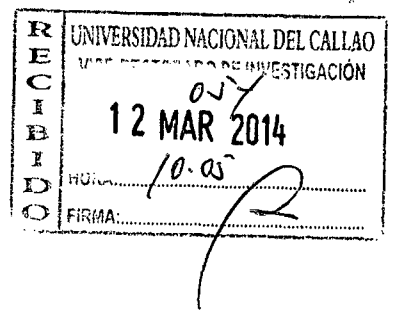
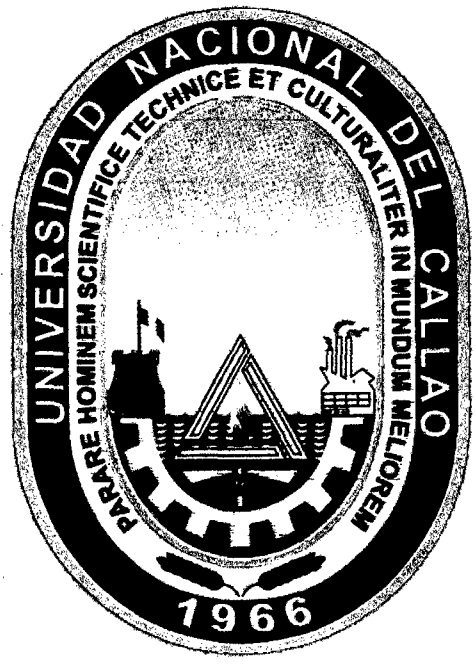
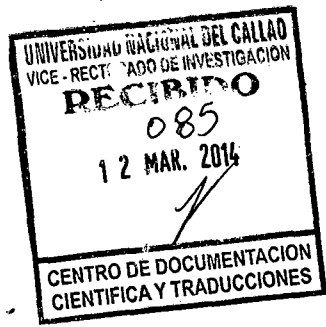


125

# UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA - ENERGÍA

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN



## INFORME FINAL DE INVESTIGACIÓN

**“DISEÑO DE UNA GRÚA FLOTANTE PARA EL RESCATE DE EMBARCACIONES NAUFRAGADAS POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS UTILIZANDO EL SOFTWARE AUTODESK INVENTOR”**

**Mg. Ing. Anwar Julio Yarin Achachagua  
Ing. Yasser Hipólito Yarin Achachagua**

**RESOLUCIÓN RECTORAL N° 1040-2012-R  
(01 de noviembre 2012 – 31 de octubre de 2013)**

**2013**

## INDICE

I.	RESUMEN .....	1
II.	INTRODUCCIÓN .....	2
III.	MARCO TEÓRICO .....	3
3.1.	DESCRIPCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL PROBLEMA.....	3
3.2	FACTORES FÍSICOS QUE AFECTAN EL DESEMPEÑO DE LA BARCAZA. ....	8
3.3	DIMENSIONAMIENTO DE LA BARCAZA .....	12
3.4.	DIMENSIONAMIENTO DE LA ARBOLADURA EN LA BARCAZA .....	13
3.5.	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA EMBARCACIÓN.....	16
3.6.	LÍNEAS DE FORMA .....	17
3.7	CURVAS HIDROSTÁTICAS .....	17
3.8	CURVAS CRUZADAS.....	18
3.9	DISPOSICIÓN GENERAL.....	18
3.10	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD.....	19
3.10.1	ESTABILIDAD ADECUADA DE LA BARCAZA.....	19
3.10.2	CÁLCULO DE ESTABILIDAD .....	21
IV.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	25
4.1	MATERIALES: .....	25
4.2	MÉTODOS PARA EL ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS POR ELEMENTOS FINITOS.....	25
4.2.1	<i>DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE LA BARCAZA</i> .....	25
4.2.2.	<i>DISEÑO ESTRUCTURAL</i> .....	25
4.2.3.	COMPONENTES ACTUANTES SOBRE EL ARREGLO MÁSTIL PLUMA.....	26
4.2.4.	FUERZAS DINÁMICAS DEBIDAS AL MOVIMIENTO DE LA BARCAZA .....	27
4.2.5	EL SOFTWARE INVENTOR FEA.....	28
4.2.6	TEORÍA DE FALLA POR ENERGÍA DE DISTORSIÓN MÁXIMA.....	30
4.2.7	ANÁLISIS POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS .....	33
V.	RESULTADOS.....	37
5.1.	ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LA PLUMA .....	37
5.2.	ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL MÁSTIL.....	40
5.3.	ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL ARREGLO MÁSTIL-PLUMA.....	44
5.4.	ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LA UNIÓN BARCAZA-MÁSTIL.....	46
VI.	DISCUSIÓN .....	49
VII.	REFERENCIALES .....	51
VIII.	APÉNDICE.....	53
	Apéndice A. Curvas Hidrostáticas .....	54
	Apéndice B. Curvas Cruzadas .....	55
	ANEXOS .....	56
	ANEXO A. PLANO DE LINEAS DE FORMA.....	57
	ANEXO B. PLANO DE DISPOSICIÓN GENERAL.....	58

  
ii

## I. RESUMEN

En el presente trabajo se presenta un estudio basado en el método de elementos finitos con el propósito de diseñar una grúa flotante para el rescate de embarcaciones pesqueras naufragadas tomando en consideración las necesidades actuales de la flota pesquera nacional, una embarcación cuyas características principales difieren al de otras embarcaciones dedicadas a tareas similares, siendo sus condiciones de trabajo adecuadas a las necesidades de nuestro medio.

Asimismo se realizará un análisis exhaustivo de los movimientos del buque (6 movimientos) estabilidad estática y dinámica, calculo estructural de la grúa flotante en mención.

El tema principal está relacionado con los temas siguientes:

- a) Movimientos del Buque.
- b) Estabilidad Estática.
- c) Estabilidad Dinámica.
- d) Calculo Estructural.
- e) Análisis por el Método de Elementos Finitos.

Por los temas enunciados, podemos notar que el diseño de una grúa flotante está relacionado con diversos aspectos fundamentales en el diseño de un artefacto naval.



## II. INTRODUCCIÓN

Rescatar un pesquero naufragado es una tarea muy delicada, que atañe muchos riesgos, los que pueden involucrar peligrosamente a las embarcaciones que participan en la tarea de recuperarlo.

Es posible que a causa de una maniobra mal realizada, sin el equipo adecuado, con embarcaciones no idóneas, éstas corran el riesgo de hundirse, junto con la nave que se desea recuperar, siendo por consiguiente necesario proveerse de embarcaciones diseñadas específicamente para la labor de recobrar los pesqueros zozobrados, de manera que puedan realizar su trabajo con la seguridad que es de desear.

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Rueda', written in a cursive style.A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Leed', written in a cursive style.

### III. MARCO TEÓRICO

#### 3.1. DESCRIPCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL PROBLEMA

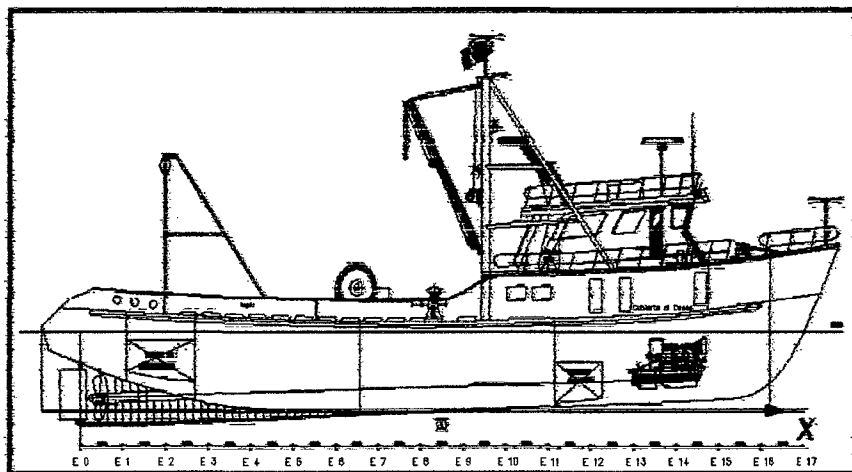
En la actualidad en el medio naval no existe un artefacto naval que tenga como misión principal rescatar embarcaciones pesqueras naufragadas. A pesar de ello en determinadas situaciones se ha podido realizar el rescate de embarcación naufragadas de dimensiones muy pequeñas con la ayuda de la embarcación mostrada en las imágenes.

Figura N° 3.1  
EMBARCACIÓN USADA EN OPERACIONES DE RESCATE



Fuente: Servicios Industriales de la Marina S.A. – Departamento de Diseño

Figura N° 3.2  
DISPOSICIÓN GENERAL DE LA EMBARCACIÓN



Fuente: Servicios Industriales de la Marina S.A. – Departamento de Diseño



Esta embarcación presenta limitaciones de estabilidad y estructurales para realizar el rescate de una embarcación pesquera naufragada dentro de los límites del zócalo continental peruano, como podemos apreciar en las siguientes imágenes esta embarcación no cuenta con las dimensiones estructurales para realizar las labores de rescate.

**Figura N° 3.3**

**ESTRUCTURAS DEL SECTOR DE POPA**



**Fuente: Servicios Industriales de la Marina S.A. – Departamento de Diseño**

**Figura N° 3.4**

**ESTRUCTURAS DEL SECTOR DE PROA**



**Fuente: Servicios Industriales de la Marina S.A. – Departamento de Diseño**

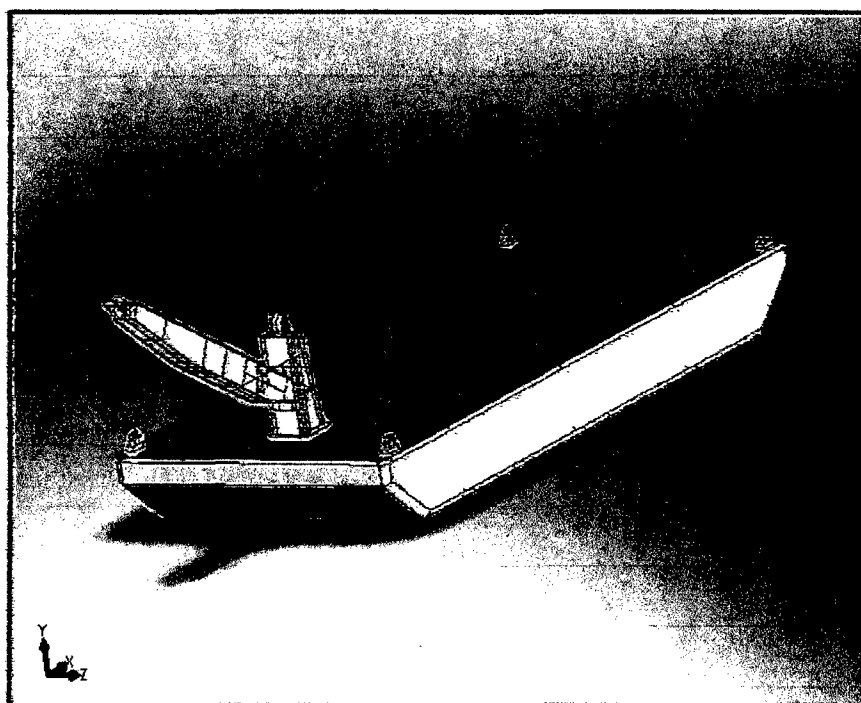


Aparece entonces la necesidad por desarrollar un artefacto naval con la estabilidad suficiente para llevar a cabo las operaciones de rescate y que posea un sistema de elevación efectivo, con una capacidad que le permita socorrer a la mayoría de embarcaciones pesqueras menores registradas en el medio.

Es así como aparece la barcaza como una solución a nuestro problema, debido a su gran estabilidad es sumamente versátil en operaciones de riesgo, aun en condiciones climáticas adversas, la cual por sus formas rectas resulta económica y sencilla de construir.

**Figura N° 3.5**

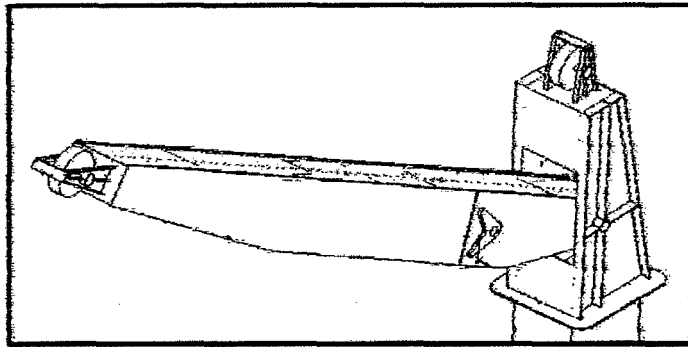
**BARCAZA CON ARREGLO MÁSTIL-PLUMA**



**Fuente: Elaborado por el Autor**

Si le añadimos un dispositivo económico y fácil de implantar, como lo es el arreglo mástil-pluma, le permitirá cubrir nuestras necesidades y estaremos de acorde a los nuevos adelantos del mundo industrializado, satisfaciendo nuestros propósitos.

Figura N° 3.6  
ARREGLO MÁSTIL-PLUMA



Fuente: Elaborado por el Autor

Las barcazas son artefactos navales usados para el remolque de artículos a granel de poco valor, pues el coste de acarrear mercancías en lancha a remolque es muy bajo.

Existe una amplia variedad de tipos de barcazas que han sido diseñadas para cumplir funciones específicas, y de las cuales podemos mencionar las siguientes:

**Barcaza de carga seca:** es una embarcación a remolque que transporta carga seca, como carbón, acero acabado o sus ingredientes, grano, arena o grava, y materiales similares. Tienen un casco externo, un vacío interno que constituye su reserva de flotabilidad y una caja interna de carga. El casco externo puede venir en una de dos configuraciones, con un arco curvado para proporcionar menos resistencia al avance.<sup>1</sup>

**Barcaza de carga líquida:** son embarcaciones a remolque que posee un doble casco que tiene un compartimiento de carga líquido que está apoyado a los lados del compartimiento que lleva la carga, transportan los productos petroquímicos, tales como estireno, benceno y metanol; fertilizante líquido, incluyendo el amoníaco anhidro; productos refinados, incluyendo la gasolina, el diesel y el combustible de avión; productos derivados del petróleo negros, tales como asfalto, gasolina y aceite, también productos a presión, tales como butano, propano y butadieno, que

<sup>1</sup> (SHIPPING, 1983)



se transportan en los canales de productores a los usuarios finales.

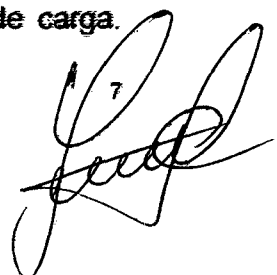
**Barcazas de perforación:** este tipo de embarcaciones son plataformas grandes, flotantes usadas sobre todo para la perforación en fondo marino. Esto ocurre típicamente en los lagos, los pantanos, los ríos, y los canales. Estas barcazas no son automotoras, y se deben remolcar hasta el lugar de trabajo. Conveniente para las aguas inmóviles, bajas, porque no pueda soportar el movimiento del agua experimentado en áreas grandes como en mar abierto.

**Barcaza grúa:** es una embarcación cuya forma se asemeja a un recipiente ancho, con una cubierta plana rectangular reforzada que contiene una grúa montada. Esta embarcación a sido diseñada para llevar cargas pesadas, o más específicamente para dragar, salvar, o algún otro uso comercial.

**Barcaza de Elevación:** este tipo de embarcaciones de elevación son recipientes grandes, plano-cubiertos diseñados para acarrear y transferir productos y equipos demasiado pesados o para el transporte estándar. Muchas de estas embarcaciones de elevación pueden también funcionar como muelles secos móviles; capaces de levantar y de asegurar cargas superiores a las 15.000 toneladas.

**Barcaza tanque:** Las barcazas tanque transportan la carga líquido en los tanques de sujeción situados dentro del casco de la lancha a remolque. Llevan materias tales como anticongelante, melaza, petróleo, fertilizantes líquidos y productos químicos a granel. También pueden llevar hasta 30.000 barriles de carga líquida.

**Barcaza oceánica:** Es una embarcación a remolque del océano se diseña para el transporte de grandes cantidades de productos o de equipo a través de grandes distancias. Su tamaño, velocidad y el ahorro en combustible representa a las compañías una opción más barata a comparación del transporte aéreo de los bienes y servicios, aunque muchos de los productos enviados son demasiado grandes para los aviones de carga.



Estas barcazas oceánicas transportan comúnmente artículos tales como repuestos, automóviles y equipo pesado de la elevación.

### **3.2 FACTORES FÍSICOS QUE AFECTAN EL DESEMPEÑO DE LA BARCAZA.**

En el diseño de una embarcación cuya finalidad es rescatar pesqueros naufragados se debe contar con información adecuada para evitar errores, que pueden llegar a ocasionar ingentes pérdidas materiales e inclusive preciosas vidas humanas, Por esto, es importante saber reconocer todos los factores que afectan el rescate del pesquero naufragado y aún sus grados de influencia.

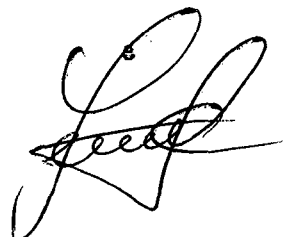
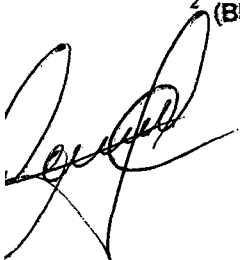
El diseño básico de una embarcación consta de dos etapas, el diseño conceptual y el diseño preliminar.

Si durante el concepto del diseño nuestra preocupación mayor fue traducir la necesidad de rescatar las embarcaciones pesqueras naufragadas, usando criterios ingenieriles y de Arquitectura Naval, utilizando una barcaza con un arreglo de mástil y pluma de carga, cuyas estimados preliminares han sido calculados en esta etapa, es durante el diseño preliminar que a través de chequeos y modificaciones, llegamos al refinamiento de las características que afectan el costo y la eficiencia de la embarcación.<sup>2</sup>

Previo al dimensionado de la barcaza con su arreglo pluma-mástil, es preciso definir las características principales de la nave pesquera naufragada, haciendo uso del estudio de prospectiva para la cadena productiva de industria pesquera en la región de la costa del pacífico en América del Sur, nos limitamos a querer recuperar un navío naufragado, cuyas características principales mostradas en el Cuadro N° 3.1 corresponden al 28% de las embarcaciones registradas en el medio.

---

<sup>2</sup> (BHATTACHARAYA, 1986)



**CUADRO N° 3.1**  
**CARACTERÍSTICAS DE UN PESQUERO TÍPICO**

N°	Dimensión	Valor
1	Eslora (m)	13.8
2	Manga (m)	5.7
3	Puntal (m)	2.5
4	Costo (\$)	17500

Fuente: DICAPI 2006

Con las características geométricas de la nave zozobrada es posible, utilizando aproximaciones, obtener su peso de tal manera que sea la carga inicial de trabajo.

Sí el rescate se realiza luego de mucho tiempo de ocurrido el naufragio, es probable que exista una capa considerable de sedimento cubriendo el perímetro del buque en contacto con el fondo lo cual torna Sumamente difícil recuperar la embarcación. Por lo que esta alternativa no será considerada para nuestro análisis.

De acuerdo al Principio de Arquímedes, el peso del buque a flote no es el mismo peso del buque completamente hundido, el peso de la nave en el fondo es el peso del agua que ha conseguido desplazar.<sup>3</sup>

Esto es el agua desalojada por el casco, el lastre, los accesorios, los aparejos, la maquinaria principal y auxiliar, los mecanismos de pesca, etc. No incluimos en esta apreciación el agua que se queda encerrada en la nave a partir del naufragio por considerarla parte del medio en que se desarrolla la tarea de recuperación, siempre y cuando el buque naufragado no salga a la superficie y el rescate se lo haga con tal lentitud que permita que el agua del medio fluya libremente a través de la embarcación hundida, sin presentar mayor reacción al movimiento.

---

<sup>3</sup> (A. D. , 1989)



Obtenemos los pesos aproximados de: el casco de madera, los accesorios, la maquinaria auxiliar y principal, y a partir de ellos, el volumen de los mismos.

De tal forma que a partir del volumen de agua desplazada por el buque sumergido se obtiene la carga inicial de trabajo. El detalle de estos cálculos se presenta en la Cuadro N° 3.2.

**CUADRO N° 3.2**  
**CÁLCULO DE LA CARGA INICIAL DE TRABAJO**

Elemento	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )
Madera	1067	11.8
Hierro	7720	0.415
Agua desplazada	1025	12.2
Peso del agua desplazada (Kg)		12520.375

Fuente: Elaborado por el autor

Esta carga inicial de trabajo es influenciada por las características oceanográficas del medio en el que se encuentra: altura de la ola, velocidad de las corrientes y el tipo de fondo más común. Dichas características, unidas a la profundidad de rescate máxima, la cual es determinada por la máxima profundidad a la que un buzo puede trabajar con la comodidad deseada, por el tiempo requerido para ejecutar las maniobras de apoyo previo al rescate, hacen que el fondo y el peso de la columna de agua reaccionen sobre la mencionada carga.<sup>4</sup>

Es posible que el buque hundido se halle en dos situaciones diferentes en el fondo del océano; una de ellas es descansando sobre el lecho del océano, la otra es ligeramente incrustado en el interior del lecho oceánico.

La fuerza necesaria para ascender el buque a la superficies y la carga inicial de trabajo, es la misma fuerza, con signo contrario, necesaria para introducirlo en el fondo.

---

<sup>4</sup> (C., 1975)



Carga Inicial de Trabajo: 12520kg.

Esta fuerza se ve modificada por la acción de la fuerza de arrastre que se opone al movimiento de objetos sumergidos en el agua, la que está constituida por la fuerza de fricción de arrastre, más la fuerza de presión de arrastre, además un cabezal de presión hacia arriba favorece el movimiento del buque hacia la superficie. Las Fuerza de arrastre actuante sobre el buque hundido se muestra en el Cuadro N° 3.3.

**CUADRO N° 3.3**  
**FUERZA DE ARRASTRE ACTUANTE SOBRE EL BUQUE HUNDIDO**

N°	Detalle	Valor
1	Área normal al movimiento (m <sup>2</sup> )	65.3
2	Área paralela al movimiento (m <sup>2</sup> )	109.2
3	Coefficiente de fricción	0.4
4	Coefficiente de presión	1.2
5	Velocidad máxima de arrastre (m/s)	0.516
6	Fuerza de Fricción (Kg)	609.78
7	Fuerza de Arrastre (Kg)	1093.92
8	Fuerza de Arrastre Total (Kg)	1703.70

Fuente: Elaborado por el autor

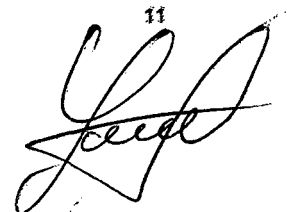
Los movimientos del buque desde el que se opera la subida del pesquero desde el fondo, afectan también al buque hundido y le producen entre otras, una aceleración vertical, la cual se pretende que sea mínima.

Con el fin de lograr, el ascenso a la superficie se lo efectúa a una velocidad pequeña, sin embargo la importancia de la aceleración vertical, por pequeña que ella sea, no puede ser desestimada.

La máxima aceleración vertical debida al movimiento es de 2.56m/s<sup>2</sup> valor mostrado en el Cuadro N° 3.3.

Habiendo tenido en cuenta todas estas características, se establece que la



11  


carga de trabajo es la siguiente:

$$CT = (CI + FA) * (g + z) / g \quad (1)$$

Donde:

CT = Carga de Trabajo, kg.

CI = Carga inicial de Trabajo, kg.

FA = Fuerza de Arrastre, kg.

g = Gravedad, m/seg<sup>2</sup>.

Z = Máxima aceleración vertical, m/seg<sup>2</sup>.

Carga de Trabajo = 17935.97kg

### 3.3 DIMENSIONAMIENTO DE LA BARCAZA

En la selección de las dimensiones de la barcaza se sigue el criterio que el diseño más eficiente es aquel que incluye todas las características de operación requeridas, con el menor desplazamiento; esto es que el desplazamiento de la barcaza sea el mínimo posible para la carga máxima que ha de recuperarse.

Las dimensiones geométricas son influenciadas por la forma de realizar el rescate, el cual, para disminuir los efectos que la elevación de la carga tienen sobre la estabilidad transversal de la nave sin tomarla inestable y sobre la estabilidad longitudinal de la embarcación sin asentarla excesivamente, al ejecutarla por la popa de la barcaza.

Al izar la carga, ésta tiende a asentar la barcaza, provocando una situación no idónea para su estabilidad, poniendo en peligro su seguridad, tal acontecimiento ha de ser corregido, lastrando convenientemente la barcaza.

El embarcar pesos tales como la carga del buque hundido, así como el agua de lastre y los efectos que ellos producen, esto es, reducción de la



altura metacéntrica por embarque, traslación y elevación de pesos y por efectos de superficies libres, tienen que ser contemplados en el dimensionado de la barcaza, pues ella debe ser capaz de soportar el asentamiento debido al ascenso de la carga, y el embarque del volumen de agua necesario como lastre que corrija tal inclinación.<sup>5</sup>

Las características principales de la barcaza se presentan en el Cuadro N° 3.4.

**CUADRO N° 3.4**  
**CARACTERISTICAS PRINCIPALES DE LA BARCAZA**

N°	Dimensión	Valor
1	Eslora (m)	20
2	Manga (m)	8
3	Puntal (m)	2

Fuente: Elaborado por el autor

### **3.4. DIMENSIONAMIENTO DE LA ARBOLADURA EN LA BARCAZA**

Los requerimientos básicos para seleccionar un arreglo del tipo pluma-mástil para manejar la carga correspondiente al rescate de los pesqueros naufragados, están fundamentados en la determinación de las cargas más grandes y más pesadas, la máxima altura de levantamiento dispuesta por la máxima profundidad a la que un buzo profesional puede sumergirse con los equipos de buceo disponibles, el tipo de suelo del fondo desde el cual tenga que ser elevada, las condiciones oceanográfica del rescate, la posibilidad de ser transportada sostenida sumergida en el agua por largos periodos de tiempo, con el suficiente claro respecto de la barcaza para su más fácil manejo. Un resumen de las condiciones en las que debe realizarse el rescate son mostradas en el Cuadro N° 3.5.

---

<sup>5</sup> (A. M. , 1960)



**CUADRO N° 3.5**  
**CONDICIONES DEL RESCATE**

N°	Detalle	Valor
1	Profundidad máxima (m)	60
2	Altura de la Ola (m)	0.6
3	Periodo de la Ola (m)	15
4	Velocidad del Viento (m/s)	5
5	Clara Barcaza-Carga (m)	3.5
6	Tiempo de Preparación (horas)	4
7	Tiempo de Maniobra (horas)	1
8	Angulo máximo de ascenso (grados)	22.5

Fuente: Elaborado por el autor

Una vez que hemos establecido cuáles son las características de la carga que vamos a ascender a la superficie, podemos tener una idea de las dimensiones que requieren la pluma y el mástil para efectuar la izada del buque hundido con la seguridad necesaria.

El peso ascendido por la pluma actúa sobre la estabilidad de la embarcación como un peso situado en el extremo libre de la pluma.

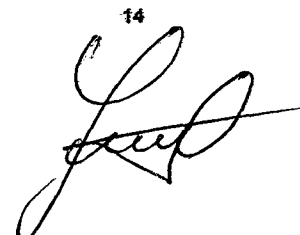
Al realizar el ascenso, es como si embarcáramos un peso en crujía, en la sección media, y en la cubierta, lo trasladáramos a la posición del ascenso y lo eleváramos al nivel del extremo libre de la pluma.

Su efecto sería una reducción importante de la altura metacéntrica y una escora que debería de corregirse lastrando convenientemente la barcaza, utilizando los tanques de lastre de la posición opuesta a la del ascenso, lo que significaría otra variación de la altura metacéntrica por embarque de pesos y efectos de superficie libre.

La reducción de la altura metacéntrica es más notoria cuando trasladamos un peso a los bordes que cuando lo trasladamos a la proa o a la popa. La mejor alternativa es aquella con la que obtenemos un mayor radio



14





metacéntrico positivo, y el manejo del menor volumen de agua de lastre, esto es ejecutando el rescate del pesquero por la popa de la barcaza.

Para determinar la longitud de la pluma, consideramos que debemos tomar un punto en el buque zozobrado para asirlo a la pluma de carga, el mismo que por razones de simetría, estará ubicado en la línea de crujía.<sup>6</sup>

Además debe existir una distancia horizontal racional entre la carga subida y el buque que la iza, para evitar choques entre ambas.

La longitud efectiva del mástil, ha sido calculada en base a longitud de la pluma, por lo tanto, la longitud efectiva del mástil es menor a tres cuartos de la longitud de la luz de la pluma.

La longitud real del mástil está constituida por la longitud efectiva del mástil, más la longitud que existe entre el punto donde se unen la pluma de carga con el mástil y la cubierta, más la distancia del fondo del buque a la cubierta.

La pluma de carga estará constituida por una viga de sección rectangular de sección variable y reforzada interiormente por un amarre estructural longitudinal. Está diseñada para soportar los esfuerzos a los que estará sometida la pluma de carga.

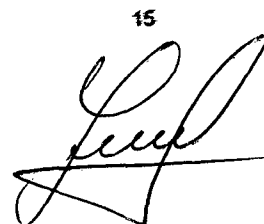
En nuestro caso, trataremos de reducir la longitud entre el punto donde se unen la pluma de carga con el mástil y la cubierta, porque así reduciremos en gran medida los momentos flectores actuando sobre el mástil y por supuesto, reduciremos las dimensiones de las estructura que conforman el mástil.

El mástil efectivo está conformado por planchas de acero planas y esfuerzos estructurales, cuyas secciones transversales se mantienen en

---

<sup>6</sup> (J., 1990)



15  


forma constante a partir del fondo y a medida que se asciende, de tal forma que pueda soportar las fuerza cortantes, las deformaciones, los momentos flectores y los esfuerzos a que debe someterse.

La parte del mástil bajo cubierta es de sección constante e igual a la sección de mayor diámetro del mástil sobre cubierta.

Ya que el rescate lo efectuamos por la popa, el mástil estará ubicado a popa de la barcaza y en la línea de crujía, para aprovechar los buenos efectos que la simetría tiene en la estabilidad. Puesto que el mástil está conectado al pesquero a través de la pluma, y que debe existir un claro entre la barcaza y el pesquero, la distancia del mástil respecto de popa de la barcaza es igual a la longitud de la pluma, disminuida en la longitud del claro entre la barcaza y el pesquero y la semi-manga del buque hundido.<sup>7</sup>

El dimensionado del arreglo mástil y pluma de carga mostrado en el Cuadro N° 3.6 da lugar a un análisis basado principalmente en la determinación de las fuerzas necesarias para la selección del winche, el cable, poleas y cilindros hidráulicos.

**CUADRO N° 3.6**  
**DIMENSIONES DEL ARREGLO MÁSTIL-PLUMA**

N°	Dimensión	Valor
1	Longitud Pluma (m)	6.5
2	Longitud del Mástil efectivo (m)	2.5
3	Long. del Mástil bajo cubierta (m)	2

Fuente: Elaborado por el autor

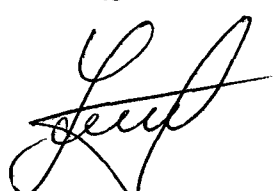
### 3.5. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA EMBARCACIÓN

Para el desarrollo de las características técnicas de la barcaza hemos partido de las dimensiones principales obtenidas en el capítulo II, estas dimensiones principales definirán las limitaciones de las operaciones de rescate, debido a que están directamente relacionadas con las características de estabilidad y con su capacidad carga máxima.

<sup>7</sup> (FAO., 1983)



16



### 3.6. LÍNEAS DE FORMA

Las líneas de forma de la Barcaza se definen por tres medidas principales correspondientes a las tres dimensiones perpendiculares. La primera es la eslora, la manga y el calado que corresponde a la profundidad. La envolvente de la forma del casco se asemeja a la de un paralelepípedo con estas dimensiones. La Forma del casco nos asegura una mayor estabilidad, lo cual es muy importante debido a la complejidad de las maniobras que involucran el rescate de una embarcación naufragada, así también representara un menor costo y una mayor facilidad de construcción.

Las Secciones transversales, líneas de flotación y secciones longitudinales que caracterizan la forma de la barcaza, están definidas en el Plano de Líneas de Forma.

### 3.7 CURVAS HIDROSTÁTICAS

Las curvas hidrostáticas, son las curvas que reflejan del comportamiento de la carena de la Barcaza para los diferentes calados (estados de carga).

Estas serán utilizadas en el cálculo de la estabilidad transversal inicial de un buque, sin duda y a este fin la curva más significativa es la que determina la altura del metacentro transversal.

Otras curvas son empleadas en los cálculos de calados finales y de asiento, las curvas de parámetros verticales están referidas a la línea base o canto superior de la quilla y las curvas de parámetros longitudinales a la perpendicular de popa.

Las Curvas Hidrostáticas que han sido calculadas según la forma del casco de la barcaza están definidas en el Plano de Curvas Hidrostáticas del apéndice A.



### 3.8 CURVAS CRUZADAS

Estas curvas nos indican el brazo adrizante de la embarcación, para distintos desplazamientos, en distintos ángulos de escora. Debido que no se conoce con exactitud la posición del centro de gravedad, se hace una suposición del centro de gravedad en el punto más bajo de las formas del casco, donde denominamos este punto con la letra K, por lo tanto nuestro supuesto brazo adrizante será KN, y así generamos el plano de curvas cruzadas, para cualquier condición de carga. Luego una vez conocido el centro de gravedad de la nave, mediante un cálculo analítico de geometría se puede deducir la siguiente expresión:

$$GZ = KN - KG \operatorname{sen}\theta \quad (2)$$

Donde:

GZ = es el verdadero brazo adrizante.

Los gráficos de Curvas Cruzadas para  $KG = 0$  se encuentran definidas en el Plano de Curvas Cruzadas del apéndice B.

### 3.9 DISPOSICIÓN GENERAL

Esta barcaza es esencialmente una grúa flotante, en donde la mayoría de espacio disponible sobre cubierta, está ocupado por el winche y de los equipos auxiliares necesarios para realizar las tareas de rescate, asimismo con los elementos estructurales necesarios para que pueda ser remolcado hasta el lugar en que ocurrió el naufragio.

**Capacidad de Tanques:** se dispondrá de 04 tanques de lastre de 65 metros cúbicos de capacidad, ubicados a proa y al centro de la embarcación junto a 02 tanques para aceite hidráulico.

**Equipos de Maniobra y Remolque:** los equipos de cubierta o maniobra serán un towing winch de accionamiento hidráulico, un generador eléctrico suficiente capacidad, defensas de caucho comprimido en proa y popa,



defensas tipo liantas colgadas alrededor de la unidad con cadenas de acero galvanizado, una bita doble reforzada en proa, una bita reforzada en proa, más dos bitas dobles en cada banda, un gancho de remolque, un cable de acero antigiratorio.

### **3.10 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD**

La Estabilidad es la tendencia de un buque a retornar a su posición original luego de haber sido inclinado debida a fuerzas externas.

La condición de estabilidad de una embarcación es determinada casi completamente por la localización de dos puntos, su centro de gravedad y su centro de boyantes, los cuales varían con las distintas condiciones de carga.

Las condiciones extremas de carga de la barcaza son las que, por efectos de diseño se necesita estudiar, las cuales son: la condición sin carga, lastrada y sin asentamiento y la condición con carga máxima de levantamiento, lastrada y sin asentamiento.

La medida cierta del rango de estabilidad de un buque es su momento adrizante y por extensión su brazo de adrizamiento GZ, el cual es mostrada en las curvas de estabilidad estática o en las curvas cruzadas de estabilidad.

#### **3.10.1 ESTABILIDAD ADECUADA DE LA BARCAZA**

La pérdida de la flotabilidad en los buques ocasiona que ellos corran el peligro de naufragar.

Para que todo buque sea operable y maniobrable, tiene que cumplir con las condiciones de seguridad mínimas que le otorguen la confianza suficiente y necesaria a fin de que tenga la posibilidad de trabajar en las condiciones para las que ha sido diseñado.



Es de gran importancia observar las normas de estabilidad para los buques, en el presente caso una barcaza, pues, el cumplimiento fiel de ellas la presenta como suficientemente segura para soportar las grandes variaciones de carga que conlleva la ejecución del trabajo que debe realizar.

El Servicio de Guardacostas de los Estados Unidos propone los siguientes criterios de estabilidad para barcasas oceánicas:

### **Criterio de la Mínima Altura Metacéntrica**

La altura metacéntrica inicial requerida es calculada por intermedio de la siguiente expresión:

$$GM = P A h / \Delta \tan \theta \quad (3)$$

Donde:

GM: Mínima altura metacéntrica, m.

P: presión del viento

P:  $0.055 + 1309 \text{ ton/m}^2$

L: Eslora entre perpendiculares (m).

A: Área lateral Proyectada, de la porción de la embarcación encima de la línea de agua correspondiente a la condición considerada ( $\text{m}^2$ ).

h : Distancia vertical entre el centro del área al centro del área lateral sumergida o aproximadamente la mitad del calado, m.

$\Delta$ : Desplazamiento, Ton.

$\theta$  : Angulo de escora comprendido entre la mitad del francobordo al borde de la cubierta a 140, lo que sea menor.



### **Criterio de la Estabilidad Dinámica Residual**

La Estabilidad Dinámica residual, definida como el Área bajo la curva de estabilidad estática (curva de brazos adrizantes), hasta el ángulo de máximo brazo adrizante, debe ser mínimo de 0.08 metro-radianes.

Comparemos las características de estabilidad mínimas requeridas con las características actuales de estabilidad de la barcaza, ver Anexo M, en las condiciones vacío con lastre para obtener asentamiento cero, cargado y con lastre para obtener asentamiento cero, con la pluma en la posición horizontal y a máxima elevación.

### **3.10.2 CÁLCULO DE ESTABILIDAD**

El concepto de estabilidad inicial indica la tendencia de una embarcación a adrizarse cuando se inclina a ángulos pequeños, siempre que estos sean menores de siete grados, para cualquier desplazamiento. Esta estabilidad está dada por el tamaño de los brazos de adrizamiento generados por la embarcación a pequeños ángulos de escora.

Conceptos necesarios para el cálculo de la estabilidad:

KG: es la distancia vertical desde la quilla hasta el centro de gravedad de la embarcación.

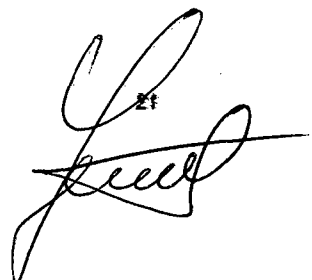
KB: es la distancia vertical desde la quilla hasta el centro de boyantes de la embarcación.

BM: es el radio metacéntrico.

GM: es la distancia vertical desde el centro de gravedad al metacentro (M) y se denomina altura metacéntrica.

I: Es el momento de inercia de la superficie de flotación con respecto a su eje baricéntrico longitudinal.

V: Es el volumen de carena.



Es importante establecer que la altura metacéntrica para todas las embarcaciones en cualquier condición de carga debe ser positiva.

El valor de KG depende de la posición de los diferentes pesos y no se lo puede conocer sino sólo cuando la embarcación ya ha sido construida, sin embargo se le puede estimar.

Para obtener el metacentro es necesario Obtener las características hidrostáticas de la barcaza, con lo cual se podrá conocer la variación del metacentro a diversos calados

Para obtener las características hidrostáticas mostradas en el Anexo B es preciso anotar lo siguiente:

El centro de boyantes es obtenido geoméricamente, esto es, calculando el centro de gravedad de la parte sumergida de la barcaza.

El radio metacéntrico es obtenido utilizando la relación siguiente:

$$KM = KB + BM \quad (4)$$

$$BM = I / V \quad (5)$$

$$I = A_w \cdot B^2 / 12 \quad (6)$$

El radio metacéntrico también puede servir para calcular la altura metacéntrica

$$KM = KG + GM \quad (7)$$

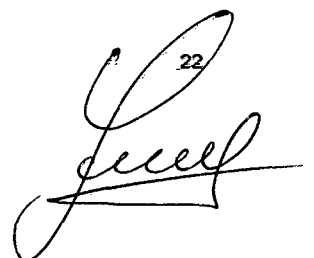
De donde:

$$GM = KM - KG \quad (8)$$

El centro de gravedad de la barcaza es obtenido conociendo los centros de gravedad del casco, del mástil, de la pluma de carga y del lastre correspondiente.<sup>8</sup>

---

<sup>8</sup> (H., 1970)





Hay que anotar que por efectos de superficie libre, el centro de gravedad del buque es elevado en:

$$gg' = i / V \quad (9)$$

Donde:

$i$  : Momento de inercia de la superficie del agua de cada tanque de lastre.

$V$ : Volumen de desplazamiento de la barcaza.

Por consiguiente, la altura metacéntrica también se ve modificada.

$$KG = KG + gg' \quad (10)$$

$$GM' = KMT - (KG' + gg') \quad (11)$$

Las características de hidrostáticas de la embarcación para las diferentes condiciones de carga satisfacen los criterios de mínima altura metacéntrica y se muestran en el Cuadro N° 3.7.

Siendo las condiciones:

- El buque no tiene carga y la pluma se encuentra en las posiciones de 0° y 30°.
- El buque sostiene una carga máxima y la pluma se encuentra en las posiciones de 0° y 30°.



**CUADRO Nº 3.7**  
**CARACTERÍSTICAS HIDROSTÁTICAS**

Característica \ Condición	Condición			
	Sin Carga		Con Carga	
<b>T</b>	0.347	0.347	0.8372	0.8424
<b>KB</b>	0.172	0.172	0.4244	0.4272
<b>GM</b>	15.001	14.9	5.733	5.281
<b>KG</b>	1.114	1.215	1.253	1.704
<b>gg'</b>	0.56	0.56	0.4	0.221
<b>KG'</b>	1.674	1.776	1.654	1.926
<b>G'M</b>	14.44	14.339	5.332	5.06
<b>Lastre</b>	6.4	6.4	64.8	65.6

Fuente: Elaborado por el autor




## **IV. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **4.1 MATERIALES:**

En el desarrollo del presente proyecto se ha tenido en cuenta los siguientes materiales:

- Plano de líneas de forma.
- Software INVENTOR.
- Normas técnicas de la American Bureau of Shipping.
- Normas técnicas de la Germanischer Lloyds.

### **4.2 MÉTODOS PARA EL ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS POR ELEMENTOS FINITOS**

La metodología para el diseño propuesto en la siguiente investigación consiste en:

#### ***4.2.1 DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE LA BARCAZA***

El diseño estructural de la barcaza se ha basado en las reglas de la American Bureau of Shipping para barcazas, mientras que el diseño del arreglo mástil-pluma se basó en las reglas de la Germanischer Lloyds para artefactos de elevación.

Se ha modelado con ayuda de un software CAD las características estructurales de la embarcación para ser analizadas con el software Inventor.

#### ***4.2.2. DISEÑO ESTRUCTURAL***

El objetivo del diseño estructural es crear una estructura segura y que satisfaga también un conjunto de diversos requisitos impuestos por factores tales como la función de la estructura, condiciones del lugar, aspectos económicos, estética, facilidades para construir, etc.

El cálculo de las fuerzas internas es una parte integral del proceso de revisión de la estructura existente. Por lo regular nos interesan los esfuerzos internos producidos por las cargas, porque la finalidad es revisar el diseño de las estructuras existentes, de manera que los esfuerzos no excedan los valores límites de seguridad.<sup>9</sup>

#### **4.2.3. COMPONENTES ACTUANTES SOBRE EL ARREGLO MÁSTIL PLUMA**

En el cálculo de fuerzas es necesario determinar el esfuerzo de compresión máximo a que está sometida, reconsiderándose a la pluma soportando la carga máxima de trabajo y en una posición de 30° con respecto a la horizontal.

Asimismo este cálculo nos permitirá determinar el material del cable a utilizar en el arreglo. El cable seleccionado, por su flexibilidad y resistencia, nos asegura que podremos realizar la labor de rescate de una forma normal y segura, y nos permita contar con el menor radio de giros, a fin de poder utilizar poleas con el menor diámetro factible.

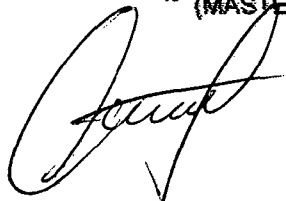
De acuerdo a las cargas a que están sometidos los distintos miembros del arreglo mástil-pluma en la condición de máxima carga, se obtienen las cargas críticas que habrán de soportar, lo cual se utilizara en la selección del equipo que forma parte del sistema de elevación.<sup>10</sup>

El análisis del arreglo del tipo mástil-pluma para el manejo de la carga ha sido basado convencionalmente en la descomposición de la fuerza de izado.

Se comienza el cálculo considerando que la pluma forma 30° con la

---

<sup>9</sup> (V., 2003)  
<sup>10</sup> (MASTER, 2008)



horizontal y soporta una carga máxima de 17935.970Kg.

#### **4.2.4. FUERZAS DINÁMICAS DEBIDAS AL MOVIMIENTO DE LA BARCAZA**


Muy raramente el buque navega en un mar en calma, el cual es agitado continuamente por las olas, las mismas que constituyen la fuente principal de movimientos del buque en el medio marino y afectan considerablemente la eficiencia del buque, y ya que deseamos diseñar convenientemente la barcaza para el rescate de buques pesqueros naufragados, el éxito de tal diseño depende de la eficiencia de la barcaza en el mar.

Desafortunadamente en la predicción de los movimientos del buque es necesario hacer algunas suposiciones difíciles de evitar.

Los movimientos del buque afectan la estabilidad de la barcaza, y su predicción nos ayuda a diseñar adecuadamente la pluma de carga y el mástil.

Los investigadores han querido diferenciarlas en seis movimientos, tres movimientos en el sentido de los ejes y tres movimientos de rotación alrededor de cada una de los ejes, a saber: largada, vaivén, arfada, balance, cabeceo y guiñada, de los cuales, los que en mayor forma afectan la seguridad de la barcaza son la arfada, el balance y el cabeceo, siendo las parámetros medidas los siguientes:

- a) Fuerza debida al balance, máxima ángulo de balance y su aceleración tangencial
- b) Fuerza debida al cabeceo, máximo Angulo de cabeceo y su aceleración tangencial.
- c) Fuerza debida a la arfada.



Con el uso de la Teoría de la Rebanada mostrada se ha comprobado que la embarcación responde en forma adecuada para la tarea de levantamiento del buque naufragado desde el fondo del mar bajo las condiciones mostradas en el Cuadro N° 3.5, considerando además las diferentes condiciones de carga y que las olas inciden sobre el buque con un ángulo de 90°, las fuerzas dinámicas actuantes determinadas antes estas condiciones son mostradas en el Cuadro N° 4.1.

**CUADRO N° 4.1  
FUERZAS DINAMICAS ACTUANTES**

Mov. \ Cond.	Detalle	Sin Carga		Con Carga	
		0°	30°	0°	30°
<b>Arfada</b>	Desplazamiento (m)	0.761	0.778	0.812	0.811
	Acel. Vertical (m/s <sup>2</sup> )	1.654	1.79	2.561	2.567
<b>Rolido</b>	Máximo Angulo (rad)	0.0586	0.0587	0.0645	0.0649
	Acel. Angular (rad/s <sup>2</sup> )	0.2029	0.2033	0.2103	0.2114
Los valores obtenidos en cabeceo son insignificantes					

Fuente: Elaborado por el autor

Del Cuadro N° 4.1 podemos resaltar la aceleración vertical como resultado del movimiento de Arfada, el cual sumado con el de la gravedad, obtendremos una nueva aceleración vertical actuante sobre la carga que soportada por el sistema de elevación siendo este valor de:

$$G \text{ resultante} = G \text{ gravedad} + G \text{ arfada}$$

$$G \text{ resultante} = 12.38 \text{ m/s}^2$$

#### 4.2.5 EL SOFTWARE INVENTOR FEA

Uno de los grandes problemas a los que se enfrenta la modelación de eventos mecánicos usando el método de elementos finitos, es la

veracidad de los resultados, ya que si bien es cierto que la técnica de elementos finitos nos es exacta desde sus fundamentos por ser un método numérico para la solución de ecuaciones, tenemos que añadir aun un factor de error mayor debido a la modelación y a los problemas para generar diseños en CAD fiables, que sean representativos del modelo físico real y que las condiciones de operación y de frontera de los modelos.<sup>11</sup>

Básicamente, el método de elementos finitos presenta 2 grandes desventajas, el primero es que es un método numérico y su precisión depende de la cantidad de nodos que se puedan incluir en una sola pieza, ya que a mayor número de nodos, se obtiene un resultado mucho más certero, sin embargo, un mayor número de nodos, también representa una mayor cantidad de ecuaciones y por lo tanto, una mayor cantidad de recursos computacionales empleados para la solución de dichas ecuaciones y a su vez también representa tiempo – maquina empleado para tener un resultado.

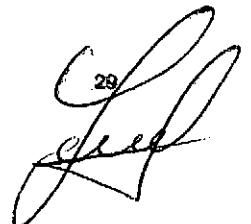
La segunda desventaja que tiene el método de elementos finitos, es la modelación, ya que para que una simulación sea representativa de los fenómenos físicos estudiados, tiene que considerarse los factores más preponderantes que afecten directamente los resultados. Por ejemplo, al estudiar una pieza sometida a cargas estáticas, en la vida real, también está afectada por el coeficiente de expansión térmica y por lo tanto, los resultados serán afectados también por la temperatura a la que se encuentre la pieza, pero dado que la magnitud de las cargas estáticas exceden por gran medida este factor, es entendible asumir que la temperatura, la gravedad o algún otro factor, no nos afecta en la determinación de esfuerzos de la pieza estudiada, pero tenemos que estar concientes que los resultados no son la realidad, es una aproximación.

---

<sup>11</sup> (LASER., 2008)



29



Es básicamente por estas razones, por lo que el futuro de la ingeniería asistida por computadora, se encuentra ligada en la habilidad de representar de forma precisa el comportamiento natural de un fenómeno.

INVENTOR FEA, cuenta con una gran variedad de módulos aplicados a diferentes campos de estudio, pero uno de los más importantes, es el módulo de simulación mecánica de eventos, o por sus siglas en inglés MES (Mechanical Event Simulation) ya que dentro de este módulo, el usuario puede simular diferentes escenarios y situaciones de tal modo que ingenieros de cualquier disciplina, puedan tener una idea acerca del desempeño de sus diseños.

El módulo MES, brinda la posibilidad de realizar análisis cinemáticos en función del tiempo, empleando el método de elementos finitos, lo que provee la facultad de analizar y simular de forma simultánea, flexiones, movimiento y en sí, la interacción dinámica de un ensamble de piezas.

Entre alguno de los detalles más importantes se puede mencionar, que para el análisis de esfuerzo máximo y el factor de seguridad, el software basa su análisis en la teoría de Von Mises o teoría de falla por energía de distorsión máxima

#### 4.2.6 TEORÍA DE FALLA POR ENERGÍA DE DISTORSIÓN MÁXIMA

La energía de deformación se compone de la energía de deformación (cambio de volumen) y de la distorsión.

$$\mu = \mu_v + \mu_d \quad (\mu_{\text{volumen}} + \mu_{\text{distorsion}})$$

La falla ocurre si la energía de distorsión por volumen unitario





excede la correspondencia a una prueba de tensión unitaria en la falla.

Los esfuerzos principales se componen de esfuerzos que producen cambio de volumen y cambio de distorsión.

$$\begin{aligned}\sigma_1 &= \sigma_1' + \sigma_{1v} & \sigma_1' &= \sigma \text{ que causa distorsión.} \\ \sigma_2 &= \sigma_2' + \sigma_{2v} & \sigma_v &= \sigma \text{ que causa cambio de volumen. (1)} \\ \sigma_3 &= \sigma_3' + \sigma_{3v}\end{aligned}$$

Y para que no haya cambio de volumen por los componentes de distorsión se debe cumplir que:

$$\varepsilon_1' + \varepsilon_2' + \varepsilon_3' = 0 \quad (2)$$

Además se tiene que por la ley de Hooke:

$$\begin{aligned}\varepsilon_1' &= \frac{1}{E} \cdot (\sigma_1' - \nu \cdot \sigma_2' - \nu \cdot \sigma_3') \\ \varepsilon_2' &= \frac{1}{E} \cdot (\sigma_2' - \nu \cdot \sigma_1' - \nu \cdot \sigma_3') \\ \varepsilon_3' &= \frac{1}{E} \cdot (\sigma_3' - \nu \cdot \sigma_1' - \nu \cdot \sigma_2')\end{aligned}$$

Como se debe cumplir la ecuación (2)

$$\frac{1}{E} (\sigma_1' - \nu \cdot \sigma_2' - \nu \cdot \sigma_3' + \sigma_2' - \nu \cdot \sigma_1' - \nu \cdot \sigma_3' + \sigma_3' - \nu \cdot \sigma_1' - \nu \cdot \sigma_2') = 0$$

Por lo tanto

$$\sigma_1' + \sigma_2' + \sigma_3' - 2\nu(\sigma_1' + \sigma_2' + \sigma_3') = 0$$

Además, se cumple que:

$$(\sigma_1' + \sigma_2' + \sigma_3') = 0$$

De otra parte si se suman las ecuaciones en (1)

$$\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 = \sigma_v + \sigma_v + \sigma_v + \sigma_1' + \sigma_2' + \sigma_3' = 0$$

$$\sigma_v = \frac{1}{3}(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) \quad (3)$$

La ecuación (3) se puede usar para encontrar los esfuerzos principales de distorsión en función de los esfuerzos normales principales.

Como se tiene la condición de las ecuaciones (1) sabiendo que  $\Delta v$  es el mismo para los tres esfuerzos:

$$\sigma_1' = \sigma_1 - \frac{1}{3}(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) \quad \sigma_1' = \frac{2}{3}\sigma_1 - \frac{1}{3}\sigma_2 - \frac{1}{3}\sigma_3$$

$$\sigma_1' = \frac{2}{3}\left(\sigma_1 - \frac{\sigma_2}{2} - \frac{\sigma_3}{2}\right)$$

$$\sigma_2' = \frac{2}{3}\left(\sigma_2 - \frac{\sigma_1}{2} - \frac{\sigma_3}{2}\right)$$

$$\sigma_3' = \frac{2}{3}\left(\sigma_3 - \frac{\sigma_1}{2} - \frac{\sigma_2}{2}\right)$$

La energía de deformación por cambio de volumen será:

$$U_v = \frac{3\sigma_v \epsilon_v}{2}$$

En este caso se puede usar la ley de Hooke como:

$$\epsilon_v = \frac{1}{E}(\sigma_v - \nu\sigma_v - \nu\sigma_v) = \frac{\sigma_v}{E}(1 - 2\nu)$$

Por lo tanto

$$U_v = \frac{3}{2}\sigma_v \cdot \frac{\sigma_v}{2}(1 - 2\nu)$$

Y teniendo en cuenta la relación (3)

$$U_v = \frac{1 - 2\nu^3}{6E}(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)^2$$

Y como  $U_d = U - U_v$  (5)

Y que

32

$$U_v = \frac{1}{2E} \left[ \sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - 2\nu(\sigma_1\sigma_2 + \sigma_1\sigma_3 + \sigma_2\sigma_3) \right] \quad (6)$$

Se tiene de (4) (5) y (6) que:

$$U_d = \frac{1-\nu}{3E} \left[ \sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1\sigma_2 - \sigma_1\sigma_3 - \sigma_2\sigma_3 \right]$$

Análogamente para una prueba uniaxial, la energía de distorsión será:

$$U_d = \frac{1-\nu}{3E} \left[ \sigma_{yp}^2 \right]$$

Y entonces para diseñar se tiene el siguiente criterio, introduciendo un factor de Diseño  $N_d$

$$\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1\sigma_2 - \sigma_1\sigma_3 - \sigma_2\sigma_3 \leq \left( \frac{\sigma_{yp}}{N_d} \right)^2$$

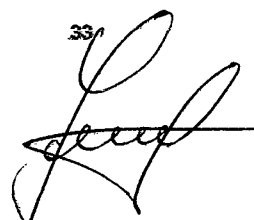
#### 4.2.7 ANÁLISIS POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS

El análisis por elementos finitos (FEA por sus siglas en inglés: Finite Element Analysis) es una técnica de simulación por computador usada en ingeniería. Usa una técnica numérica llamada Método de los elementos finitos (FEM).

En estas aplicaciones, el objeto o sistema se representa por un modelo geoméricamente similar que consta de múltiples regiones discretas simplificadas y conectadas. Ecuaciones de equilibrio, junto con consideraciones físicas aplicables así como relaciones constitutivas, se aplican a cada elemento, y se construye un sistema de varias ecuaciones. El sistema de ecuaciones se resuelve para los valores desconocidos usando técnicas de álgebra lineal o esquemas no lineales, dependiendo del problema. Siendo un método aproximado, la precisión de los métodos FEA puede ser mejorada refinando la discretización en el modelo, usando más elementos y nodos.



33



Un uso común de FEA es para determinar los esfuerzos y desplazamientos en sistemas mecánicos. Es además usado de manera rutinaria en el análisis de muchos otros tipos de problemas, entre ellos Transferencia de calor, dinámica de fluidos, y electromagnetismo. Con FEA se pueden manejar sistemas complejos cuyas soluciones analíticas son difícilmente encontradas. En general, hay tres fases en cualquier tarea asistida por computador:

- 1) Pre-procesamiento. Definir el modelo de elementos finitos y los factores ambientales que influyen en él.
- 2) Solución del análisis. Solucionar el modelo de elementos finitos.
- 3) Post-procesamiento de resultados usando herramientas de visualización.

#### **Pre-procesamiento**

El primer paso en FEA, pre-procesamiento, es construir un modelo de elementos finitos de la estructura a ser analizada. En muchos paquetes de FEA se requiere de la entrada de una descripción topológica de las características del elemento a analizar.

Ésta puede ser 1D, 2D, o 3D. El objetivo principal del modelo es replicar de manera realista los parámetros importantes y características del modelo real. La manera más sencilla para conseguir similaridad en el análisis es utilizar planos pre-existentes, modelos CAD, o datos importados de un ambiente FEA. Una vez se ha creado la geometría, se utiliza un procedimiento para definir y dividir el modelo en "pequeños" elementos. En general, un modelo de elementos finitos está definido por una malla, la cual está conformada por elementos y nodos. Los nodos representan puntos en los cuales se calcula el desplazamiento (análisis estructural). Los paquetes de FEA enumeran los nodos como una herramienta de identificación. Los elementos están determinados por conjuntos de nodos, y definen propiedades localizadas de masa y rigidez. Los



elementos también están definidos por la numeración de la malla, la cual permite referenciar la correspondiente deflexión o esfuerzo (en análisis estructural) para una localización específica.

### **Análisis**

En la siguiente etapa en el proceso de análisis de elementos finitos se lleva a cabo una serie de procesos computacionales que involucran fuerzas aplicadas, y las propiedades de los elementos de donde producir un modelo de solución. Tal análisis estructural permite la determinación de efectos como lo son las deformaciones, estiramiento o *estrés* que son causados por fuerzas estructurales aplicadas como lo son la fuerza, la presión y la gravedad.

### **Post-procesamiento**

Estos resultados entonces pueden ser estudiados utilizando herramientas visuales dentro del ambiente de FEA para ver y para completamente identificar las implicaciones del análisis. Herramientas numéricas y gráficas permiten la localización precisa de información como *estreses* y deflexiones a ser identificadas.

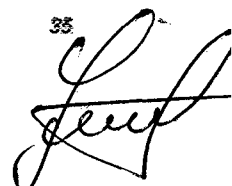
### **Criterio Seguido para el Análisis por Elementos Finitos**

La secuencia seguida para el análisis por elementos finitos, ver Figura 4.1, comienza a partir de un diseño preliminar o prototipo de lo que se desea obtener, la cual será analizada para diferentes condiciones de carga, en nuestro caso las condiciones del análisis de nuestro modelo es el recomendado por las Reglas de la Germanischer Lloyd para la construcción y revisión de artefactos de elevación, son las siguientes:

- La carga máxima multiplicada por el factor de 1.6.
- Los pesos muertos (equipos y estructuras).
- La Fuerza del viento actuante sobre las superficies del arreglo pluma-mástil.



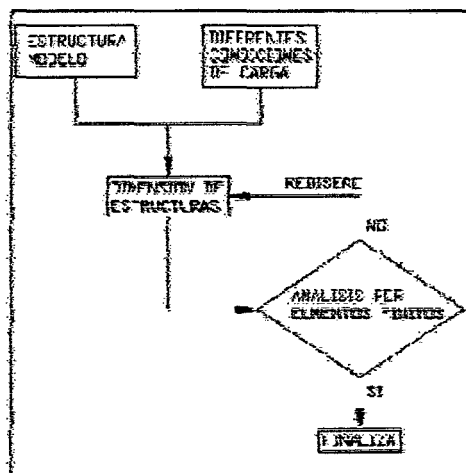
35



Una vez establecidas las condiciones de carga que actuaran sobre nuestro modelo, se analiza su respuesta mediante la obtención del esfuerzo máximo actuante y del factor de seguridad del elemento analizado.

Si los resultados son satisfactorios se finaliza el análisis, caso contrario se varían las dimensiones de algunos elementos estructurales y se procede a realizar un nuevo análisis hasta obtener los resultados más óptimos.

Figura 4.1.- DIAGRAMA DE FLUJO DEL ANÁLISIS



Elaborado por el Autor

36

## V. RESULTADOS

### 5.1. ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LA PLUMA

En el análisis estructural de la pluma de carga es necesario considerarla como si fuera un puntal con sus extremos articulados. Su diseño estructural se la hace considerando el momento flector y la carga de compresión a las que estará sometido la pluma.

Entonces es preciso recurrir a los valores de las componentes de las fuerzas paralelas y normales de la pluma.

La estructura es básicamente una viga cajón, donde las planchas y estructuras que la conforman, han sido escogidas de tal forma que se asegure un factor de seguridad mayor que 1.6 con respecto a la carga límite de elasticidad del material del que está constituido.

El análisis se realiza para la condición de carga máxima, se determina la tensión de trabajo partiendo de un modelo preliminar que después será optimizado con ayuda del software Inventor.

La tensión de trabajo se determina a partir del siguiente cálculo:

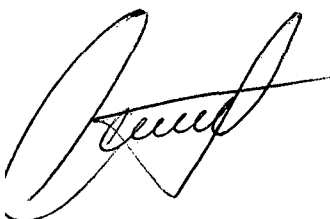
$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W}$$

$$M_{\max} = F_{\max} \cdot d + W_{\text{pluma}} \times d'$$

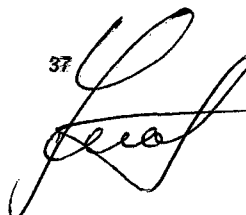
$$W = \frac{(b_e \times h_e^2)}{6} - \frac{b_i \times \left(\frac{h_i^3}{h_e}\right)}{6}$$

$$b_i = b_e - e$$

$$h_i = h_e - e$$



37



Donde:

$M_{max}$ : Momento flector máximo.

$F_{max}$ : carga máxima de trabaja.

$W_{pluma}$ : Peso de la pluma.

$d$ : distancia de la carga al mástil.

$d'$ : distancia del c.g. de la pluma al mástil.

$b_e$  ,  $h_e$  : lados exteriores de pluma.

$b_i$  ,  $h_i$  : lados interiores de pluma.

$e$ : espesor de la plancha.

Calculando obtenemos los siguientes resultados:

$$M_{max}=1019056883.836\text{Kg}$$

$$W=8342922.38\text{mm}^3$$

$$\sigma_{max}= 151.293\text{MPa}$$


Para que este valor sea adecuado se debe cumplir:  $\sigma_{max} < \frac{\sigma_{material}}{1.6}$

$\sigma_{max}= 151.293\text{MPa} < 156.25\text{MPa}$  el valor obtenido es satisfactorio

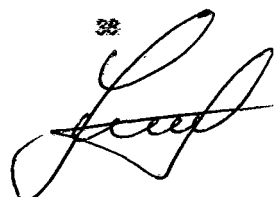
Para el análisis por el método de elementos finitos previamente se ha modelado la pluma, "según el Plano de Estructuras de la Pluma, con ayuda de un Software CAD", este modelo ha sido importado por el Software Algor para llevar a cabo nuestro análisis.

Dentro del software Algor hemos representado la condición de máxima carga, caracterizada por la acción de la fuerzas  $F_x=10658.726\text{Kg}$  y  $F_y=27159.042\text{Kg}$ , normal y paralela a la pluma respectivamente, además se establecen las condiciones de contorno y el tipo de material ASTM A36.

Se considera un mallado del 10% como se muestra en la Figura N° 5.1, elegimos realizar el análisis con un mallado muy fino, porque este optimiza los resultados obtenidos por el software.



38





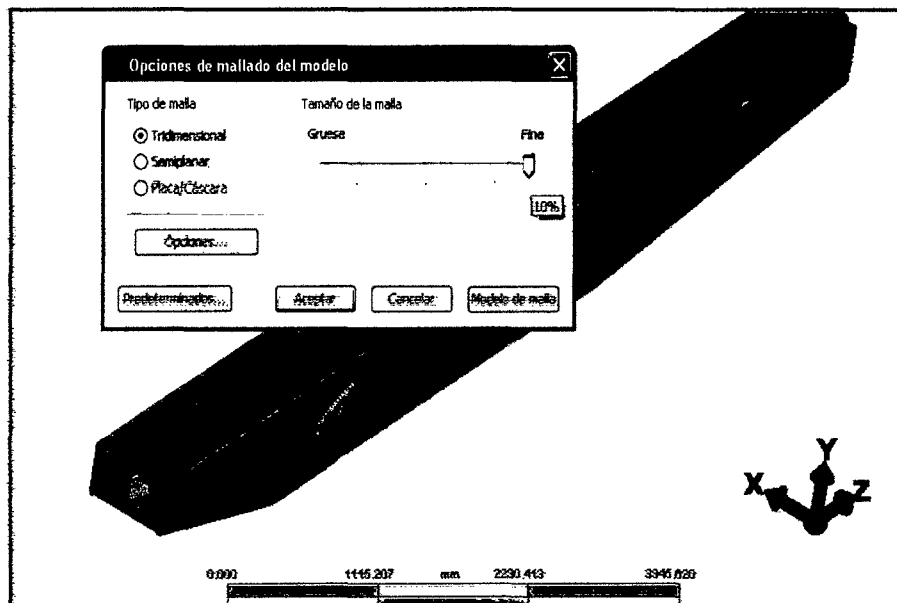


Figura N° 6.1.- OPERACIÓN DE MALLADO DE LA PLUMA

La distribución de los esfuerzos de Von Mises obtenidos sobre la pluma Figura N° 5.2, muestran que el sector en el que actúa los cilindros hidráulicos son las que presentan una gran concentración de esfuerzos, especialmente en las cercanías de los apoyos, alcanzando un esfuerzo máximo de 112 MPa.

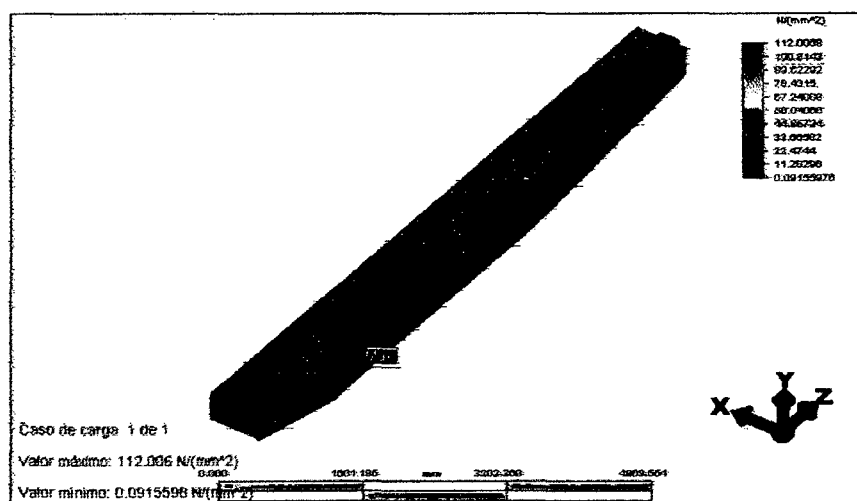


Figura N° 5.2 - TENSIÓN DE VON MISES SOBRE LA PLUMA

Aunque el esfuerzo es un valor muy grande, no supera el esfuerzo de fluencia del material, por lo que bajo esta condición de carga no se

39

producirá una falla en la estructura. Según el criterio de fallas de Von Mises, el mínimo Factor de Seguridad alcanzado por la pluma es de 2.22, como se muestra en la Figura N° 5.3.

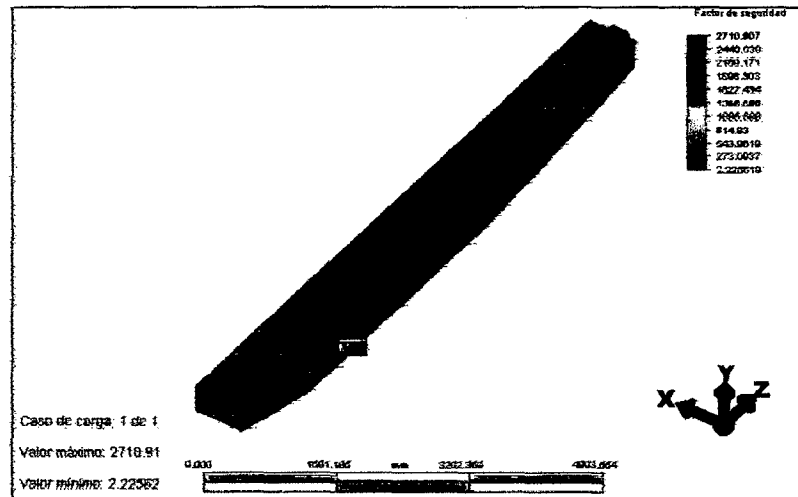


Figura N 5.3.- FACTOR DE SEGURIDAD DE LA PLUMA

En conclusión los resultados de nuestro análisis son satisfactorios debido a que el factor de seguridad obtenido es superior al recomendado por el reglamento de la Germanischer Lloyd para artefactos de elevación.

## 5.2. ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL MÁSTIL

El mástil, en lo que a su cálculo estructural respecta, es tomado como una columna empotrada en un extremo fijo y libre en el otro.

La parte del mástil correspondiente al cantiliver está constituida por el mástil efectivo, más el tramo desde la cubierta a la intersección del mástil efectivo con la pluma de carga.

La estructura es básicamente una viga cajón de sección variable, donde las planchas y estructuras que la conforman, han sido escogidas de tal forma que se asegure un factor de seguridad mayor que 1.6 con respecto a la carga límite de elasticidad del material del que está constituido.

El análisis, al igual que la pluma, se realiza para la condición de carga

40

máxima. Se determina la tensión de trabajo partiendo de un modelo preliminar que después será optimizado con ayuda del software INVENTOR FEA.

La tensión de trabajo se determina a partir del siguiente cálculo:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W}$$

$$M_{\max} = R_{\max} \cdot d$$

$$W = \frac{(b_e \times h_e^2)}{6} - \frac{b_i \times \left(\frac{h_i^3}{h_e}\right)}{6}$$

$$b_i = b_e - e$$

$$h_i = h_e - e$$

Donde:

$M_{\max}$ : Momento flector máximo.

$R_{\max}$ : Reacción horizontal máxima.

$d$ : distancia de la carga al mástil.

$b_e$ ,  $h_e$ : lados exteriores del mástil.

$b_i$ ,  $h_i$ : lados interiores del mástil.

$e$ : espesor de la plancha.

Calculando obtenemos los siguientes resultados:

$$M_{\max} = 32590850.88 \text{ Kg}$$

$$W = 5714037.964 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{\max} = 70.269 \text{ MPa}$$



41



Para que este valor sea adecuado se debe cumplir:  $\sigma_{max} < \frac{\sigma_{material}}{1.6}$

$\sigma_{max} = 70.269 \text{ MPa} < 156.25 \text{ MPa}$  el valor obtenido es satisfactorio.

Para el análisis por el método de elementos finitos previamente se ha modelado el mástil, según el Plano de Estructuras del Mástil, con ayuda de un Software CAD, este modelo ha sido importado por el Software Inventor para llevar a cabo nuestro análisis.

Con ayuda del Software Inventor se han representado las condiciones de máxima carga, esta se encuentra bajo la acción de las fuerzas  $F_x = 18191.057 \text{ Kg}$  y  $F_y = 22810.249 \text{ Kg}$ , normal y paralela al mástil respectivamente, además se establecen las condiciones de contorno, el tipo de material ASTM A36 y un tamaño de mallado del 10%, como se muestra en la Figura N° 5.4.

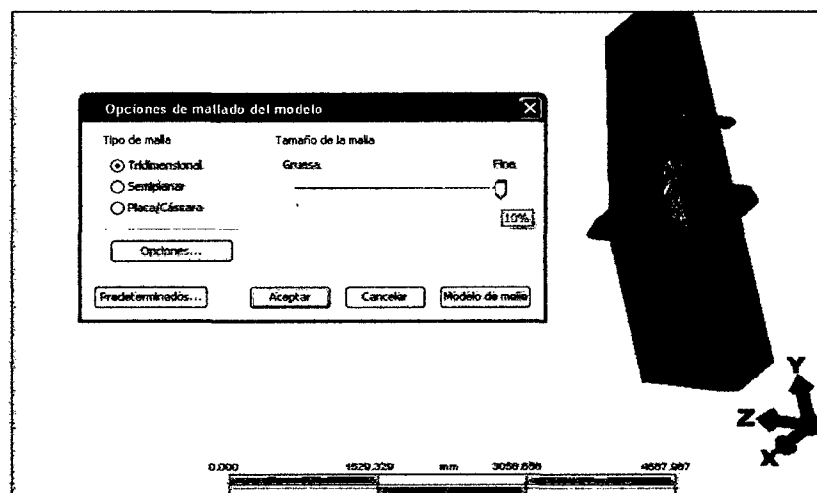
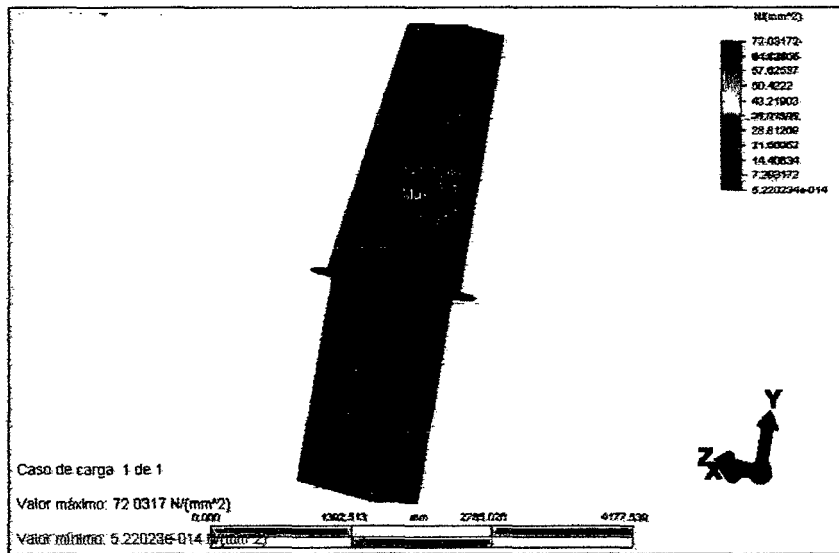


Figura N° 5.4.- OPERACIÓN DE MALLADO DEL MÁSTIL

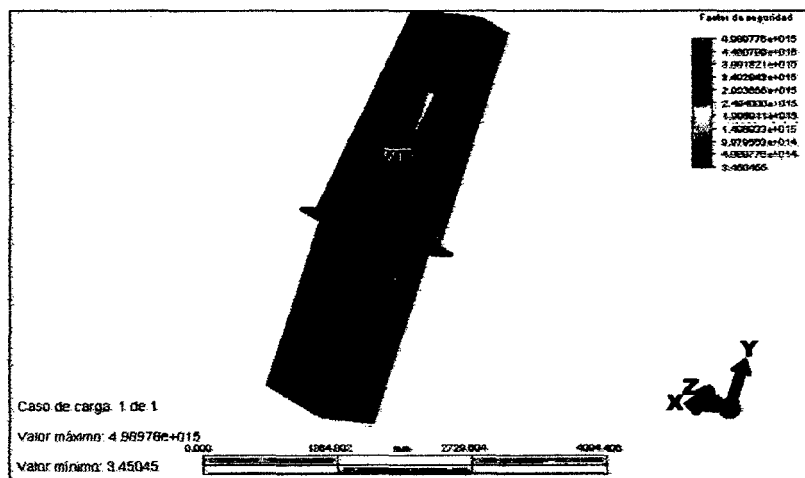
La distribución de los esfuerzos de Von Mises obtenidos sobre la pluma: Figura N° 5.5, muestran que los sectores donde se apoya la pluma de carga son las que presentan una gran concentración de esfuerzos, especialmente en las cercanías de los apoyos, alcanzando un esfuerzo máximo de 72 MPa.

42



**Figura N° 5.5.- TENSION DE VON MISES SOBRE EL MÁSTIL**

El esfuerzo máximo obtenido no supera el esfuerzo de fluencia del material, por lo que bajo esta condición de carga no producirá falla en la estructura, además el mínimo Factor de Seguridad alcanzado por la pluma es de 3.45, como se muestra en la Figura N° 5.6.



**Figura N° 5.6.- FACTOR DE SEGURIDAD DEL MÁSTIL**

En conclusión los resultados de nuestro análisis son satisfactorios debido a que el factor de seguridad obtenido es superior al recomendado por el

reglamento de la Germanischer Lloyd para artefactos de elevación.

### 5.3. ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL ARREGLO MÁSTIL-PLUMA

Para este análisis el mástil y la pluma de carga son ensambladas de tal forma que representen su condición de máxima carga.

Las fuerzas aplicadas sobre el sistema pluma-mástil son las que causan los mayores esfuerzos sobre dicho sistema, además se considera la fuerza debida a la acción del viento, según se indica en el Reglamento de la Germanischer Lloyd para artefactos de elevación.

El análisis se realizó considerando que el sistema pluma-mástil soporta la acción de fuerzas  $F_x=18191.057\text{Kg}$  y  $F_y=22810.249\text{Kg}$ , horizontal y vertical respectivamente, además de la fuerza que representa la acción del viento de  $393.25\text{ N/m}^2$ , se establecen las condiciones de contorno, el tipo de material ASTM A36 y un tamaño de mallado del 10%, como se muestra en la Figura N° 5.7.

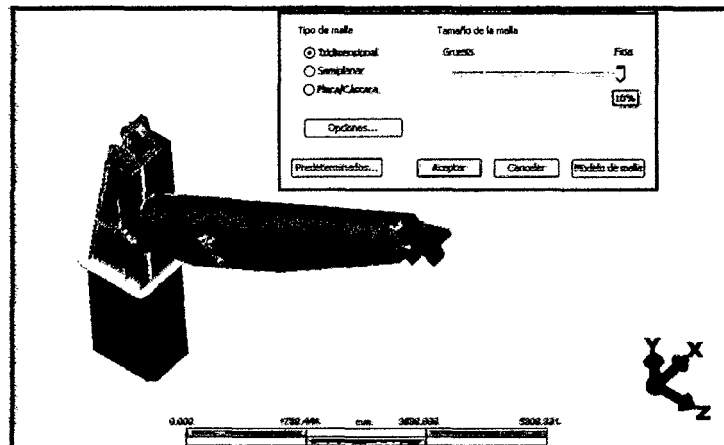
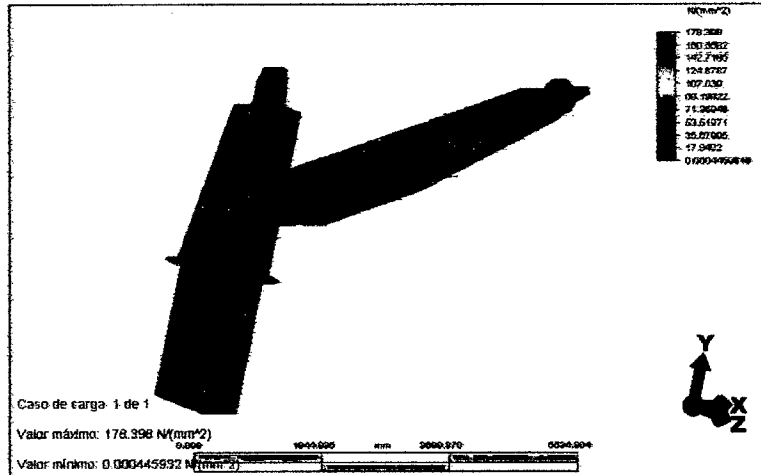


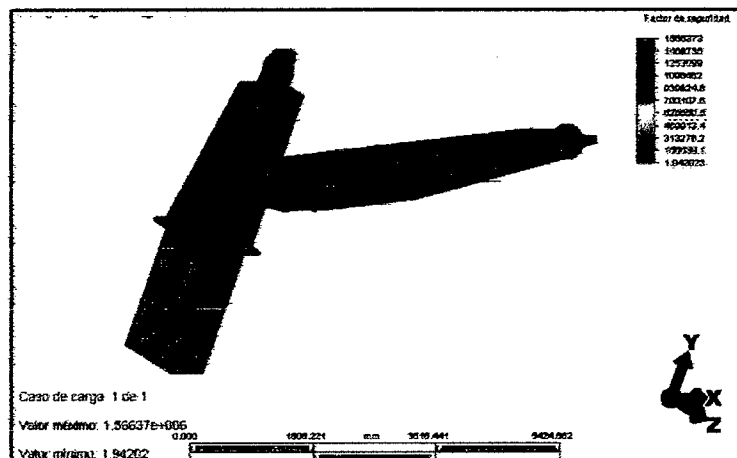
Figura N° 5.7.- OPERACIÓN DE MALLADO DEL ARREGLO MÁSTIL-PLUMA

La distribución de los esfuerzos de Von Mises obtenidos sobre el sistema pluma-mástil Figura N° 5.8, muestran que la estructura que soporta la polea presentan una gran concentración de esfuerzos, especialmente en las cercanías del extremo de la pluma, alcanzando un esfuerzo máximo de 178.39 MPa.



**Figura N° 5.8.- TENSION DE VON MISES SOBRE EL ARREGLO MÁSTIL PLUMA**

Aunque el esfuerzo máximo es muy grande, no supera el esfuerzo de fluencia del material, por lo que bajo esta condición de carga no producirá falla en el material, además el mínimo Factor de Seguridad alcanzado por la pluma es de 1.94, que es un valor superior al requerido por la clasificadora, como se muestra en la Figura N° 5.9.



**Figura N° 5.9.- FACTOR DE SEGURIDAD DEL ARREGLO MÁSTIL-PLUMA**

Podemos concluir que nuestro modelo satisface el factor de seguridad recomendado por el reglamento de la Germanischer Lloyd para artefactos de elevación.

45

#### 5.4. ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LA UNIÓN BARCAZA-MÁSTIL

Esta parte del análisis tiene como objetivo comprobar que en las estructuras, que forman parte de la barcaza y que están relacionadas estructuralmente con el mástil, no se produzca una falla estructural ante las condiciones de máxima carga.

Para el análisis por el método de elementos finitos previamente se ha modelado el mástil y elementos estructurales de la Barcaza ligados a este, según el Plano de Estructuras del Mástil y el Plano de Estructuras de la Barcaza, con ayuda de un Software CAD, este modelo ha sido importado por el Software Inventor para llevar a cabo el análisis.

Con ayuda del Software Inventor se han representado las condiciones de máxima carga, esta se encuentra bajo la acción de las fuerzas  $F_x=18191.057\text{Kg}$  y  $F_y=22810.249\text{Kg}$ , normal y paralela al mástil respectivamente, además las fuerzas de 24996.62 Kg que son ejercidas por los cilindros hidráulicos sobre la cubierta, se establecen las condiciones de contorno, el tipo de material ASTM A36 y un tamaño de mallado del 10%, como se muestra en la Figura N° 5.10.

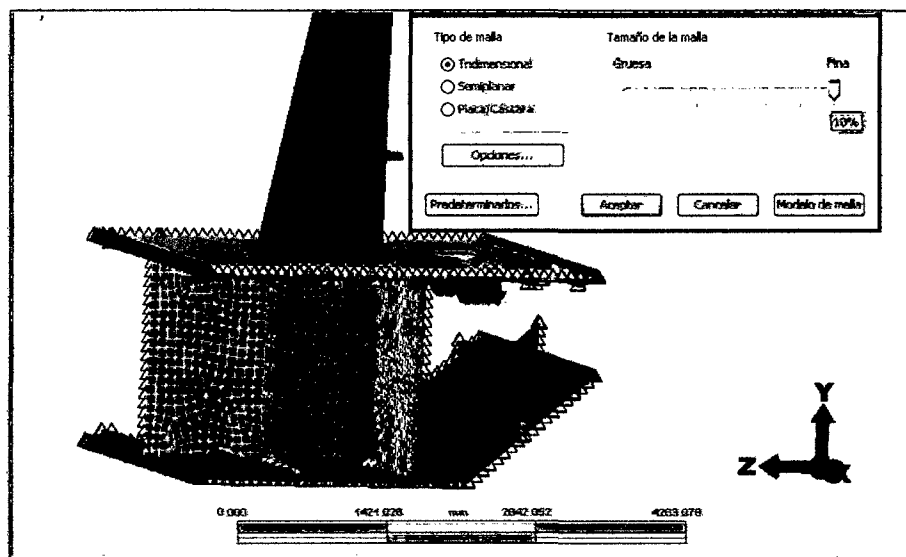


Figura N° 5.10.- OPERACIÓN DE MALLADO DE LA UNIÓN BARCAZA-MÁSTIL

46



La distribución de los esfuerzos de Von Mises obtenidos sobre la estructura analizada Figura N° 5.11, muestran que la parte estructural que soportara a los cilindros hidráulicos presentan una gran concentración de esfuerzos, alcanzando un esfuerzo máximo de 165.5 MPa.

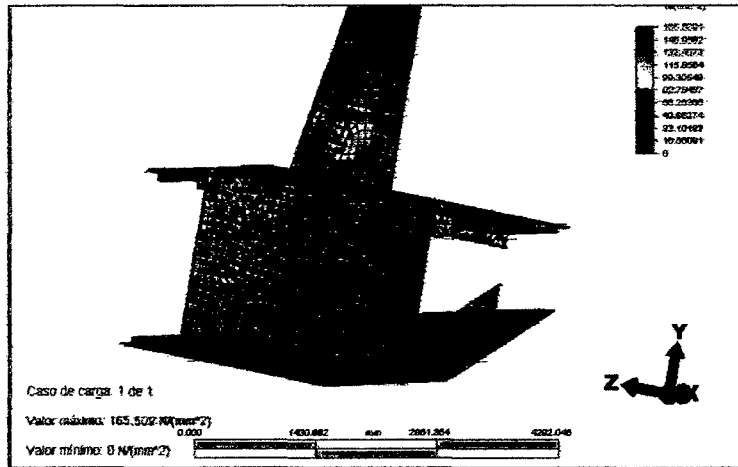


Figura N° 5.11.- TENSION DE VON MISES SOBRE UNIÓN BARCAZA-MÁSTIL

Aunque el esfuerzo máximo es significativamente grande, no supera el esfuerzo de fluencia del material, por lo que bajo esta condición de carga no producirá falla en el material, además el mínimo Factor de Seguridad alcanzado por la pluma es de 1.61, que es un valor superior al requerido por la clasificadora, como se muestra en la Figura N° 5.12.

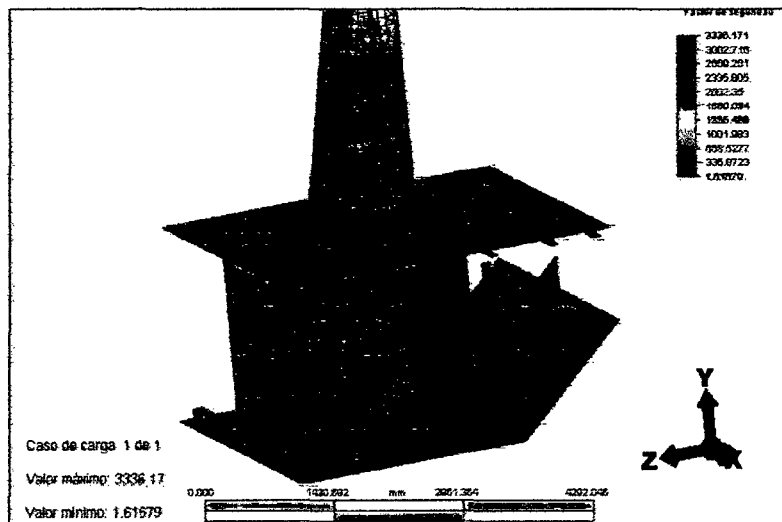


Figura N° 5.12.- FACTOR DE SEGURIDAD DE LA UNIÓN BARCAZA-MÁSTIL

*[Handwritten signature]*

47  
*[Handwritten signature]*

Podemos observar que las estructuras representadas por el modelo  
satisface el factor de seguridad recomendado por el reglamento de la  
Germanischer Lloyd para artefactos de elevación.

A handwritten signature in cursive script, appearing to be the name 'Cay' or similar, written in black ink.A handwritten signature in cursive script, appearing to be the name 'Ley' or similar, written in black ink.

## VI. DISCUSIÓN

1. Se ha logrado completar el diseño de una barcaza con arreglo de arboladura, que pueda realizar las operaciones de rescate de embarcaciones pesqueras naufragadas con una capacidad que satisfaciendo las necesidades de nuestro medio.
2. El estudio nos ha permitido desarrollar el análisis de un arreglo de arboladura por el método de elementos finitos, de esta manera estamos contribuyendo a resolver problemas de análisis estructural en artefactos navales.
3. Se logro diseñar una barcaza según las normas de la American Bureau of Shipping, con la suficiente capacidad y estabilidad para realizar las operaciones de rescate.
4. Se obtuvo un arreglo de arreglo de arboladura que satisface las normas de las Germanischer Lloyd para artefactos de elevación y que fue optimizado con el software para análisis estructural.
5. La evaluación de costos y planificación nos permite establecer las actividades de construcción y obtener un valor aproximado del costo de construcción, facilitando el desarrollo del análisis financiero necesario para la realización de este proyecto.
6. Es preciso que el buque naufragado se encuentre libre del sedimento del fondo, para la mejor utilización de la barcaza, por ella se recomienda que el rescate se efectúe lo más pronto posible luego del naufragio.
7. En el caso de que el pesquero naufragado se encuentre sumergido en el fondo del océano, se hace necesaria la realización de trabajos de dragado que posibiliten a utilidad de la barcaza.

8. Nuestra barcaza para la recuperación de buques pesqueros naufragados tiene una utilidad que debe limitarse a las condiciones presentadas en el Cuadro N°5.
9. La barcaza en el momento de la maniobra de rescate debe encontrarse con la línea de crujía cortando las olas a noventa grados, lo que la garantiza la estabilidad inicial positiva. Lo que supone que han de realizarse labores de ayuda para confirmar que la línea de crujía del pesquero naufragado, al acercarse a la superficie, se encuentre a noventa grados de la línea respectiva de la barcaza.
10. La maniobra de rescate ha de efectuarse siempre, con tal velocidad, que no existan cambios bruscos de tensión en los cables, y que se permita la utilización eficiente de las bombas de lastrado y deslastrado, de tal manera que la barcaza presente el mínimo asentamiento posible.
11. El mástil se ha construido con la configuración elegida, para permitir solamente la presencia de momentos flectores y evitar torques que hubiera hecho necesario el aumento de las áreas seccionales del mástil, y así cumplir con los factores de seguridad mínimos establecidos.



50

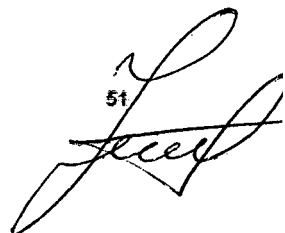


## VII. REFERENCIALES

1. AMERICAN BUREAU OF SHIPPING, Rules for Building and Classing Steel Barges for Offshore Service, A.B.S., New York. 1983.
2. BHATTACHARAYA, R. Dynamics of Marine Vehicles, Wiley & Sons, New York, 1986.
3. D'ARCANGELU A., Ship Design and Construction, the Society of Naval Architects and Marine Engineers, New York. 1989.
4. DIAZ C., Teoría del Buque, Escuela Oficial de Náutica de Barcelona, 1975.
5. MANDELLI A., Elementos de Arquitectura Naval, Editorial Alsina, Buenos Aires, 1960.
6. EDWARD J., Diseño de Ingeniería Mecánica, McGraw Hill, 1990.
7. FAO, Documentos Técnicos de Pesca, Roma, 1983.
8. ERNST H., Aparatos de Elevación y Transporte, Editorial Blume, 1970.
9. OBREGON V, La Crisis de la Industria Naval en el Contexto Macroeconómico Peruano, Lima, 2003.
10. PULL MASTER, Hydraulic Winch, Canada, 2008.
11. LASER, Hydraulic Cylinders Manufactured, España, 2008. —
12. <http://www.gi-group.com/en/index.php>
13. <http://www.autodesk.com/>



51



14. <http://www.team-twg.com/es/pulmaster/default.htm>

15. <http://www.nafems.org/publications/benchmark/>

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'R. J. ...'.

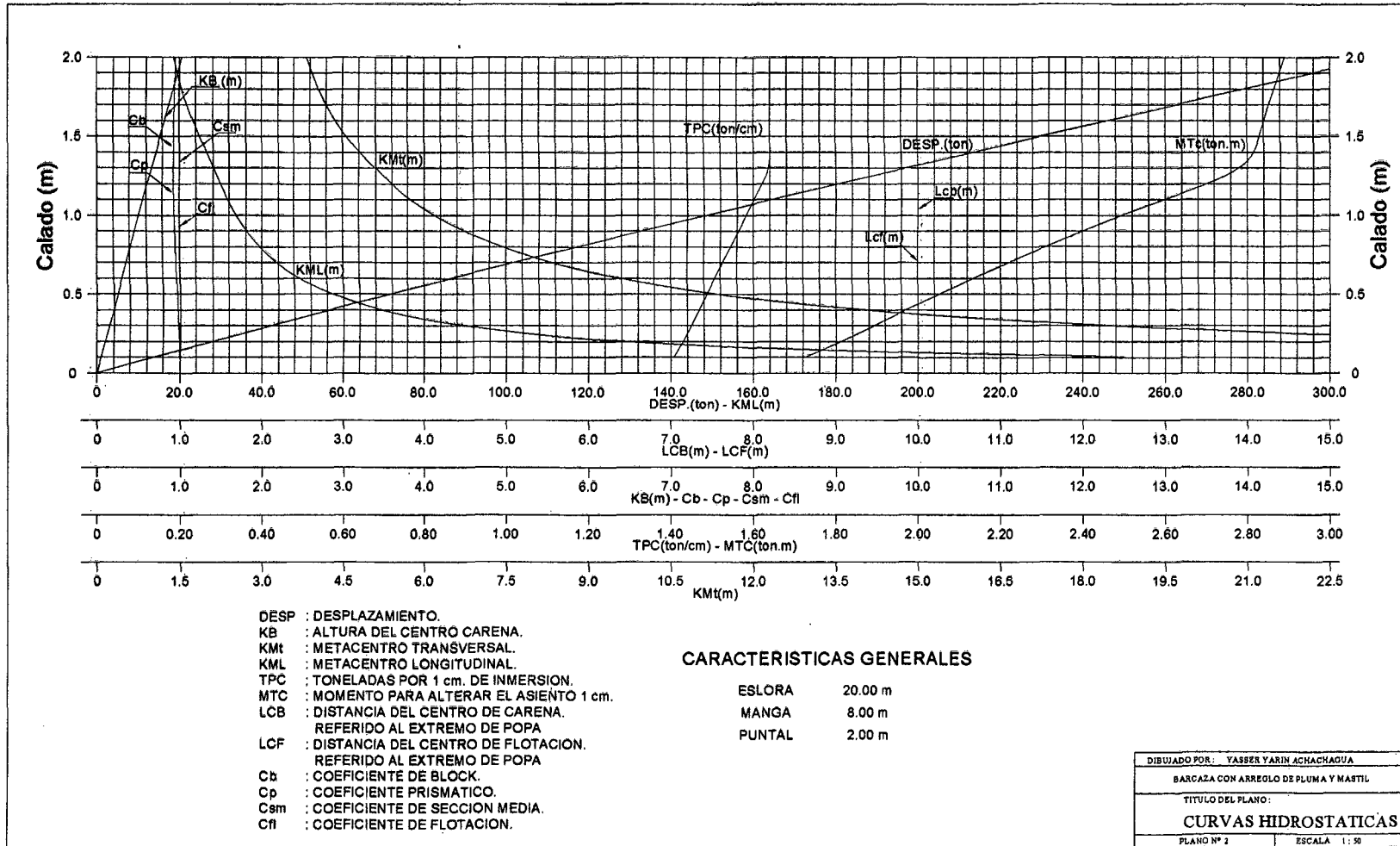
52

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'J. ...'.

VIII. APÉNDICE

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'D. J. P.' or similar, written in a cursive style.A handwritten signature in black ink, appearing to be 'L. J. P.' or similar, written in a cursive style.

## Apéndice A. Curvas Hidrostáticas

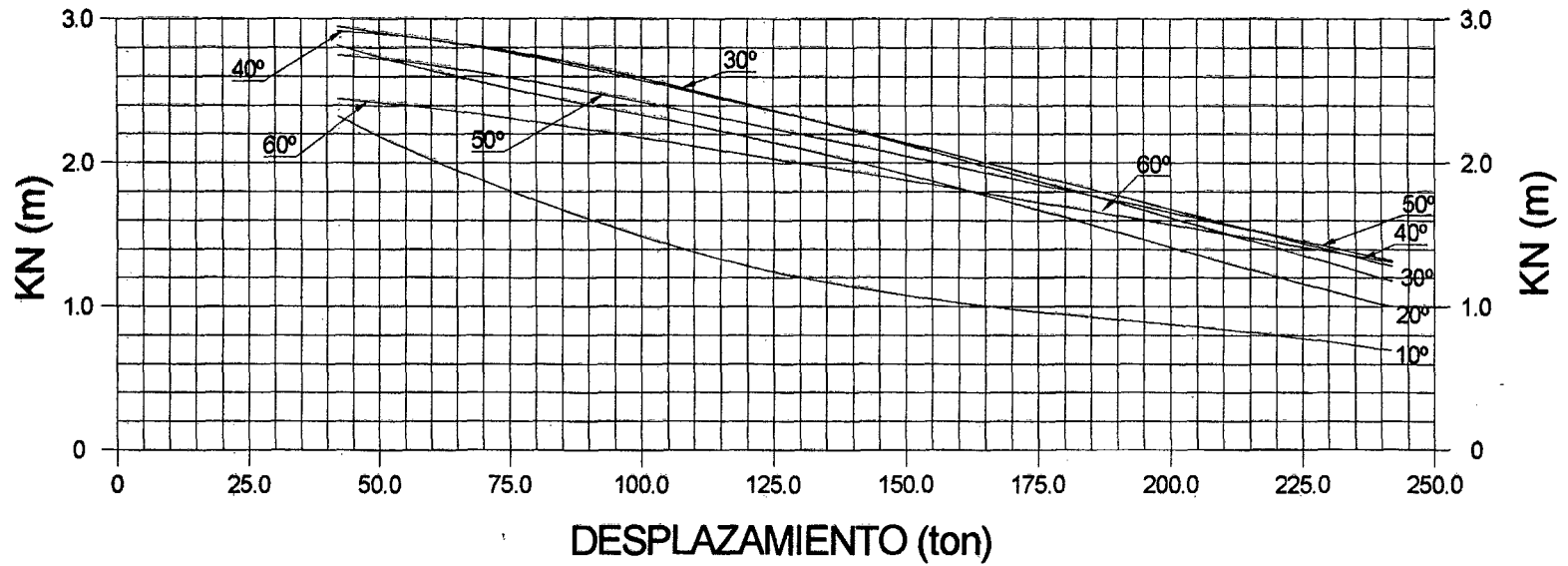


Fuente. Elaborado por el Autor

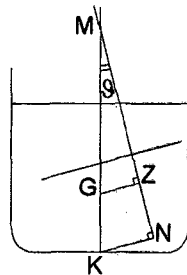


*[Handwritten signature]*

### Apéndice B. Curvas Cruzadas



KG = 0 m, ASUMIDO  
GZ = KN - KG x SEN θ



#### CARACTERISTICAS GENERALES

ESLORA 20.0 m  
MANGA 8.0 m  
PUNTAL 2.0 m

DIBUJADO POR: YASSER YARIN ACHACHAGUA

BARCAZA CON ARREGLO DE PLUMA Y MASTIL

TITULO DEL PLANO:

**CURVAS CRUZADAS**

PLANO Nº 3

ESCALA 1:50

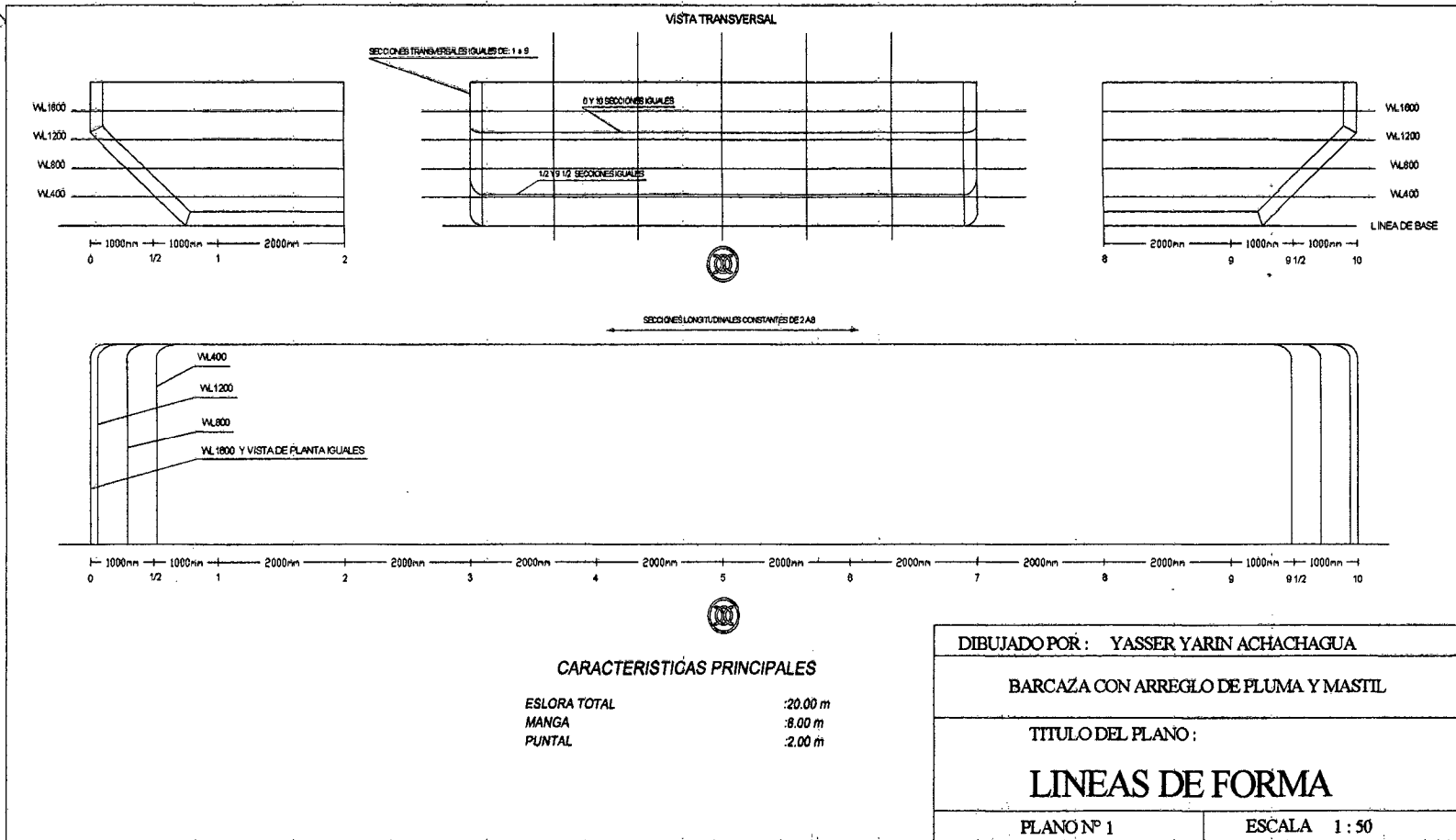
Fuente. Elaborado por el Autor

*[Handwritten signature]*

**ANEXOS**

A large, stylized handwritten signature in black ink, located in the bottom left corner of the page.A smaller, stylized handwritten signature in black ink, located in the bottom right corner of the page.

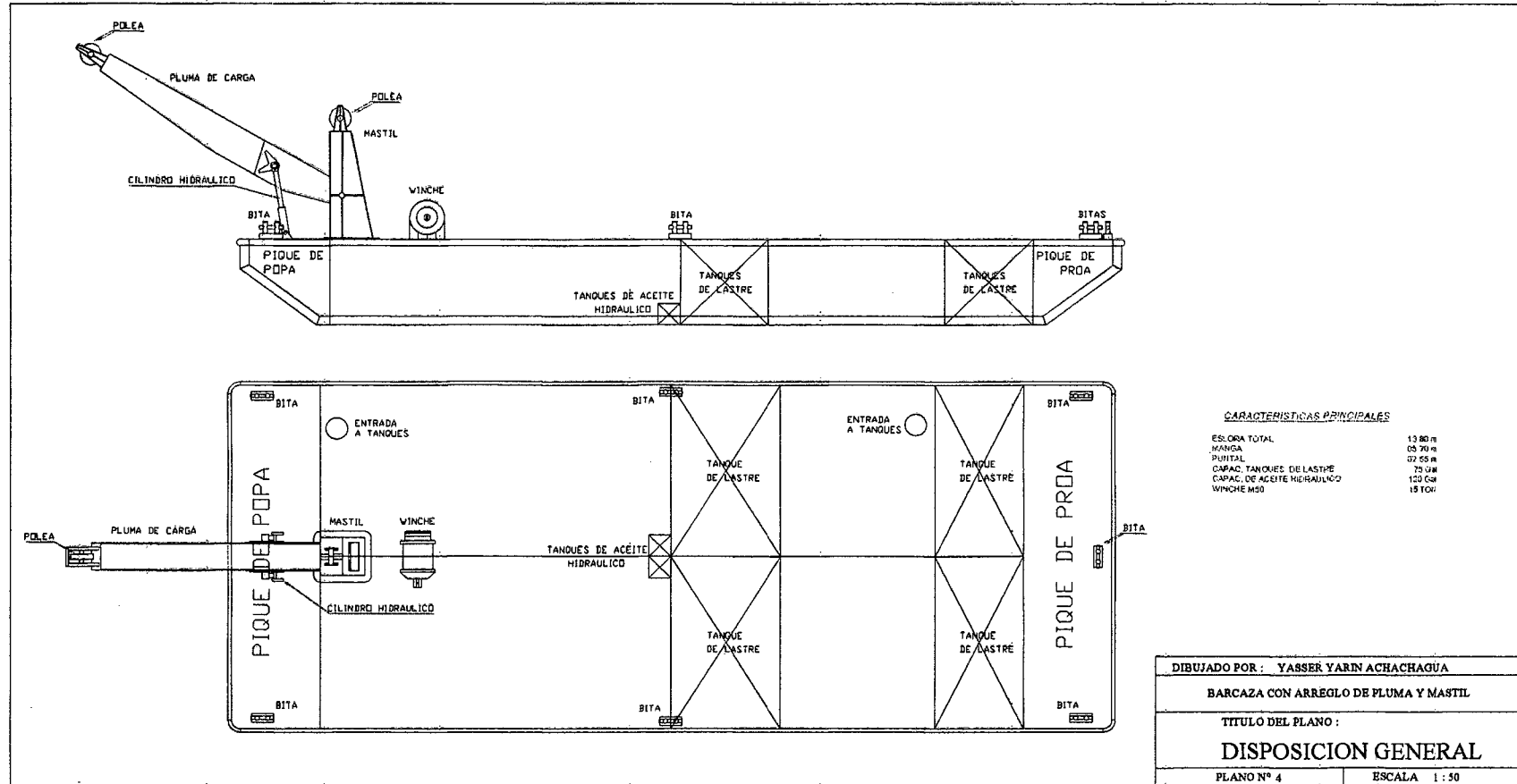
## ANEXO A. PLANO DE LINEAS DE FORMA



Fuente. Elaborado por el Autor

*Handwritten signature*

### ANEXO B. PLANO DE DISPOSICIÓN GENERAL



**CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES**

ESLORA TOTAL	13 80 m
MANGA	05 70 m
PUNTEL	02 55 m
CAPAC. TANQUES DE LASTRE	75 t/m
CAPAC. DE ACEITE HIDRAULICO	120 Gal
WINCHE M50	15 Ton

DIBUJADO POR : YASSER YARIN ACHACHAGUÁ	
BARCAZA CON ARREGLO DE PLUMA Y MASTIL	
TITULO DEL PLANO :	
<b>DISPOSICION GENERAL</b>	
PLANO N° 4	ESCALA 1 : 50

Fuente. Elaborado por el Autor

*Handwritten signature*