantiene constante, por lo que la eficiencia de carga y descarga no varía demasiado.

- *Corto periodo de implementación*

La construcción de este tipo de estructura es más rápida y menos costosa que una convencional, esto representa una gran ventaja en zonas aisladas o de acceso exclusivamente por vía marítima, en donde el tránsito de maquinaria es demasiado complicado. Además, el pontón flotante puede ser construido en un astillero y ser remolcado desde allí hasta su lugar de instalación final.

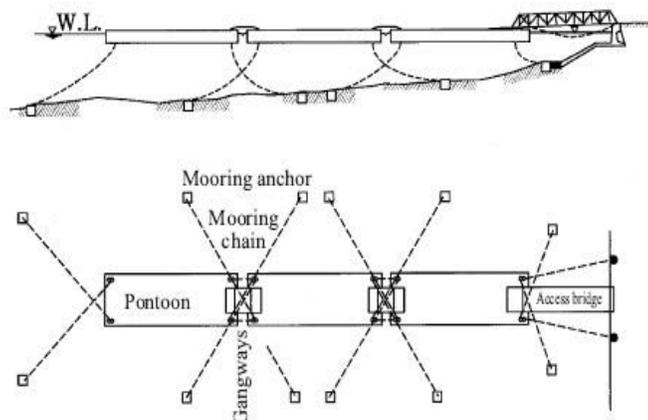


Fig. 12 Esquema típico de un muelle flotante [1]

### 3.2.1 Componentes de un muelle flotante

Los componentes básicos de un muelle flotante se pueden descomponer en los siguientes:

#### 3.2.1.1 Pontón flotante

Artefacto naval diseñado bajo ciertos parámetros con tal de cumplir las condiciones y requerimientos funcionales para su correcto funcionamiento. Se encuentran parcialmente suspendidas sobre el nivel del agua, anclados al fondo marino y/o estructuras fijas. Dependiendo de los requerimientos, la configuración de este puede variar en alguna de las siguientes formas:

- a) Un pontón único
- b) Varios pontones unidos por un mecanismo pivotante
- c) Varios pontones pequeños unidos por una cubierta, con mecanismo pivotante
- d) Varios pontones pequeños unidos por una cubierta continua

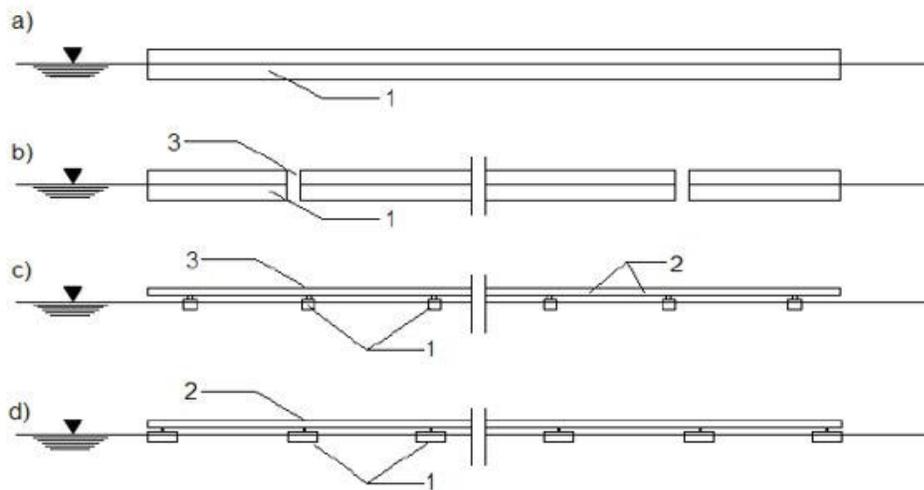


Fig. 13 Arreglos típicos de muelles flotantes [2]

Según la información recopilada, los diseños más comúnmente utilizados son los con un pontón único y los de varios pontones unidos por una cubierta continua, que permite el tráfico ya sea de rodados o personas. Su uso más común es el de servir a embarcaciones menores (pesqueros o embarcaciones de recreo) aunque también poseen la capacidad de soportar grandes embarcaciones.

### 3.2.1.2 Puente de acceso

Es la conexión entre el pontón y el borde costero. El diseño debe considerar las condiciones a satisfacer (tráfico de vehículos, personas, carga y variaciones de marea). Se debe tener cuidado con el tramo del puente que va sobre el borde costero, considerando en él posibles articulaciones que permitan al extremo opuesto, ubicado en el pontón, la posibilidad de variar su posición por efecto de las mareas y/o los cambios estacionales en el nivel de agua.

Otro parámetro de importancia es la longitud del puente, esta estará dada por la batimetría del borde costero o por los requerimientos del muelle, se considera de una sola luz cuando las variaciones de marea son menores a los 10 metros. Dependiendo de la distancia entre el pontón y la costa, se puede usar una de las siguientes configuraciones:

- *Puente articulado de un tramo:* Este tipo de puentes son utilizados cuando el borde costero no presenta demasiada erosión. Un puente articulado de un tramo es generalmente usado donde la variación de la marea es menor que 10 metros. (a) [3]
- *Puente en tramos flotantes articulados:* Es usado donde la variación de la marea exceda los 10 metros, o el borde costero no presente las condiciones para construir. Típicamente un puente de acceso flotante consiste en una serie de pontones intercomunicados entre sí. Como este tipo de puentes suele estar a través de la corriente, deben proveerse de mejores defensas en contra de objetos flotantes que pueden acumularse contra el puente. En general, este tipo de puentes es utilizado en zonas donde el río es relativamente estable. (b) (c)
- *Puente levadizo vertical:* Requiere demasiado trabajo en el lugar de instalación para las torres de soporte. La principal ventaja de este tipo de construcción es que no crea una obstrucción al flujo de la corriente, pero el costo capital para su construcción puede ser prohibitivo.
- *Cuña móvil:* El acceso al muelle es mediante una cuña que dependiendo el nivel del agua se mueve en conjunto con este a través de una pista. Este tipo de puentes se utilizan cuando la pendiente de la orilla posee una inclinación suave y el terreno es apto para la construcción.

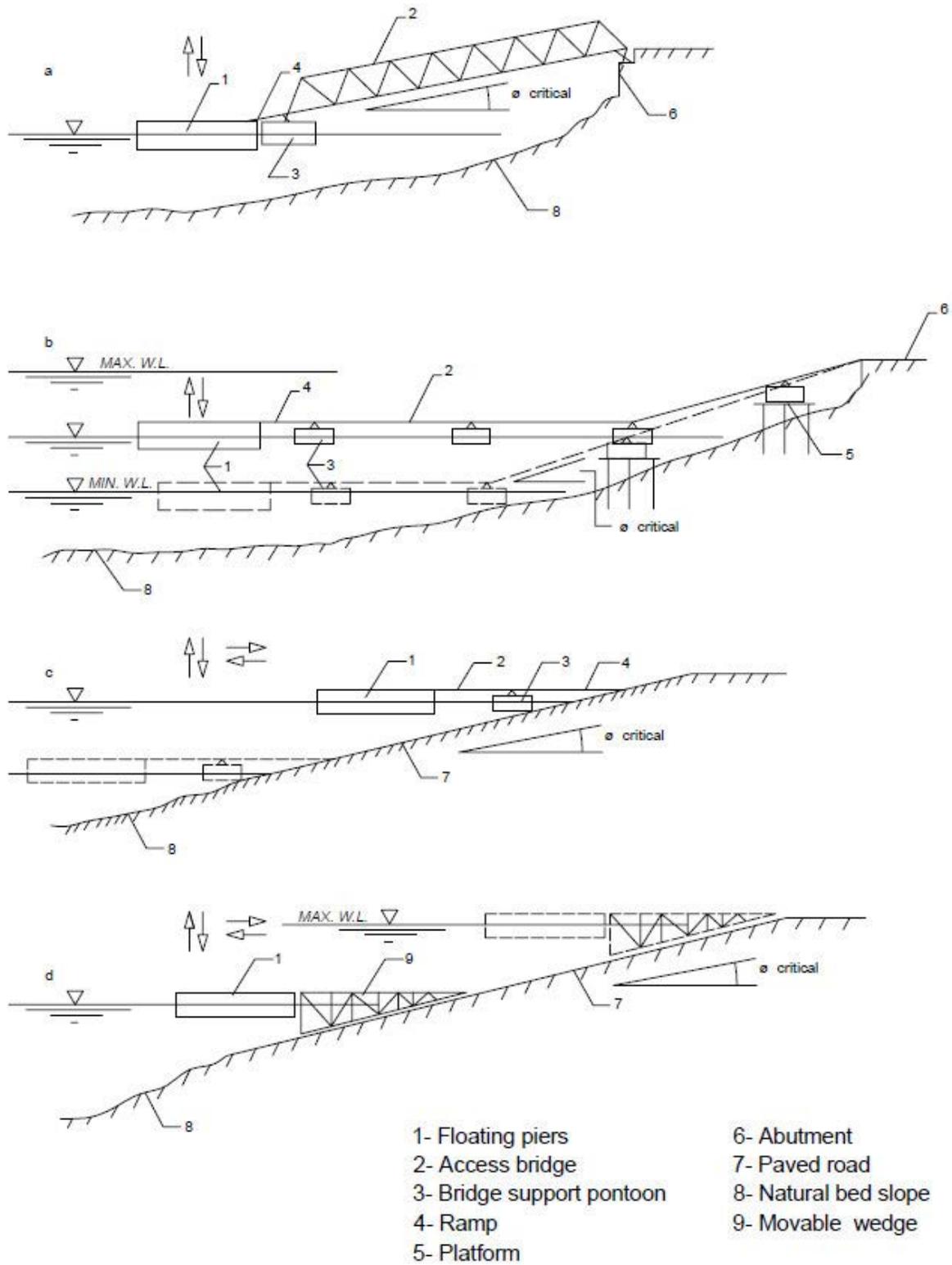


Fig. 14 Configuraciones para un puente de acceso [2]

### 3.2.1.3 Sistema de amarre y fondeo

La función básica del sistema de amarre y fondeo es permitir al muelle operar de forma adecuada, manteniendo al pontón en una posición relativamente estable con respecto al puente de acceso. Los elementos que componen estos sistemas pueden estar dentro o fuera de la costa. Según su posición del sistema de amarre se pueden obtener las siguientes configuraciones:

- *Sistema de amarre con elementos costa adentro:* Se usa cuando el pontón y la línea de costa están relativamente cerca, lo que implica un cambio de pendiente muy pronunciada en el fondo para los requerimientos de calado de la embarcación. (a)

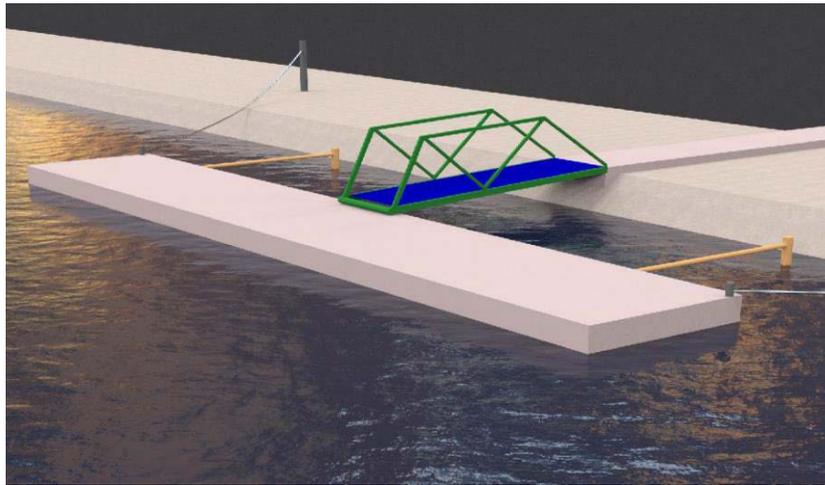


Fig. 15 Sistema de amarre con elementos costa adentro [8]

- *Sistema de amarre con elementos costa adentro y fuera:* Se caracteriza por ser utilizado cuando la distancia entre el borde costero y el pontón es prolongada. (b)

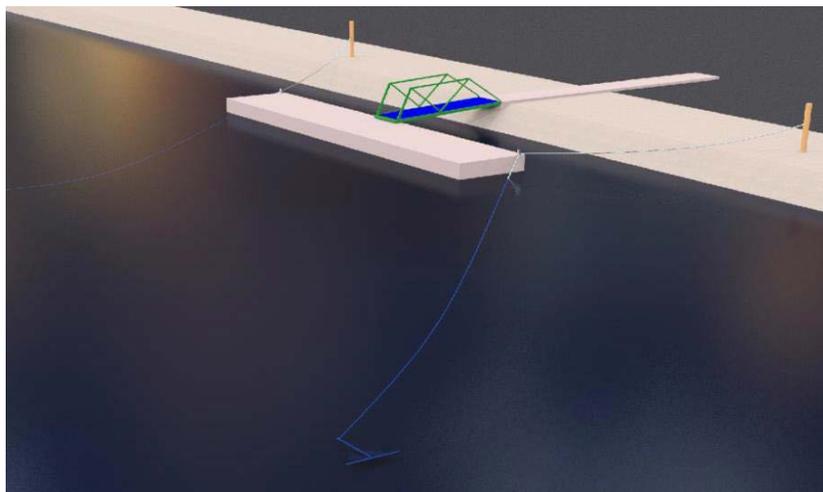


Fig. 16 Sistema de amarre con elementos costa adentro y fuera [8]

- *Sistema de amarre con pilotes de amarre:* Este limitado por las profundidades o diferencias de marea que debe de soportar el pontón (12 a 15 m). También se pueden utilizar Duques de Alba como pilotes de amarre. (c)

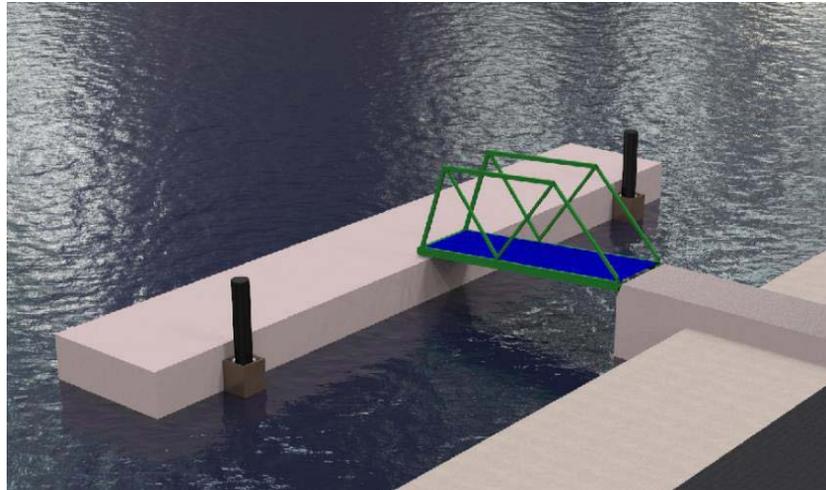


Fig. 17 Sistema de amarre con pilotes de amarre [8]

- *Sistema de amarre con dos filas de cables bajo el agua:* Este sistema es usado cuando el muelle se proyecta hacia el mar desde el borde costero. En este caso, las líneas de amarre controlan el movimiento paralelo del pontón con respecto al borde. (d)

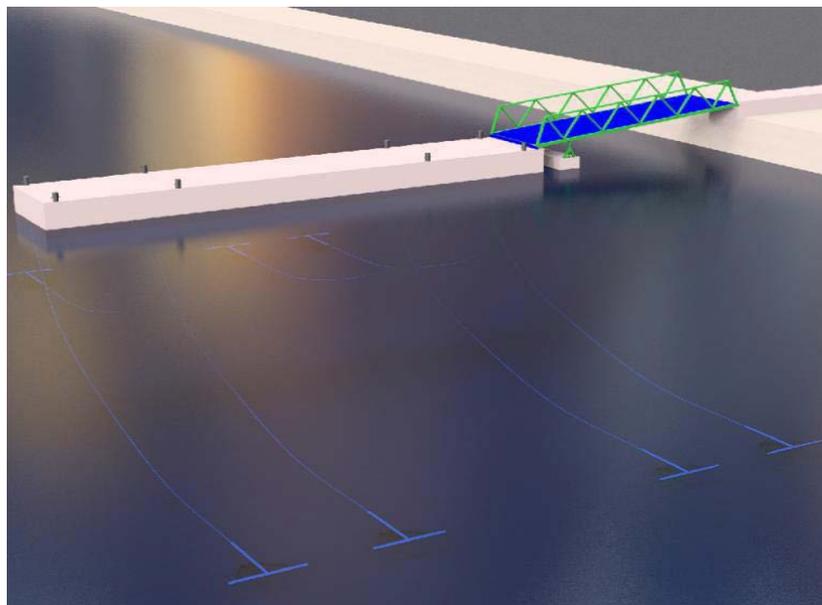


Fig. 18 Sistema de amarre con dos filas de cables bajo el agua [8]

#### *3.2.1.4 Sistema de defensa*

Es la interfaz entre el buque y la estructura de atraque. Está destinado a actuar como amortiguador para poder absorber la energía del impacto entre una embarcación y la estructura, sin causar daños permanentes. La selección y diseño del sistema de defensa depende de la necesidad de atraque que debe cumplir la estructura.



*Fig. 19 Elementos de defensa y amarre en un muelle flotante. Fuente: [www.maritimoportuario.com](http://www.maritimoportuario.com)*

## 4. Metodología de diseño

### 4.1 Diagrama de diseño

Es necesario establecer un diagrama de diseño en el cual se establecerán los procesos que se deben realizar a la hora de diseñar un muelle flotante. El siguiente diagrama está basado en el espiral de diseño, ocupado en la elaboración de diseños para embarcaciones.

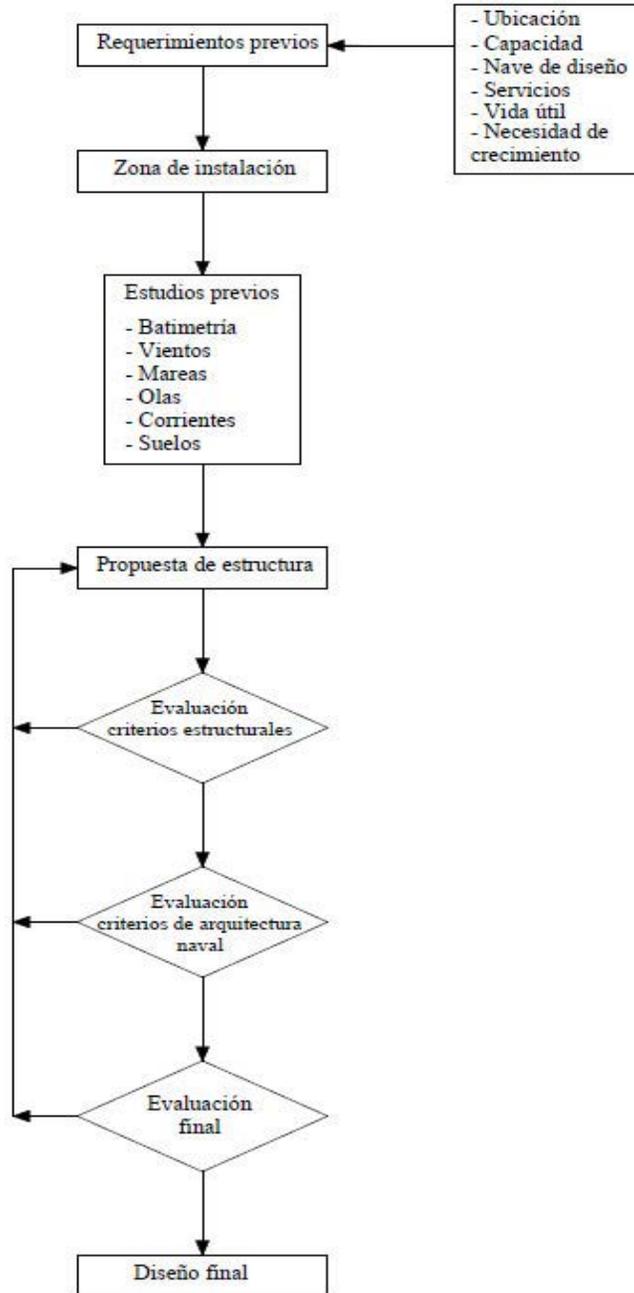


Fig. 20 Diagrama de diseño. Fuente: Elaboración propia

## 4.2 Requerimientos para la construcción de un muelle flotante

Estos requerimientos dependen en su mayoría de la función que tendrá el muelle. Estas funciones deben definir como mínimo lo siguiente:

- a) *Tipo de embarcación que recibirá*: Se necesita saber el tipo de embarcación, así como la cantidad que se desea recibir, para utilizar un modelo que imponga las mayores exigencias. Algunos de los datos que se necesitan son los siguientes:
  - Características principales
  - Formas del caso
  - Desplazamiento
  - Velocidad de aproximación
  - Sistema de manejo de carga
  - Sistemas de acceso
- b) *Frecuencia de uso*: Cuantificación del tráfico y tiempos requeridos para maniobra. Además, se debe informar si existe sobre demanda estacional.
- c) *Vida útil del muelle*: La estructura de un muelle, así como toda obra de ingeniería, posee un ciclo de vida útil determinado por los componentes que impiden su reparación. Sin embargo, existen materiales y componentes mecánicos que si pueden ser reparados o reemplazados. La forma más adecuada de determinar la vida útil es la presentada en “*Technical standards and commentaries for Port and Harbour facilities in Japan*”, que está basada en la norma ISO 2394, como se muestra en la Fig. 21.

Clase	Vida útil de diseño (años)	Ejemplos
1	1 - 5	Estructuras temporales
2	25	Elementos estructurales reemplazables
3	50	Estructuras y construcciones públicas. Estructuras que no clasifiquen en Clase 4
4	100 o más	Estructuras de tipo: Conmemorativo, especiales, alta importancia y de larga escala temporal

Fig. 21 Tabla de Vida útil de una estructura de acero [3]

- d) *Posibilidad de crecimiento*: Se debe tener en cuenta una posible expansión del muelle desde el comienzo del diseño. El aumento de la demanda es una posibilidad que debe ser analizada en etapas tempranas.
- e) *Condiciones ambientales*: Las condiciones climáticas estacionales pueden afectar el entorno de operación del muelle, por lo que se debe tener datos sobre posibles cambios en el nivel de agua y/o borde costero a la hora de comenzar con el diseño del muelle.
- f) *Servicios*: El muelle contara con los servicios necesarios para efectuar maniobras de atraque

### 4.3 Estudios previos a la instalación de un muelle flotante

Los estudios que se deben realizar en la zona de emplazamiento previo a la edificación de un muelle flotante son los siguientes:

#### 4.3.1 Batimetría

Levantamiento del relieve subacuático, realizado de preferencia por medios acústicos y mediante curvas de nivel. Se representa en las coordenadas (X, Y, Z) con tal de describir el fondo y las anomalías que pueden existir. La batimetría clásica comprende dos partes, la planimetría y la altimetría. Hoy en día, la batimetría se hace por medio de GPS y sondas.

Consiste en colocar un punto de origen altimétrico, que indicara una cota conocida en la superficie del agua. Desde este punto se comienza a medir profundidades siguiendo un patrón antes determinado.

En la actualidad estas mediciones se realizan mediante un *SONAR* (Sound Navigation and Ranging), que es un aparato que graba información de transmisiones de ondas de sonido subacuáticas que rebotan en el fondo y son regresadas al aparato.

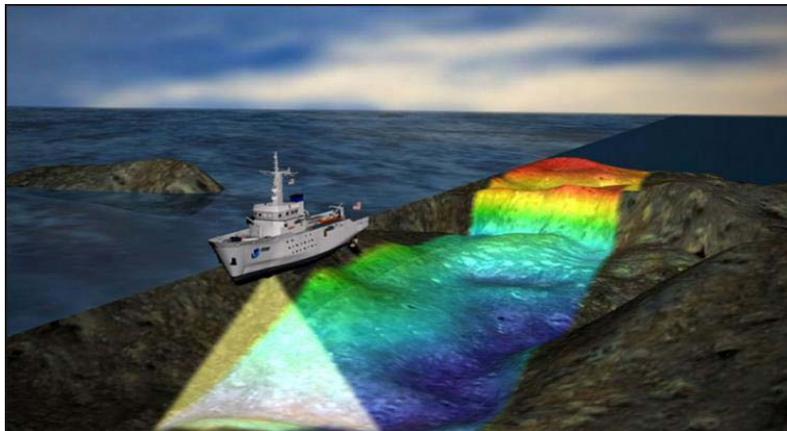


Fig. 22 Representación de un buque realizando una batimetría. Fuente: [www.ncentric.com](http://www.ncentric.com)

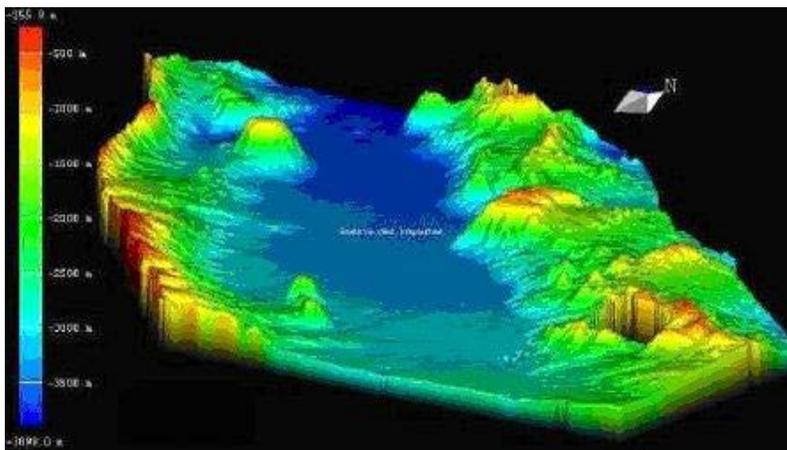


Fig. 23 Resultado de una batimetría realizada con sonar. Fuente: [www.ncentric.com](http://www.ncentric.com)

### 4.3.2 Vientos

El viento origina cambios en la corriente y el oleaje, dado al esfuerzo tangencial sobre la superficie del agua. Además, el viento presiona sobre una cara de la estructura flotante, ocasionando así, una carga de diseño.

Un estudio de vientos se realiza mediante un trípode con sus patas aferradas al suelo que lleva en él varios sensores llamados anemómetro, capaces de medir la temperatura ambiental, velocidad y dirección del viento, con tal de entregar los resultados a un sistema de adquisición de datos. El resultado se entrega en una rosa de vientos, que indica la variación de la velocidad y dirección del viento.

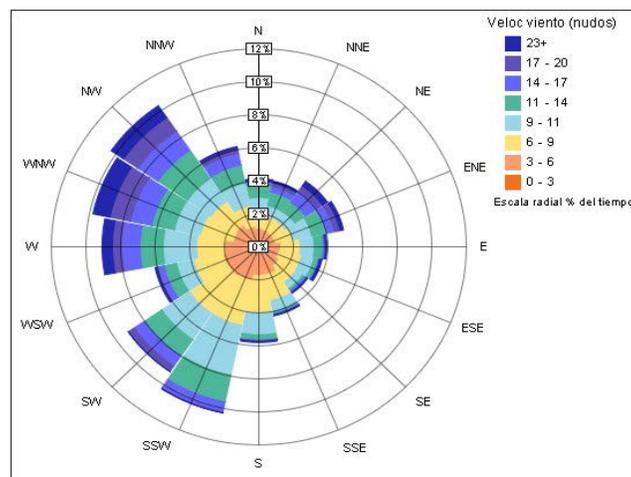


Fig. 24 Rosa de los vientos como resultado de un análisis de viento. Fuente Autodesk

### 4.3.3 Mareas

Las mareas no solo influyen en el nivel de agua que alcanza, sino que también en las corrientes que originan. Para la definición del nivel de operación, se recomienda hacerlo en referencia a el nivel de marea baja media (NMBM), poniendo especial énfasis en la máxima pleamar y la mínima bajamar conocidas. Las tablas de mareas existen de forma tabulada para la mayor zona del país. En caso de querer hacer un análisis externo se debe usar un mareógrafo, que es un instrumento que mide y registra las oscilaciones de la masa de agua.



Fig. 25 Mareógrafo. Fuente: [www.lavozdegalicia.es](http://www.lavozdegalicia.es)

#### 4.3.4 Oleaje

El oleaje tiene gran influencia sobre las condiciones operacionales del muelle y esfuerzos sobre la estructura. La finalidad de este análisis es la obtención de datos como la altura, longitud, dirección, periodo y recurrencia de las olas. Un estudio de olas se realiza mediante boyas flotantes con sensores que registran que envían los datos a una central en tierra, la medición de estos datos debe hacerse con precisión.



Fig. 26 Boya para medición de oleaje. Fuente: [www.elpais.com](http://www.elpais.com)

#### 4.3.5 Correntometría

Las corrientes se ven afectadas por el efecto del viento, marea y oleaje. Sus efectos son determinantes en obras marítimas y fluviales en etapas de proyecto y diseño. La medición se hace mediante flotadores a la deriva que permite obtener dirección y velocidad representativa.



Fig. 27 Medición de corriente mediante boyas. Fuente: [www.tankonyvtar.hu](http://www.tankonyvtar.hu)

#### 4.3.6 Análisis de suelo

Para el cálculo de cimientos, es necesario un sondeo de las características de la zona de emplazamiento, buscando obtener así datos como: la densidad del suelo sumergido, densidad del suelo saturado, densidad del suelo seco, cohesión, y resistencia por fricción.

Para este análisis se necesitará sacar muestras del lugar para así determinar la conformación química del suelo, y así determinar las propiedades de este mismo.

La clasificación según el tipo de textura permite determinar características importantes como la velocidad de consumo de agua, el almacenaje de agua en el suelo, la laborabilidad y la aireación. Según su clasificación textural, el suelo se ubica dentro de un área en el triángulo de texturas.

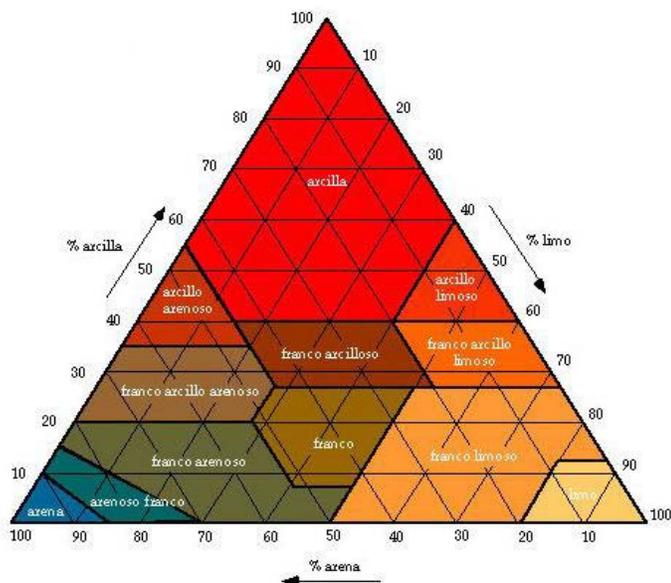


Fig. 28 Triángulo de texturas, usado para la clasificación de suelos. Fuente: [www.edafologia.com](http://www.edafologia.com)



Fig. 29 Obtención de una muestra de suelo. Fuente: [www.agriculters.com](http://www.agriculters.com)

## 4.4 Estudios de arquitectura naval

Como se trata de una construcción de un artefacto naval, hay ciertos estudios que se le deben realizar para garantizar la seguridad y su correcto funcionamiento. Estos estudios son: Hidrostáticas, estabilidad y seakeeping.

### 4.4.1 Hidrostáticas

Este estudio se realiza para estudiar el comportamiento en reposo de la estructura.

Las principales propiedades hidrostáticas analizadas son las siguientes:

- Desplazamiento: Equivale al peso del agua desplazado por el volumen del artefacto naval en su flotabilidad, según el Principio de Arquímedes.
- Superficie mojada: Equivale al área del artefacto naval que está bajo la superficie del agua. La importancia de este valor redundante en el arrastre que tendrá la estructura.
- Centro de carena longitudinal: Equivale a la posición del centro de carena de la estructura, en sentido longitudinal. Es un dato relevante dentro de la estabilidad de la estructura.
- Centro de gravedad longitudinal: Equivale al centro de gravedad geométrico de la estructura, en sentido longitudinal. En torno a este punto ocurrirán las oscilaciones longitudinales de la estructura.
- Centro de carena vertical: Equivale a la posición del centro de carena de la estructura, en sentido trasversal. Según este dato se calculan los cambios de escora o la estabilidad trasversal.
- Metacentro Vertical (trasversal): Equivale a la posición del metacentro trasversal, medido desde la quilla. Es importante para determinar la estabilidad trasversal de la estructura.
- Metacentro Longitudinal (longitudinal): Equivale a la posición del metacentro longitudinal, medido desde la quilla. A medida que el calado aumenta, este metacentro disminuye.
- Toneladas por cm de inmersión (TPc): Equivale a la carga necesaria para aumentar el calado de la estructura en 1 cm, suponiendo una carga homogénea.
- Momento de cambio de trimado (MTc): Equivale al momento necesario para variar el trimado de la estructura en 1 cm.

Hoy en día este tipo de estudio se realiza mediante softwares que funcionan mediante la integración numérica. Estos softwares consideran pequeñas áreas o volúmenes, según sea el caso, y lo integran a través de la eslora, obteniendo así el valor total.

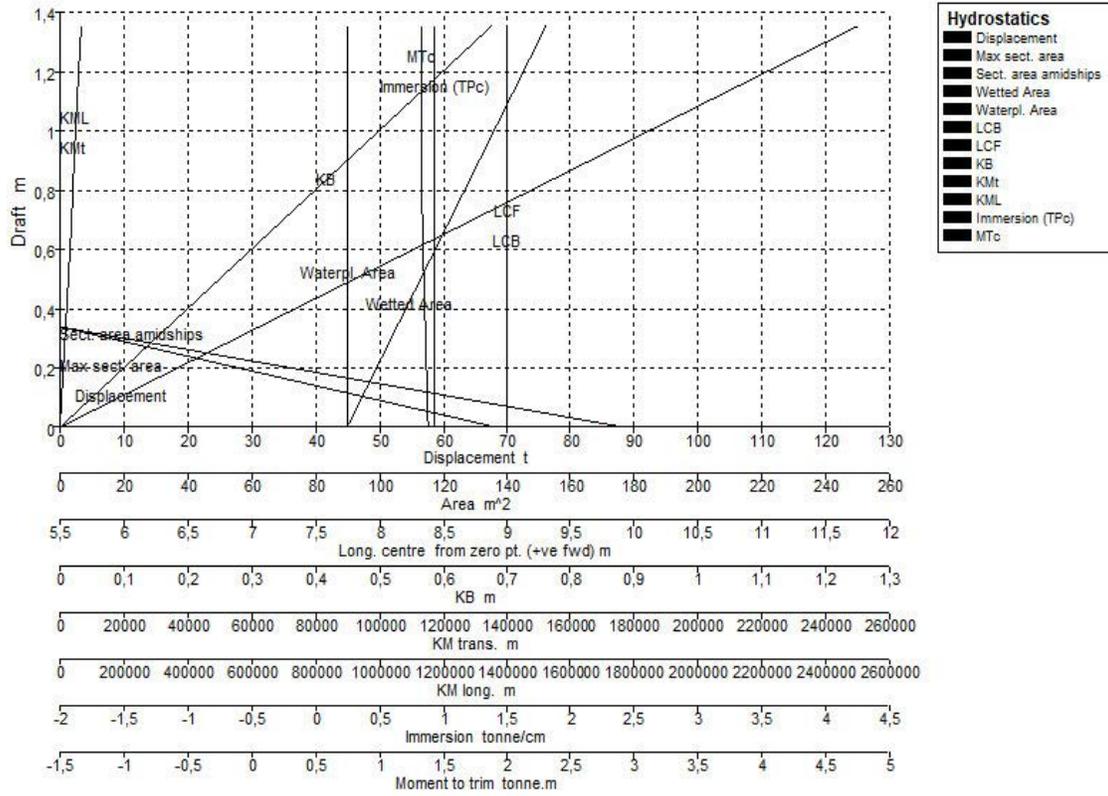


Fig. 30 Tabla de Hidrostáticas. Fuente: Elaboración propia

#### 4.4.2 Estabilidad

La estabilidad en esta clase de estructuras juega un papel importantísimo, pues ante un mal cálculo, esta puede volcarse o hasta hundirse sin aviso.

La estabilidad de una estructura flotante debe de cumplir con el Principio de Arquímedes, que expresa lo siguiente “*todo cuerpo sumergido total o parcialmente en un fluido recibe un empuje vertical, hacia arriba, igual al peso del líquido desalojado por el cuerpo*”. Además, se deben de cumplir dos condiciones básicas de equilibrio. La primera de ellas dice que un cuerpo semi-sumergido en un fluido permanecerá en equilibrio si se cumple que el peso del propio cuerpo y el empuje que recibe del fluido deben ser de igual fuerza, pero en dirección opuesta. La segunda condición estipula la existencia de un punto llamado centro de empuje ( $B$ ). Para que exista equilibrio, se tiene que cumplir estrictamente con la primera condición, y además que el centro de gravedad del cuerpo sumergido debe estar en la misma línea vertical que el centro de empuje de este mismo.

Suponiendo que el cuerpo comienza en un estado de equilibrio ( $a$ ) y luego se escora con un ángulo  $\theta$ , pero manteniendo el mismo volumen de carena ( $V$ ), el centro de empuje pasara a la posición  $B'$ , como se indica en ( $b$ ).

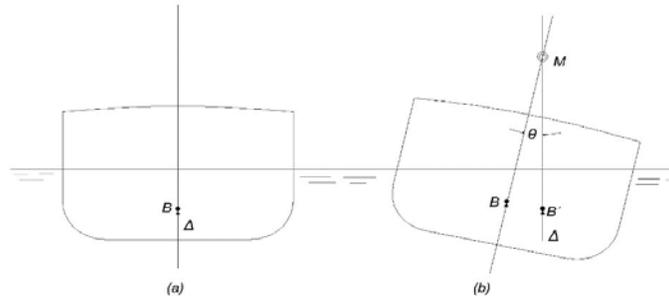


Fig. 31 Metacentro transversal [7]

Al prolongar la recta vertical del nuevo punto de centro de carena e interceptarla con la posición del centro anterior, se obtendrá un punto imaginario llamado Metacentro transversal ( $M$ ). Este punto se mantendrá invariable para pequeños ángulos de escora ( $8^\circ$  a  $12^\circ$ ) [7].

La distancia entre dicho punto y el centro de empuje, es decir, el segmento  $BM$ , se conoce como *Radio metacéntrico*, y está dado por:

$$BM = \frac{I}{V} \quad (4.1) [7]$$

Donde:

$I$ : Momento de inercia de la superficie de flotación con respecto a su eje baricéntrico longitudinal

$V$ : Volumen de la carena

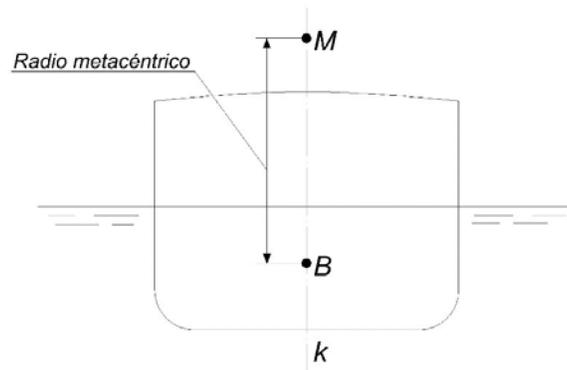


Fig. 32 Radio metacéntrico [7]

Si fijamos  $M$  con respecto a la línea de construcción, es decir, el segmento  $KM$  de la Fig. 31 obtenemos que:

$$KM = KB + BM \quad (4.2) [7]$$

Para que exista equilibrio en un cuerpo flotante, se deben de cumplir las dos condiciones básicas vistas anteriormente. Ahora bien, el equilibrio se puede presentar en alguna de las siguientes formas:

- a) El equilibrio será estable si  $M$  está por encima de  $G$ , lo que equivale a  $GM = KM - KG > 0$ .
- b) El equilibrio será inestable si  $M$  está por debajo de  $G$ , lo que equivale a  $GM = KM - KG < 0$ .
- c) El equilibrio será indiferente si  $M$  coincide con  $G$ , lo que equivale a  $GM = KM - KG = 0$ .

El segmento  $GM$  se conoce como *altura metacéntrica*

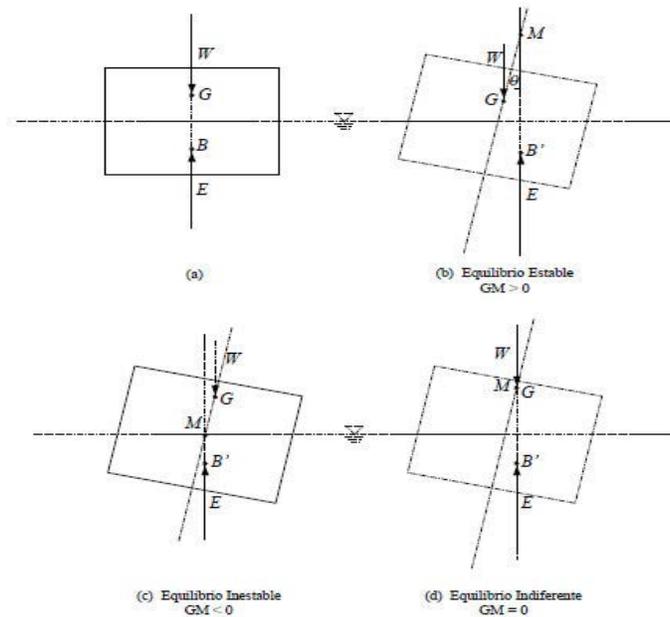


Fig. 33 Condiciones de equilibrio [9]

Cuando la escora toma un ángulo mayor a  $12^\circ$ , el punto M deja de ser fijo, por lo que el segmento  $GM$  deja de ser válido. Las curvas de estabilidad intacta suponen la aplicación de un momento con respecto al centro de empuje (B), en donde el nuevo segmento  $GZ$  surge de la aplicación de escora a la estructura. Este segmento es conocido como brazo adrizante o escorante, según sea el caso.

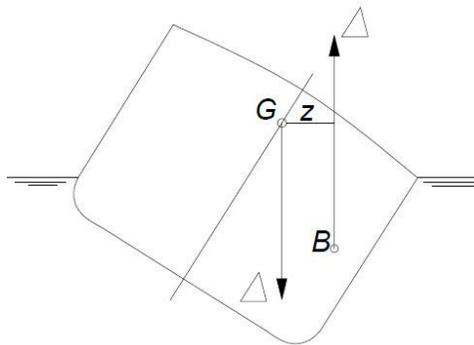


Fig. 34 Segmento GZ [7]

Analizando los valores de brazo adrizante en función del ángulo de escora obtendremos una curva conocida como curva de brazos adrizantes. En esta curva los brazos adrizantes crecen hasta un punto máximo, para luego descender hasta anularse y volverse brazos escorantes. El punto donde los brazos adrizantes se anulan se conoce como alcance de estabilidad.

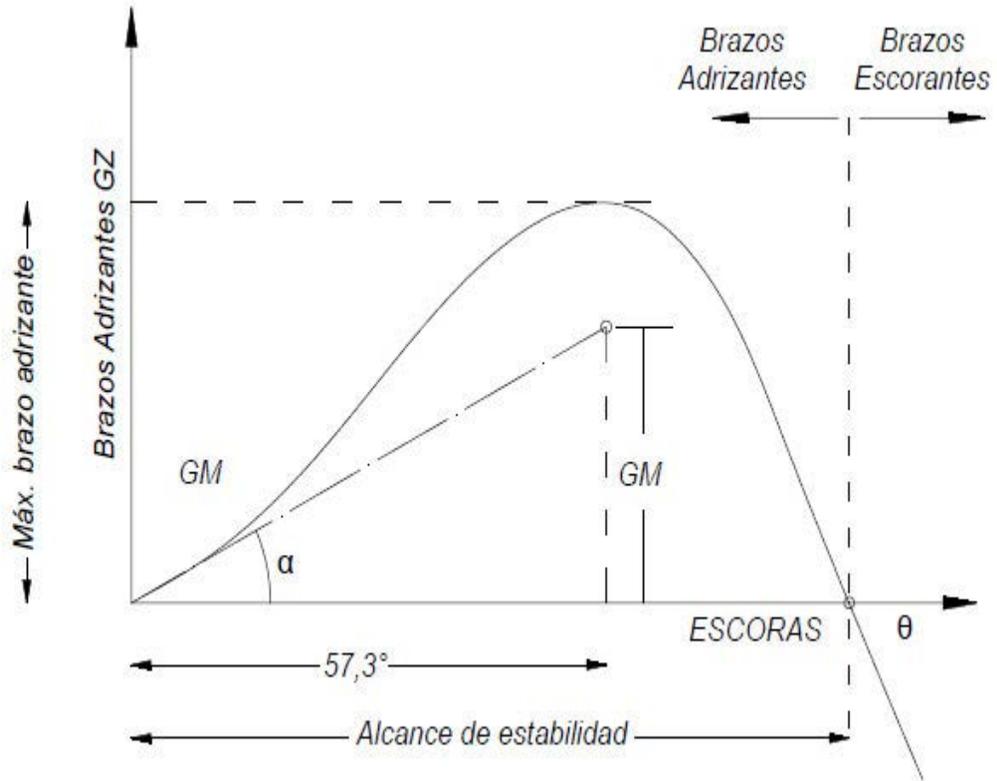


Fig. 35 Curva de estabilidad GZ

#### 4.4.3 Seakeeping

Describe el comportamiento en el mar, y su objetivo es el estudio y análisis de la respuesta al oleaje. Si bien el fenómeno de oleaje se considera irregular, cuando la masa de agua comienza a recibir la transferencia del viento sobre su superficie, llega a un estado de equilibrio en donde el oleaje no sigue aumentando.

El movimiento se puede descomponer en 6 grados de libertad, llamados movimientos desacoplados, que son definidos con relación a un sistema de referencia ubicado en el centro de gravedad de la estructura.

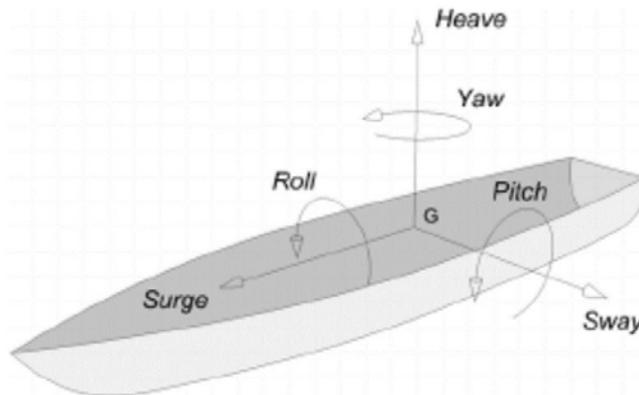


Fig. 36 Grados de libertad para una estructura. Fuente: [www.researchgate.net](http://www.researchgate.net)

La principal herramienta para el análisis de seakeeping es la llamada Teoría espectral, que considera un oleaje compuesto por un espectro de olas, que es en realidad la sumatoria de una gran cantidad de olas regulares con distintas altura y longitudes que, al interferirse entre sí, recrean un oleaje irregular típico.

Para este caso se utilizará el espectro de JONSWAP, que surge en 1973 como resultado de un proyecto realizado por varios países en el Mar del Norte. Es válido para fetchs cortos, por lo que corresponde a oleajes parcialmente desarrollados, además es significativo en aguas poco profundas.

El espectro es representado por la siguiente ecuación:

$$S^+(\omega) = \frac{ag^2}{\omega^5} e^{\frac{-5(\omega_m^4)}{4(\omega^4)}} \gamma^\delta \quad (4.3) [17]$$

Donde:

- $\omega$  = Frecuencia en rad/s
- $\omega_m$  = Frecuencia modal
- $a = 0.076 \bar{x}^{(-0.22)}$
- $\delta = \frac{(\omega - \omega_m)^2}{2\sigma^2 \omega_m^2}$
- $\bar{x} = \frac{gx}{U^2}$
- $U$  = Velocidad del viento (m/s)
- $x$  = Fetch (m)

La respuesta oscilatoria de la estructura ante las diferentes olas se mide según la función de transferencia RAO (*Response Amplitude Operator*). Esta respuesta relaciona la amplitud máxima de la oscilación, dividida por la altura de la ola que incide en la estructura. La función RAO se determina de forma experimental o mediante software resolviendo la llamada Teoría de Fajas, que corresponde a una serie de ecuaciones diferenciales de movimiento considerando olas regulares.

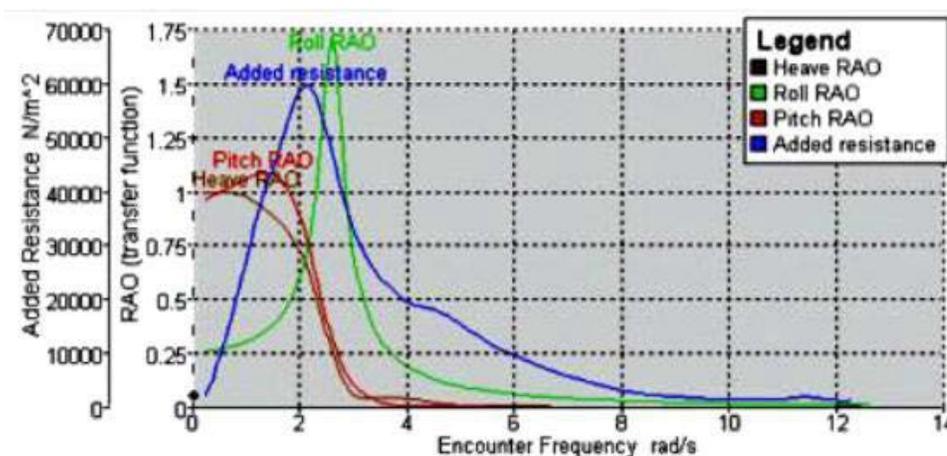


Fig. 37 Ejemplo de Función RAO [15]

La teoría supone que un cuerpo flotador cualquiera, como un cuerpo rígido esbelto, es decir, su relación entre eslora y manga es alta, flotando sobre una superficie homogénea de un fluido ideal y suponiendo un flujo potencial. Se supone que el problema de las oscilaciones del cuerpo es lineal, es decir, que la respuesta frente a una ola es una función recta solo dependiendo de la amplitud de la ola, para una determinada frecuencia. Además, solo se toma en cuenta las fuerzas o presiones solo en la zona sumergida, despreciando así el efecto por encima de la línea de flotación.

Para esto, se divide el buque en franjas o fajas, independientes entre ellas y calculando las fuerzas que actúan sobre ellas integrando a lo largo de la eslora, para así obtener el efecto sobre todo el volumen sumergido.

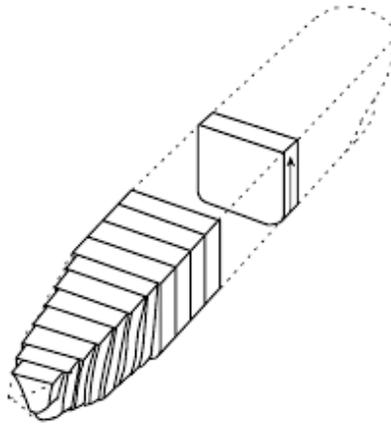


Fig. 38 Representación de un buque mediante Teoría de Fajas

Mediante la forma experimental se utiliza un modelo a escala reducida que, ofrece resultados que mediante la forma teórica sería inexacto calcular. Para esto se necesita un tanque de prueba con capacidad de generar olas.

En este tipo de ensayos, la escala juega un papel fundamental y la interpretación de esta a la hora de determinar los resultados.

Las principales escalas usadas en Tanques de Prueba [ 15] son:

- Escala para longitudes:  $L_b/L_m = \lambda$
- Escala para áreas:  $A_b/A_m = \lambda^2$
- Escala para volúmenes en general:  $Vol_b/Vol_m = \lambda^3$
- Velocidades:  $V_b/V_m = \sqrt{\lambda}$
- Periodo de oscilación (tiempo):  $(T)_b/(T)_m = \sqrt{\lambda}$
- Frecuencias:  $(\omega_e)_b/(\omega_e)_m = 1/\sqrt{\lambda}$
- Ángulos:  $(\beta)_b/(\beta)_m = 1$
- Aceleraciones de traslación:  $a_b/a_m = 1$
- Aceleraciones angulares:  $\alpha_{ang\ b}/\alpha_{ang\ m} = 1/\sqrt{\lambda}$
- Función RAO de Heave:  $(Z_a/h_a)_b/(Z_a/h_a)_m = 1$
- Funciones RAO angulares, dimensionales (Pitch y Roll):  $(\Phi_a/h_a)_b/(\Phi_a/h_a)_m = 1/\lambda$
- Funciones RAO angulares, adimensionales:  $(\Phi_a/kh_a)_b/(\Phi_a/kh_a)_m = 1$



Fig. 39 Ensayo de seakeeping. Fuente: [www.oossanen.nl](http://www.oossanen.nl)

## 4.5 Determinación de cargas

Un muelle flotante, así como toda obra de ingeniería, está sometida a fuerzas externas que producen ciertos esfuerzos en la estructura, y debe ser capaz de soportarlos con cierto margen de seguridad.

Cada uno de los esfuerzos puede, en combinación con otro o no, causar que la estructura se dañe y propicie algún desastre, a continuación, se nombrará los esfuerzos de mayor relevancia a la hora de comenzar la etapa de proyecto.

### 4.5.1 Peso propio

Toda carga permanente, es decir, toda acción cuya variación el tiempo es despreciable en relación con sus valores medios, o aquellas cuya variación tienda a un valor constante.

Material	(kg/m <sup>3</sup> )
Acero laminado	7.850
Grava y arena húmeda	1.850
Grava y arena seca	1.750
Hormigón sin armar	2.400
Hormigón armado	2.300
Carbón (finos)	898 - 1.000
Ciprés de Las Guaitecas (densidad anhidra)	470
Pino radiata (densidad anhidra)	450

Fig. 40 Tabla de densidades [3]

### 4.5.2 Impacto de embarcaciones

El impacto de embarcaciones contra un costado de la estructura representa una de las cargas laterales más influyente. Los tipos de impacto que se pueden presentar son:

- a) Por la cuarta de la embarcación, con un cierto ángulo con respecto a la estructura
- b) Impacto lateral, ósea, en paralelo a la banda de la estructura.
- c) De punta, es muy poco probable aún en caso de accidente.

Por lo tanto, diseñar una estructura capaz de soportar un choque de proa o popa es económicamente injustificable. Así mismo, la condición más repetida de impacto es por la cuarta, por lo que, es la más influyente a la hora de diseñar. En cualquier caso, el impacto no es transmitido directamente a la estructura, sino que primero se enfrenta al sistema de defensas del pontón.

Para calcular la energía generada por un impacto entre estructura y embarcación, se pueden considerar dos componentes de energía, uno trasversal y otro longitudinal.

$$E_T = \frac{W}{2g} (v \operatorname{sen}\alpha)^2 \quad [Nm] \quad (4.4) [3]$$

$$E_L = \frac{W}{2g} (v \operatorname{cos}\alpha)^2 \quad [Nm] \quad (4.5) [3]$$

Donde:

$W$ : Peso de la embarcación [N]

$g$ : Aceleración de gravedad [ $m/s^2$ ]

$v$ : Velocidad de atraque de la embarcación [m/s]

$\alpha$ : Ángulo de impacto [rad]

Considerando que se puede demostrar que la mitad de la energía la absorbe el agua y la otra mitad es absorbida por las defensas de la estructura, y que la componente más desfavorable es la transversal, se puede establecer como energía de diseño la siguiente ecuación:

$$E = \frac{W}{4g} (v \operatorname{sen}\alpha)^2 \quad [Nm] \quad (4.6) [3]$$



Fig. 41 Embarcación en proceso de atraque, Málaga

### 4.5.3 Viento

Su efecto es más que nada longitudinal con respecto a la estructura, estimándose este entonces como el eje menos favorable. Las acciones perpendiculares entonces pueden provocar succiones o presiones.

La fuerza ejercida sobre la estructura por motivo del viento es calculada mediante la siguiente ecuación:

$$F_V = \frac{\rho_a}{2} C_a V_v^2 A_v \quad [N] \quad (4.7) [3]$$

Donde:

$F_V$ : Fuerza producida por el viento

$\rho_a$ : Densidad del aire [ $\text{kg/m}^3$ ]

$C_a$ : Coeficiente resistivo del aire

$V_v$ : Velocidad del viento [ $\text{m/s}$ ]

$A_v$ : Área de la construcción perpendicular al viento [ $\text{m}^2$ ]

### 4.5.4 Presión hidrostática

Esta presión se distribuye por toda la obra viva de los pontones (costados y fondo). Por si sola la presión hidrostática no ejerce mucha influencia, pero si es recomendable considerarla en conjunto con las demás fuerzas que existen.

$$P_H = \rho z \quad [\text{Pa}] \quad (4.8) [3]$$

Donde:

$\rho$ : Peso específico del agua [ $\text{N/m}^3$ ]

$z$ : Calado [ $\text{m}$ ]

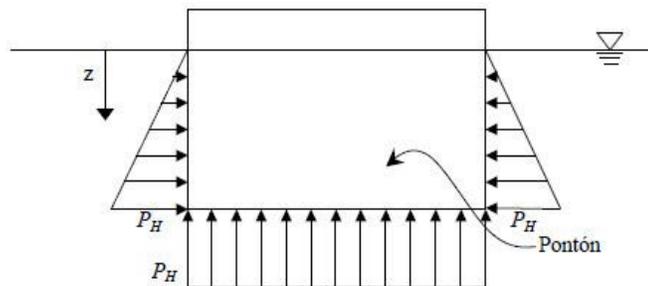


Fig. 42 Presión hidrostática sobre un cuerpo [9]

#### 4.5.5 Corrientes de agua

Las corrientes arrastran o trasladan masas de agua y su origen se puede atribuir a las olas, el roce del viento con la superficie del agua o el desplazamiento de masas de agua debido a las mareas u ondas internas.

La magnitud de la fuerza provocada por las corrientes suele ser importante cuando el emplazamiento se encuentra cerca de desembocaduras o entradas de agua.

$$F_c = \frac{\rho}{2} C_a V_c^2 A_c \quad [N] \quad (4.9) [3]$$

Donde:

$F_c$ : Fuerza producida por la corriente [N]

$\rho$ : Densidad del agua [kg/m<sup>3</sup>]

$C_a$ : Coeficiente resistivo del agua

$V_c$ : Velocidad de la corriente [m/s]

$A_c$ : Área de la construcción perpendicular a la corriente [m<sup>2</sup>]

#### 4.5.6 Oleaje

Las olas son movimientos ondulatorios como resultado de la perturbación del equilibrio en el líquido, causada por fuerzas externa o el cambio de presión.

Cuando las olas encuentran en su camino obstáculos físicos, sufren alteraciones en sus características. Se distinguen los siguientes fenómenos:

- *Refracción*: Es la variación de la dirección de propagación del oleaje debido al cambio de profundidad.
- *Reflexión*: La ola se refleja como producto del encuentro con una barrera vertical, como resultado se obtiene una pérdida de energía que produce una ola estacionaria con una altura dos veces mayor a la ola incidente.
- *Difracción*: La ola cambia el Angulo de propagación debido a gradientes de la altura de la ola. Es el paso de la ola a aguas protegidas, detrás de un obstáculo. En un comienzo la ola no aparece, pero luego reaparece como un pequeño sistema de olas con una altura menor al de la ola incidente en el obstáculo.
- *Shaoling*: Es la variación de la altura como efecto de la reducción de profundidad. Típicamente se ve sobre una playa.

- *Fetch*: Se define como la máxima región no interrumpida en la cual la dirección del viento es constante, o también como la máxima distancia limpia que tendría el viento para recorrer una zona sin obstáculos. Esta distancia es importante, dado que si es muy extensa la fricción con el viento produce un aumento en la altura de la ola.
- *Ola significativa*: Representado como  $H_{1/3}$  y se define como una ola hipotética que tiene una altura y periodo respectivamente igual a los valores medios de las olas que comprenden el 1/3 más grande de un tren de olas.

La fuerza debido a la ola se puede descomponer en dos componentes, uno considerando la altura significativa de la ola y otra con respecto al arrastre de la ola

$$F_o = F_{wd} + F_a \quad [N] \quad (4.10) [3]$$

$$F_{wd} = \rho g L \frac{H_s^2}{16} \quad [N] \quad (4.11) [3]$$

$$F_a = C_a \frac{\rho}{2} A_0 V_0^2 \quad [N] \quad (4.12) [3]$$

Donde:

$F_o$ : Fuerza de olas

$F_{wd}$ : Fuerza de desplazamiento

$F_a$ : Fuerza de arrastre

$\rho$ : Densidad del agua [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

$g$ : Aceleración de gravedad [ $\text{m}/\text{s}^2$ ]

$L$ : Eslora nave de diseño [m]

$H_s$ : Altura significativa de ola [m]

$C_a$ : Coeficiente resistivo del agua

$V_0$ : Velocidad orbital [m/s]

$A_0$ : Área expuesta a la ola [ $\text{m}^2$ ]

## 4.6 Elementos estructurales

El cálculo de los elementos estructurales es una de las partes primordiales a la hora de determinar la capacidad de carga de la estructura, pues esta es quien determina la rigidez necesaria para soportar la acción de las fuerzas.

Para esto existen reglamentos que buscan establecer el mínimo de elementos para asegurar que la estructura sea resistente y ofrezca seguridad ante la acción de cargas externas. Además, se pueden realizar análisis estructurales mediante software, a fin de esclarecer dudas sobre alguna zona de interés dentro de la estructura.

## 4.7 Normativa aplicable a la construcción de muelles flotantes

Si bien en Chile no existen normas propias para la construcción de estructuras flotantes, se opta por cumplir con normas internacionales que han sido utilizadas en la construcción de otras estructuras de esta clase. Algunas de las normas utilizadas son las siguientes:

- a) Technical standars and commentaries for Port and Harbour facilities in Japan
- b) Maritime Structures, Part 8: Code of practice for desing of Ro-Ro ramps, linkspans and walkways
- c) Rules for classification of Floating Dock, Det Norske Veritas

## 4.8 Evaluación de criterios

Se debe de verificar si se cumple con los criterios establecidos al comienzo de la fase de diseño del muelle. Añadiendo, si se desea, un coeficiente de seguridad para asegurar así un correcto funcionamiento.

### 4.8.1 Criterio de resistencia estructural

Como criterio se utilizará *Floating Ports; Desing and construction practices* [12] en donde la estructura deberá soportar un 10% de carga máxima extra, además de ser poseer un 5% más de las dimensiones recomendadas. Además, deberá cumplir con los criterios de construcción de la casa clasificadora Det Norske Veritas.

### 4.8.2 Criterio de estabilidad

La estructura deberá ser estable ante todas las condiciones generales establecidas por la IMO (*International Maritime Organization*) en la resolución A.749(18) *Código de estabilidad sin avería para todos los tipos de buques*, en su capítulo n°3.

## 5. Diseño de un muelle flotante

Como se habló anteriormente, a la hora de considerar un muelle flotante se deben de tener en cuenta algunos factores que podrían entorpecer el funcionamiento de esté.

### 5.1 Geo ubicación

La proyección de este muelle flotante se realizó para Lago Ranco, un pequeño pueblo a las orillas del Lago Ranco. La intención es ocupar un muelle de paseo ya existente en el lugar y adherir un muelle flotante que se ubicara a la altura del lago.



*Fig. 43 Ubicación de Lago Ranco. Fuente: Google Maps*



*Fig. 44 Muelle de Lago Ranco. Fuente: www.welcomechile.com*

## 5.2 Nave de diseño

La nave de diseño será una embarcación de paseo para 50 personas. Las características generales de la embarcación son las siguientes:

Características Generales		
Eslora	11,57	m
Manga	3,54	m
Puntal	1,6	m
Calado	1	m
Desplazamiento	20	Ton
Peso	80	Ton

*Fig. 45 Tabla de características generales*



*Fig. 46 Modelo 3D nave de diseño. Fuente: Elaboración propia*

## 5.3 Servicios

Para este muelle se considerarán los servicios correspondientes al atraque de embarcaciones, como lo son bitas y sogas.

## 5.4 Vientos

Se realizó una estimación de la velocidad del viento que afectara a la estructura. Esta estimación se realizó gracias al explorador eólico de la Universidad de Chile, que permite determinar este dato en cualquier lugar del país. En base a estas mediciones se calcularán las fuerzas que afectarán al muelle. Los resultados son los siguientes:

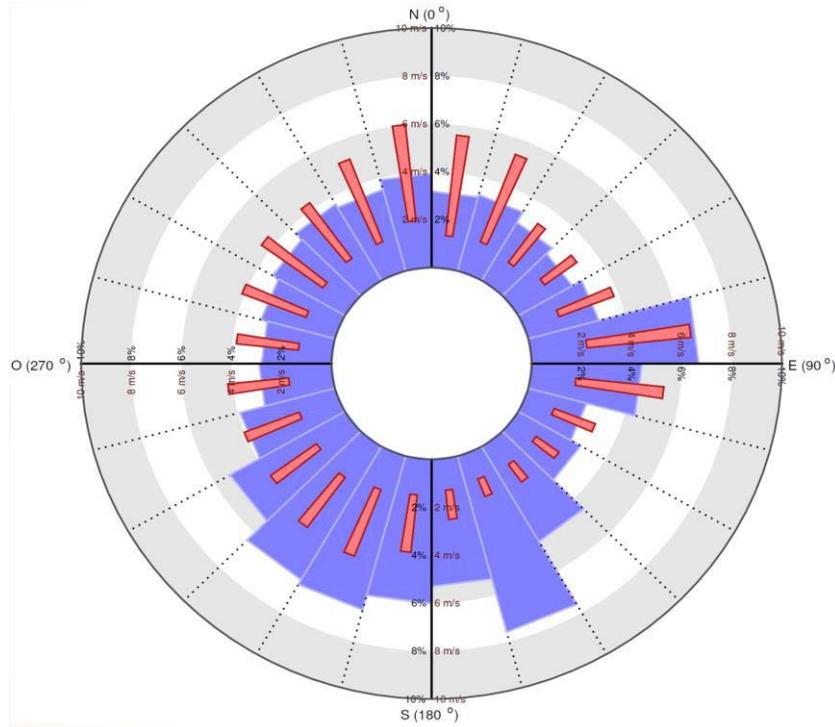


Fig. 47 Rosa de los vientos. Fuente: Explorador eólico Universidad de Chile

Mes	Medio Diario m/s	Mínimo Diario m/s	Máximo Diario m/s	Variabilidad m/s
Enero	2.5 ± 0.4	0.6 ± 0.1	5.0 ± 0.9	1.1 ± 0.4
Febrero	3.1 ± 0.6	0.7 ± 0.1	6.2 ± 1.2	1.1 ± 0.4
Marzo	2.2 ± 0.4	0.6 ± 0.1	4.4 ± 0,8	1.1 ± 0.4
Abril	3.0 ± 0.5	0.8 ± 0.1	5.8 ± 1.1	1.7 ± 0.6
Mayo	2.5 ± 0.5	0.7 ± 0.1	4.5 ± 0.8	1.4 ± 0.5
Junio	3.6 ± 0.7	1.2 ± 0.2	6.7 ± 1.2	1.7 ± 0.6
Julio	4.2 ± 0.8	1.5 ± 0.3	7.1 ± 1.3	1.7 ± 0.6
Agosto	3.9 ± 0.7	1.2 ± 0.2	6.8 ± 1.2	2.3 ± 0.8
Septiembre	2.3 ± 0.4	0.6 ± 0.1	4.8 ± 0.9	0.9 ± 0.3
Octubre	2.3 ± 0.4	0.6 ± 0.1	4.5 ± 0.8	1.1 ± 0.4
Noviembre	3.2 ± 0.6	1.0 ± 0.2	5.9 ± 1.1	1.0 ± 0.4
Diciembre	2.7 ± 0.5	0.8 ± 0.1	5.2 ± 0.9	1.3 ± 0.5

Fig. 48 Velocidad del viento según mes. Fuente: Explorador eólico Universidad de Chile

## 5.5 Mareas

Al ser el lugar de ubicación un lago, este no presenta variaciones de marea diariamente, pero a nivel estacional si puede presentar variaciones en el nivel del lago, que según los datos recopilados a lugareños aumenta entre 0.8 a 1.2 metros más en la estación de invierno debido a las constantes lluvias.

## 5.6 Propuesta de estructura

El diseño estructural se realizará en base a la casa clasificadora Det Norske Veritas (DNV) su reglamento *Rules for Classification of Floating Docks* [13].

Las características generales del pontón son las siguientes:

Pontón	
Eslora	19 m
Manga	5 m
Puntal	2 m
Calado	1,2 m
Desplazamiento	114 Ton

Fig. 49 Características generales

Según el reglamento existen dos tipos de estructuras flotantes de acero que pueden ser consideradas como pontón flotante:

- *Caisson type*: Muelle que presenta casco continuo, y está unido a la cubierta.
- *Pontoon type*: Muelle que presenta casco discontinuo unido a una cubierta continua de forma permanente o separable.

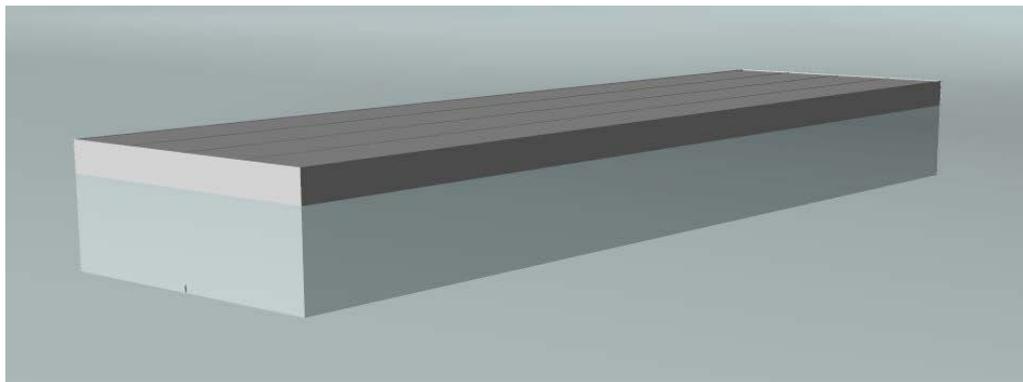


Fig. 50 Muelle tipo Caisson

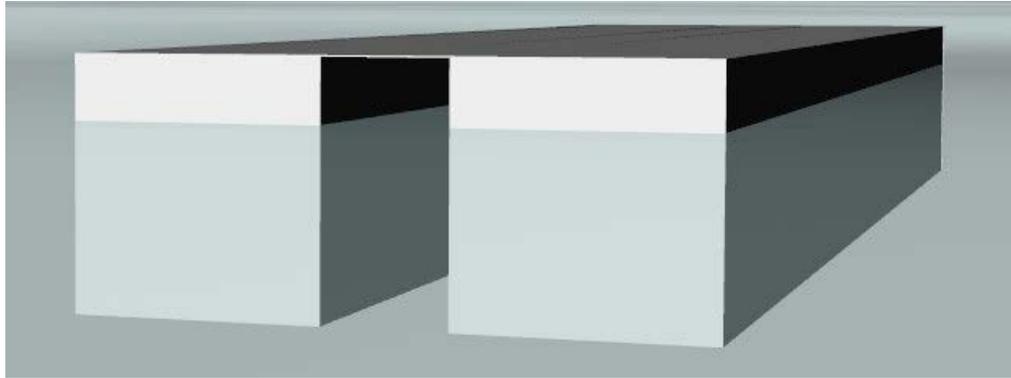


Fig. 51 Muelle tipo Pontoon

Para este caso se usará una estructura tipo *caisson*, pues este permite una mayor estabilidad. Además, se considerará fijar el muelle a su lugar mediante 2 pilotes de acero.

Las presiones de diseño igual estarán dadas según reglamento.

- *Sea pressure*: La presión de diseño  $p_e$  que actúa sobre los costados del muelle, la parte inferior y la cubierta se tomara como:

$p_e$ : Presión estática en  $\text{kN/m}^2$  que actúa en los paneles exteriores de los muelles cuando el calado es máximo. [13]

$$p_e = \rho gh \quad (5.1)$$

Donde:

$\rho$ : Densidad del agua [ $\text{kg/m}^3$ ]

$g$ : Fuerza de gravedad [ $\text{m/s}^2$ ]

$h$ : Calado [m]

$p_e$	11,8	$\text{kN/m}^2$
$\rho$	1000	$\text{kg/m}^3$
$g$	9,81	$\text{m/s}^2$
$h$	1,2	m

- Presión en cubierta: La presión de diseño actuando en la cubierta no será menos que:

$$p_e = 5.0 \text{ kN/m}^2 \text{ en la cubierta superior o en cubiertas de caserío}$$

El espesor del planchaje está dado por la siguiente ecuación:

$$t = 15.8 k_a s \sqrt{\frac{p}{\sigma}} + t_k \text{ [mm]} \quad (5.2)$$

Donde:

$k_a$ : Factor de corrección por aspecto del panel

$s$ : Separación entre refuerzos

$p$ : Presión de diseño

$\sigma$ : Esfuerzo de flexión nominal

$t_k$ : Factor de corrección por corrosión

Bottom	t	16	mm
Deck	t	10	mm
Lateral	t	10	mm

$k_a$	0,95
$s/l$	0,5
$s$	2,5
$p$	6
$p_{bottom}$	15
$\sigma_{bottom}$	120
$\sigma_{deck}$	160
$t_k$	3

El módulo de sección requerido para los refuerzos se calculará con la siguiente ecuación:

$$Z = \frac{1000}{\sigma_m} l^2 s p w_k [\text{cm}^3] \quad (5.3)$$

Donde:

$m$ : Factor por momento flector

$l$ : Longitud del refuerzo

$w_k$ : Factor por corrosión

Longitudinal Stiffeners		
Z	25,63	cm <sup>3</sup>
Frames		
Z	393,75	cm <sup>3</sup>

$I_{stiffeners}$	2,5
$I_{frames}$	4
$O$	160
$m_{stiffeners}$	12
$m_{frames}$	10
$S_{stiffeners}$	0,5
$S_{frames}$	2,5
$p$	15
$wk$	1,05

Se presenta un resumen del diseño estructural:

Plancha de costado	t	12	mm
Plancha de fondo	t	16	mm
Plancha de cubierta	t	12	mm
Mamparos	t	12	mm
Refuerzo longitudinal	z	36,68	Pl. 50x10
Frames	z	473,13	L 200x150x12

Item	Cantidad	h (cm)	b (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Y (cm)	AY (cm <sup>3</sup> )	$I_o$ (cm <sup>4</sup> )	d (cm)	$I_{total}$ (cm <sup>4</sup> )
Fondo	1	1,6	500	800	0,8	640	171	99,66	7945575,6
Costado	2	200	1,2	240	101,2	24288	800000	-0,74	800132,1
Cubierta	1	1,2	500	600	207,2	124320	72	-106,74	6836359,5
Longitudinales Fondo	9	50	1	50	26,2	1310	10417	74,26	286130,7
Longitudinales Costado 1	2	1	50	50	51,2	2560	4	49,26	121322,7
Longitudinales Costado 2	2	1	50	50	101,2	5060	4	-0,74	31,7
Longitudinales Costado 3	2	1	50	50	151,2	7560	4	-50,74	128740,7
Longitudinales Cubierta	9	50	1	50	176,2	8810	10417	-75,74	297258
Frames Fondo	1	20	500	10000	15,1	151000	333333	85,36	73193550,8
Frames Costado	2	160	20	3200	101,2	323840	6826667	-0,74	6828427,5
Frames Cubierta	1	20	500	10000	187,3	1873000	333333	-86,84	75748321,3
				29280		2941416			184474067

Centroide	100,46	cm
SM	1,836	m <sup>3</sup>

En cuanto al peso de la estructura, se calculó de la siguiente forma:

Item	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )	Peso/metro (kg/m)	Metros (m)	Peso unitario (kg)	Cantidad	Peso total (kg)
Fondo	7850	1,52	-	-	11932	1	11932
Costado	7850	0,46	-	-	3579,6	2	7159
Cubierta	7850	1,14	-	-	8949	1	8949
Mamparos	7850	0,12	-	-	942	5	4710
Longitudinales	-	-	0,785	19	14,915	24	358
Frames	-	-	32	14	448	4	1792
							34900

La distribución de la estructura corresponde a la siguiente:

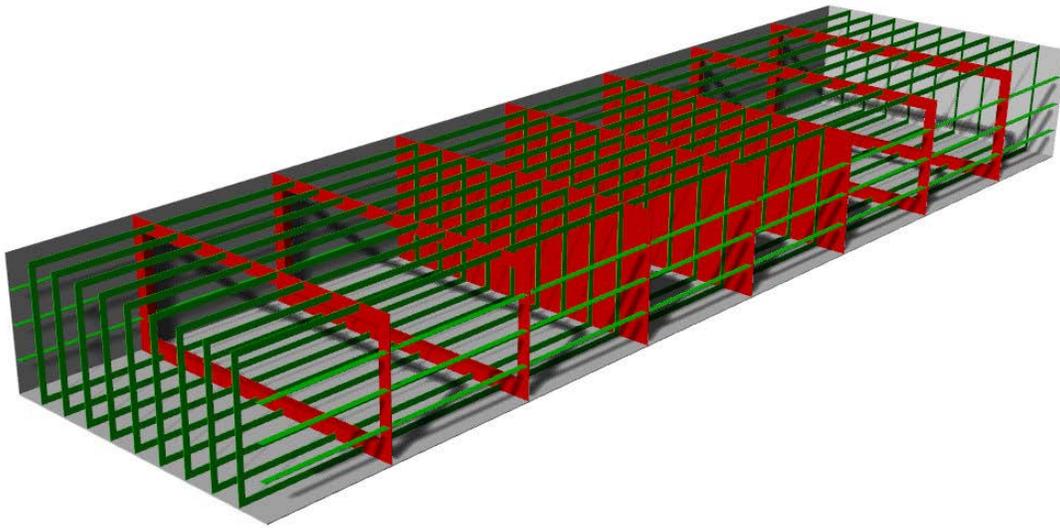


Fig. 52 Representación del modelo 3D de la estructura

## 5.7 Evaluación de criterios estructurales

A continuación, se calcularán las cargas a las que estará expuesta la estructura.

### 5.7.1 Peso propio

El peso propio de la estructura se calculó como el peso del pontón dado anteriormente más el peso de los pasamanos de seguridad.

Item	kg/m	metros	Total (kg)
Pontón	-	-	34900
Pasamanos	1,44	140	201,6
			35102

Fig. 53 Tabla de peso de la estructura

### 5.7.2 Impacto de embarcaciones

Se mide la energía recibida en el momento en que la embarcación impacta el muelle con fin de atracar en él

Energía de impacto	312	N m
--------------------	-----	-----

$W$	784800	N
$g$	9,81	m/s <sup>2</sup>
$v$	0,25	m/s
$\alpha$	0,523	rad

Fig. 54 Tabla de energía liberada en el impacto.

### 5.7.3 Viento

Según la Fig. 42 la mayor intensidad del viento se da en el mes de Julio, con una velocidad de 7.1 m/s. Mientras que el coeficiente resistivo del aire fue calculado como 2.0 según la bibliografía consultada [9]

Fuerza por viento	939	N
$\rho_a$	1,225	kg/m <sup>3</sup>
$C_a$	2	
$V_v$	7,1	m/s
$A_v$	15,2	m <sup>2</sup>

Fig. 55 Tabla de fuerza por viento

### 5.7.4 Presión hidrostática

Se determina según el calado de diseño que es 1.2 metros.

Fuerza hidrostática	11760	Pa
$\rho$	1000	kg/m <sup>3</sup>
$z$	1,2	m
$g$	9,8	m/s <sup>2</sup>

Fig. 56 Tabla de fuerza hidrostática

### 5.7.5 Corrientes de agua

Como la ubicación del pontón será en un lago, este caso no presenta fuerzas por este motivo, ya que los lagos presentan corrientes en las zonas cercanas a la desembocadura.

### 5.7.6 Oleaje

La fuerza provocada por el oleaje se descompone en otras dos fuerzas que actúan en conjunto.

Fuerza por desplazamiento	2648,7	N
Fuerza por arrastre	0,09	N
Fuerza por olas	2648,8	N
$\rho$	1000	kg/m <sup>3</sup>
$g$	9,81	m/s <sup>2</sup>
$L$	12	m
$H_s$	0,6	m
$C_a$	1,2	
$V_o$	0,0025	m/s
$A_o$	22,8	m <sup>2</sup>

Fig. 57 Tabla de fuerzas por oleaje

## 5.8 Evaluación de criterios de arquitectura naval

### 5.8.1 Francobordo

Según el reglamento *Rules for Classification of Floating Docks* [13] de la casa clasificadora DNV, el francobordo mínimo debe cumplir con lo siguiente:

*“El francobordo mínimo a la plataforma de pontones, con el muelle en su condición de funcionamiento final con un buque correspondiente a la capacidad de carga del muelle, no deberá ser menos a 300 mm en la línea central”*

Puntal	2000	mm
Calado (máx)	1200	mm
Francobordo (min)	800	mm

Fig. 58 Tabla de Francobordo mínimo

Como se aprecia en la Fig. 51, el francobordo mínimo se da cuando el calado es máximo, y este es de 800 mm, lo cual sobrepasa los 300 mm requeridos por el reglamento.

### 5.8.2 Estabilidad

Según [13] se debe de corroborar la estabilidad para las siguientes condiciones dadas:

1. Base flotante hundida desde el francobordo mínimo hasta la cubierta superior.
2. Base flotante en condiciones finales de trabajo

La estructura por sí sola no obtiene el calado requerido en el diseño, por lo que se le han agregado 4 estanques de lastre ubicados en el centro de esta, además de un lastre solido de cemento en los extremos.

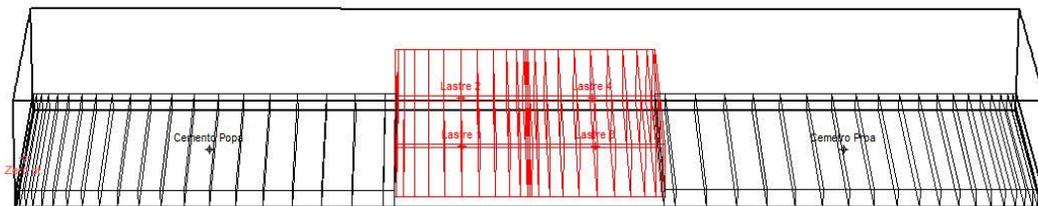


Fig. 59 Representación de lastre en la estructura

A continuación, se evaluarán las condiciones antes dadas, con los criterios de estabilidad dados por la IMO:

1. “Base flotante hundida desde el francobordo mínimo hasta la cubierta superior”

Item	Cantidad	Peso (ton)	Volumen (m <sup>3</sup> )	CG Long.	CG Trans.	CG Vert.
Estructura	1	35,1		9,5	0	1
Lastre 1	100%	6,25	6,25	8,25	1,25	0,7
Lastre 2	100%	6,25	6,25	8,25	-1,25	0,7
Lastre 3	100%	6,25	6,25	10,75	1,25	0,7
Lastre 4	100%	6,25	6,25	10,75	-1,25	0,7
Cemento Popa	1	25,3		3,5	0	0,16
Cemento Proa	1	25,3		15,5	0	0,16
Total		110,7	25	9,5	0	0,548
VCG						0,548

Fig. 60 Tabla de pesos

Heel to Starboard deg	0	10	20	30	40	50	60	70
GZ m	0	0,32	0,66	0,88	0,94	0,92	0,85	0,74
Area under GZ curve from zero heel m.deg	0	1,58	6,52	14,37	23,58	32,91	41,76	49,72
Displacement t	110,7	110,7	110,7	110,7	110,7	110,7	110,7	110,7
Draft at FP m	1,17	1,17	1,17	1,24	1,35	1,49	1,72	2,14
Draft at AP m	1,17	1,17	1,17	1,24	1,35	1,49	1,72	2,14
WL Length m	19	19	19	19	19	19	19	19
Beam max extents on WL m	5	5,08	5,10	4	3,11	2,61	2,31	2,13
Wetted Area m <sup>2</sup>	150,93	150,93	153,54	160,35	160,35	160,34	160,33	160,31
Waterpl. Area m <sup>2</sup>	95	96,47	96,83	76	59,12	49,61	43,88	40,44
Prismatic coeff. (Cp)	1	1	1	1	1	1	1	1
Block coeff. (Cb)	1	0,73	0,59	0,63	0,71	0,78	0,84	0,89
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5
Max deck inclination deg	0	10	20	30	40	50	60	70
Trim angle (+ve by stern) deg	0	0	0	0	0	0	0	0

Fig. 61 Tabla de estabilidad intacta

Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
3.1.2.1: Area 0 to 30	3,151	m.deg	14,37	Pass	356
3.1.2.1: Area 0 to 40	5,157	m.deg	23,58	Pass	357
3.1.2.1: Area 30 to 40	1,719	m.deg	9,21	Pass	436
3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater	0,2	m	0,94	Pass	370
3.1.2.3: Angle of maximum GZ	25	deg	40,90	Pass	64
3.1.2.4: Initial GMt	0,15	m	1,82	Pass	1115
3.1.2.5: Passenger crowding: angle of equilibrium	10	deg	0,80	Pass	92

Fig. 62 Tabla análisis de criterios de estabilidad

## 2. “Base flotante en condiciones finales de trabajo”

Item	Cantidad	Peso (ton)	Volumen (m <sup>3</sup> )	CG Long	CG Trans.	CG Vert.
Estructura	1	35,1		9,5	0	1
Lastre 1	100%	6,25	6,25	8,25	1,25	0,7
Lastre 2	100%	6,25	6,25	8,25	-1,25	0,7
Lastre 3	100%	6,25	6,25	10,75	1,25	0,7
Lastre 4	100%	6,25	6,25	10,75	-1,25	0,7
Cemento Popa	1	25,3		3,5	0	0,16
Cemento Proa	1	25,3		15,5	0	0,16
Pasajeros	1	4		9,5	0	2,9
Total		114,7	25	9,5	0	0,63
VCG						0,63

Fig. 63 Tabla de pesos

Heel to Starboard deg	0	10	20	30	40	50	60	70
GZ m	0	0,3	0,612	0,804	0,852	0,824	0,751	0,646
Area under GZ curve from zero heel m.deg	0	1,47	6,07	13,28	21,65	30,07	37,98	44,99
Displacement t	114,7	114,7	114,7	114,7	114,7	114,7	114,7	114,7
Draft at FP m	1,21	1,21	1,21	1,30	1,44	1,62	1,90	2,42
Draft at AP m	1,21	1,21	1,21	1,30	1,44	1,62	1,90	2,42
WL Length m	19	19	19	19	19	19	19	19
Beam max extents on WL m	5	5,077	4,966	4	3,111	2,611	2,309	2,128
Wetted Area m <sup>2</sup>	152,95	152,95	157,14	164,77	164,77	164,75	164,74	164,42
Waterpl. Area m <sup>2</sup>	95	96,47	94,36	76	59,12	49,61	43,88	40,44
Prismatic coeff. (Cp)	1	1	1	1	1	1	1	1
Block coeff. (Cb)	1	0,73	0,61	0,64	0,72	0,78	0,84	0,89
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5
Max deck inclination deg	0	10	20	30	40	50	60	70
Trim angle (+ve by stern) deg	0	0	0	0	0	0	0	0

Fig. 64 Tabla de estabilidad intacta

Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
3.1.2.1: Area 0 to 30	3,1513	m.deg	13,2785	Pass	321,37
3.1.2.1: Area 0 to 40	5,1566	m.deg	21,65	Pass	319,85
3.1.2.1: Area 30 to 40	1,7189	m.deg	8,3715	Pass	387,03
3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater	0,2	m	0,852	Pass	326
3.1.2.3: Angle of maximum GZ	25	deg	40	Pass	60
3.1.2.4: Initial GMT	0,15	m	1,699	Pass	1032,67
3.1.2.5: Passenger crowding: angle of equilibrium	10	deg	0,8	Pass	91,87

Fig. 65 Tabla análisis de criterios de estabilidad

Las curvas GZ correspondiente a cada caso están disponibles en Anexo A.

### 5.8.3 Hidrostáticas

A continuación, se analizarán las curvas hidrostáticas para la estructura, desde un calado mínimo de 0.3 m hasta el calado de diseño 1.2 m.

Draft Amidships m	0,3	0,525	0,75	0,975	1,2
Displacement t	28,5	49,87	71,25	92,62	114
Heel deg	0	0	0	0	0
Draft at FP m	0,3	0,525	0,75	0,975	1,2
Draft at AP m	0,3	0,525	0,75	0,975	1,2
Draft at LCF m	0,3	0,525	0,75	0,975	1,2
Trim (+ve by stern) m	0	0	0	0	0
WL Length m	19	19	19	19	19
Beam max extents on WL m	5	5	5	5	5
Wetted Area m <sup>2</sup>	109,4	120,2	131	141,8	152,6
Waterpl. Area m <sup>2</sup>	95	95	95	95	95
Prismatic coeff. (Cp)	1	1	1	1	1
Block coeff. (Cb)	1	1	1	1	1
Max Sect. area coeff. (Cm)	1	1	1	1	1
Waterpl. area coeff. (Cwp)	1	1	1	1	1
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5
KB m	0,15	0,263	0,375	0,488	0,6
KG m	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63
BMt m	6,94	3,97	2,78	2,14	1,74
BML m	100,28	57,30	40,11	30,86	25,07
GMt m	6,46	3,60	2,52	1,99	1,71
GML m	99,80	56,93	39,86	30,71	25,04
KMt m	7,09	4,23	3,15	2,62	2,34
KML m	100,43	57,56	40,49	31,34	25,67
Immersion (TPc) tonne/cm	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
MTc tonne.m	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50

Fig. 66 Tabla de hidrostáticas

Las curvas hidrostáticas están disponibles en Anexo A.

#### 5.8.4 Seakeeping

El análisis de seakeeping se realizó con el programa Maxsurf, en su módulo *Motions*. Aquí se logró obtener los RAO's (Response Amplitude Operator), los cuales son utilizados para determinar la respuesta oscilatoria de la estructura ante la acción de diferentes olas regulares de diferentes frecuencias. [15]

Aplicando la Teoría de fajas, se subdivide la estructura en 38 secciones con tal de analizar el comportamiento de la estructura.

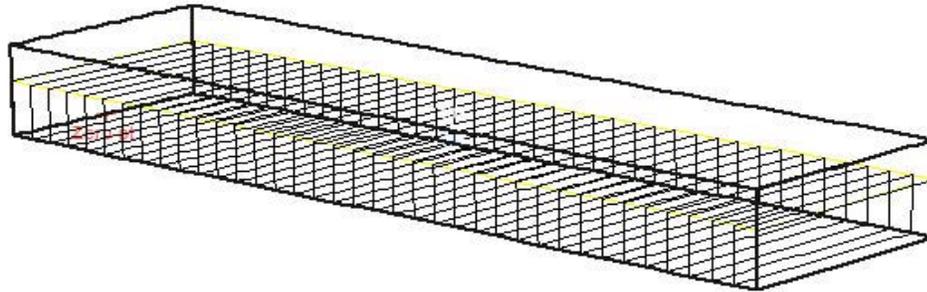


Fig. 67 Subdivisión de la estructura en 38 fajas

Para la simulación del estado de olas se utilizará el espectro de olas llamado JONSWAP, ya que este es válido para fetch cortos, lo que representa estados de mar parcialmente desarrollados y, además es significativo para aguas poco profundas, como lo son las presentes en el lago.

Item	m0	unidades	RMS	unidades
Characteristic wave height	0,5	m	--	
Spectrum type	JONSWAP		--	
Wave heading	270	deg	--	
Vessel Speed	0	m/s	--	
Vessel displacement	114	m <sup>3</sup>	Monohull	
Vessel GMt	1,136	m	--	
Pitch gyradius	4,75	m	--	
Roll gyradius	2	m	--	
Heave motion	0,016	m <sup>2</sup>	0,126	m
Roll motion	2,65	deg <sup>2</sup>	1,63	deg
Pitch motion	0,064	deg <sup>2</sup>	0,25	deg
Heave velocity	0,011	m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>	0,104	m/s
Roll velocity	0,00163	(rad/s) <sup>2</sup>	0,040	rad/s
Pitch velocity	0,00004	(rad/s) <sup>2</sup>	0,006	rad/s
Heave acceleration	0,014	m <sup>2</sup> /s <sup>4</sup>	0,119	m/s <sup>2</sup>
Roll acceleration	0,00385	(rad/s <sup>2</sup> ) <sup>2</sup>	0,062	rad/s <sup>2</sup>
Pitch acceleration	0,00009	(rad/s <sup>2</sup> ) <sup>2</sup>	0,009	rad/s <sup>2</sup>

Fig. 68 Tabla de resultados análisis de seakeeping

Las condiciones para el análisis de RAO fueron las siguientes:

Velocidad de la estructura	0 m/s
Ángulo de encuentro	270°

Fig. 69 Condiciones para el cálculo de Rao

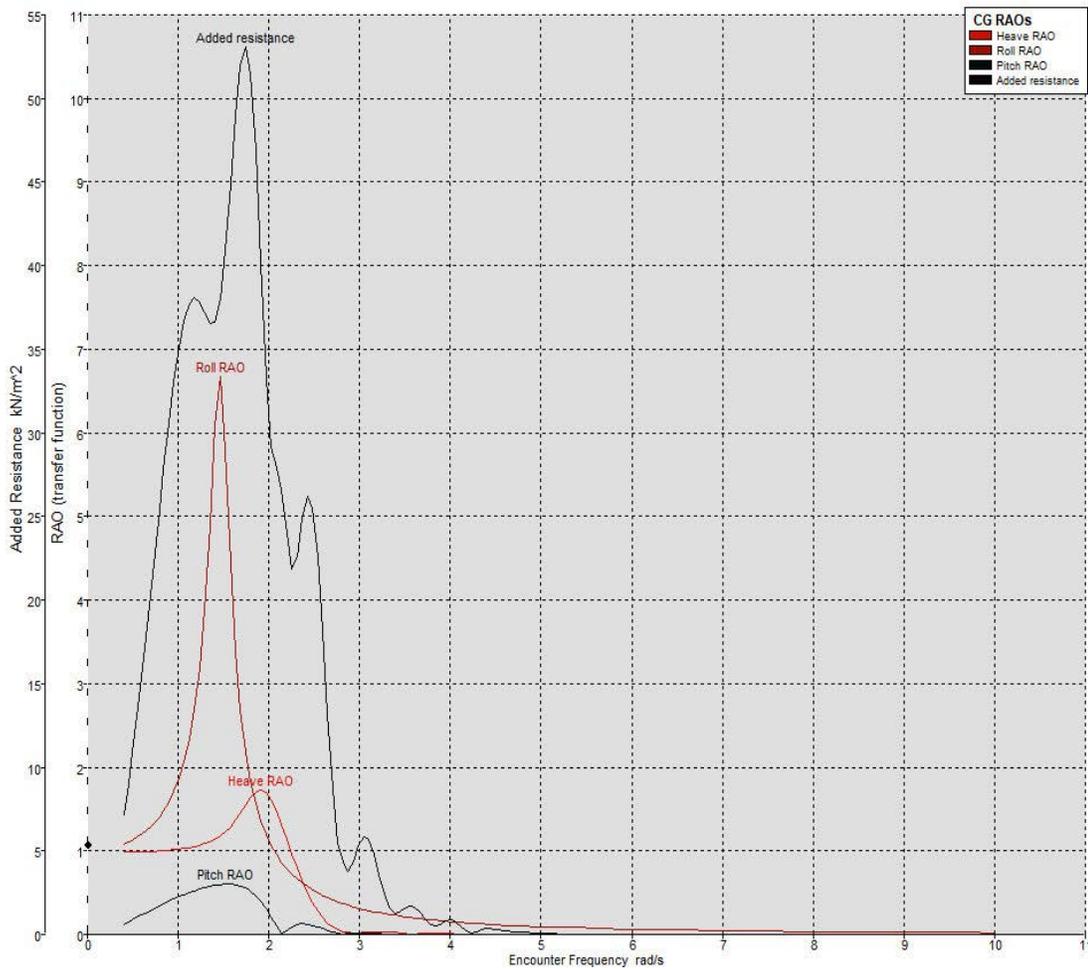


Fig. 70 Resultados del análisis de RAO's

Como resultado se puede apreciar, claramente que el Rao de Roll es el con mayor influencia, esto es debido al ángulo de encuentro entre la ola y la estructura, pues esta llega por el costado.

El mayor valor del RAO es de 6.7 y se logra cuando la frecuencia de encuentro, que en este caso es la misma que la frecuencia de la ola, es aproximadamente 1.45 rad/s, lo que equivale a una longitud de ola de 29 metros.

Con los datos anteriores y, considerando que este RAO es adimensional, se puede obtener el ángulo que tomara la estructura desde su eje central. Considerando una ola con amplitud de ola de 0.5 m, obtendremos que la estructura tendrá como respuesta un ángulo de 1.63 grados.

## 5.9 Evaluación final

En este punto se evaluarán los criterios de construcción con tal de dar por finalizado el diagrama del proyecto.

Según [12] el largo total de la estructura debe de ser igual o mayor a la eslora de la nave de diseño +  $2d$ , donde  $d$  es un valor que varía según la eslora de la nave de diseño:

Eslora nave de diseño (m)				
	> 200	200-150	149-100	< 100
d	10	7	5	3

Fig. 71 Tabla para determinar el valor  $d$  [12]

Considerando que la eslora de la nave es de aproximadamente 12 metros, el valor que corresponderá será 3, por lo que la eslora total de la estructura deberá ser 18 metros. Para la aprobación de la estructura se ha determinado que esta eslora sea un 5% mayor a lo aconsejado en la referencia, por lo que como resultado se llegaría a 18.9 metros. Para cumplir con esta exigencia se determinó un largo de 19 metros para la estructura.

En cuanto a la carga que soportara la estructura, se determinó que esta debe ser capaz de resistir un 10% más. La carga en este caso son los posibles pasajeros de la nave de diseño sobre la estructura, considerando un peso promedio de 80 kg y que la embarcación posee un máximo de 50 pasajeros, la carga equivale a 4 toneladas, por lo que un 10% de esta son 400 kg. Introduciendo este valor con una nueva carga se obtiene que el calado aumenta a 1.212 metros, ósea aumenta solo en 1.2 cm con respecto al calado de diseño, por lo que la reserva de flotabilidad de la estructura es capaz de soportar este aumento de carga.

En cuanto a los refuerzos de la estructura, estos son calculados según la casa clasificadora Det Norske Veritas, que posee una gran reputación dentro del ámbito naval.

Con esto se da por concluido el proceso de diseño del muelle flotante.

## 6. Conclusión

En base a lo desarrollado e investigado durante la presente tesis, se puede concluir que:

La construcción de este tipo de artefactos navales, como lo son los muelles flotantes, está recién surgiendo como posibilidad en nuestro país. En base a esto es que no se encuentran normativas que den directrices a la hora de enfrentar un proyecto, y es así que se deben seguir normativas internacionales, como las entregadas por la casa clasificadora Det Norske Veritas y bibliografía internacional específica sobre el tema.

Con respecto a la viabilidad de los muelles flotantes sobre uno convencional, se concluye que en zonas como lagos y/o ríos, en los que la corriente no sea un factor influyente, se podría considerar preferentemente un muelle flotante dada la facilidad de construcción que presenta por sobre uno convencional. Pero es aquí en donde entra en juego el punto anterior, dado que, frente al desconocimiento hacia este tipo de estructuras y la falta de normativas nacionales, se suele desechar la idea.

Además, cabe mencionar que un profesional como lo es un Ingeniero naval debe estar siempre a la vanguardia en cuanto a posibles soluciones constructivas en nuestra área de desarrollo.

## 7. Bibliografía

- [1] The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan, *Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan*, Daikusha Printing Co, 2002.
- [2] G. P. Tsinker, *Port Engineering: Planning, Construction, Maintenance, and Security*, John Wiley & Sons, 2004.
- [3] Dirección de Obras Portuarias, *Guía para el diseño, construcción, operación y conservación de obras marítimas y costeras*, vol. 2, 2013.
- [4] Dirección de Obras Portuarias, *Guía para el diseño, construcción, operación y conservación de obras marítimas y costeras*, vol. 3, 2013.
- [5] Dirección de Obras Portuarias, *Guía para el diseño, construcción, operación y conservación de obras marítimas y costeras*, vol. 4, 2013.
- [6] V. Streeter, E. Wylie and K. Bedford, *Mecánica de fluidos*, 9<sup>th</sup> ed., McGraw-Hill, 2000.
- [7] A. Mandelli, *Elementos de arquitectura naval*, 3<sup>rd</sup> ed., Alsina, 1986.
- [8] M. Salas and C. Troncoso, *Recomendaciones prácticas para el diseño de muelles flotantes*, Universidad Austral de Chile, Valdivia, 2016.
- [9] J. Velásquez, “*Estudio de puentes flotantes*”, Tesis, Universidad Austral de Chile, Valdivia, 2004.
- [10] E. Ocón, “*Consideraciones de ingeniería para la construcción de muelles en Cartagena de Indias*”, Tesis, Universidad de Cartagena, Cartagena de Indias, 2014.
- [11] British Standards, *Maritime Structures*, Part 8: Code of practice for the design of Ro -Ro ramps, linkspans and walways
- [12] G. P. Tsinker, *Floating Ports; Design and construction practices*, Gulf Publishing Company, 1986.
- [13] Det Norske Veritas, *Rules for Classification of Floating Docks*, 2012.
- [14] Det Norske Veritas, *Inland navigation vessels*, Part 5: Ship Types Chapter 7: Pontoons, 2015.
- [15] N. Pérez, *Apuntes de Hidrodinámica*, 2016.
- [16] Bentley System, *Maxsurf Stability User Manual*, versión 20, 2013.
- [17] Prof. F. Hover. (Fall 2009). *Design of Electromechanical Robotiv System*, [Online]. Available: [https://ocw.mit.edu/courses/mechanical-engineering/2-017j-design-of-electromechanical-robotic-systems-fall-2009/assignments/MIT2\\_017JF09\\_p04.pdf](https://ocw.mit.edu/courses/mechanical-engineering/2-017j-design-of-electromechanical-robotic-systems-fall-2009/assignments/MIT2_017JF09_p04.pdf).

# Anexo A

## “Curvas GZ y Curvas Hidrostáticas”

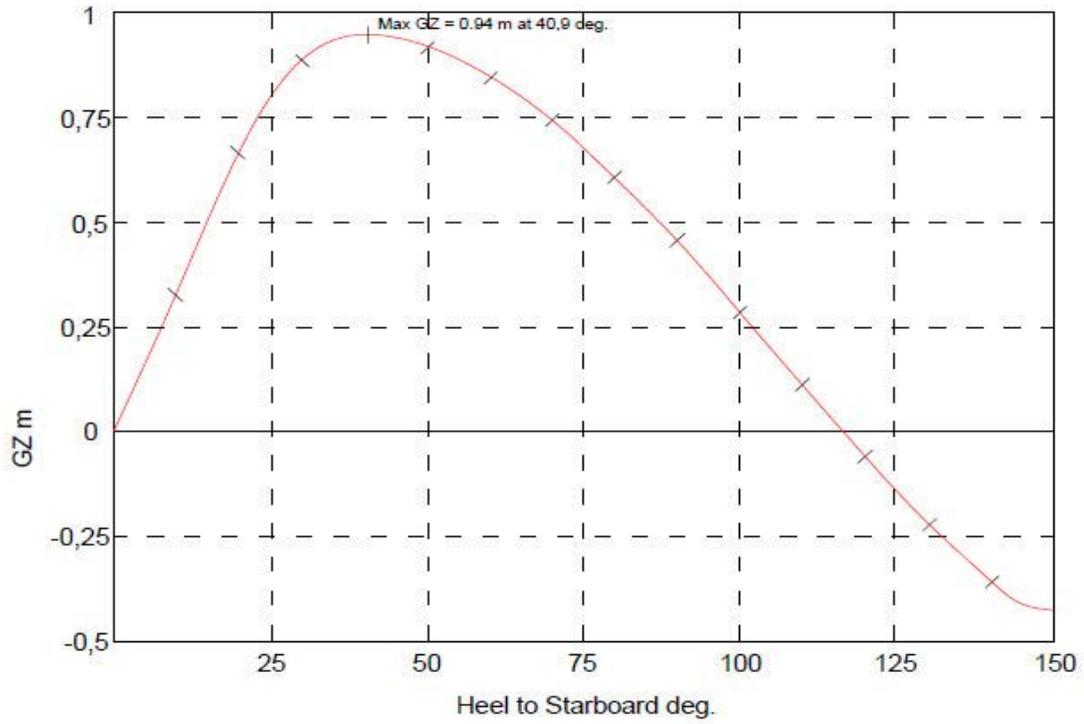


Fig. 72 Curva GZ para condición 1

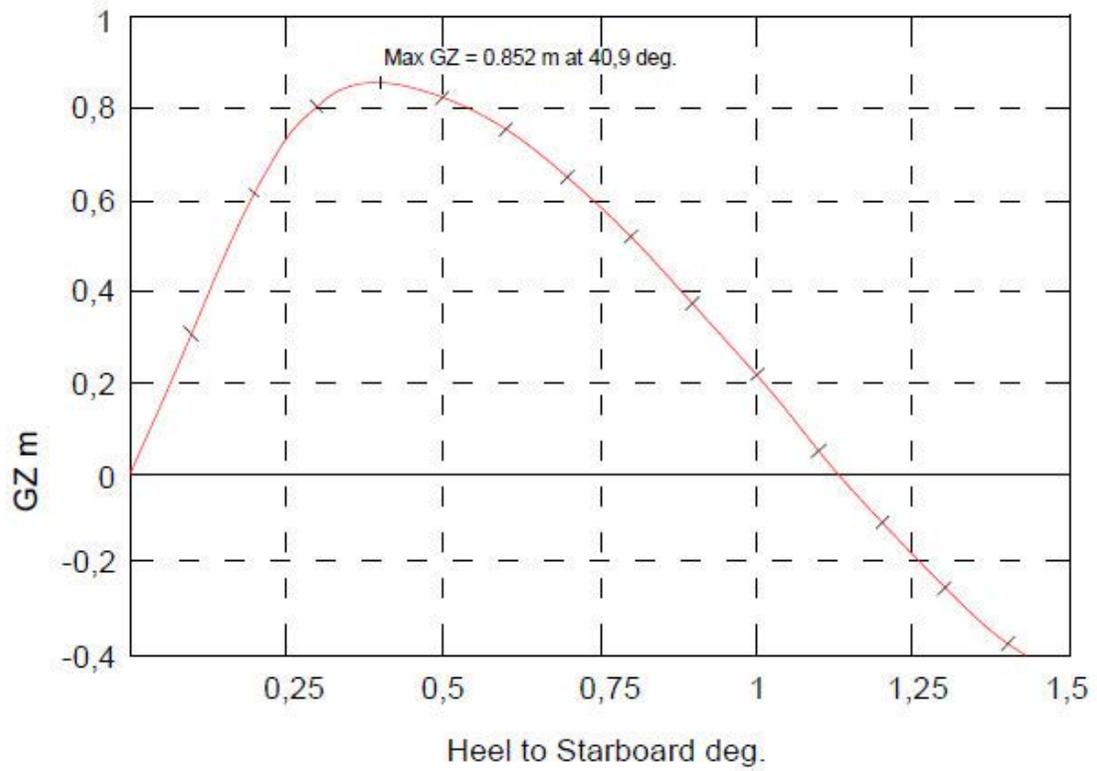
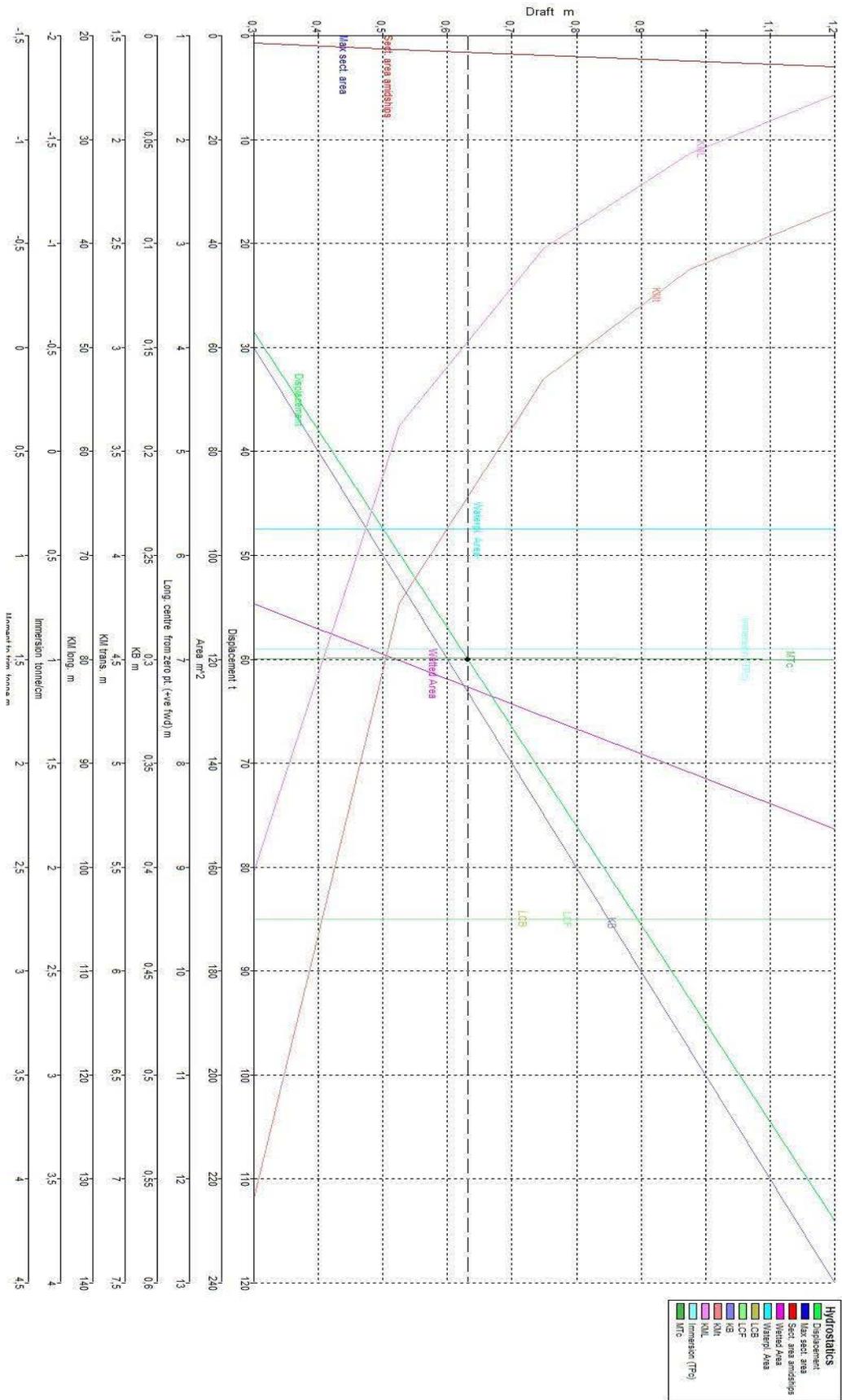


Fig. 73 Curva GZ para condición 2



# Anexo B

## “Imágenes”

