

# Universidad Nacional de Ingeniería

## Facultad de Ingeniería Mecánica



TESIS

### **Estudio del Proceso de Varado de un carro de 7 ejes para levante hasta 400 toneladas**

Para obtener el Título Profesional de Ingeniero Naval.

Elaborado por

Luis Andrés Vásquez Pachas

 [0009-0009-6830-8793](https://orcid.org/0009-0009-6830-8793)

Asesor

MSc. Cancio Nicolás Cortez Galindo

 [0009-0002-8528-0109](https://orcid.org/0009-0002-8528-0109)

LIMA – PERÚ

2023

Dedico el presente trabajo a mi madre por ser mi fuerza y empuje para mejorar y superarme, a mi hermana por ser mi gran amiga y la luz de nuestras vidas, a mis tíos por siempre enseñarme con su ejemplo además de todo el cariño brindado, y a Dios por sobre todas las cosas.

## RESUMEN

Actualmente en el rubro de astilleros se encuentran diferentes métodos de varado de embarcaciones, siendo actualmente las más convencionales los métodos tales como el syncrolift, varado en diques secos, diques flotantes, travelifts y pocos convencionales tales como el método de varado por carro varador el cual es usado mayormente por astilleros que varan embarcaciones de bajo porte, en tal sentido, poco o nada se investiga la seguridad de este método de varado, siendo un método más empírico, sin embargo, y ante la llegada de embarcaciones de mayor porte, es necesario evaluar el riesgo que este método conlleva a fin de evitar tanto pérdidas humanas, de infraestructura y de la embarcación misma, por ende, lo que se pretende es evaluar la seguridad en la varada para el caso de máxima carga a 400 toneladas, y para ello se analizarán los diferentes pasos que ocurren durante el proceso a distintas flotaciones y a diferentes fuerzas, culminando el proceso se analizará la estructura para verificar si soporta los diferentes grados de esfuerzo a los que se encuentra sometido el carro y sus componentes.

*Palabras clave:* varado, carro varador, esfuerzo estructural, seguridad en varado.

## ABSTRACT

Currently in the shipyard sector there are different methods of the vessels go ground to the shipyards, currently the most conventional being methods such as syncrolift, dry docks, floating docks, travelift and a few conventional ones such as the go ground by beaching car, which it is mainly used by shipyards that go to ground small vessels. In this sense, little or no research is done on the safety of this beaching method, being more empirical method, however, and with the arrival of larger vessels, it is necessary evaluate the risk that this method entails in order to avoid loss of life, infrastructure and the vessel itself, therefore, what is intended is to evaluate the safety of the stranding in the case of a maximum load of 400 tons, and for this the different steps that occur during the process at different floatation levels and at different forces will be analyzed, culminating in the process the structure will be analyzed to verify if it supports the different degrees of stress to which the car and its components are subjected.

*Keywords:* go to ground, go ground by beaching car, structural stress, safety on go to ground.

## INDICE

CAPITULO 1 INTRODUCCION.....	1
1.1 ANTECEDENTES REFERENCIALES .....	1
1.2 GENERALIDADES.....	3
1.3 REALIDAD PROBLEMÁTICA .....	4
1.3.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	5
1.3.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS .....	5
1.3.3 PROPUESTA DE SOLUCIÓN.....	5
1.4 OBJETIVOS .....	5
1.4.1 OBJETIVO GENERAL.....	5
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	5
CAPITULO II MARCO TEORICO.....	7
2.1 GENERALIDADES.....	7
2.1.1 CONDICIONES DE ESTABILIDAD GENERAL .....	7
2.1.2 CRITERIO DE ESTABILIDAD SIN AVERÍA .....	7
2.1.3 CRITERIO DE ESTABILIDAD DE RAHOLA.....	9
2.1.4 ESFUERZO DE CORTE.....	9
2.1.5 FLEXIÓN RECTA .....	9
2.1.6 ESFUERZO DE FLUENCIA .....	10
2.2 JUSTIFICACIÓN DE LA TESIS .....	10
2.3 GEOGRAFÍA.....	12
2.3.1 ZONA DE VARADO.....	12
2.3.2 SUPERFICIE DEL MAR .....	12
2.3.3 ESTUDIO DE LA MAREA Y ALTURA DE OLA.....	13
2.4 EQUIPAMIENTO DE VARADO.....	16
2.4.1 CARRETA DE VARADO DE 7 EJES.....	16
2.4.2 LINEA DE TIRO.....	19

2.4.3	SISTEMA RODANTE .....	20
2.5	CAPACIDAD MÁXIMA .....	21
2.6	DIMENSIONES Y PESOS .....	21
2.7	SISTEMA DE REFERENCIA .....	22
2.8	PLANO DE VARADO .....	22
2.9	EQUIPO DE TRABAJO .....	24
CAPITULO III HIPOTESIS Y OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....		26
3.1	HIPÓTESIS .....	26
3.1.1	HIPÓTESIS GENERAL .....	26
3.1.2	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS .....	26
3.2	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....	26
3.2.1	VARIABLES DEPENDIENTES .....	26
3.2.2	VARIABLES INDEPENDIENTES .....	27
3.2.3	INDICADORES .....	27
CAPITULO IV .....		28
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....		28
4.1	TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACION .....	28
4.1.1	TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	28
4.1.2	DISEÑO DE LA INVESTIGACION .....	28
4.2	UNIDAD DE ANÁLISIS .....	29
4.3	MATRIZ DE CONSISTENCIA .....	30
CAPITULO V DESARROLLO DE LA TESIS .....		32
5.1	CASO DE ESTUDIO .....	32
5.2	PROCEDIMIENTO DE VARADO .....	33
5.3	PRINCIPALES RIESGOS .....	36
CAPITULO VI ANALISIS Y RESULTADOS .....		38
6.1	Análisis del proceso de varado .....	38
6.2	RESULTADOS .....	39

6.2.1	ESTABILIDAD EN FLOTACIÓN LIBRE.....	39
6.2.2	VOLCAMIENTO.....	43
6.2.3	RESISTENCIA ESTRUCTURAL .....	50
6.2.4	RESISTENCIA EN SISTEMA RODANTE.....	55
	CONCLUSIONES.....	59
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	60
	ANEXOS .....	62

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Embarcación pesquera de 33.0 m de eslora varado en diciembre del 2021.	4
Figura 2. Estabilidad general de un buque sumergido	7
Figura 3. Criterio de estabilidad de Rahola	9
Figura 4. Equilibrio en un cuerpo sumergido	9
Figura 5. Gráfica esfuerzo vs deformación	10
Figura 6. Plano batimétrico y de zona de varado	13
Figura 7. Gráfica de variación del nivel del mar en el mar del Callao entre octubre y diciembre de 1990.	14
Figura 8. Modelamiento de la dirección de corrientes marinas y altura de ola.	15
Figura 9. Carreta de varado de 7 ejes	16
Figura 10. Sección transversal de vigas longitudinales	17
Figura 11. Vista longitudinal de la carreta de varado	17
Figura 12. Vigas transversales (arriostes)	18
Figura 13. Sección transversal de las vigas transversales (arriostes)	18
Figura 14. Vista transversal total de la carreta	19
Figura 15. Línea de tiro	19
Figura 16. Acercamiento de la nave en la línea de tiro	19
Figura 17. Dimensiones de llanta de carreta	20
Figura 18. Vista de sistema rodante con rodajes y eje	21
Figura 19. Origen del sistema de referencia	22
Figura 20. Plano de varado en vista longitudinal de la embarcación	23
Figura 21. Vista de calzos bajo el casco de la embarcación	24
Figura 22. Embarcación modelo de 33m de eslora	33
Figura 23. Buque en flotación libre	34
Figura 24. La carreta se inunda para ubicarlo debajo de la embarcación.	34
Figura 25. Buque con carreta de varado asegurado.	35
Figura 26. Conjunto Buque-Carreta en donde el primer eje toca fondo.	35
Figura 27. Conjunto Buque-Carreta con todas las ruedas tocando fondo.	36
Figura 28. Conjunto Buque-Carreta avanzando hacia la orilla.	36
Figura 29. Conjunto Buque-Carreta antes de salir del mar.	36



Figura 30. Curva GZ paso A	40
Figura 31. Curva GZ Paso B	41
Figura 32. Curva GZ paso C	43
Figura 33. Fuerzas actuando en el buque / lado Er.	44
Figura 34. Fuerzas actuando en el buque / lado Br.	44
Figura 35. Flotación paso D-1	45
Figura 36. Flotación paso D-2.	46
Figura 37. Flotación paso D-3.	47
Figura 38. Flotación paso D-4.	48
Figura 39. Flotación paso E.	49
Figura 40. Modelo matemático de viga longitudinal.	51
Figura 41. Reacciones en la viga longitudinal.	51
Figura 42. Fuerza cortante en la viga longitudinal.	51
Figura 43. Momento flector en viga longitudinal.	52
Figura 44. Propiedades geométricas de sección transversal de la viga longitudinal	52
Figura 45. Modelo matemático de viga transversal.	53
Figura 46. Reacciones en la viga transversal.	53
Figura 47. Fuerza cortante en la viga transversal.	53
Figura 48. Momento flector en viga transversal.	54
Figura 49. Fuerzas de reacción en los ejes	56

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas de la zona de varado CORP FUNG S.A.C.	12
Tabla 2. Superficie de zona de varado	12
Tabla 3. Matriz de Consistencia	31
Tabla 4. Características principales de la embarcación modelo	33
Tabla 5. Condición de carga en paso A	39
Tabla 6. Propiedades de la carena paso A	40
Tabla 7. Criterios de estabilidad paso A	40
Tabla 8. Condición de carga en paso B	41
Tabla 9. Propiedades de la carena Paso B	41
Tabla 10. Condición de carga en paso C	42
Tabla 11. Propiedades de carena paso C	42
Tabla 12. Criterios de estabilidad para paso C	43
Tabla 13. Fuerzas involucradas desde el paso D hasta llegar a tierra firme.	44
Tabla 14. Fuerzas actuantes a partir del paso D.	45
Tabla 15. Condición de flotación para paso D-1.	46
Tabla 16. Empuje y ubicación para paso D-1.	46
Tabla 17. Fuerzas resultantes para paso D-1.	46
Tabla 18. Condición de flotación para paso D-2.	47
Tabla 19. Empuje y ubicación para paso D-2.	47
Tabla 20. Fuerzas resultantes para paso D-2.	47
Tabla 21. Condición de flotación para paso D-3.	48
Tabla 22. Empuje y ubicación para paso D-3.	48
Tabla 23. Fuerzas resultantes para paso D-3.	48
Tabla 24. Condición de flotación para paso D-4.	49
Tabla 25. Empuje y ubicación para paso D-4.	49
Tabla 26. Fuerzas resultantes para paso D-4.	49
Tabla 27. Condición de flotación para paso E.	50
Tabla 28. Empuje y ubicación para paso E.	50
Tabla 29. Fuerzas resultantes para paso E.	50
Tabla 30. Factor de seguridad para viga longitudinal.	53
Tabla 31. Propiedades geométricas de la viga sección transversal.	54
Tabla 32. Factor de seguridad para viga transversal.	55

Tabla 33. Tabla de neumáticos del fabricante.	55
Tabla 34. Propiedades del Acero SAE 1045	57
Tabla 35. Tabla de esfuerzos en ejes	58

## PROLOGO

El presente trabajo nace de la necesidad de obtención de un seguro contra riesgos en el proceso de varado por parte del Astillero CORP FUNG S.A.C., empresa que viene realizando el servicio de varado por carro varador desde 10 años antes. Es así que dentro del área de ingeniería se realizó dicho estudio, confirmando así la confiabilidad del presente proceso y obteniendo el respaldo de la aseguradora para las futuras maniobras de varado, en este sentido, se evaluará la confiabilidad del sistema de varado: carro - embarcación.

El sistema de varado está basado en una carreta de varado flotante/rodante, la cual es un sistema distinto a los sistemas convencionales, pero no por ello menos confiable, ya que ha venido trabajando por más de 10 años sin presentar accidentes y/o siniestros durante el proceso. Además de ello, se tiene como objetivo el sustentar que: el sistema de varado es confiable porque para el caso de máxima carga, es decir a una carga de 400 toneladas, los procedimientos, componentes y estabilidad se encuentran en una condición segura para los principales riesgos durante el proceso de varado.

En la primera parte se detalla la geografía del fondo marino, con ayuda del plano batimétrico; además se presenta de manera resumida los principales componentes del sistema de varado, así como la capacidad máxima y las dimensiones de la carreta de varado.

En la segunda parte, se explica cómo se realiza el plano de varado, de qué información parte, y qué información debe contener; así también, las responsabilidades y funciones del equipo de varado.

En la tercera parte, se muestra el buque representativo que servirá de base del presente estudio; se detalla el procedimiento de varado y la identificación de los principales riesgos del procedimiento de varado, el cual se subdivide en 4 casos: cuando el buque está en condición libre, vale decir, sin posicionamiento de carreta, cuando el buque y la carreta forman un mismo cuerpo, cuando el cuerpo buque carreta empieza a tocar fondo y cuando finalmente todas las llantas se encuentran apoyadas.

En la última parte se muestran los resultados para las evaluaciones de los riesgos aplicado al buque base de estudio, el cual considera que viene con poco peso añadido como normalmente se recomienda y verifica antes de la subida al astillero, esto quiere decir, sin carga más que lo necesario de combustible para su operación de traslado hacia el Astillero y posterior salida, con plumas si es que las tuviera, en cubierta y con tanques de agua y lastre vacíos.

Mencionado lo anterior, quisiera agradecer a todo el equipo de ingeniería del Astillero CORP FUNG del cual me llevo los más gratos recuerdos y dar un especial agradecimiento a mi compañero Luis Leiva Oré por todo el apoyo recibido en el caso estudio además de la amistad brindada.

## **CAPITULO 1**

### **INTRODUCCION**

#### **1.1 ANTECEDENTES REFERENCIALES**

Las carretas de varado son un tipo de equipo utilizado en la industria náutica y marítima para transportar embarcaciones desde la tierra hasta el agua y viceversa. La necesidad de una herramienta que permita el transporte seguro de barcos desde tierra firme hasta el agua ha sido evidente durante siglos. Los antiguos egipcios utilizaban una variedad de técnicas para construir sus embarcaciones en el agua, y luego utilizar un sistema de rampas para sacarlas y repararlas en tierra. Los griegos y los romanos también utilizaban sistemas similares para lanzar sus barcos desde tierra hacia el mar.

Durante el periodo imperial romano, las ciudades cercanas a los ríos, especialmente a lo largo del Rodano había gremios los cuales operaban para retirar embarcaciones de tierra a mar (Casson, 1971).

A lo largo del tiempo, las carretas de varado han evolucionado para satisfacer las necesidades cambiantes de la industria náutica. En el siglo XVIII, se desarrolló una herramienta conocida como "cuna de lanzamiento", que consistía en una estructura de madera también llamada imada con una plataforma de madera sobre la que se colocaba el barco. La carreta se movía sobre un par de rieles también llamados anguilas y se empujaba hacia el agua utilizando caballos. Este diseño permitía a los barcos ser lanzados de forma más segura y controlada que

antes, pero seguía presentando limitaciones en términos de capacidad y velocidad. (Villa, R., 2014)

En el siglo XIX, se desarrollaron nuevos diseños de carretas de varado, como la "carreta de elevación" y la "carreta de remolque". La carreta de elevación permitía a los barcos ser levantados en el aire para su transporte, lo que eliminaba la necesidad de un acceso directo al agua. La carreta de remolque se utilizaba para mover barcos de manera más rápida y eficiente, y podía ser tirada por un vehículo de motor. Estas nuevas carretas de varado permitieron a la industria náutica aumentar su eficiencia y reducir los costos de operación.

En la actualidad, las carretas de varado siguen siendo una herramienta importante para la industria náutica. Los diseños modernos son más sofisticados y tienen una capacidad mucho mayor que los diseños antiguos. Además, se han desarrollado carretas de varado especializadas para diferentes tipos de embarcaciones, como catamaranes, yates de lujo y barcos de pesca comercial.

En conclusión, las carretas de varado han sido una herramienta crucial para la industria náutica durante siglos, y su diseño y funcionalidad han evolucionado significativamente a lo largo del tiempo. La continua innovación en este campo garantiza que las carretas de varado seguirán mejorando en el futuro para satisfacer las necesidades cambiantes de la industria.

Sin embargo, también existe la necesidad de evaluar si cumplen con los criterios técnicos de estabilidad y resistencia estructural de la actualidad.

Al momento del amarre de la embarcación con el carro de varado puede considerarse el todo como un solo cuerpo, habiendo la posibilidad de evaluar su estabilidad.

Uno de los criterios de estabilidad viene dado por el profesor finlandés Jakkoo Rahola, quien en su estudio doctoral de 1939 ofrece unos criterios de estabilidad basado en estudios de siniestros con otras embarcaciones.

Sin embargo, para el año 1977, se celebró el Convenio Internacional de Torremolinos para la Seguridad de los buques pesqueros, en el cual se daban nuevos criterios de estabilidad basados en el brazo adrizante a diferentes escoras.

Para el año 1997 se celebra el Protocolo de Torremolinos el cual modifica ciertas reglas, pero mantiene lo establecido con respecto a los criterios de estabilidad.

## **1.2 GENERALIDADES**

El requerimiento de un sistema de varado para comenzar con las operaciones de mantenimiento de embarcaciones en el Astillero CORP FUNG, además del terreno cuya batimetría es un poco compleja por ser uniforme en el primer tramo y presentar un desnivel con pendiente elevada en el segundo tramo, fue el desenvolviente para que se pudiera adaptar un método poco usado en el ámbito del naval como es el carro varador.

La empresa CORP FUNG S.A.C. (con sede en Av. Los Ferroles 50 - Urb. Industrial, Callao – Perú) ha desarrollado un sistema de varado basado en una carreta de varado flotante/rodante (ver Figura 1). El varado con carreta de varado rodante es un sistema distinto a los sistemas más conocidos (i.e. syncrolift, etc.) pero no por ellos menos confiable.





*Figura 1. Embarcación pesquera de 33.0 m de eslora varado en diciembre del 2021.*

La presente tesis pretende sustentar que el sistema de varado es confiable porque el procedimiento, los componentes y la estabilidad del buque/carreta presenta buen desempeño frente a los riesgos evaluados.

### **1.3 REALIDAD PROBLEMÁTICA**

En el Astillero CORP FUNG se viene trabajando con el carro de varado desde hace más de 10 años, realizando una gran cantidad de servicios de varado con el carro de 7 ejes a embarcaciones sin presentar accidente alguno, además de ello, se observa in situ que el carro puesto a flote sin la embarcación, y con todos los flotadores, se encuentra estable, sin embargo siempre se han varado embarcaciones de hasta 350 toneladas, y aunque se demostró en la práctica que es un método seguro, se requiere determinar si este método también será fiable para el varado de una embarcación de 400 toneladas, determinando si esta varada se realizará de forma segura durante todo el trayecto, sin presentar peligros para la estabilidad, llámese volcaduras y que la estructura soporte el esfuerzo provocado

por el peso de la embarcación una vez que esta se encuentre apoyada totalmente, además de cada uno de los componentes soporte los esfuerzos de la maniobra.

### **1.3.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Es posible realizar el varado de una embarcación de 400 toneladas de desplazamiento mediante el varado con carro varador en la línea de varado correspondiente al Astillero CORP FUNG?

### **1.3.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS**

- ¿Es estable el conjunto buque-carro de varado según las normas OMI para condiciones de varado favorables?
- ¿Soportará el carro de varado y sus elementos los esfuerzos producidos por el peso de la embarcación y el desnivel de la zona?

### **1.3.3 PROPUESTA DE SOLUCIÓN**

Evaluar el comportamiento del conjunto buque-carro de varado en diferentes puntos críticos del proceso mediante un software de diseño naval, pudiendo verificar así la estabilidad del sistema y las fuerzas que aplican al carro de varado y sus componentes.

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 OBJETIVO GENERAL**

- Estudio del proceso de varado del sistema carro varador – embarcación para un pesquero de 400 toneladas.

### **1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Evaluar la confiabilidad del sistema de varado empleado por la empresa CORP FUNG S.A.C.

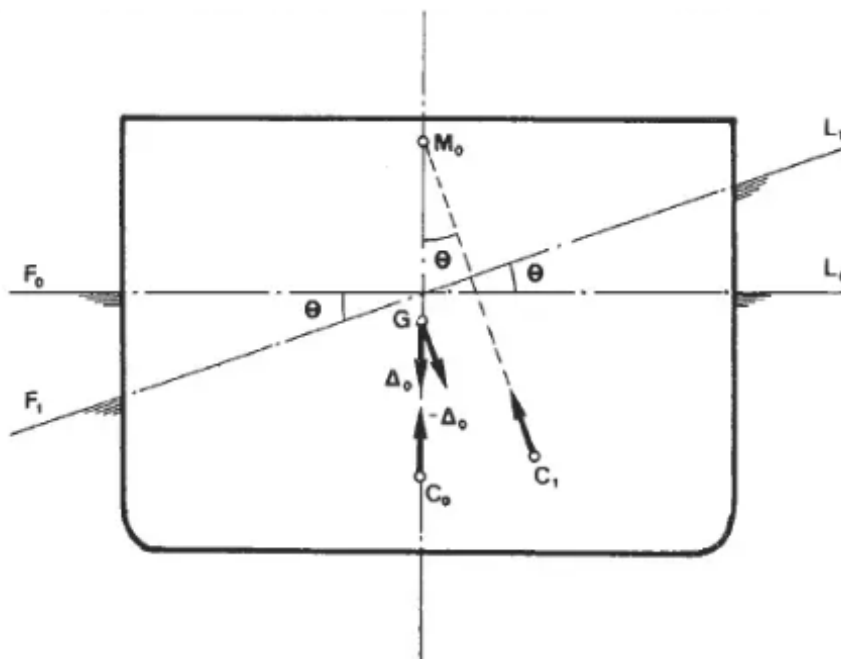
- Describir los componentes del presente método de varado: carreta de varado de 7 ejes, sistema de tiro y planos de varado.
- Describir el procedimiento representativo de varado de una embarcación pesquera.
- Identificar los principales riesgos durante el proceso de varado de un caso representativo.

## CAPITULO II MARCO TEORICO

### 2.1 GENERALIDADES

#### 2.1.1 CONDICIONES DE ESTABILIDAD GENERAL

Como menciona Bonilla, A. (1994), un buque está en equilibrio cuando a un desplazamiento sus pesos, empujes, centro de gravedad y centro de carena están en el mismo vertical.



*Figura 2. Estabilidad general de un buque sumergido*

#### 2.1.2 CRITERIO DE ESTABILIDAD SIN AVERÍA

Al analizar en conjunto el sistema pesquero-carro de varado se tiene que en primera instancia, para el pesquero aplica la norma OMI (2008) en el Código

Internacional para Estabilidad sin Avería, parte B, en la que recomienda como criterios generales:

- Que la Altura metacéntrica para los pesqueros que tengan más de 24m de eslora y una sola cubierta deberá ser de 0.35m...para los buques de más de 70m de eslora podrá reducirse a 0.15m

En nuestro caso la eslora de nuestra embarcación modelo es menor a 70m y presenta una sola cubierta por lo que la altura metacéntrica a cumplir deberá ser mínimo 0.35m

Además de esto, también deberá cumplir los criterios relativos a las propiedades de la curva de brazos adrizantes mencionado en la parte A del mismo documento, en el cual se menciona:

- El área bajo la curva de brazos adrizantes (GZ) deberá ser mayor a 0.055m.rad hasta una escora de  $30^\circ$
- El área bajo la curva de brazos adrizantes (GZ) deberá ser mayor a 0.09m.rad hasta una escora de  $40^\circ$
- El área bajo la curva de brazos adrizantes (GZ) deberá ser mayor a 0.03m.rad para una escora entre  $30^\circ$  a  $40^\circ$  o para la escora entre  $30^\circ$  y  $\Theta^\circ$
- El brazo adrizante GZ máximo deberá de ser mayor a 0.20m
- El brazo adrizante GZ máximo deberá estar ubicado a una escora no menor de  $25^\circ$ .

### 2.1.3 CRITERIO DE ESTABILIDAD DE RAHOLA

Este criterio dado por el profesor finlandés Jaakko Rahola analizado por la pérdida de embarcaciones menciona que, para un ángulo de escora dada, se tendrá brazo adrizante GZ corregido por superficies libres mínimo que corresponde a las siguientes relaciones como se muestra en la Figura 3:

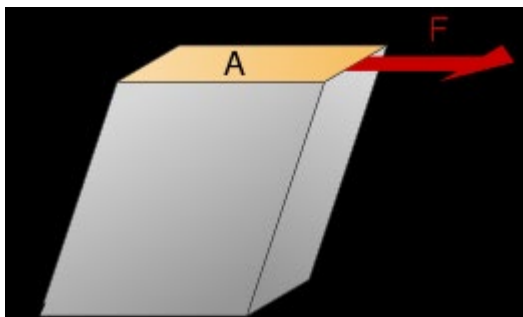
at a heeling angle of 20°: 0.140 m,  
 \* \* \* \* \* 30°: 0.200 m, and  
 \* \* \* \* \* 40°: 0.200 m.

*Figura 3. Criterio de estabilidad de Rahola*

Sin embargo, para efectos del presente, se usará el criterio de estabilidad intacta de la OMI debido a que el Perú se encuentra como miembro del acuerdo.

### 2.1.4 ESFUERZO DE CORTE

“Una sección de una pieza está sometida a cizallamiento o cortadura cuando sobre ella actúa una fuerza cortante...una resultante de fuerzas paralelas al plano de sección”. Cervera, M. y Blanco, E. (2015)



*Figura 4. Equilibrio en un cuerpo sumergido*

Nota: imagen recuperada de: [https://es.wikipedia.org/wiki/Tensi%C3%B3n\\_cortante](https://es.wikipedia.org/wiki/Tensi%C3%B3n_cortante)

### 2.1.5 FLEXIÓN RECTA

“Una pieza está sometida a flexión pura cuando sus secciones están únicamente afectadas por un momento flector” M. Cervera, M. y Blanco, E. (2015).

### 2.1.6 ESFUERZO DE FLUENCIA

Es el esfuerzo máximo que podrá soportar el material antes del llegar al límite elástico, en donde después de este punto el material sufre deformaciones permanentes.

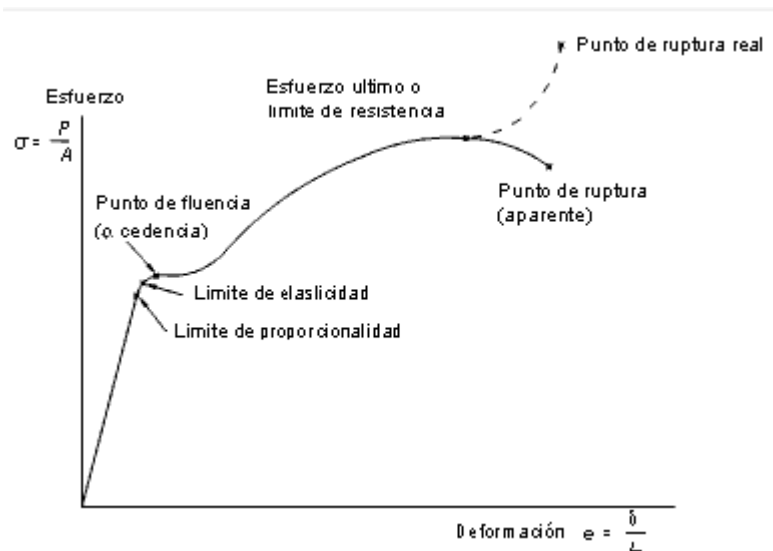


Figura 5. Gráfica esfuerzo vs deformación

Nota: imagen recuperada de <https://www.ingenierocivilinfo.com/2010/10/propiedades-del-acero.html>

### 2.2 JUSTIFICACIÓN DE LA TESIS

El sistema de varado está basado en una carreta de varado flotante/rodante, la cual es un sistema distinto a los sistemas convencionales, pero no por ello menos confiable, ya que ha venido trabajando por más de 10 años sin presentar accidentes y/o siniestros durante el proceso, sin embargo ante nuevos socios estratégicos que cuentan con una mayor cantidad de embarcaciones en el mercado peruano, y siendo muchas de estas aseguradas, se requiere realizar una evaluación técnica ante el seguro de riesgo, mostrando la viabilidad y seguridad con que se realiza el proceso de varado, además de los procesos de mantenimiento dentro del astillero.

Esto influirá en la atracción de nuevos clientes potenciales, aumentando la rentabilidad anual hasta en un 20% según el margen determinado por Gerencia

Comercial, además de potenciar la marca y la representación de la empresa en el mercado de mantenimientos marítimos y náuticos.

Con este estudio se quiere, además de lo ya mencionado, establecer un punto de inicio para mejoras en las futuras construcciones de carretas de varado, además de mejoras en el proceso de jalado de las embarcaciones a tierra, como podría ser el uso de winches de mayor dimensión en lugar de bulldozers, reemplazando y aumentando la fuerza para vencer la resistencia de la carreta y la embarcación en la zona húmeda de playa, para de esta manera poder realizar la maniobra en un tiempo menor, con menor dependencia de maquinarias que no están específicamente diseñadas para trabajar en márgenes de la playa con agua salada que dañen sus sistemas de fajas tipo oruga el cual requiere de un tiempo de mantenimiento demasiado alto y cuyos repuestos son costosos. Cabe mencionar que, si estas maquinarias no se encuentran debidamente alineadas, la fuerza de arrastre de la carreta es mucho menor a lo esperado, provocando que ocurran estancamientos, el cual se complica con el pase de las horas debido a la arena que se acumula alrededor de las llantas y forman pequeños montículos de arena el cual dificulta sobremanera el jalado fuera de zona playa.

Para darnos una idea del método de varado detallaremos el proceso el cual consta de una carreta con llantas que sirve de cama para el posicionamiento de embarcaciones, en su estructura presenta cáncamos en la zona delantera y posterior además de los cuatro costados y zona media en ambas bandas en el cual se unen grilletes y cabos de nylon trenzados para asegurar la embarcación, en la zona delantera de la carreta de varado, se unen los cáncamos con grilletes y cadenas que son jalados desde tierra con dos Bulldozer, realizando el tiro suficiente para el desplazamiento sobre la arena hacia su posición final.



## 2.3 GEOGRAFÍA

### 2.3.1 ZONA DE VARADO

La zona de varado se encuentra determinada por las coordenadas mostrados en la Tabla 1, así mismo en la Tabla 2 se detalla la superficie ocupada por la línea de varado y los puntos de la línea de varado se muestra en la Figura 6. La superficie que ocupa se detalla a continuación:

COORDENADAS DE UBICACIÓN DE LA ZONA DE VARADO - DATUM WGS - 84				
AREA SOLICITADA DE ZONA DE VARADO				
PUNTOS	UTM WGS-84 (ZONA 18)		GEOGRAFICAS WGS-84	
	NORTE	ESTE	LATITUD	LONGITUD
A	8672339.785	267368.980	12° 00' 6.653" S	77° 08' 11.584" W
B	8672350.000	267368.095	12° 00' 6.320" S	77° 08' 11.611" W
C	8672378.821	267119.389	12° 00' 5.320" S	77° 08' 19.823" W
D	8672368.884	267118.226	12° 00' 5.643" S	77° 08' 19.864" W

Tabla 1. Coordenadas de la zona de varado CORP FUNG S.A.C.

SUPERFICIE DE LA ZONA DE VARADO	
AREA	2515.519 m2
PERIMETRO	531. 027 metros lineales

Tabla 2. Superficie de zona de varado

### 2.3.2 SUPERFICIE DEL MAR

El plano de batimetría de la zona de varado y alrededores (ver plano adjunto) nos indica que para la zona de varado (ver Figura 6) a 380 m mar adentro (desde la línea de marea baja), se tiene una profundidad mínima de 5.0 m. Siendo esta una profundidad suficiente para poder varar embarcaciones con calados de hasta 3.2 m, se eligió esta zona de varado (ante la Dirección de Capitanía) por encontrarse un muelle en la zona norte, siendo peligrosa la maniobra ya que el viento y las corrientes marinas podrían cambiar de cierta manera la posición de la embarcación y direccionarlo hacia el muelle, además de encontrarse, como se

observa en la Figura 6, que la pendiente a 100m de la línea de playa dentro de la zona de varado, es pronunciada, variando desde 1.1 a 1.5 en puntos cercanos.

La pendiente máxima promedio del fondo marino para todo el recorrido de la zona de varado se encuentra entre las profundidades de 2.0 m y 3.0 m, obteniendo un valor de 2.35 %.

Para efectos de simplificar los cálculos, el fondo marino será considerado con una pendiente uniforme de 2.50 %.

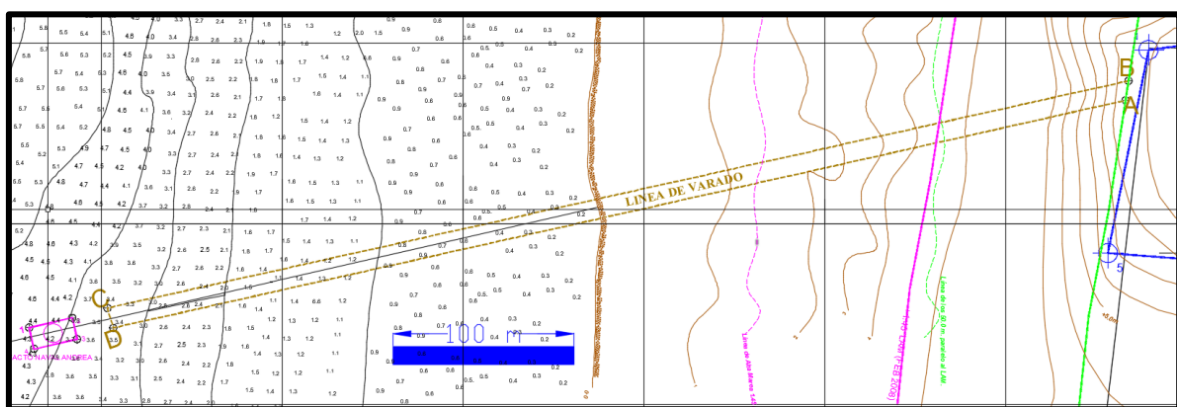


Figura 6. Plano batimétrico y de zona de varado

### 2.3.3 ESTUDIO DE LA MAREA Y ALTURA DE OLA

El Callao es uno de los puertos más importantes de Perú y está ubicado en la costa del Pacífico. El estudio de marea y altura de ola en el Callao es fundamental para la navegación segura de los barcos que llegan y salen del puerto.

La marea en el Callao es semidiurna, es decir, tiene dos mareas altas y dos mareas bajas cada día. El ciclo de marea tiene una duración de aproximadamente 12 horas y 25 minutos. La amplitud de la marea varía a lo largo del año, siendo más alta durante el invierno y más baja durante el verano, “La pleamar máxima del año sería 44 cm por encima del promedio de pleamares, mientras que la bajamar promedio sería 37 cm por debajo del promedio de bajamares.” (DHN, 2012, citado por IGP 2014).

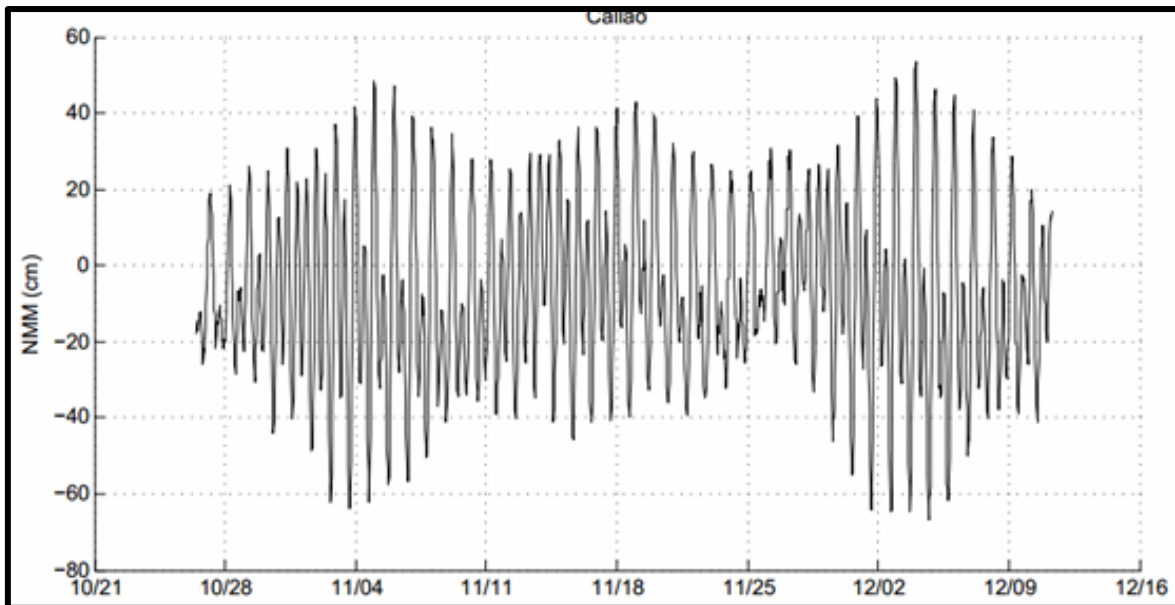


Figura 7. Gráfica de variación del nivel del mar en el mar del Callao entre octubre y diciembre de 1990.  
 Nota. Imagen extraída de *Investigación en Variabilidad y cambio Climático* – IGP, 2014.

La altura de ola en el Callao depende de varios factores, como la velocidad del viento, la dirección del viento, la profundidad del océano y la topografía de la costa. En general, la altura de ola en el Callao varía entre 1 metro y 2 metros. Durante las tormentas, la altura de ola puede aumentar significativamente, alcanzando los 5 metros o más.

Para medir la marea y altura de ola en el Callao se utilizan estaciones mareográficas y boyas oceanográficas. Las estaciones mareográficas miden la altura del agua en relación al nivel medio del mar y se utilizan para generar tablas de mareas. Las boyas oceanográficas miden la altura de ola en tiempo real y se utilizan para monitorear las condiciones del mar, sin embargo, para efectos de seguridad en la varada, se espera que la altura de ola sea menor a 1.25m, verificándose in situ que las condiciones sean favorables y que estén de acuerdo a lo que indica la página de pronósticos dados por la Dirección de Hidrografía y Navegación.

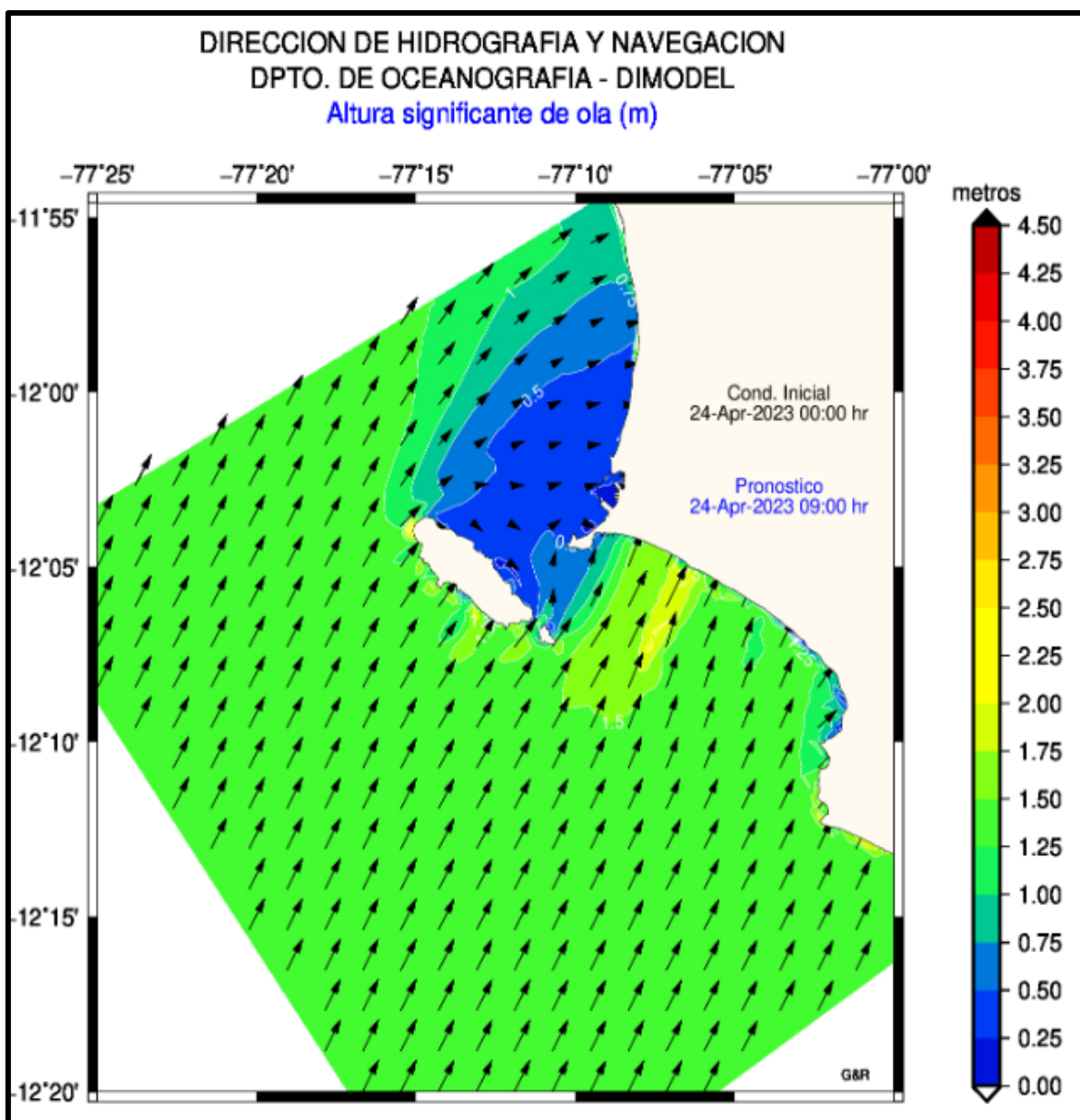


Figura 8. Modelamiento de la dirección de corrientes marinas y altura de ola.

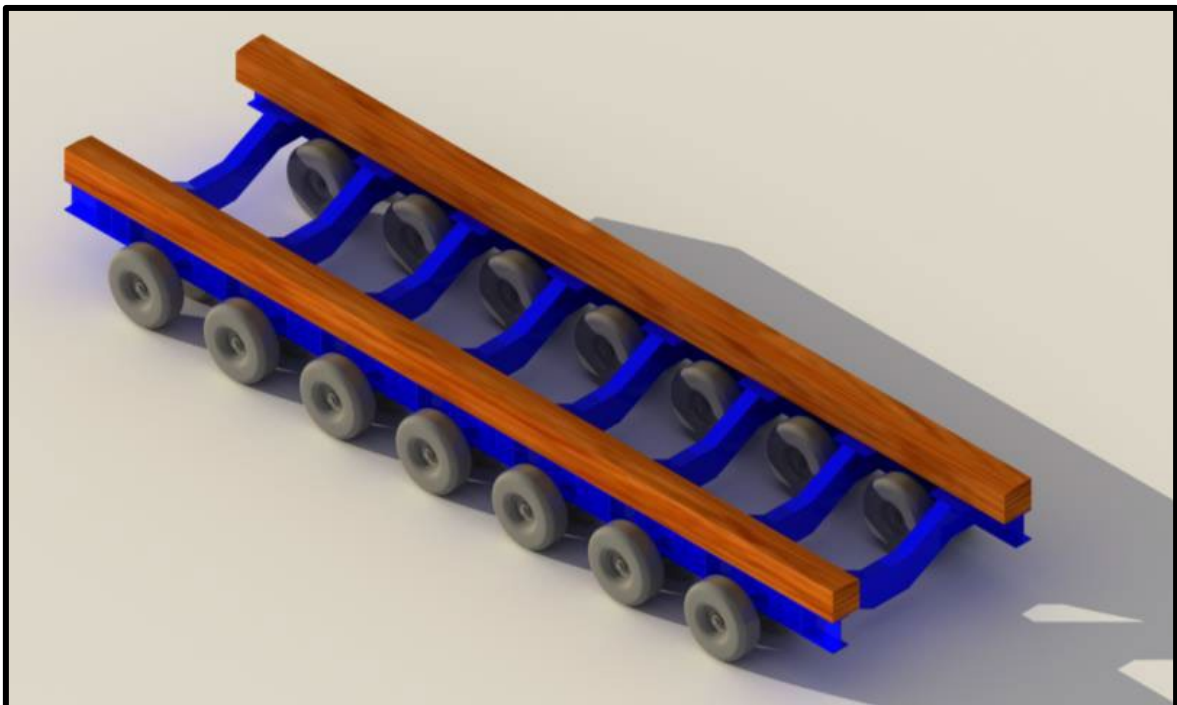
Nota: Imagen tomada de la página web <https://www.naylamp.dhn.mil.pe/dhn2/secciones/Pronosticos/costeroprocallao.php>, propiedad de la Dirección de Hidrografía y navegación.

Como se puede observar, las condiciones son favorables para realizar varadas de embarcaciones a las 9am, sin embargo, como se menciona en el párrafo anterior, se tiene que verificar en zona playa las condiciones reales tales como la velocidad del viento, corrientes de orilla, lluvias y demás.

## 2.4 EQUIPAMIENTO DE VARADO

### 2.4.1 CARRETA DE VARADO DE 7 EJES

El carro de varado ha sido diseñado empleando dos vigas longitudinales unidas mediante ocho vigas transversales (“arriostres”) y entre arriostres se han colocado ejes para soportar las ruedas, como se muestran en la Figura 9. Toda la estructura ha sido construida con acero ASTM A131 Gr. A.



*Figura 9. Carreta de varado de 7 ejes*

Las vigas longitudinales son vigas I con alma de 600x19.05 mm y ala de 350x19.05(25.40) mm con dos refuerzos verticales de 19.05 mm de espesor (“tapas”), como se muestra en la Figura 10. Estas “tapas” no están presentes desde los extremos hasta la segunda viga transversal.

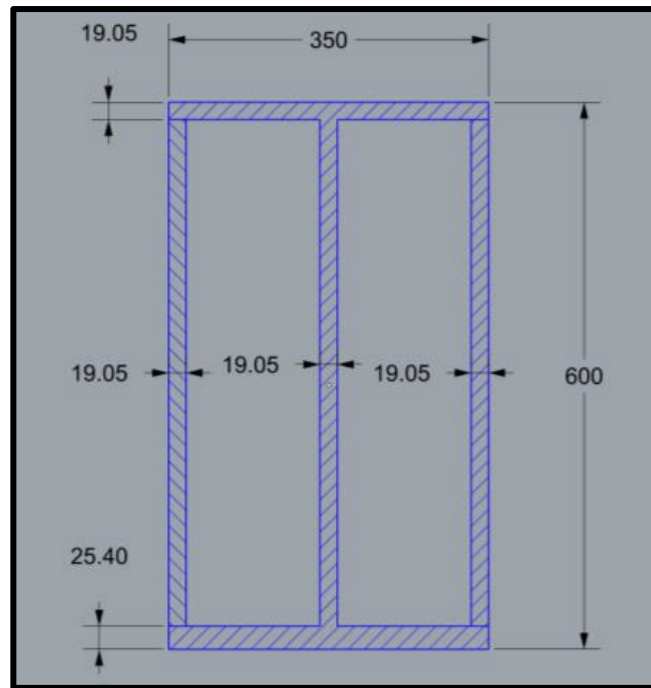


Figura 10. Sección transversal de vigas longitudinales

La vista longitudinal de la carreta tiene una longitud de 23.02m con una altura de 2.28m considerando las bases dobles de madera que se colocan fijas con cinchos encima de las tapas superiores de la viga longitudinal como se muestra en la Figura 11.

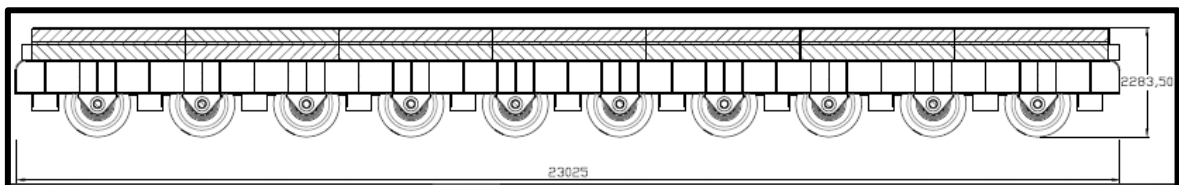


Figura 11. Vista longitudinal de la carreta de varado

Las vigas transversales son vigas I con alma, ala y refuerzos verticales de 19.05 mm como se muestra en la Figura 13.

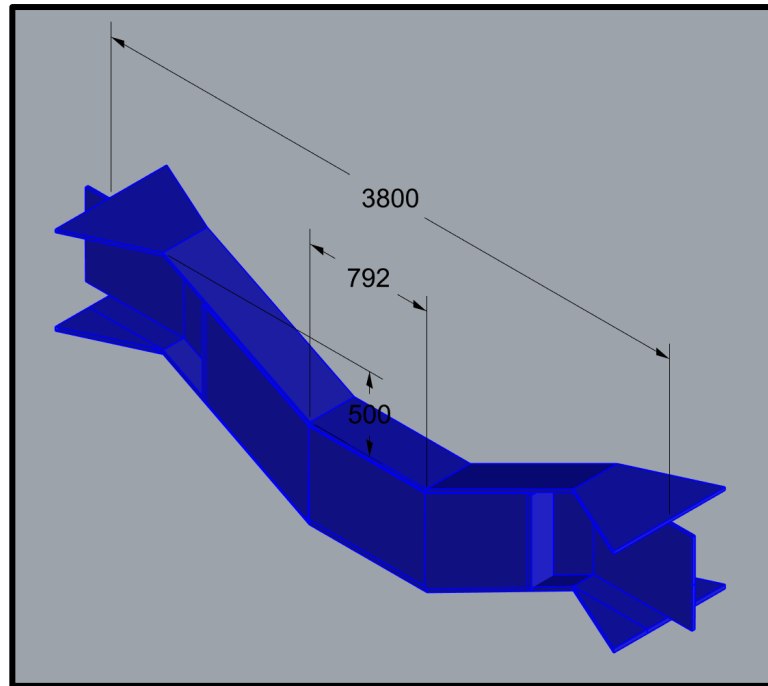


Figura 12. Vigas transversales (arriostes)

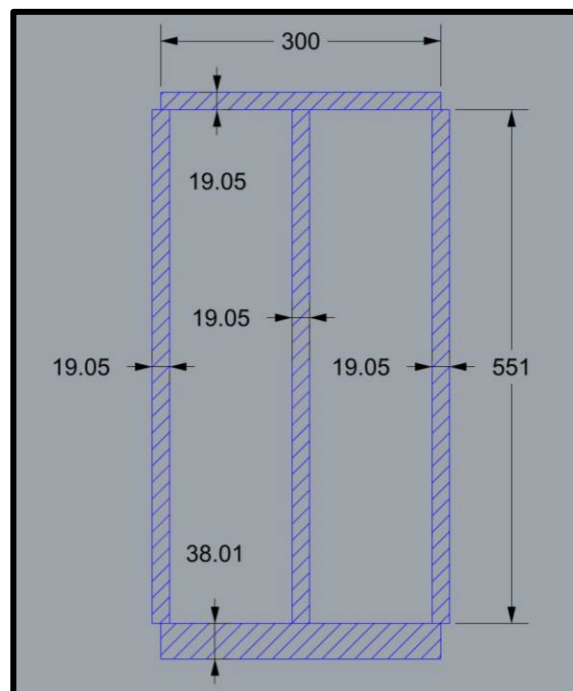


Figura 13. Sección transversal de las vigas transversales (arriostes)

La sección transversal de la carreta tiene un ancho total (considerando las llantas) de 6.93m y una altura desde la base de las llantas hasta la tapa superior de la viga longitudinal de 1.59m, es en esta tapa superior en donde se colocan

bases dobles de madera de 0.30m de alto con 3.20m de largo como se muestra en la Figura 14.

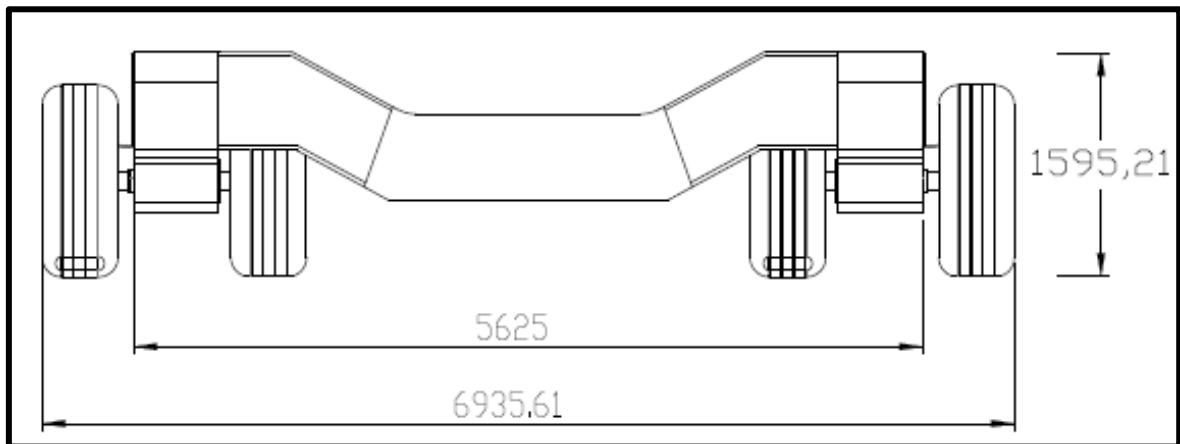


Figura 14. Vista transversal total de la carreta

#### 2.4.2 LINEA DE TIRO

La línea de tiro (ver Figura 15) se amarra al carro de varado mediante:

- Cadenas 3"
- Cable de acero trenzado de 2-1/2"
- Un o dos bulldozers de cadenas (Caterpillar D8 o similar).

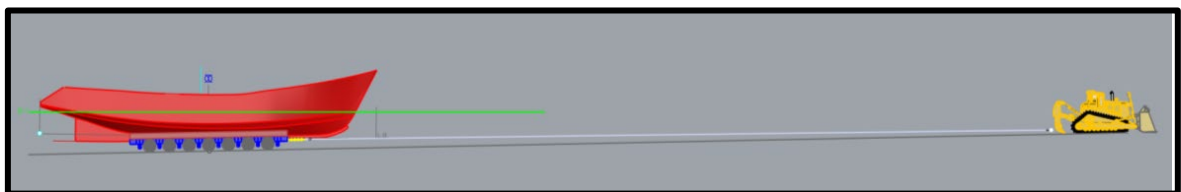


Figura 15. Línea de tiro

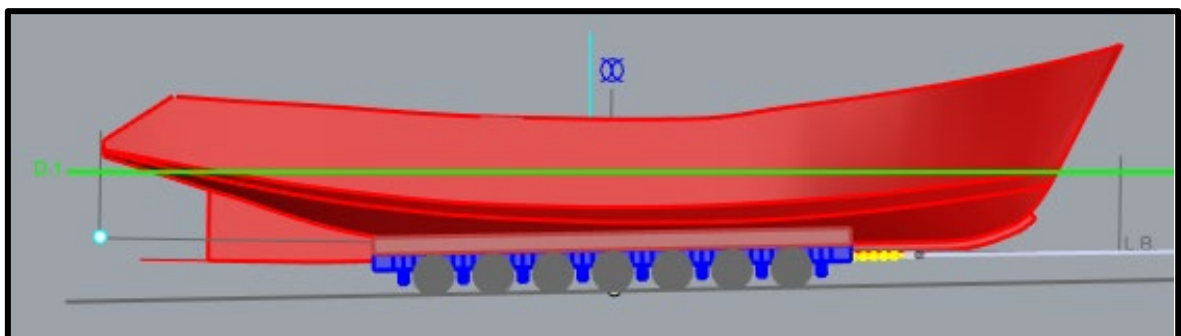


Figura 16. Acercamiento de la nave en la línea de tiro



### 2.4.3 SISTEMA RODANTE

El sistema rodante que se observa en la Figura 17 y Figura 18, está comprendido siete *unidades rodantes* en cada banda. Cada unidad rodante incluye un eje *SAE 1045* de  $\phi$  145 mm que mediante dos rodajes *SKF 32028* soporta dos neumáticas de avión 56x20.0-20.

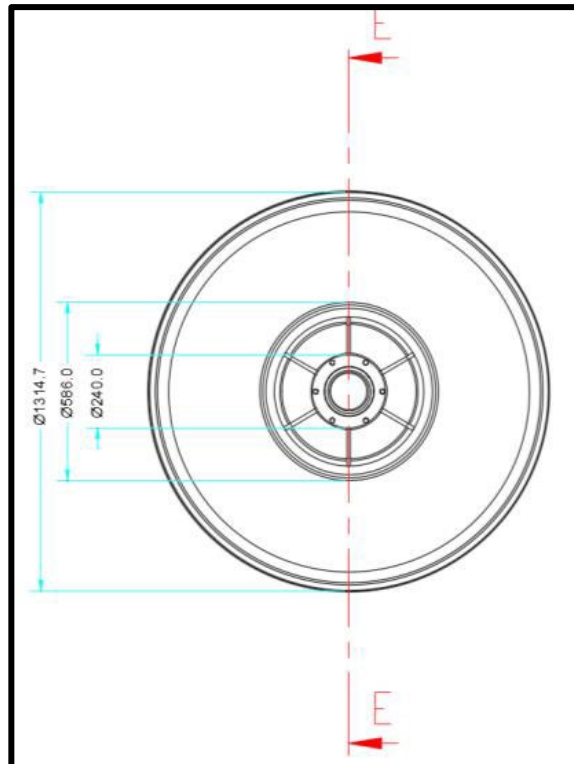


Figura 17. Dimensiones de llanta de carreta

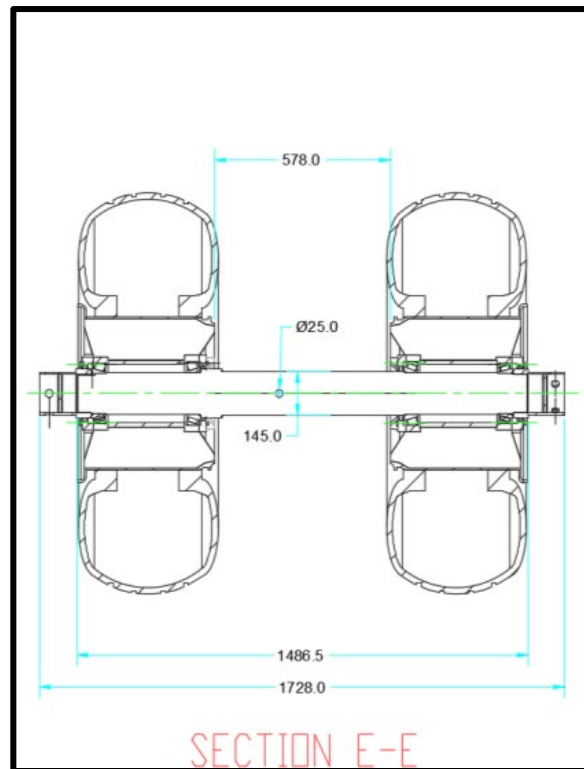


Figura 18. Vista de sistema rodante con rodajes y eje

## 2.5 CAPACIDAD MÁXIMA

El sistema ha sido proyectado para poder varar y desvarar embarcaciones con un desplazamiento máximo de 400 tn.

- Desplazamiento máximo : 400.0 tn
- Manga máxima : 9.50 m
- Eslora máxima : 35.00 m

## 2.6 DIMENSIONES Y PESOS

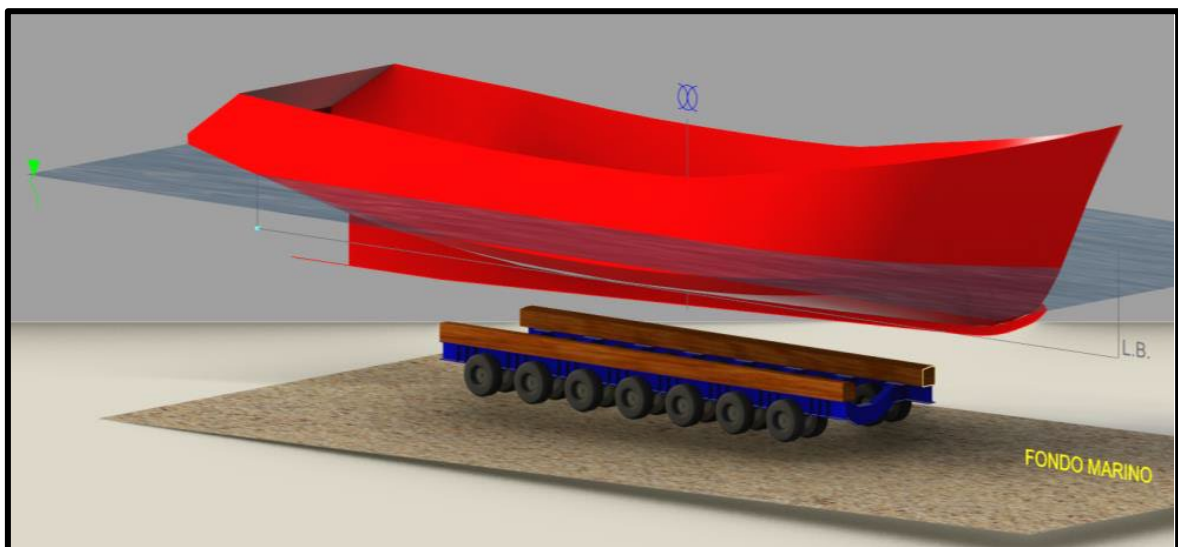
El carro de varado de 7 ejes:

- Dimensiones : 13.02m x 6.94m x 2.28 m
- Peso : 32.39 tn
- Empuje de volúmenes cerrados : 32.37 tn

## 2.7 SISTEMA DE REFERENCIA

El sistema de eje de coordenadas se tomará como sigue:

- Origen de coordenada se ubica en la intersección de línea base con plano de crujía y plano del espejo de popa.
- Eje X: (+) hacia proa.
- Eje Y: (+) hacia babor.
- Eje Z: (+) hacia arriba.
- Por cuestiones prácticas para perpendicular de proa (FP) y popa (AP) ha sido considerada a nivel del extremo de proa y espejo.



*Figura 19. Origen del sistema de referencia*

## 2.8 PLANO DE VARADO

La Oficina de Ingeniería designará un Ingeniero, quien es responsable de realizar el plano de varado de la embarcación. Este plano se realizará con en base la información proporcionada por el cliente:

- Líneas de forma
- Disposición general

- Estructura general
- Lista y ubicación de equipos en la obra viva (i.e. grid cooler, sonar, ecosonda, etc.)
- La información que como mínimo todo plano de varado contendrá es:
- La ubicación longitudinal de la embarcación con respecto a la carreta de varado (ver Figura 20).

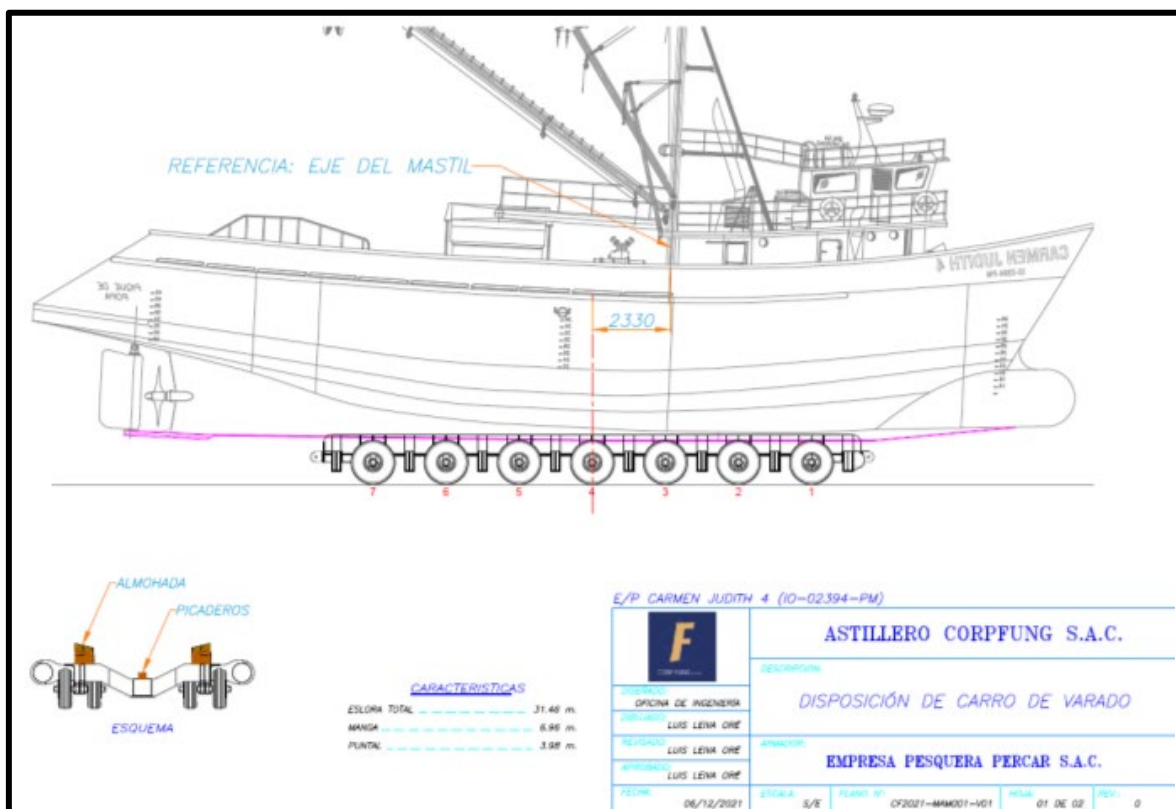


Figura 20. Plano de varado en vista longitudinal de la embarcación

- De ser necesario, las ubicaciones y alturas de calzos suplementarios sobre las vigas longitudinales y transversales (ver Figura 21), además se determina si es necesario el uso de tacos en forma de cuñas para que de esta manera se *amolde* más a la forma del casco de la embarcación.

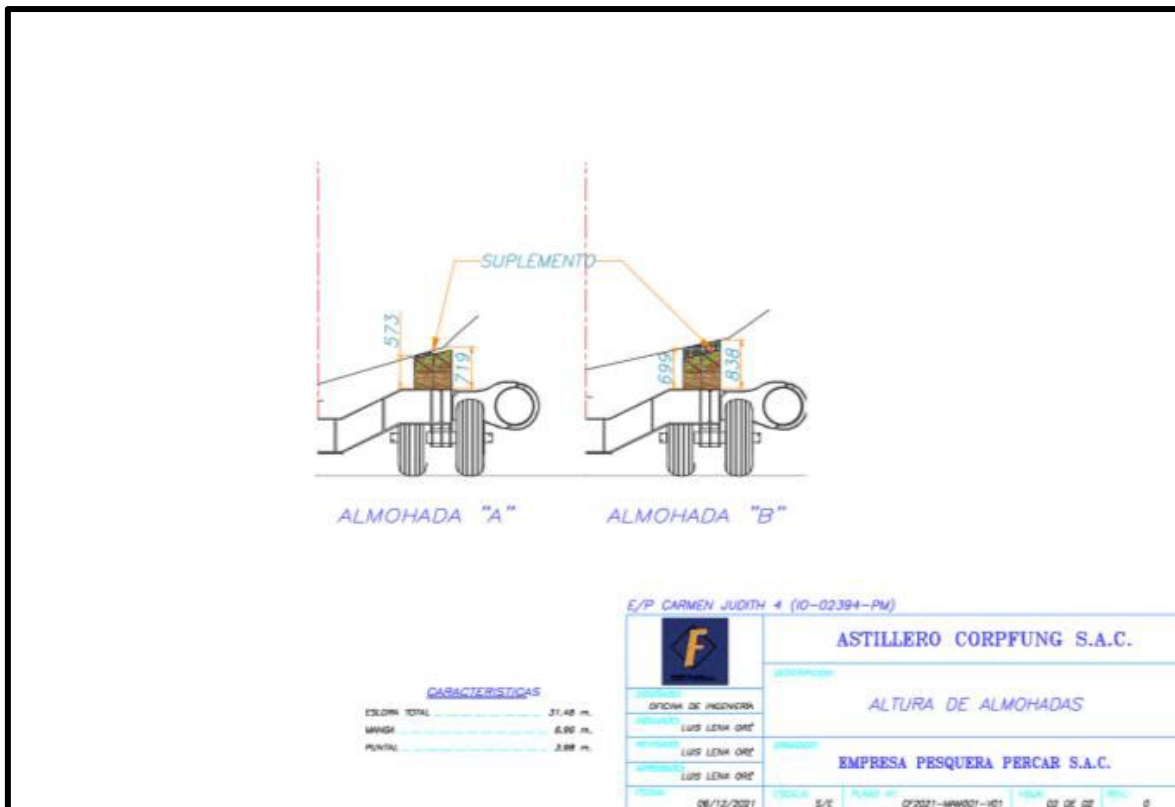


Figura 21. Vista de calzos bajo el casco de la embarcación

## 2.9 EQUIPO DE TRABAJO

El supervisor de maniobras está a cargo del proceso de varado y tiene las siguientes responsabilidades y funciones:

- Evaluar las actividades/trabajos y detener el procedimiento de varado en caso de detectar riesgos que puedan afectar la vida humana, el medio ambiente o la integridad de los bienes materiales
- Organizar y dirigir a su equipo de maniobristas.
- Realizar las preparaciones de la carreta de varado.
- Verificar el estado de las maquinarias correspondientes al uso de la maniobra.
- Verificar la presencia de apéndices, quillas o equipos en la obra viva.

- Realizar el procedimiento de varado según la información proporcionada en el plano de varado.
- Calzar la embarcación en tierra una vez el carro de varado esté en posicionamiento.

## **CAPITULO III**

### **HIPOTESIS Y OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES**

#### **3.1 HIPÓTESIS**

##### **3.1.1 HIPÓTESIS GENERAL**

El estudio y comprobación del proceso de varado a máxima carga permitirá el varado de embarcaciones de hasta 400 toneladas, permitiendo una mayor competitividad del astillero en el mercado de reparaciones navales.

##### **3.1.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS**

- El sistema de varado empleado por la empresa CORP FUNG S.A.C. es confiable.
- Identificar los principales riesgos durante el proceso de varado de un caso representativo permitirá minimizar los riesgos ante el varado de una embarcación de 400 toneladas.
- Mediante la descripción de los componentes y el proceso de un caso representativo permitirá evaluar de manera similar el caso para la embarcación del caso estudio.

#### **3.2 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES**

##### **3.2.1 VARIABLES DEPENDIENTES**

- Estabilidad del sistema conjunto carro de varado-embarcación

- Resistencia estructural del carro varador y componentes.
- Teniendo como dimensión: la evaluación de criterios OMI para las diferentes etapas, análisis de carga de flexión en el carro varador para las distintas etapas.

### **3.2.2 VARIABLES INDEPENDIENTES**

- Criterios de estabilidad para embarcaciones pesqueras según OMI
- Características técnicas de los elementos del carro varador
- Dimensiones de la embarcación modelo de 400 toneladas

### **3.2.3 INDICADORES**

- Área por debajo de la curva de brazos adrizantes de  $0^\circ - 30^\circ$ .
- Área por debajo de la curva de brazos adrizantes de  $0^\circ - 40^\circ$ .
- Área por debajo de la curva de brazos adrizantes de  $30^\circ - \Theta^\circ$ .
- Esfuerzos de flexión del carro varador.
- Esfuerzos cortantes del carro varador.



## **CAPITULO IV**

### **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **4.1 TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACION**

##### **4.1.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN**

Para Vargas, Z. (2009), “las prácticas, entendidas como investigación aplicada, son experiencias de investigación con el propósito de resolver...para comprobar un modelo”.

Según lo que menciona Vargas, el tipo de investigación que propone encaja con la presente tesis debido a que si bien es cierto el astillero tiene experiencia con el varado de embarcaciones pesqueras, se requiere comprobar si el método de varado es factible para embarcaciones de mayor porte a los varados anteriormente.

##### **4.1.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACION**

Para Cortes, M. e Iglesias, M. (2004) “los estudios descriptivos por lo general fundamentan investigaciones correlacionales, las cuales a su vez proporcionan información para llevar a cabo estudios explicativos”.

Además, García, M. y Martínez, P. (2012) mencionan sobre la investigación correlacional que “su cometido es hallar explicaciones mediante el estudio de relaciones entre variables...sin que exista manipulación de dichas variables”.

Por lo mencionado anteriormente por los autores, se aplicará el estudio descriptivo correlacional debido a que se buscará describir todo el proceso de varado de la embarcación y se describirán todos los elementos necesarios para que pueda ocurrir un varado exitoso. Además, también será correlacional porque se buscará relación entre la resistencia estructural del carro de varado, la estabilidad del sistema buque- carro de varado con los criterios de estabilidad de las embarcaciones pesqueras según la Organización Marítima Internacional (OMI)

#### **4.2 UNIDAD DE ANÁLISIS**

Para el correcto análisis, se desarrollará la tesis de la siguiente manera:

- Revisión y recolección de casos de embarcaciones pesqueras varadas con anterioridad dentro de las instalaciones del astillero.
- Dimensionamiento de una embarcación modelo dentro de la gran flota peruana de embarcaciones pesqueras con casco de acero naval que cumpla con el tonelaje requerido para el caso estudio.
- Modelar en un programa de diseño naval el casco y características de la embarcación.
- Evaluar las etapas que ocurren dentro del proceso de varado.
- Evaluar en un programa de diseño naval, las etapas del proceso de varado cuando la embarcación modelo y el carro de varado interactúen.
- Analizar los componentes del carro varador afectados por los esfuerzos debido al peso de la embarcación.

### 4.3 MATRIZ DE CONSISTENCIA

Como mencionan Lirio, F., Dextre, W. y García, M. (2020) “La matriz de consistencia muestra la lógica de la investigación científica. Primero los problemas, luego los objetivos, hipótesis, las variables e indicadores y cierra con la metodología...cumple dos funciones: mostrar orden...y mostrar la lógica”

De lo citado tenemos la siguiente matriz de consistencia para el caso de estudio mostrado en la Tabla 3:

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLE	INDICADORES
¿Es posible realizar el varado de una embarcación de 400 toneladas de desplazamiento mediante el varado con carro varador en la línea de varado correspondiente al Astillero CORP FUNG?	Estudio del proceso de varado y estabilidad del sistema carro varador – embarcación para un pesquero de 400 toneladas.	El estudio y comprobación del proceso de varado a máxima carga permitirá el varado de embarcaciones de hasta 400 toneladas	<b><u>V. Independiente:</u></b> 1. Criterios de estabilidad para embarcaciones pesqueras según OMI 2. Características técnicas de los elementos del carro varador 3. Dimensiones de la embarcación modelo de 400 toneladas	Área por debajo de la curva de brazos adrizantes de 0° - 30°.
<b><u>Específicos:</u></b>	<b><u>Específicos:</u></b>	<b><u>Específicos:</u></b>		Área por debajo de la curva de brazos adrizantes de 0° - 40°.
1. ¿Es estable el conjunto buque-carro de varado según las normas OMI para condiciones de varado favorables?	1. Evaluar la confiabilidad del sistema de varado empleado por la empresa CORP FUNG S.A.C. 2. Identificar los principales riesgos durante el proceso de varado de un caso representativo.	1. El sistema de varado empleado por CORP FUNG S.A.C. es confiable. 2. Identificar los principales riesgos durante el proceso de varado de un caso representativo permitirá minimizar los riesgos ante el varado de una embarcación de 400 toneladas.	<b><u>V. Dependiente:</u></b> 1. Estabilidad del sistema conjunto carro de varado-embarcación 2. Resistencia estructural del carro varador y componentes.	Área por debajo de la curva de brazos adrizantes de 30° - 0°.  Esfuerzos de flexión del carro varador.

<p>2. ¿Soportará el carro de varado y sus elementos los esfuerzos producidos por el peso de la embarcación y el desnivel de la zona?</p>	<p>3. Describir los componentes del método de varado: carreta de 7 ejes, sistema de tiro y planos de varado. 4. Describir el procedimiento representativo de varado de una embarcación pesquera.</p>	<p>3. Mediante la descripción de los componentes y el proceso de un caso representativo permitirá evaluar de manera similar el caso para la embarcación del caso estudio.</p>		<p>Esfuerzos cortantes del carro varador.</p>
--	--	---	--	---

*Tabla 3. Matriz de Consistencia*

## **CAPITULO V**

### **DESARROLLO DE LA TESIS**

#### **5.1 CASO DE ESTUDIO**

Los principales clientes del astillero CORP FUNG generalmente son embarcaciones pesqueras de bandera peruana, las cuales, presentan cascos muy similares. Para la evaluación de los riesgos encontrados, se tomará un buque de estudio que representa a gran parte de la flota pesquera nacional. El buque caso de estudio se muestra en la Figura 22, presentando las características mostradas en la Tabla 4.

Se trabajará con el método analítico y por métodos numéricos dentro del cual se han recopilado las dimensiones promedio de las embarcaciones a las que se realiza el servicio de varado y desvarado, las consideraciones a tener en cuenta durante todos los procesos observados, además de ello se simularán en un programa de diseño naval para determinar la estabilidad transversal a diferentes grados de escora.

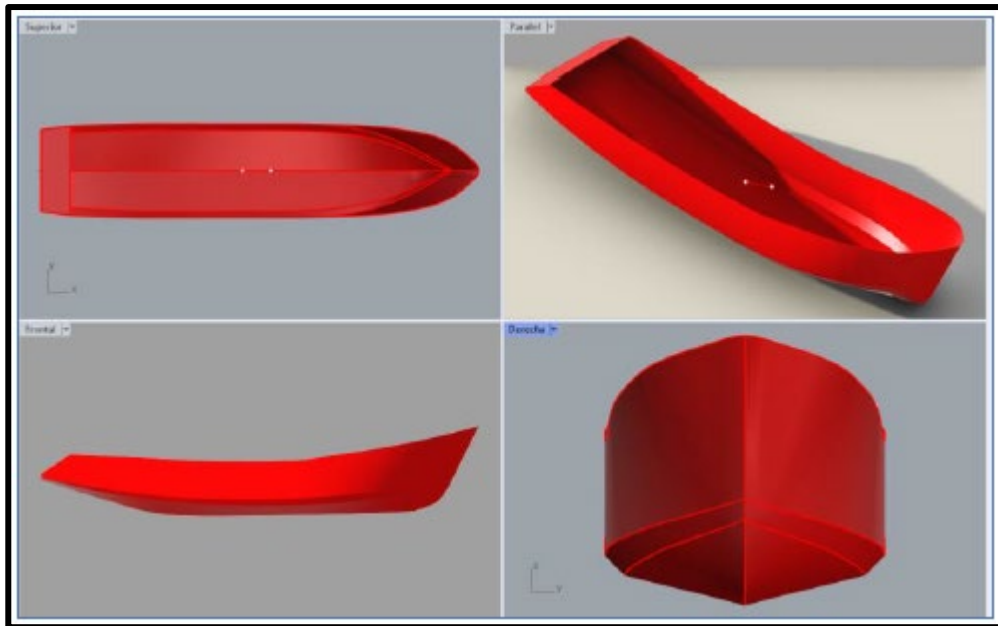


Figura 22. Embarcación modelo de 33m de eslora

<i>Desplazamiento pre varado</i>	<i>400.00 tn</i>
<i>Eslora total</i>	<i>36.70 m</i>
<i>Manga</i>	<i>7.90 m</i>
<i>Puntal</i>	<i>3.50 m</i>

Tabla 4. Características principales de la embarcación modelo

## 5.2 PROCEDIMIENTO DE VARADO

El procedimiento de varado consiste en 4 etapas:

### A. Embarcación en flotación libre

En esta etapa se debe verificar que:

- El buque se debe encontrar en una condición de carga similar a la condición de rosca, además, el armador/capitán de la embarcación debe asegurarse de que el buque presenta una buena estabilidad inicial ( $GM_0 > 0.450$  m) y con asiento apopado o neutro.
- La embarcación deberá ser inspeccionada por el supervisor de maniobras verificando que: el casco presenta estanqueidad, una buena condición estructural y los niveles de tanques/bodegas sean los adecuados.

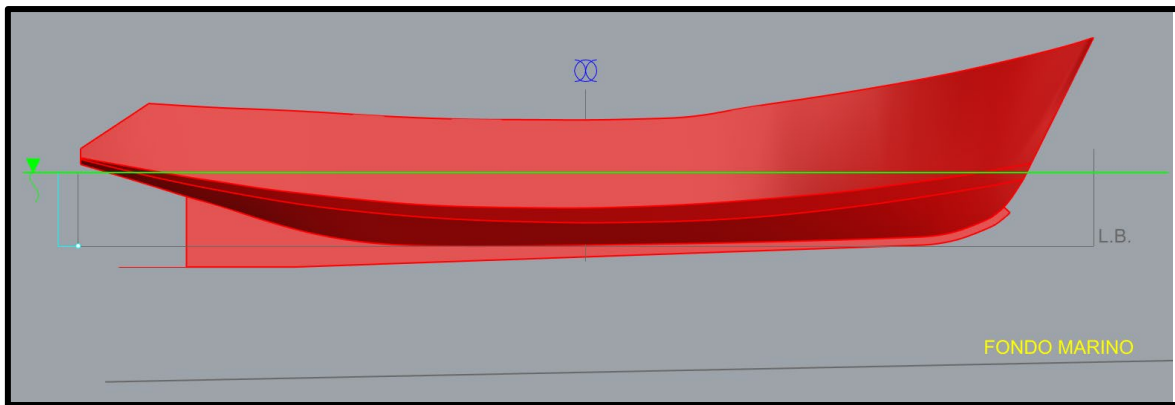


Figura 23. Buque en flotación libre

### **B. Buque en flotación libre con carreta asegurada**

La carreta de varado entre su estructura contiene boyas de polietileno que, con ayuda de los volúmenes cerrados fijos, generan el suficiente empuje para que la carreta flote libremente sin sumergirse. Mediante la ayuda de una embarcación auxiliar (“panga”) se jala la carreta de varado para llevarlo desde la orilla hasta la roda de la embarcación.

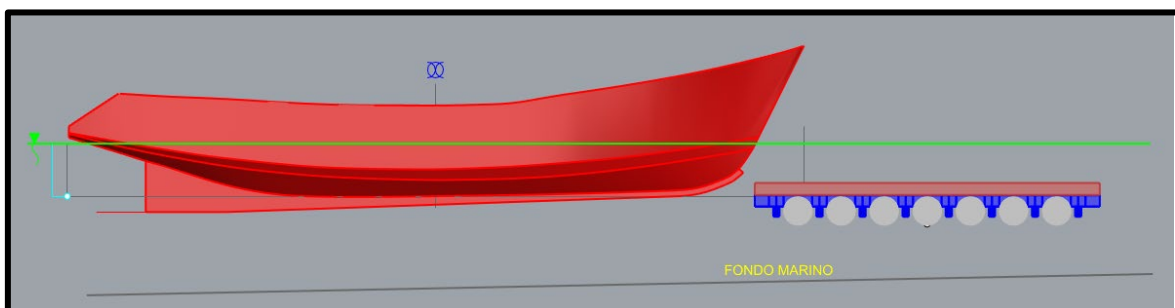


Figura 24. La carreta se inunda para ubicarlo debajo de la embarcación.

En ese lugar, los cabos de la carreta se amarran a las bitas de la embarcación, y se procede a inundar la carreta para poder ubicar en por debajo de la embarcación en su correcta posición. Para esta flotación el buque flota libremente (las ruedas de la carreta no tocan fondo).

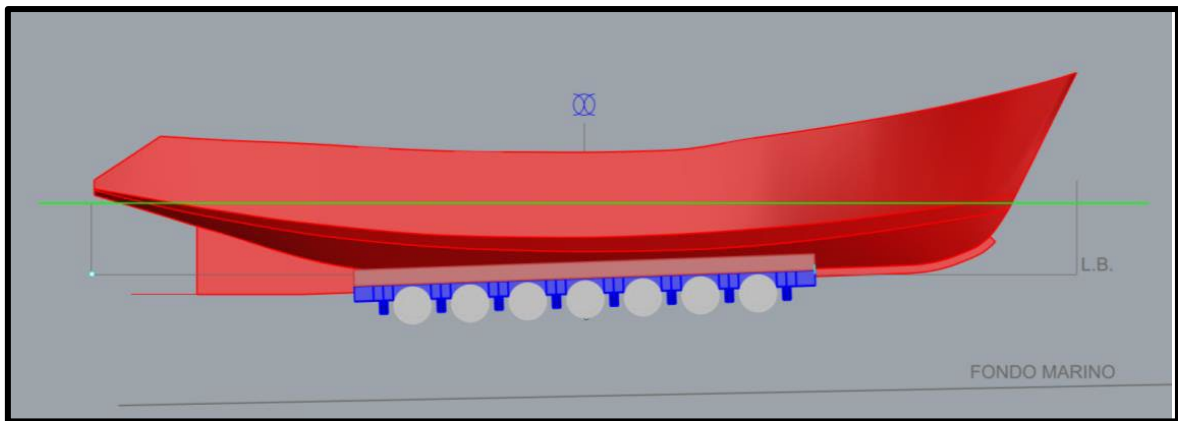


Figura 25. Buque con carreta de varado asegurado.

### **C. Buque en flotación libre primera rueda toca fondo**

El conjunto “buque – carreta” es jalado hacia la orilla mediante el cable a tierra y, al ir avanzando hacia la orilla, el último o primer eje de ruedas toca el fondo marino.

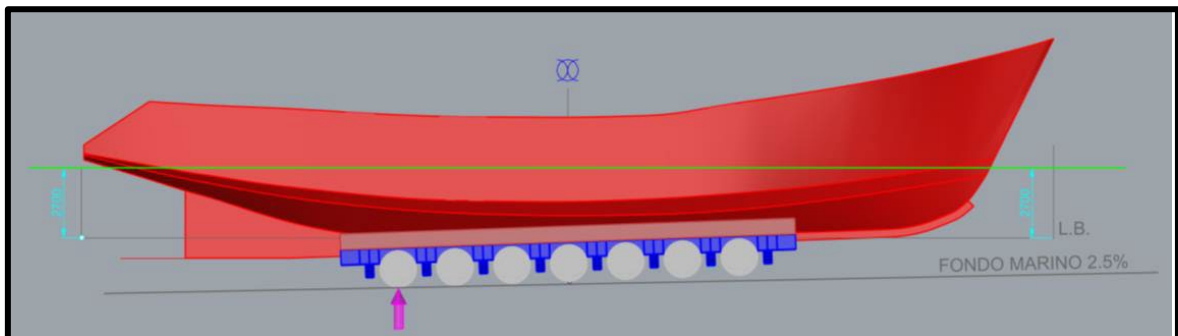


Figura 26. Conjunto Buque-Carreta en donde el primer eje toca fondo.

### **D. Buque con todas las ruedas apoyadas**

Si desde el paso C, se sigue jalando hacia la orilla, en el eje de contacto se origina una reacción. Esta reacción inducirá un cambio en el asiento, haciendo que el conjunto cabecee hasta que todas las ruedas toquen el fondo marino.



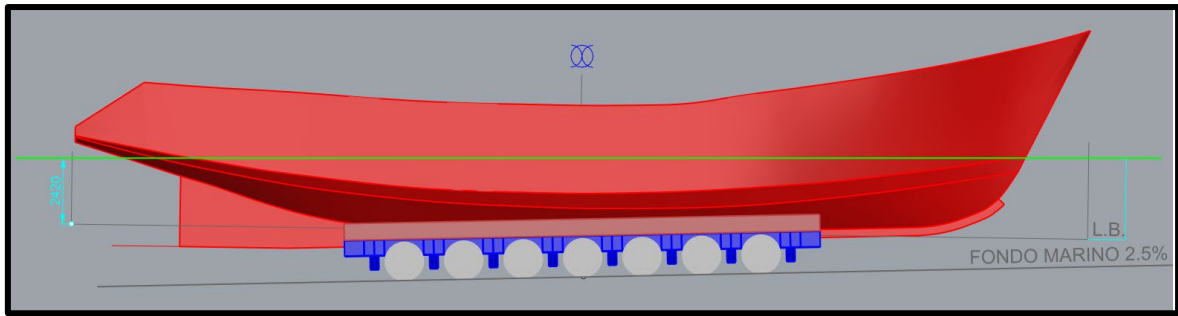


Figura 27. Conjunto Buque-Carreta con todas las ruedas tocando fondo.

Con todas las ruedas apoyadas en el fondo marino, se procede a jalar con ayuda de la línea de tiro que va a tierra. Este proceso se realiza lentamente hasta que el buque logre salir por completo del mar.

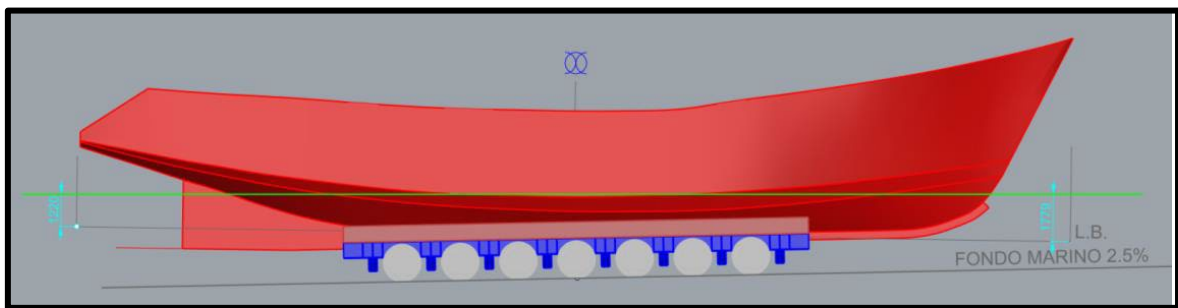


Figura 28. Conjunto Buque-Carreta avanzando hacia la orilla.

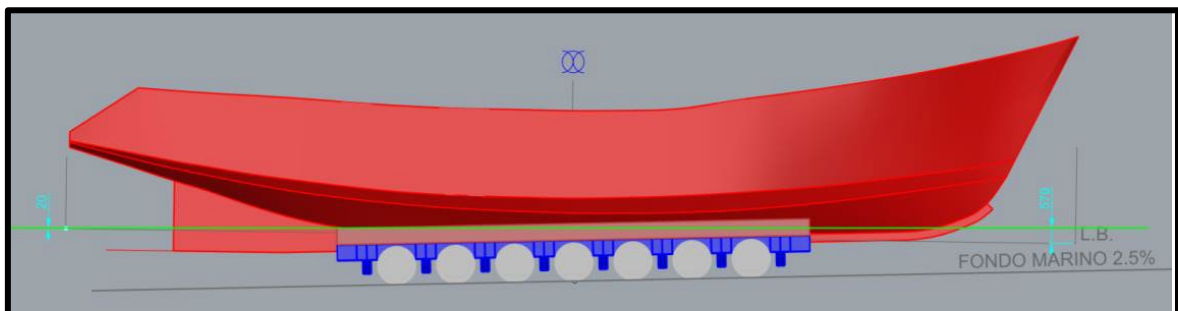


Figura 29. Conjunto Buque-Carreta antes de salir del mar.

### 5.3 PRINCIPALES RIESGOS

Durante los pasos para los pasos A, B y C; la embarcación sufre una pérdida por falta o falla de estabilidad transversal.

Durante el paso D y hasta llegar a la orilla, todas las ruedas se encuentran apoyadas, siendo los principales riesgos de:

- Volcamiento por exceso de escora debido al asentamiento del fondo marino o pérdida de neumáticos.
- Sobrecarga en la estructura de la carreta.

## **CAPITULO VI**

### **ANALISIS Y RESULTADOS**

#### **6.1 Análisis del proceso de varado**

Durante los pasos A, B y C el buque flota libremente y solo se analizará la estabilidad del buque y/o del conjunto buque-carreta, por los siguientes argumentos:

- Durante el paso A, el buque flota libremente. Por tal motivo, el buque debe cumplir con los requerimientos nacionales e internacionales de estabilidad para buques, en este caso, se evaluarán con los criterios generales referidos a la curva GZ del Código Internacional de Estabilidad Sin Avería, 2008 – OMI.
- Durante el paso B, el buque flota libremente y se comporta como un cuerpo flotante con un peso embarcado (la carreta de varado). Es importante considerar que, la carreta presenta flotabilidad neutra o casi neutras, por tal motivo el cambio en la flotación del paso A es mínimo. Por este motivo, si la estabilidad el paso A es aceptable, el paso B también lo será.
- Durante el paso C, el buque sigue flotando libremente, pero la reacción del primer eje de ruedas tocando el fondo inducirá un cambio

en el asiento. Para la flotación antes y después del cambio de asiento, se analizará la estabilidad con los criterios del paso A.

- Para el paso D y pasos intermedios hasta llegar a tierra el conjunto buque/carreta no se le puede aplicar la teoría de estabilidad (no cumple con la hipótesis de iso-carenas). En cambio, la estabilidad del conjunto buque-carreta debe ser una estabilidad de un cuerpo a la volcadura.

## 6.2 RESULTADOS

### 6.2.1 ESTABILIDAD EN FLOTACIÓN LIBRE

#### 3.5.2.1. Paso A

<i>Desplazamiento</i>	<i>400.1 tn</i>
<i>KG</i>	<i>3.900 m</i>
<i>LCG</i>	<i>17.890 m</i>
<i>TCG</i>	<i>0.000 m</i>

*Tabla 5. Condición de carga en paso A*

Draft Amidships m	2.700	LCB from zero pt. (+ve fwd) m	17.892
Displacement t	400.1	LCF from zero pt. (+ve fwd) m	16.598
Heel deg	0.0	KB m	1.724
Draft at FP m	2.700	KG fluid m	3.900
Draft at AP m	2.700	BMt m	2.784
Draft at LCF m	2.700	BML m	44.329
Trim (+ve by stern) m	0.000	GMt corrected m	0.608
WL Length m	33.706	GML m	42.153
Beam max extents on WL m	7.949	KMt m	4.508
Wetted Area m <sup>2</sup>	308.026	KML m	46.053
Waterpl. Area m <sup>2</sup>	231.370	Immersion (TPc) tonne/cm	2.372
Prismatic coeff. (Cp)	0.676	MTc tonne.m	4.526
Block coeff. (Cb)	0.540	RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	4.244
Max Sect. area coeff. (Cm)	0.809	Max deck inclination deg	0.000
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0.864	Trim angle (+ve by stern) deg	0.000

Tabla 6. Propiedades de la carena paso A

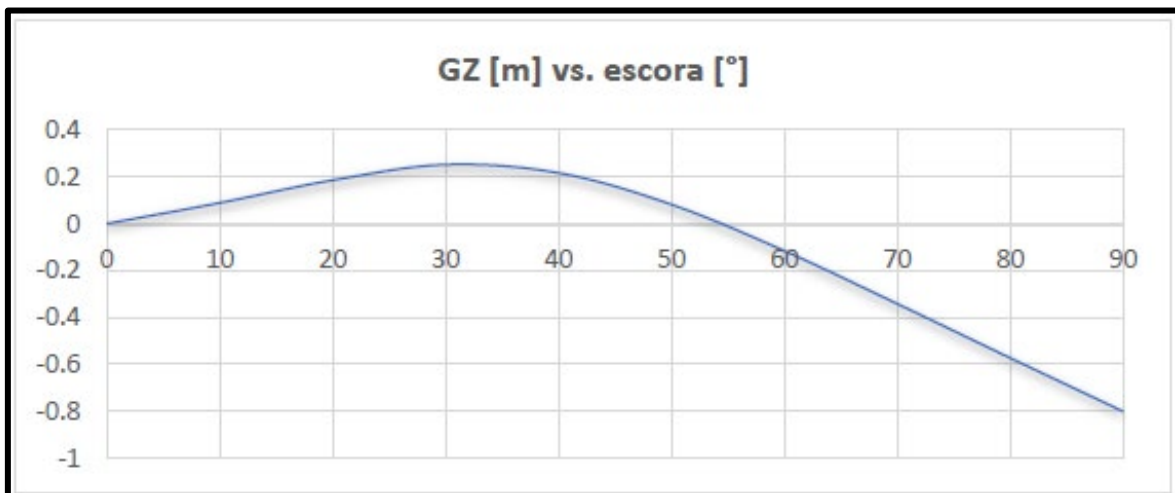


Figura 30. Curva GZ paso A

	MIN	ACTUAL	¿CUMPLE?
GM0	0.450 [m]	0.608 [m]	SI
Área de 0° a 30°	0.055 [m.rad]	0.085 [m.rad]	SI
Área de 0° a 40°	0.090 [m.rad]	0.137 [m.rad]	SI
Área de 30° a 30°	0.030 [m.rad]	0.051 [m.rad]	SI
GZ max	0.200 [m]	0.304 [m]	SI
Ángulo GZ max	25.0 [°]	31.8 [°]	SI

Tabla 7. Criterios de estabilidad paso A

### 3.5.2.2. Paso B

Desplazamiento	400.1
KG	3.900
LCG	17.890
TCG	0.000

Tabla 8. Condición de carga en paso B

Draft Amidships m	2.700	LCB from zero pt. (+ve fwd) m	17.892
Displacement t	400.1	LCF from zero pt. (+ve fwd) m	16.598
Heel deg	0.0	KB m	1.724
Draft at FP m	2.700	KG fluid m	3.900
Draft at AP m	2.700	BMt m	2.784
Draft at LCF m	2.700	BML m	44.329
Trim (+ve by stern) m	0.000	GMt corrected m	0.608
WL Length m	33.707	GML m	42.153
Beam max extents on WL m	7.949	KMt m	4.508
Wetted Area m <sup>2</sup>	308.026	KML m	46.053
Waterpl. Area m <sup>2</sup>	231.370	Immersion (TPc) tonne/cm	2.372
Prismatic coeff. (Cp)	0.676	MTc tonne.m	4.526
Block coeff. (Cb)		RM at 1 deg = GMt.Disp.sin(1)	
	0.540	tonne.m	4.244
Max Sect. Area coeff. (Cm)	0.809	Max deck inclination deg	0.000
Waterpl. Area coeff. (Cwp)	0.864	Trim angle (+ve by stern) deg	0.000

Tabla 9. Propiedades de la carena Paso B

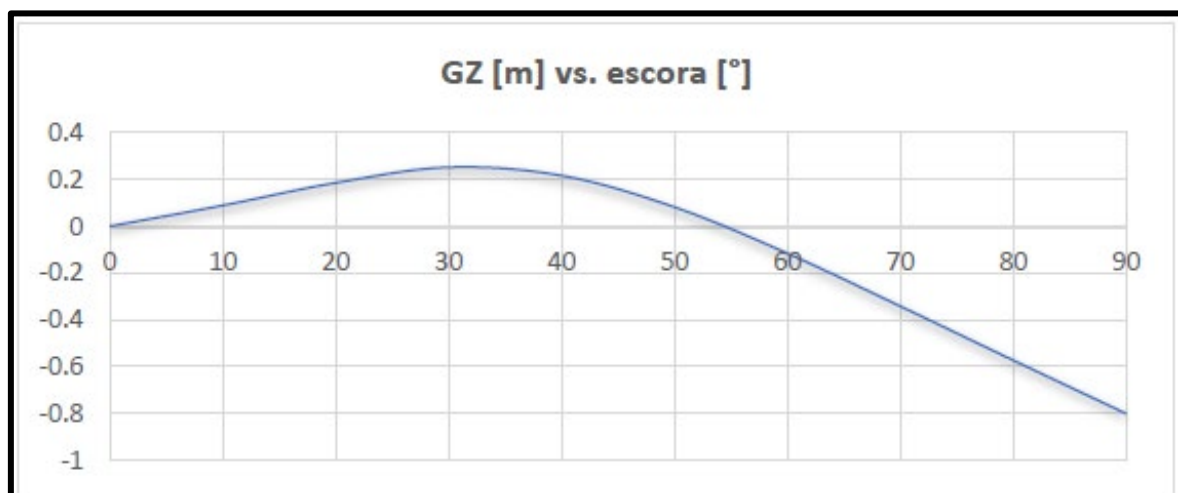


Figura 31. Curva GZ Paso B

Al ser las mismas propiedades de carena y mostrar la misma curva ya que solo hay un peso añadido de 0.02 toneladas, se considera que cumple con los criterios de estabilidad del Paso A

### 3.5.2.3. Paso C

La condición de carga cuando las primeras llantas tocan fondo es:

<i>Desplazamiento</i>	<i>393.8 tn</i>
<i>KG</i>	<i>3.962 m</i>
<i>LCG</i>	<i>18.539 m</i>
<i>TCG</i>	<i>0.000 m</i>

Tabla 10. Condición de carga en paso C

<i>Draft Amidships m</i>	<i>2.700</i>	<i>LCB from zero pt. (+ve fwd) m</i>	<i>18.573</i>
<i>Displacement t</i>	<i>393.8</i>	<i>LCF from zero pt. (+ve fwd) m</i>	<i>17.120</i>
<i>Heel deg</i>	<i>0.0</i>	<i>KB m</i>	<i>1.714</i>
<i>Draft at FP m</i>	<i>2.985</i>	<i>KG fluid m</i>	<i>3.962</i>
<i>Draft at AP m</i>	<i>2.415</i>	<i>BMt m</i>	<i>2.743</i>
<i>Draft at LCF m</i>	<i>2.677</i>	<i>BML m</i>	<i>41.725</i>
<i>Trim (+ve by stern) m</i>	<i>-0.570</i>	<i>GMt corrected m</i>	<i>0.494</i>
<i>WL Length m</i>	<i>32.980</i>	<i>GML m</i>	<i>39.477</i>
<i>Beam max extents on WL m</i>	<i>7.949</i>	<i>KMt m</i>	<i>4.456</i>
<i>Wetted Area m<sup>2</sup></i>	<i>301.638</i>	<i>KML m</i>	<i>43.434</i>
<i>Waterpl. Area m<sup>2</sup></i>	<i>225.306</i>	<i>Immersion (TPc) tonne/cm</i>	<i>2.309</i>
<i>Prismatic coeff. (Cp)</i>	<i>0.679</i>	<i>MTc tonne.m</i>	<i>4.172</i>
<i>Block coeff. (Cb)</i>	<i>0.551</i>	<i>RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m</i>	<i>3.397</i>
<i>Max Sect. area coeff. (Cm)</i>	<i>0.813</i>	<i>Max deck inclination deg</i>	<i>0.8765</i>
<i>Waterpl. area coeff. (Cwp)</i>	<i>0.859</i>	<i>Trim angle (+ve by stern) deg</i>	<i>-0.8765</i>

Tabla 11. Propiedades de carena paso C

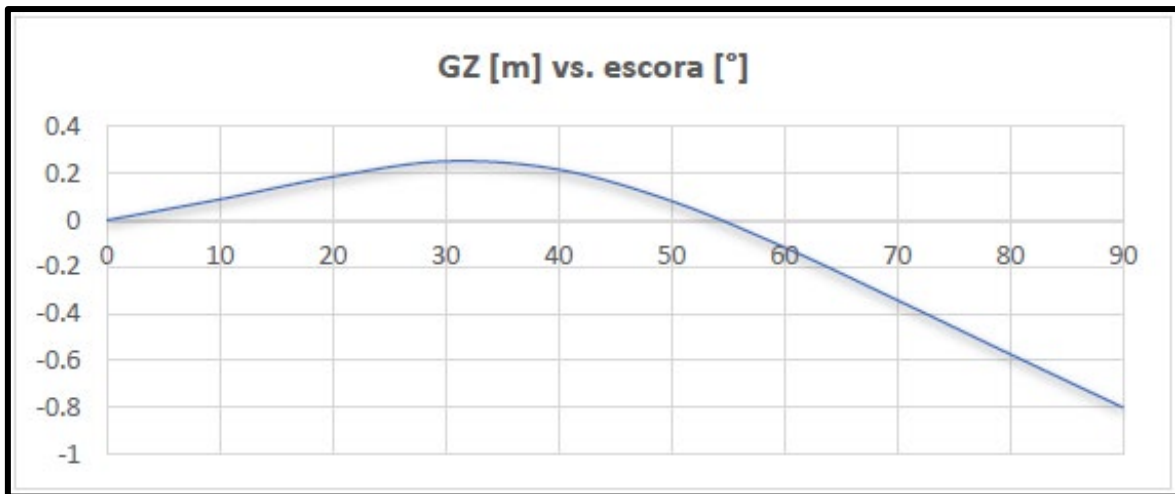


Figura 32. Curva GZ paso C

	MIN	ACTUAL	¿CUMPLE?
GMO	0.450 [m]	0.494 [m]	SI
Área de 0° a 30°	0.055 [m.rad]	0.071 [m.rad]	SI
Área de 0° a 40°	0.090 [m.rad]	0.113 [m.rad]	SI
Área de 30° a 30°	0.030 [m.rad]	0.043 [m.rad]	SI
GZ max	0.200 [m]	0.254 [m]	SI
Ángulo GZ max	25.0 [°]	31.8 [°]	SI

Tabla 12. Criterios de estabilidad para paso C

## 6.2.2 VOLCAMIENTO

Para asegurarnos de que el conjunto buque-carreta no vuelca desde el paso D hasta llegar a tierra firme, se evaluó el equilibrio el buque para 5 flotaciones intermedias con una escora de 5 grados. Las fuerzas actuantes en el buque son las mostradas en la Figura 33 y Figura 34, además son detalladas en la Tabla 13.



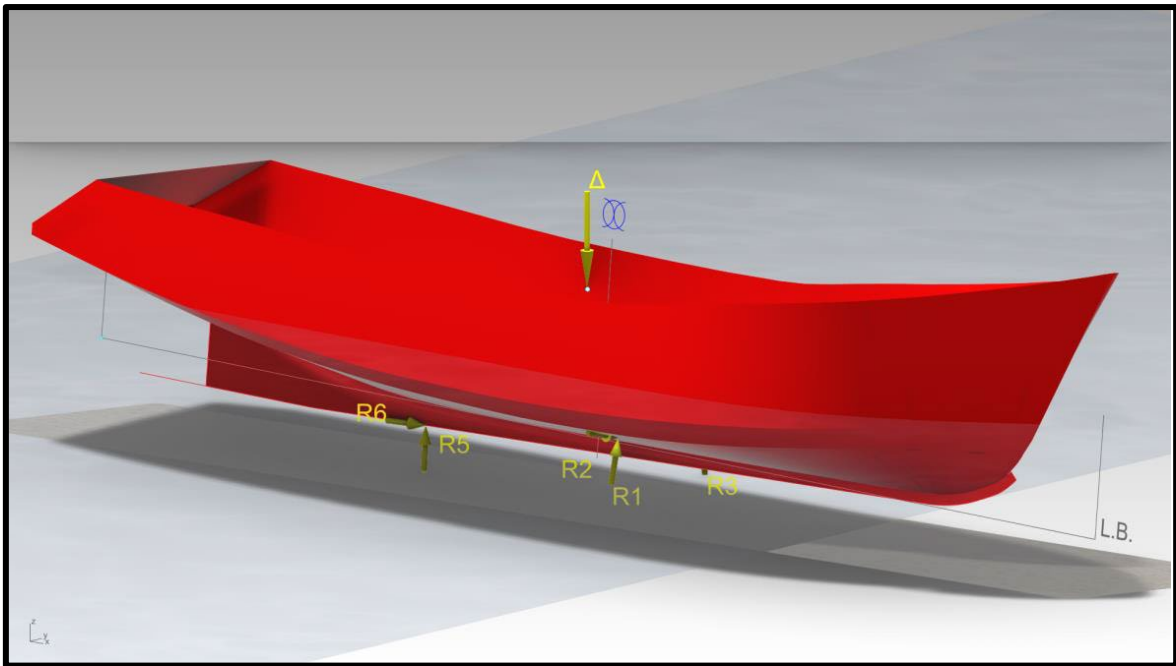


Figura 33. Fuerzas actuando en el buque / lado Er.

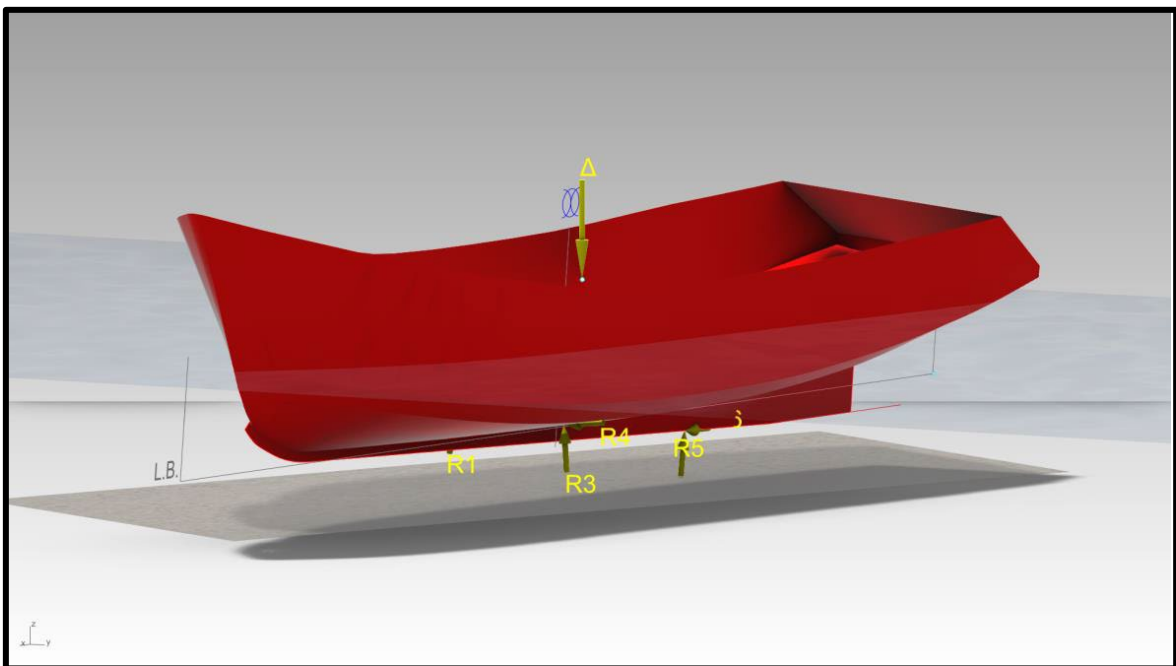


Figura 34. Fuerzas actuando en el buque / lado Br.

$\Delta$	Desplazamiento del buque
$B$	Empuje debido al volumen sumergido
R1 y R2	Reacción en la almohada Er.
R3 y R4	Reacción en la almohada Br.
R5 y R6	Reacción de soporte en quilla

Tabla 13. Fuerzas involucradas desde el paso D hasta llegar a tierra firme.

Las fuerzas están presentes desde el paso D hasta llegar a la orilla ha sido organizada en la Tabla 14, mostrado su módulo, vector unitario y ubicación. Para simplificar el cálculo se han tomado direcciones unitarias en  $i, j$  y  $k$ .

	Módulo	Dirección			Ubicación		
		$\mu_x$	$\mu_y$	$\mu_z$	x	y	z
$\Delta$	400.10	-	-	-1.0000	17.890	0.000	3.900
B	B	-	-	1.0000	Bx	By	Bz
R1	R1	1.0000	-	-	20.904	-1.740	0.358
R2	R2	-	-	1.0000	20.904	-1.740	0.358
R3	R3	1.0000	-	-	20.904	1.740	0.358
R4	R4	-	-	1.0000	20.904	1.740	0.358
R5	R5	-	-	1.0000	12.210	-0.055	-0.799
R6	R6	-	1.0000	-	12.210	-0.055	-0.799

Tabla 14. Fuerzas actuantes a partir del paso D.

Para cada una de las cuatro flotaciones (i.e. ver Tabla 13) se obtiene el valor del empuje  $\{B\}$  y también de su posición  $\{B_x, B_y$  y  $B_z\}$ . A partir de aquí, el sistema se convierte en un sistema estáticamente determinado, y con ayuda de la teoría de estática de cuerpo rígido en 3 dimensiones (ver ecuaciones de equilibrio) se obtienen las fuerzas.

$$\Sigma F_{x,y,z} = 0 \wedge \Sigma M_{x,y,z} = 0$$

### 3.5.2.1. Paso D - 1era flotación

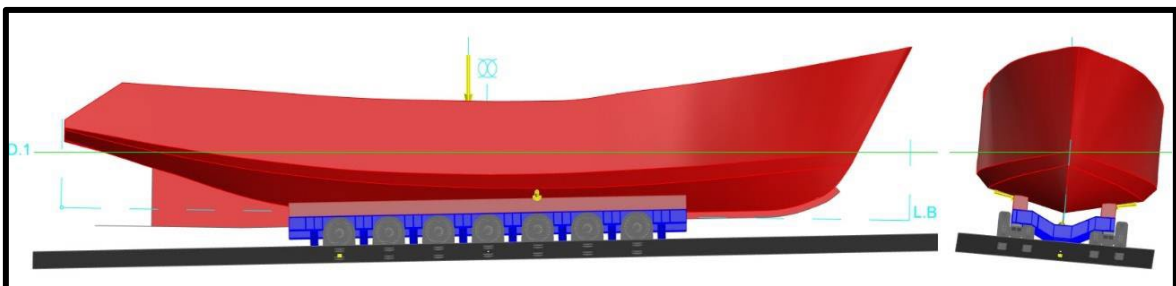


Figura 35. Flotación paso D-1

Calado en proa	2.980 m
Calado en popa	2.420 m
Escora	5.00 °
KG	3.900 m
LCG	17.890 m
TCG	0.000 m

Tabla 15. Condición de flotación para paso D-1.

B	393.8 tn
Bx	18.558 m
By	0.388 m
Bz	1.424 m

Tabla 16. Empuje y ubicación para paso D-1.

R1	3.30 [tn]
R2	0.45 [tn]
R3	4.23 [tn]
R4	0.14 [tn]
R5	-0.83 [tn]
R6	0.13 [tn]

Tabla 17. Fuerzas resultantes para paso D-1.

Para la posición D-1 el buque se encuentra en equilibrio.

### 3.5.2.2. Paso D - 2da flotacion

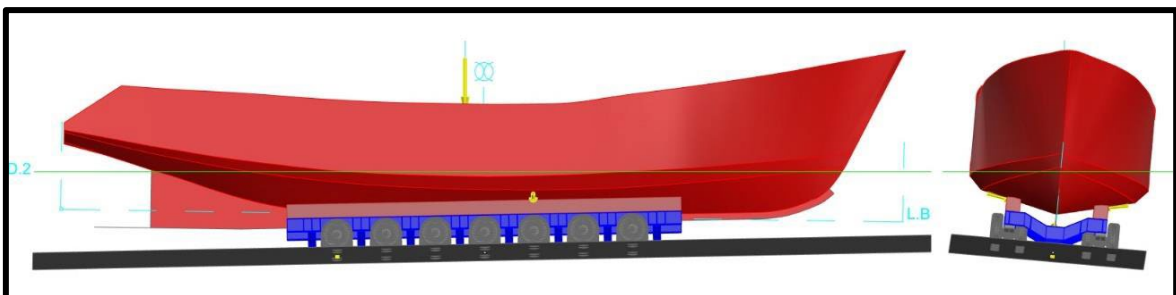


Figura 36. Flotación paso D-2.

Calado en proa	2.230 m
Calado en popa	1.670 m
Escora	5.00 °
KG	3.900 m
LCG	17.890 m
TCG	0.000 m

Tabla 18. Condición de flotación para paso D-2.

B	233.74 tn
Bx	19.164 m
By	0.457 m
Bz	0.984 m

Tabla 19. Empuje y ubicación para paso D-2.

R1	33.96 [tn]
R2	-19.51 [tn]
R3	57.06 [tn]
R4	-19.13 [tn]
R5	68.71 [tn]
R6	3.29 [tn]

Tabla 20. Fuerzas resultantes para paso D-2.

Para la posición D-2 el buque se encuentra en equilibrio.

### 3.5.2.3. Paso D - 3ra flotación

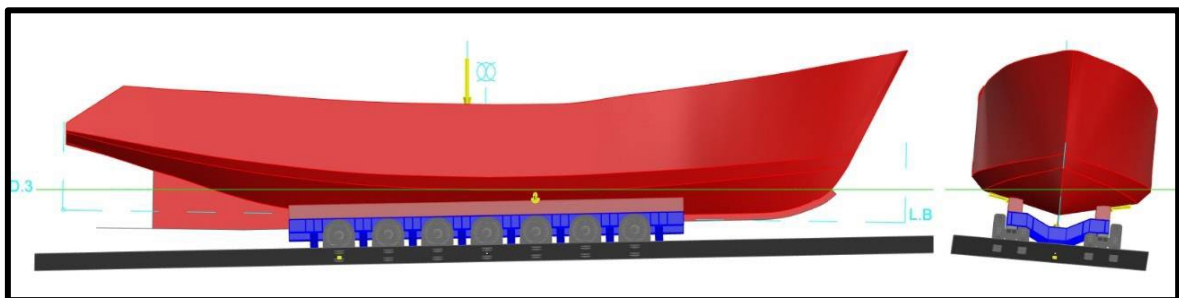


Figura 37. Flotación paso D-3.

Calado en proa	1.480 m
Calado en popa	0.920 m
Escora	5.00 °
KG	3.900 m
LCG	17.890 m
TCG	0.000 m

Tabla 21. Condición de flotación para paso D-3.

B	97.393 tn
Bx	19.696 m
By	0.596 m
Bz	0.527 m

Tabla 22. Empuje y ubicación para paso D-3.

R1	60.52 [tn]
R2	-36.24 [tn]
R3	102.50 [tn]
R4	-35.35 [tn]
R5	127.21 [tn]
R6	5.98 [tn]

Tabla 23. Fuerzas resultantes para paso D-3.

Para la posición D-3 el buque se encuentra en equilibrio.

#### 3.5.2.4. Paso D - 4ta flotación

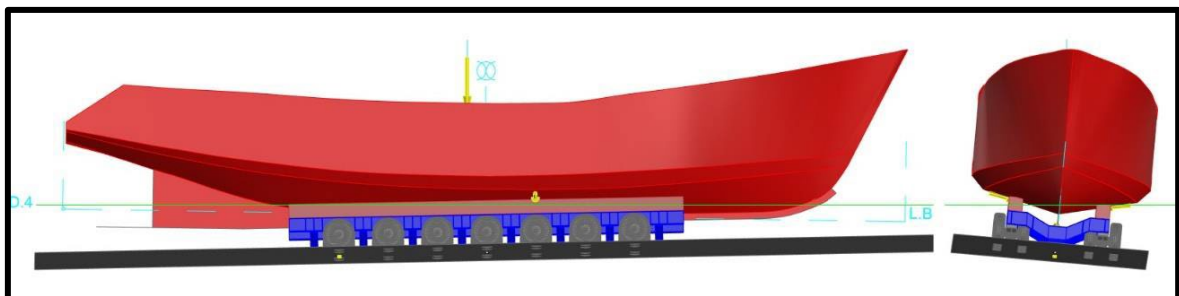


Figura 38. Flotación paso D-4.

Calado en proa	0.730 m
Calado en popa	0.170 m
Escora	5.00 °
KG	3.900 m
LCG	17.890 m
TCG	0.000 m

Tabla 24. Condición de flotación para paso D-4.

B	11.969 tn
Bx	20.202 m
By	0.393 m
Bz	0.040 m

Tabla 25. Empuje y ubicación para paso D-4.

R1	75.59 [tn]
R2	-47.67 [tn]
R3	129.35 [tn]
R4	-46.20 [tn]
R5	166.54 [tn]
R6	7.66 [tn]

Tabla 26. Fuerzas resultantes para paso D-4.

Para la posición D-4 el buque se encuentra en equilibrio.

### 3.5.2.5. Paso E - buque emerge por completo

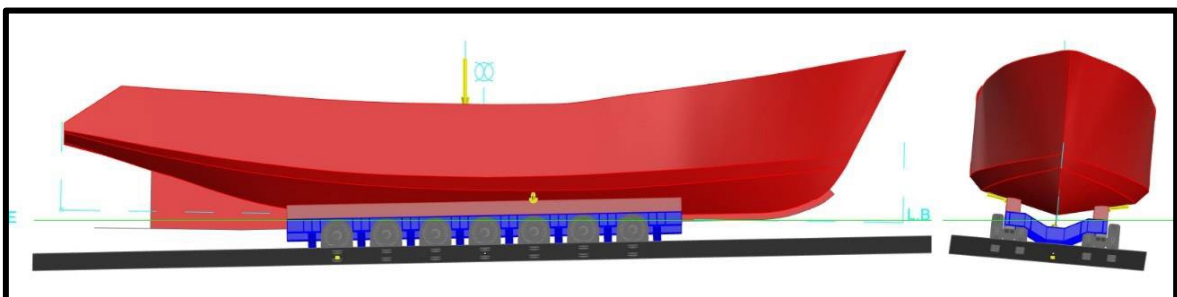


Figura 39. Flotación paso E.

Calado en proa	0.000 m
Calado en popa	0.000 m
Escora	5.00 °
KG	3.900 m
LCG	17.890 m
TCG	0.000 m

Tabla 27. Condición de flotación para paso E.

B	0.000 tn
Bx	0.000 m
By	0.000 m
Bz	0.000 m

Tabla 28. Empuje y ubicación para paso E.

R1	75.80 [tn]
R2	-49.98 [tn]
R3	131.18 [tn]
R4	-48.11 [tn]
R5	175.49 [tn]
R6	7.89 [tn]

Tabla 29. Fuerzas resultantes para paso E.

Para la posición *E* el buque se encuentra en equilibrio.

### 6.2.3 RESISTENCIA ESTRUCTURAL

Una vez que todas las ruedas tocan el fondo marino (paso D) y hasta que la embarcación llegue a la orilla; ocurre que, se va produciendo una transferencia de carga hacia la estructura por la pérdida de empuje debido al cambio de volumen de la carena.

La máxima sollicitación a la estructura de la carreta de varado ocurre cuando el buque emerge por completo del mar. En la sección anterior se encontró que cuando el buque emerge por completo, la carga máxima aplicada a la viga

longitudinal (R3 y R4) es de 139.7 tn y para la viga transversal (R5 y R6) es de 175.6 tn.

En las siguientes secciones se analizará la resistencia global de las vigas longitudinales y transversales asumiendo un caso muy desfavorable e improbable:

- La viga longitudinal con carga distribuida de 300 tn
- La viga transversal con carga puntual de 175 tn.

### 6.2.3.1 VIGA LONGITUDINAL

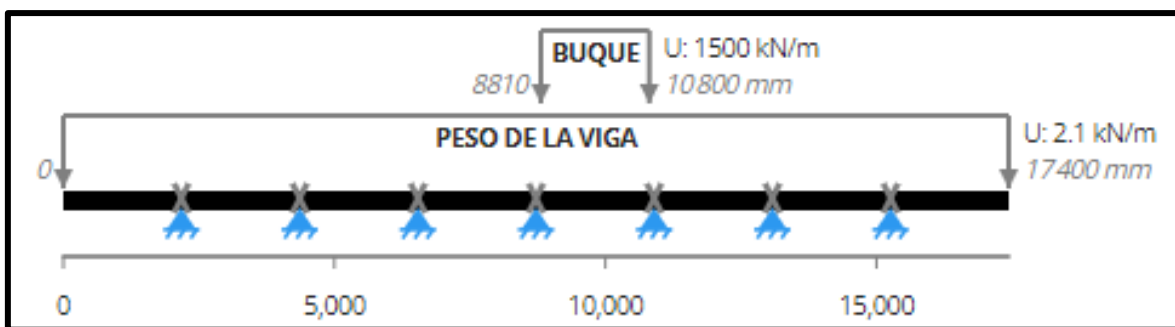


Figura 40. Modelo matemático de viga longitudinal.

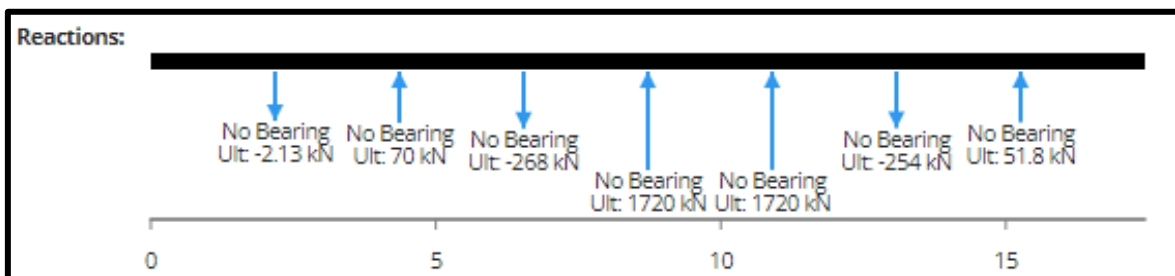


Figura 41. Reacciones en la viga longitudinal.

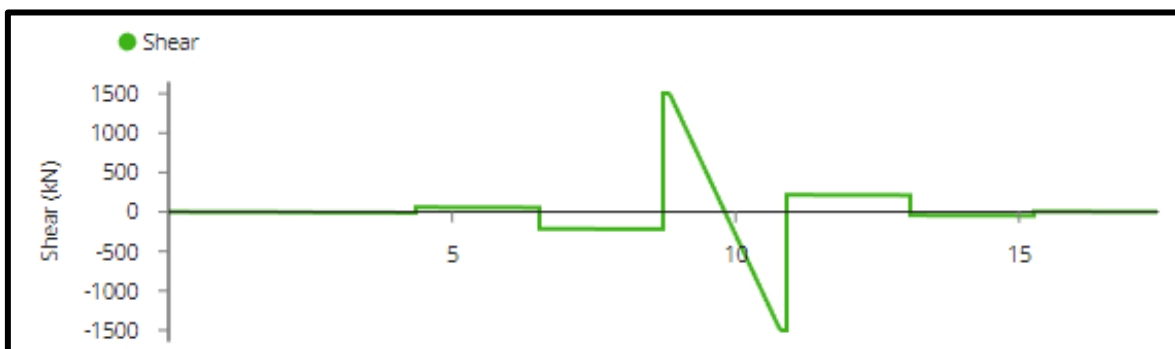


Figura 42. Fuerza cortante en la viga longitudinal.



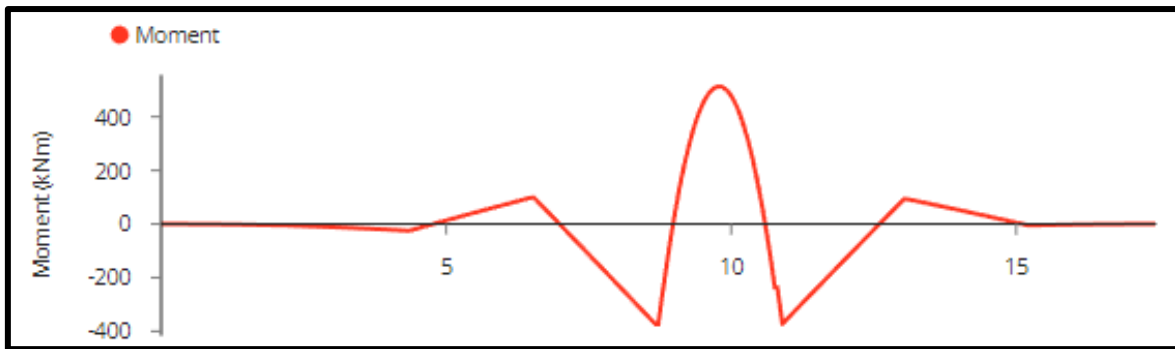


Figura 43. Momento flector en viga longitudinal.

Las propiedades geométricas de la sección transversal de la viga longitudinal (ver Figura 13), son:

A	47,307.2 mm <sup>2</sup>
I <sub>yy</sub>	2,108,317,360.0 mm <sup>4</sup>
y	310.0 mm

Figura 44. Propiedades geométricas de sección transversal de la viga longitudinal

Los esfuerzos principales en la viga son:

- Esfuerzo de flexión:

$$\sigma = \frac{M \cdot y}{I_{yy}}$$

Para el momento máximo de +513 kN·m se obtiene un esfuerzo de flexión máximo  $\sigma = 75.7$  MPa.

- Esfuerzo de corte:

$$\tau = \frac{V}{A}$$

Para la fuerza de corte máxima de +1,500 N se obtiene un esfuerzo de cortante máximo  $\tau = 31.7$  MPa.

Entonces, los factores de seguridad para los esfuerzos generados son:

	VALOR	FLUENCIA	F.S.
$\sigma$	75.7	205.0	2.71
$\tau$	31.7	102.5	3.23

Tabla 30. Factor de seguridad para viga longitudinal.

### 6.2.3.2 VIGA TRANSVERSAL

Para la viga transversal se realizará el mismo análisis realizado en la sección

3.5.3.1. La viga transversal tiene una longitud total de 3,800 m modelado como una viga empotrada en los extremos (ver Figura 40).

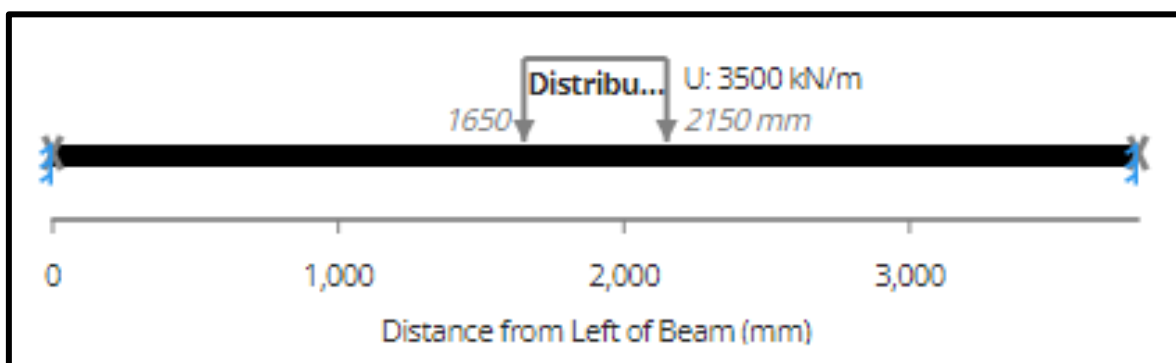


Figura 45. Modelo matemático de viga transversal.

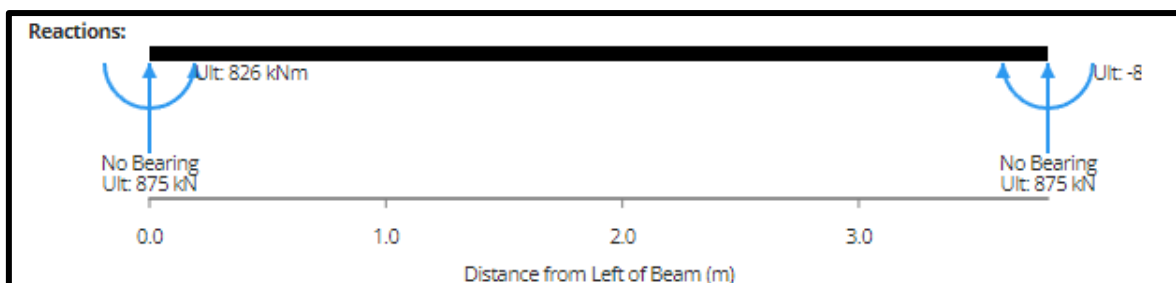


Figura 46. Reacciones en la viga transversal.

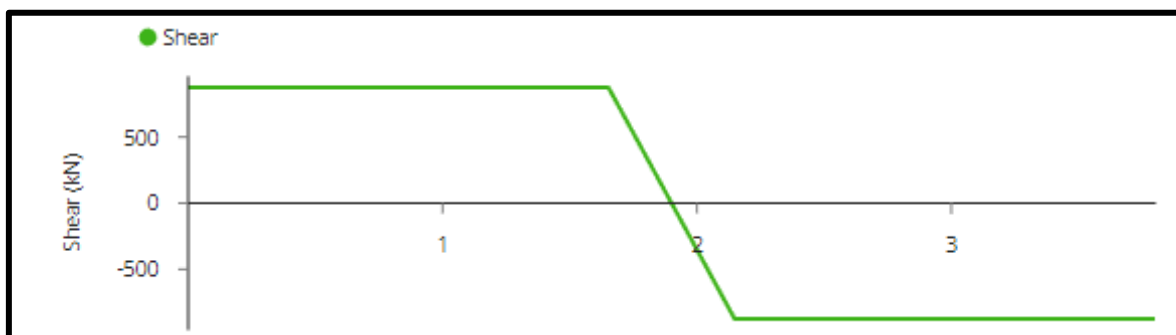


Figura 47. Fuerza cortante en la viga transversal.

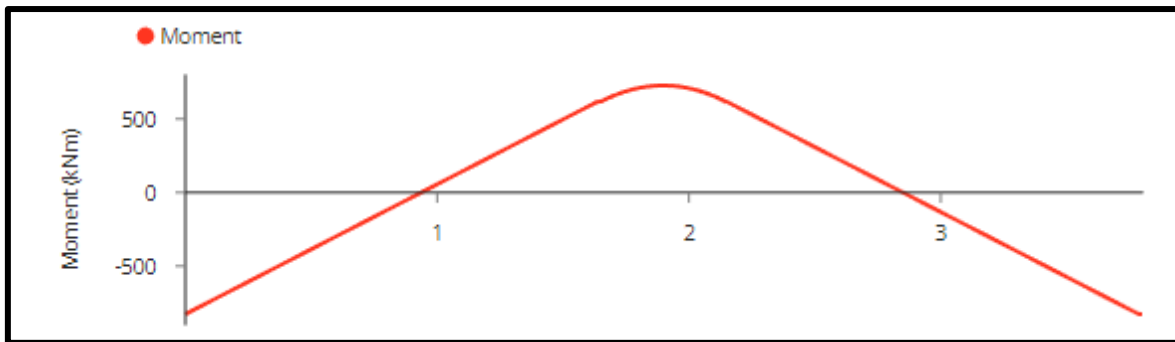


Figura 48. Momento flector en viga transversal.

Las propiedades geométricas de la sección transversal de la viga transversal (ver Figura 10), son:

<i>A</i>	4,864.2 mm <sup>2</sup>
<i>I<sub>yy</sub></i>	2,189,461,370.0 mm <sup>4</sup>
<i>y</i>	330.0 mm

Tabla 31. Propiedades geométricas de la viga sección transversal.

Los esfuerzos principales en la viga son:

- Esfuerzo de flexión:

$$\sigma = \frac{M \cdot y}{I_{yy}}$$

Para el momento máximo de -826 kN·m se obtiene un esfuerzo de flexión máximo  $\sigma = 124.5$  MPa.

- Esfuerzo de corte:

$$\tau = \frac{V}{A}$$

Para la fuerza de corte máxima de +875 kN se obtiene un esfuerzo de cortante máximo  $\tau = 18.0$  MPa.

Entonces, los factores de seguridad para los esfuerzos generados son:

	VALOR	FLUENCIA	F.S.
$\sigma$	124.5	205.0	1.65
$\tau$	18.0	102.5	5.65

Tabla 32. Factor de seguridad para viga transversal.

## 6.2.4 RESISTENCIA EN SISTEMA RODANTE

Como bien se mencionó en el capítulo II, el sistema rodante está comprendido siete *unidades rodantes* en cada banda. Cada unidad rodante incluye un eje SAE 1045 de  $\phi$  145 mm que mediante dos rodajes SKF 32028 soporta dos neumáticas de avión 56x20.0-20.

Se procederá a realizar el análisis por fuerzas transmitidas de la embarcación y el módulo hacia las bases móviles del sistema rodante

### 6.2.4.1 ANALISIS DE NEUMÁTICOS

El carro de varado cuenta con neumáticos del tipo 461B-2598-TL según las especificaciones técnicas del fabricante como se observa en la Tabla 33.

12.50-16	12	TL	160	12800	75	18560	34600	Aircraft Rib	461B-1876-TL
15.00-12	14	TL	160	12700	65	18410	34300	Aircraft Rib	152T46-1
15.00-16	10	TL	160	12200	53	17690	32900	Aircraft Rib	156G06G1
15.00-16	16	TL	160	19700	80	28560	53200	Aircraft Rib	156T66G1
17.00-16	12	TT	160	12800	60	22200	42200	Aircraft Rib	176C26B1
20.00-20	26	TL	174K	46500	125	67420	125600	Aircraft Rib	461B-2598-TL

Tabla 33. Tabla de neumáticos del fabricante.

Nota: Recuperado de <https://pdf.aeroexpo.online/es/pdf-en/goodyear-nederland-bv/section-3-data-section-tires/183713-9510.html#open41203>

De la tabla también podemos ver que la presión máxima en la zona del fondo según el fabricante, será de 67420lb o 30581 Kg.

Por los análisis mostrados en la Figura 46 y en la Figura 41 tenemos que la fuerza total será el peso de la embarcación más el peso del carro, siendo:

$$F_T = 400 * 9.81 + 2.1 * (17.4 * 2 + 3.8 * 7)$$

$$F_T = 4052.94 \text{ KN}$$

Como se tiene 4 llantas por hilera de 7 ejes, esa fuerza total la soportarían 28 neumáticos, sin embargo, en la práctica se observa que en la subida de la embarcación el peso se apoya en los 5 ejes centrales, siendo el total de neumáticos que soportaran la fuerza 20.

$$Peso_{soportado \times neumático} = \frac{4052.94KN}{9.81 * 20}$$

$$Peso_{soportado \times neumático} = 20657 Kg$$

Comparando el peso que soportará cada llanta con respecto a lo especificado por el fabricante se puede determinar que el factor peso total no es un inconveniente para el proceso de varada.

#### 6.2.4.2 ANALISIS DE EJES

Como se ha mencionado, cada banda cuenta con 7 ejes de acero SAE 1045 x  $\phi$  145 mm por banda siendo la reacción crítica cuando se apoye en las dos llantas más próximas.

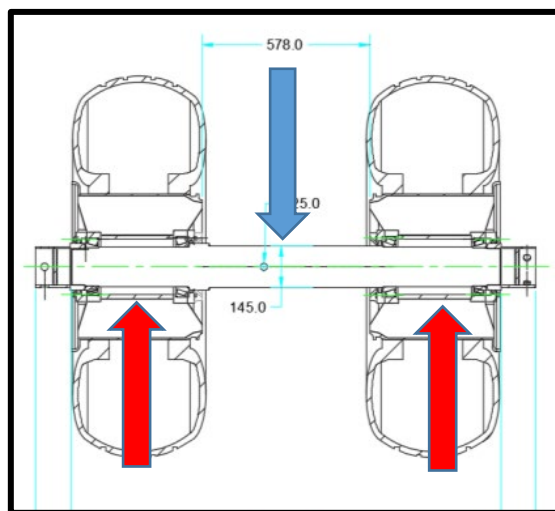


Figura 49. Fuerzas de reacción en los ejes

Como se observa, la fuerza total hallada se reparte dentro de los 5 ejes por banda, generándose un esfuerzo cortante que se considera uniforme en el eje (carga distribuida)

$$F_{eje} = \frac{F_T}{N^{\circ} ejes} = 405.3KN$$

Los esfuerzos principales en el eje son:

➤ Esfuerzo de flexión:

$$\sigma = \frac{M \cdot y}{I_{yy}}$$

Para el momento máximo de -16.88 kN·m se obtiene un esfuerzo de flexión máximo  $\sigma = 112.79$  MPa.

➤ Esfuerzo de corte:

$$\tau = \frac{V}{A}$$

Para la fuerza de corte máxima de +202.65 kN se obtiene un esfuerzo de cortante máximo  $\tau = 12.27$  MPa.

Entonces, los factores de seguridad para los esfuerzos generados son:

Propiedad	Condición de estudio del material		
	Trefilado en frio (Entrega)	Normalizado	Recocido
Coefficiente de endurecimiento por deformación (n)	0,0319 ( $\sigma = 0,013$ )	0,1554 ( $\sigma = 0,016$ )	0,2461 ( $\sigma = 0,003$ )
Coefficiente de correlación ( $R^2$ )	0,8345 ( $\sigma = 0,037$ )	0,9410 ( $\sigma = 0,008$ )	0,9683 ( $\sigma = 0,004$ )
Módulo de corte G (GPa)	29,26 ( $\sigma = 2,52$ )	20,65 ( $\sigma = 3,39$ )	13,99 ( $\sigma = 0,12$ )
Esfuerzo de fluencia ( $\tau_y$ ) (MPa)	495,06 ( $\sigma = 29,39$ )	355,12 ( $\sigma = 44,034$ )	252,62 ( $\sigma = 4,68$ )
Esfuerzo último ( $\tau_{max}$ ) (MPa)	675,51 ( $\sigma = 8,99$ )	664,36 ( $\sigma = 9,308$ )	592,38 ( $\sigma = 12,79$ )
Deformación angular a la rotura ( $\gamma_{max}$ ) (rad/rad)	0,28 ( $\sigma = 0,02$ )	0,78 ( $\sigma = 0,07$ )	0,77 ( $\sigma = 0,04$ )

$\sigma$ : Desviación estándar

Tabla 34. Propiedades del Acero SAE 1045

Nota: recuperado de <https://www.redalyc.org/journal/707/70757668013/html/>

	Valor	Fluencia	F.S.
$\sigma$	112.79	495.06	4.38

$\tau$	12.27	675.51	55.05
--------	-------	--------	-------

*Tabla 35. Tabla de esfuerzos en ejes*

## CONCLUSIONES

El procedimiento de varado mediante carreta de varado es bastante confiable porque, para los principales riesgos: pérdida de estabilidad y volcadura; se ha verificado que el buque/carreta se encuentra en una condición estable, es decir, cumple los criterios de estabilidad intacta según normas internacionales OMI.

El principal componente del sistema de varado es la carreta de varado (la estructura) y para la peor condición de carga, este presenta un factor de seguridad mínimo de 2.71 y 1.65 para las vigas longitudinales y transversales.

Los casos evaluados para los principales riesgos son casos muy desfavorables, y a pesar de ello, el buque/carreta se encuentra en una condición estable.

Debido a que la carreta de varado presenta flotabilidad casi neutra, al asegurar la carreta de varado a la embarcación, este no induce ningún cambio en flotación ni en el centro de gravedad del buque. Es decir, si el buque es estable antes de asegurar la carreta, lo seguirá siendo después de asegurar la carreta.

Desde que el primer eje de ruedas toca el fondo marino y hasta todas las ruedas tocan fondo, es importante tener cuidado durante esta fase del procedimiento porque se genera una elevación del centro de gravedad por efecto la reacción en el fondo. Una vez que todas las ruedas están asentadas en el fondo, el sistema puede soportar hasta 5° sin volcarse.



## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Bonilla, A. (1979). Teoría del Buque. Librería San José, Cádiz
2. Casson, L. (1971). Ships and Seamanship in the Ancient World. Princeton University Press.
3. Cervera, M. y Blanco, E. (2015). Resistencia de Materiales. CIMNE
4. Cortés, M. e Iglesias, M. (2004). Generalidades sobre Metodología de la Investigación. Universidad Autónoma del Carmen
5. CORP FUNG S.A.C. (2019). Confección de camas de varado.
6. García, M. y Martínez, P. (2012). Guía Práctica para la realización de trabajos fin de Grado y trabajos de fin de Máster. Editum. Docente.
7. Gonzales, H. (2011). Estabilidad del buque. Disponible en:  
<http://estabilidadbuque.blogspot.com/2012/04/criterios-generales-de-estabilidad-omi.html>
8. Gudmundsson, A. (2009). Prácticas de seguridad relativas a la estabilidad de buques pesqueros pequeños. FAO Documento Técnico de Pesca y Acuicultura.
9. Lirio, F., Dextre-Martínez, W. y García, M. (2020). La operacionalización de variables y la matriz de consistencia en investigaciones PSL-SEM. DOI: 10.5281/ ZENODO.3679404
10. Malpica, O. y Bardales, J. (2018). Determinación de la estabilidad de una pequeña embarcación pesquera de madera de diseño predominante en la zona norte del litoral peruano. Departamento Académico de Manejo Pesquero y Medio Ambiente. Universidad Agraria La Molina

11. OMI (1977). Convenio Internacional de Torremolinos para la Seguridad de los Buques Pesqueros. España
12. OMI (2008). Código Internacional de Estabilidad Sin Avería. Resolución MSC.267(85)
13. Rahola, J. (1939). The Judging of the Stability of Ships and the determination of the Minimum amount of the Stability. Tesis doctoral. University of Finland. Helsinki
14. SNAME (2003). Ship Design & Construction: Principles of Naval Architecture. Vol 1.
15. Vargas, Z. (2009). La investigación aplicada: Una forma de conocer las realidades con evidencia científica. Revista Educación Vol. 33 (p. 155-165)
16. Villa, R. (02 de mayo de 2014). Fases de la botadura de buques en gradas de Ferrol. Recuperado de:  
<https://www.gii.udc.es/img/gii/files/FASES%20DE%20LAS%20BOTADURAS.pdf>
17. GOODYEAR. Recuperado de: <https://pdf.aeroexpo.online/es/pdf-en/goodyear-nederland-bv/section-3-data-section-tires/183713-9510.html#open41203>



## ANEXO A

### MATRIZ DE RIESGOS Y OPORTUNIDADES

#### Criterios de calificación de riesgo

A continuación, se describen los criterios para obtener la calificación del riesgo. Se debe realizar la multiplicación de la consecuencia por la probabilidad y el resultado determinará el tratamiento que debe darse al riesgo.

Calificación	Consecuencia (C)	Descripción
5	Catastrófico	El evento tiene consecuencias críticas para la entidad, impacta altamente la reputación de la entidad y detiene la prestación del servicio. El evento puede tener impacto alta en asuntos legales.
4	Mayor	El evento tiene consecuencias graves para la entidad, impacta reputación de la entidad e impacta la prestación del servicio. El evento puede tener impacto bajo en asuntos legales.
3	Moderado	El evento tendría medianas consecuencias sobre la entidad, no impacta la prestación del servicio y podría tener impacto mínimo en la reputación de la entidad.
2	Menor	El evento tiene consecuencias bajas sobre la entidad, no tiene impacto reputacional ni impacto en la continuidad de la prestación de los servicios.
1	Insignificante	El evento no tiene o tiene consecuencias mínimas en el funcionamiento o reputación de la institución.

*Tabla 36. Criterios de calificación de riesgos*

Calificación	Probabilidad (P)	Descripción
5	Casi seguro	El evento podría ocurrir más de una vez en el último año
4	Probable	El evento podría ocurrir al menos una vez el último año
3	Posible	El evento podría ocurrir al menos una vez en los últimos dos años
2	Remoto	El evento podría ocurrir al menos una vez en los últimos 5 años
1	Raro	El evento no se ha presentado en los últimos 5 años

*Tabla 37. Puntaje y probabilidad de ocurrencia del evento*

## Clasificación de riesgo

Se presenta el mapa de clasificación de los riesgos de acuerdo con el resultado de probabilidad (p) por consecuencia (c) (ver numeral 1). Esta clasificación determina la severidad o impacto que el riesgo podría generar en la compañía y las decisiones recomendadas para su tratamiento:

		Consecuencia				
		1	2	3	4	5
Probabilidad	5	5	10	15	20	25
	4	4	8	12	16	20
	3	3	6	9	12	15
	2	2	4	6	8	10
	1	1	2	3	4	5

Riesgo alto
Riesgo medio
Riesgo bajo

**Tabla de clasificación de riesgos**

*Tabla 38. Tabla de clasificación de riesgos*

En función de la clasificación del riesgo podrían tomarse las siguientes decisiones:

<b>Aceptar el riesgo</b>	Riesgo que puede ser aceptado por su baja calificación. Se debe realizar el seguimiento del mismo.
<b>Mitigar el riesgo</b>	Se requieren un plan de acción que disminuya la calificación del riesgo. Pueden estar dirigidas a disminuir la consecuencia o la probabilidad de ocurrencia.
<b>Eliminar la fuente de riesgo</b>	Elimina la fuente que está causando el riesgo para la compañía.

*Tabla 39. Decisiones para toma de riesgos*

Como aplicación a la herramienta propuesta, a continuación, se presenta el formato sugerido para el registro de los riesgos el cual fue diligenciado con tres (3) riesgos identificados de acuerdo con los objetivos de calidad propuestos para la organización. Se sugiere codificar los riesgos para facilitar la trazabilidad de las revisiones y la información documentada asociada a los mismos

v				Mantenimiento de maquinarias utilizadas en las maniobras									
Código riesgo / mes de revisión				R-001 revisado noviembre 2020 – primera revisión									
Información inicial del riesgo									Evaluación de efectividad de las acciones				
Riesgo	Causas probables	P	C	Riesgo inherente	Tipo de riesgo	Aceptar/Mitigar/Eliminar	Tipo de consecuencia	Acciones para el control	P	C	Riesgo residual	Tipo de riesgo	Aceptar/Mitigar/Eliminar
No contar con la maquinaria en el momento necesario, generando pérdidas.	No contar con un plan de mantenimiento de maquinarias efectivo.	5	3	15	Alto	Mitigar	Reputación Economía	1, Realizar un plan de mantenimiento de maquinarias efectivo. 2, Mantener en stock los repuestos necesarios.					
Oportunidad detectada								Acciones para oportunidad	Seguimiento de acciones				
Implementación de un encargado, que se ocupe del mantenimiento de las máquinas y que prevea, en conjunto con la jefatura, las fechas donde se realizara el mantenimiento.								1, Evaluar la factibilidad de contratar a un personal nuevo para cubrir ese puesto.					

Tabla 40. Riesgos por maquinarias

Objetivo impactado				Implementación de línea de varado									
Código riesgo / mes de revisión				R-002 revisado noviembre 2020 – primera revisión									
Información inicial del riesgo									Evaluación de efectividad de las acciones				
Riesgo	Causas probables	P	C	Riesgo inherente	Tipo de riesgo	Aceptar/Mitigar/Eliminar	Tipo de consecuencia	Acciones para el control	P	C	Riesgo residual	Tipo de riesgo	Aceptar/Mitigar/Eliminar
No poder varar y desvarar barcos de gran tonelaje; retraso en actividades de vara y desvarar	No contar con las herramientas necesarias para varar y desvarar efectivamente embarcaciones de gran tonelaje	5	3	15	Alto	Mitigar	Reputación Economía	1, Realizar un plan de proyecto para la construcción de línea de varado.					
Oportunidad detectada								Acciones para oportunidad	Seguimiento de acciones				
Implementación de una línea de varado para embarcaciones de gran tonelaje.								1, Evaluar la factibilidad y productividad de la línea de varado					

Tabla 41. Riesgos por retraso de actividades en varado y desvarado

Objetivo impactado				Construir una cultura de mejora continua a través de programas de autoevaluación y escucha activa de la voz de los clientes									
Código riesgo / mes de revisión				R-003 revisado noviembre 2020 – primera revisión									
Información inicial del riesgo									Evaluación de efectividad de las acciones				
Riesgo	Causas probables	P	C	Riesgo inherente	Tipo de riesgo	Aceptar/Mitigar/Eliminar	Tipo de consecuencia	Acciones para el control	P	C	Riesgo residual	Tipo de riesgo	Aceptar/Mitigar/Eliminar
No corregir las fallas en los procesos ni conocer la percepción de los clientes, lo que podría generar una baja recontracta	Falta de seguimiento de salida no conformes de los procesos	3	3	9	Medio	Mitigar	Reputación Economía	1, Evaluar a través de un tercero los trabajos realizados y entreviste a los clientes sobre el trato del astillero y la calidad de sus trabajos.					
Oportunidad detectada								Acciones para oportunidad	Seguimiento de acciones				
Divulgar a todos los empleados los resultados de desempeño para genera conciencia sobre la importancia del enfoque en el cliente desde cualquier nivel de la organización.								1, Realizar las divulgaciones					

Tabla 42. Riesgos por reprocesos



Objetivo impactado				Evitar los accidentes laborales									
Código riesgo / mes de revisión				R-004 revisado noviembre 2020 – primera revisión									
Información inicial del riesgo									Evaluación de efectividad de las acciones				
Riesgo	Causas probables	P	C	Riesgo inherente	Tipo de riesgo	Aceptar/Mitigar/Eliminar	Tipo de consecuencia	Acciones para el control	P	C	Riesgo residual	Tipo de riesgo	Aceptar/Mitigar/Eliminar
Accidentes laborales	Falta de seguridad en los trabajos	1 - 5	5	5 - 25	Alto	Mitigar	Reputación Economía Problemas legales	1, Realización de charlas diarias sobre cuidado en el área laboral. 2, Despliegue de supervisores y/o prevencioncitas en todo el área de trabajo y en cada una de las actividades a realizar.					
<b>Oportunidad detectada</b>								<b>Acciones para oportunidad</b>	<b>Seguimiento de acciones</b>				
Concientizar a todos los trabajadores sobre cuidado a sí mismo y al compañero en el área laboral								1, Realizar las concientizaciones					

Tabla 43. Riesgos por accidentes laborales

Objetivo impactado				Evitar los siniestros										
Código riesgo / mes de revisión				R-005 revisado noviembre 2020 – primera revisión										
Información inicial del riesgo									Evaluación de efectividad de las acciones					
Riesgo	Causas probables	P	C	Riesgo inherente	Tipo de riesgo	Aceptar/Mitigar/Eliminar	Tipo de consecuencia	Acciones para el control	P	C	Riesgo residual	Tipo de riesgo	Aceptar/Mitigar/Eliminar	
Siniestros en lugar de trabajos	Falta de seguridad en los trabajos. Mal manejo de prevención.	5	5	25	Alto	Mitigar	Reputación Economía Problemas legales	1, Realización de inspecciones en todas las embarcaciones y lugares de trabajo. 2, Despliegue de supervisores y/o prevencioncitas en todo el área de trabajo y en cada una de las actividades a realizar.						
Oportunidad detectada								Acciones para oportunidad	Seguimiento de acciones					
Concientizar a todos los trabajadores sobre cuidado a sí mismo y al compañero en el área laboral. Mantenimiento de sistemas contra incendios y otros que ayuden a la lucha contra siniestros o a su prevención.								1, Realizar las concientizaciones 2, Realizar el mantenimiento						

Tabla 44. Riesgos por siniestros dentro de los trabajos de mantenimiento del Astillero

## ANEXO B

## LISTA DE CUÑAS EN VIGA LONGITUDINAL

Como se puede apreciar se cuenta con una lista de cuñas también llamados tacos los cuales se colocan en las longitudinales de viga sobre los tacos de madera rectos, esto permite poder acoplar a la forma del casco de la embarcación de tal manera que las maderas en los laterales no queden sentadas sobre un solo punto. Estos tacos se aseguran mediante zunchos metálicos de 5/8" x 3" a los zunchos metálicos de los tacos fijos por medio de dos pases de soldadura.

<b>STAND BY</b>	<b>CHAPA</b>	4"X12"X3.5'
		12"X12"X3.5'
	<b>PRISMA TRAPEZOIDAL</b>	4"X2"x10.5'
		4.5"x6.5"x10.5'
		5"x11"X10.5'
		5"X8"X10.5'
		6"x8"X10.5'
		7"x10.5"X10.5'
		7"x11"X10.5'
		8"X11"X10.5'
		8"X4"x10.5'

Tabla 45. Lista de cuñas para el proceso de varado

## **ANEXO C**

### **PASOS Y PROCEDIMIENTOS DEL PROCESO DE VARADO**

Dentro del procedimiento de varado se pueden referenciar 2 tiempos, los cuales se mencionarán líneas abajo:

#### **PROCEDIMIENTO PREVIO AL VARADO:**

1. El proceso comienza de parte del armador eligiendo el astillero donde realizará los distintos trabajos de mantenimiento, reparación y /o modificación de su embarcación.
2. El armador suministra al astillero los datos de la nave a varar, tales como: permisos de zarpe, matrícula, planos de disposición general, planos de estructura, curvas hidrostáticas y demás.
3. El astillero solicita ante la Dirección General de Capitanías y Guardacostas (DICAPI) el permiso de varado de la embarcación con conocimiento del armador. Este permiso es extensible en caso de no poder varar la embarcación; este permiso cuenta con los siguientes datos necesarios: Nombre de la embarcación, matrícula, puerto de desplazamiento, zona de desplazamiento, rango de fecha programada para realizar la maniobra, nombre del Capitán de puerto.
4. La embarcación irá preparada de tal manera que solo tenga los pesos necesarios en combustible y aceite para su operación del amarradero hacia el astillero. Los demás pesos que generen mayor superficie libre deben ser retirados.

5. Es necesario que la embarcación cuente con el sistema de fondeo completo además de un correcto funcionamiento del cabrestante de proa.
6. Las plumas: principal, auxiliar y tangón deberán estar en posición baja y sobre cubierta (sin necesidad de desmontaje).
7. Las bitas deben encontrarse libres de cabos, debido a que ahí se realizarán los amarres de los cabos de nylon 1 ¼" de unión para la embarcación con la carreta de varado.
8. Preparación de los planos de varado para determinar la altura de los tacos laterales según el pantoque y los tacos en el arrioste.
9. Preparación del carro de varado con tacos laterales según el plano preparado anteriormente, además de ello, si el plano lo determina, se colocarán planchas de madera en los arriostes, estos tacos laterales además de las planchas de madera deberán estar sujetos mediante zunchos de 1 ½" x 5/16".
10. Para la preparación de la carreta también se verifican y se realizan mantenimiento a los rodajes y las llantas, de tal manera que ofrezcan la menor resistencia al giro posible durante la maniobra.
11. Se verifican el buen funcionamiento de maquinarias que apoyarán en la maniobra, tales como los CATERPILLAR D8 (para el tiro), telehandler para movimientos de cabos y bozas, minicargador, para movimientos de grilletes y tacos.

**PROCEDIMIENTO DURANTE EL VARADO:**

1. Acoderamiento de la Embarcación a varar en la boya de CORP FUNG
2. Lanzamiento de panga de maniobras CORP FUNG el cual se empuja desde la orilla con el cargador frontal hasta que gana flotabilidad.
3. Se procede a realizar el jalado de la bita mediante con el cual se realizará el lanzamiento de la carreta.
4. Una vez la carreta ubicada cerca de la embarcación procedemos a deslizar y posicionar la carreta debajo de la embarcación.
5. El buzo verifica durante todo el proceso de acomodamiento que la carreta se encuentre bien posicionada en la zona de quilla con los arriostes y que los pantoques se encuentren calzados en la cama de tacos preparada previamente.
6. Se procede a asegurar la carreta con cabos de nylon de 1 ¼ que van desde la zona de las bitas de la embarcación, pasando por los imbornales hacia la zona de cáncamos laterales de la carreta de varado.
7. Se procede a ubicar la dirección de la línea de crujía con la zona de varado a fin de realizar la maniobra en la zona delimitada por DICAPI.
8. Luego concluido esta etapa acercamos la embarcación a la orilla de playa mediante el tiro de los bulldozers D8 a través del séptuple de fuerza a una velocidad baja en la primera transmisión.

9. Durante el trayecto, se verifica el posicionamiento de la carreta respecto a la embarcación por parte del buzo a fin de evitar una escora mayor a los 5° recomendados.

#### **HERRAMIENTAS Y MAQUINARIA A USAR EN VARADO:**

1. Bulldozer Caterpillar D8
2. Cargador Frontal CAT
3. Telehandler CAT TL 943D
4. Séptuple de fuerza
5. Carreta de varado
6. Panga de maniobras CORP FUNG
7. Bomba de achique
8. Cilindros de 55 galones
9. Cabos de nylon de 1 ¼"
10. Cabos de nylon de 2"
11. Cable de acero trenzado de 2 ½"
12. Grilletes tipo Lira largo 3"
13. Cadenas con concreto de 3"
14. Peso muerto enterrado.
15. Estrobos de 2 ½"
16. Tacos de madera de altura 12" por diferentes medidas de cuña
17. Tacos de madera 12" x 10'