



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**  
**Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar**

**ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL RETIRO DE MATERIAL  
ESTRUCTURAL DURANTE EL VARAMIENTO DE LA CORBETA  
ESMERALDAS**

**TESIS DE GRADO**

Previa la obtención del Título de

**INGENIERO NAVAL**

**Presentado por:**

Geovanny Marcelo Yungán Zambrano

Guayaquil - Ecuador

2010

## AGRADECIMIENTO

Expreso un emotivo agradecimiento a mi querida Yesy por el constante ánimo y apoyo desinteresado brindado durante el desarrollo de este trabajo, a mi Director de tesis, Dr. José R. Marín L. por su colaboración, paciencia y sobretodo por la amistad dada durante el desarrollo de esta tesis, y a todos quienes contribuyeron a que hoy, este trabajo llegue a su fin.

## DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico especialmente a mis padres, Carlos y Ana, por toda la ayuda que me han dado para poder culminar esta etapa de mi vida, a Yesy por su invaluable apoyo durante todos estos años, y a todos mis amigos con los que hemos compartido agradables momentos durante los años de estudio dentro y fuera de las aulas de clases.

## DECLARACIÓN EXPRESA

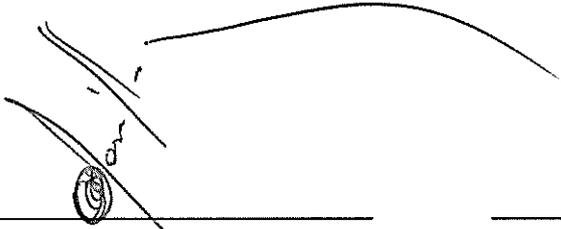
“La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta tesis, corresponden exclusivamente a su autor, y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado corresponderá a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Exámenes y Títulos Profesionales de la ESPOL)

---

Geovanny Marcelo Yungán Zambrano

**TRIBUNAL DE GRADO**



---

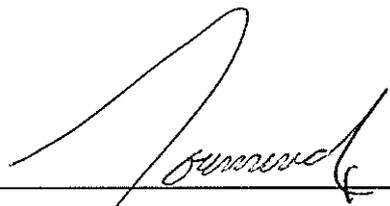
Ecuador Marcillo G., M.Sc.  
Presidente del Tribunal

---

José R. Marín L., Ph.D.  
Director de Tesis

---

Wilmo Jara Calderón, M.Sc.  
Miembro Principal



---

Patrick Townsend V., Ing. Naval  
Miembro Suplente

## RESUMEN

En este trabajo se han desarrollado, empleando el método de Elementos Finitos, cuatro modelos de la estructura completa de la corbeta Esmeraldas, representándola en su condición original y en tres etapas del proceso de retiro de material durante la reparación del buque. Al final de dichos trabajos, la embarcación sufrió distorsiones, y con este análisis se quería determinar si el retiro temporal de material al que fue sometida esta estructura fue una de las causas para las distorsiones finales que sufrió la embarcación.

Utilizando el programa AutoCAD se dibujó en el espacio la estructura con comandos Line y 3D Face, que luego fue importada desde SAP2000. Se modeló el planchaje y los refuerzos primarios como elementos Planos, y los secundarios como Vigas; los espesores para el planchaje fueron considerados según el registro de la toma de espesores. La superestructura, de Aluminio, no fue incluida en el modelo estructural, considerándose únicamente la plancha de acero a lo largo del contorno. Se incluyeron escuadras para evitar concentraciones de esfuerzos entre elementos principales. Para las propiedades mecánicas del acero, se tomaron los valores estándar del programa. En el desarrollo de esta estructura se utilizaron 33711 nodos, 12951 elementos vigas y 39773 elementos planos, y,

la discretización se resumió en un sistema de 198255 ecuaciones de equilibrio.

Los pesos presentes en la embarcación se los estimó de acuerdo a la distribución registrada al momento del varamiento, y se distribuyeron en los nodos de Cubierta Principal, Intermedia y Fondo. Finalmente, los puntos donde la embarcación se asentó durante el varamiento, se los representó como soportes simples.

Los esfuerzos analizados en cada modelo estructural, en general, se encuentran bajo el Límite de Fluencia del material, existiendo concentraciones en las intersecciones entre elementos primarios, con un valor extremo de  $-2.13 \text{ ton/cm}^2$ . La variación de los esfuerzos principales de todas las etapas de reparación es de menos del 3% respecto de la estructura original; como una excepción, la tercera etapa registró, en la cuaderna 76 a la altura de la segunda Vagra de Babor, una variación del 43%, aunque siempre por debajo del valor del Esfuerzo de Fluencia. Finalmente luego del análisis de cada etapa de reparación, se concluye que los esfuerzos desarrollados en esta estructura no sobrepasan en ningún momento el Límite de Fluencia, por lo que se cree que esta no fue la causa principal para las distorsiones permanentes que sufrió la estructura.

## ÍNDICE GENERAL

	<b>Pag.</b>
RESUMEN.....	VI
ÍNDICE GENERAL.....	VIII
ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS.....	XI
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XVI
INTRODUCCIÓN.....	1

### **CAPÍTULO 1**

#### **REPRESENTACIÓN DE LA ESTRUCTURA GLOBAL DE LA CORBETA ESMERALDAS**

1.1 Descripción de la Corbeta Esmeraldas.....	4
1.2 Proceso para Representar e Importar un Modelo Estructural.....	13
1.3 Desarrollo del Modelo Estructural de la Sección de Proa.....	20
1.4 Desarrollo del Modelo Estructural Completo.....	26

## **CAPÍTULO 2**

### **CÁLCULO DE LOS NIVELES DE ESFUERZO DURANTE EL PROCESO DE REPARACIÓN**

2.1	Descripción de las Etapas de Reparación de la Corbeta.....	39
2.2	Representación de las Restricciones Presentes.....	43
2.3	Representación Numérica de cada Etapa de Reparación.....	48
2.4	Cálculo de los Niveles de Esfuerzo.....	56
2.5	Análisis de las Reacciones.....	74

## **CAPÍTULO 3**

### **ANÁLISIS EVOLUTIVO DE LOS ESFUERZOS DURANTE EL PROCESO DE REPARACIÓN**

3.1	Descripción de las Zonas más Afectadas por la Reparación.....	80
3.2	Representación Secuencial de los Esfuerzos en cada Etapa de Reparación.....	88
3.3	Análisis de la Evolución de los Valores de Esfuerzos Máximos.....	93

<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>102</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>106</b>
<b>APÉNDICE A</b>	
CUADERNAS GENERADAS EN EL ESPACIO PARA EL DESARROLLO DEL MODELO ESTRUCTURAL.....	107
<b>APÉNDICE B</b>	
DESARROLLO DE ELEMENTOS PLANOS EN AUTOCAD UTILIZANDO EL COMANDO EDGESURF.....	108
<b>APÉNDICE C</b>	
ESPEORES PROMEDIO PARA EL PLANCHAJE DEL CASCO DE LA EMBARCACIÓN.....	110
<b>APÉNDICE D</b>	
CÁLCULO DE LAS ÁREAS E INERCIAS EFECTIVAS PARA LOS REFUERZOS SECUNDARIOS.....	113
<b>APÉNDICE E</b>	
DISTRIBUCIÓN DE PESOS SOBRE LOS NODOS EN EL MODELO ESTRUCTURAL.....	124
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>133</b>

**ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS**

KW	Kilovatio
m	Metros
ton	Toneladas
gal	Galones
CV	Caballos de vapor
dxf	Drawing interchange format
cm	Centímetro
cm <sup>2</sup>	Centímetro cuadrado
cm <sup>4</sup>	Centímetro a la cuarta
C	Cuaderna
MEF	Método de Elementos Finitos
m <sup>2</sup>	Metros cuadrados
$\sigma_{\text{máx, mín}}$	Esfuerzos principales
$\sigma_1$	Esfuerzo local en dirección X
$\sigma_2$	Esfuerzo local en dirección Y
$\tau_{12}$	Esfuerzo cortante
Esf. Pcpal.	Esfuerzo principal
Esf. 11	Esfuerzo en la cara 1 del elemento plano en la dirección del eje local 1

Esf. 22	Esfuerzo en la cara 2 del elemento plano en la dirección del eje local 2
Esf. 12	Esfuerzo cortante
Rx	Reacción en el eje X
Ry	Reacción en el eje Y
Rz	Reacción en el eje Z
Eb	Estribor
Bb	Babor
$\Sigma$	Suma total
Pr	Proa
Pp	Popa
$\sigma_y$	Esfuerzo de fluencia del acero
Max	Máximo
Min	Mínimo
ABS	American Bureau of Shipping

## ÍNDICE DE TABLAS

		<b>Pag.</b>
<b>Tabla I.</b>	Características principales de la Corbeta Esmeraldas....	5
<b>Tabla II.</b>	Clasificación de elementos planos por Capas.....	29
<b>Tabla III.</b>	Clasificación de elementos lineales por Capas.....	30
<b>Tabla IV.</b>	Resumen de pesos presentes en la embarcación.....	31
<b>Tabla V.</b>	Áreas y Pesos de la estructura del casco de los modelos a analizarse.....	54
<b>Tabla VI.</b>	Áreas y Pesos retirados para cada etapa de reparación.	55
<b>Tabla VII.</b>	Resumen de esfuerzos en las condiciones analizadas...	66
<b>Tabla VIII.</b>	Resumen de esfuerzos en las condiciones analizadas...	66
<b>Tabla IX.</b>	Resumen de esfuerzos en las condiciones analizadas...	66
<b>Tabla X.</b>	Resumen de esfuerzos en las condiciones analizadas...	66
<b>Tabla XI.</b>	Reacciones en los bloques de varamiento para la condición Original.....	75
<b>Tabla XII.</b>	Reacciones en los bloques de varamiento para la Primera etapa de reparación.....	75
<b>Tabla XIII.</b>	Reacciones en los bloques de varamiento para la Segunda etapa de reparación.....	75
<b>Tabla XIV.</b>	Reacciones en los bloques de varamiento para la Tercera etapa de reparación.....	75

<b>Tabla XV.</b>	Comparación de esfuerzos máximos en cada etapa de reparación.....	91
<b>Tabla XVI.</b>	Comparación de esfuerzos máximos en cada etapa de reparación.....	91
<b>Tabla XVII.</b>	Comparación de esfuerzos máximos en cada etapa de reparación.....	91
<b>Tabla XVIII.</b>	Esfuerzos principales, ton/cm <sup>2</sup> , en las diferentes etapas de reparación.....	93
<b>Tabla C-I.</b>	Espesores promedio para el sector de Popa.....	110
<b>Tabla C-II.</b>	Espesores promedio para el sector de Sección Media....	111
<b>Tabla C-III.</b>	Espesores promedio para el sector de Proa.....	112
<b>Tabla D-I.</b>	Refuerzo transversal secundario de cubierta.....	113
<b>Tabla D-II.</b>	Cuaderna simple.....	114
<b>Tabla D-III.</b>	Cuaderna intermedia.....	115
<b>Tabla D-IV.</b>	Refuerzo tipo bulbo del espejo.....	115
<b>Tabla D-V.</b>	Refuerzo tipo platina del espejo.....	116
<b>Tabla D-VI.</b>	Refuerzo tipo platina de mamparo.....	117
<b>Tabla D-VII.</b>	Refuerzo tipo T de mamparo.....	117
<b>Tabla D-VIII.</b>	Refuerzo tipo T de mamparo.....	118
<b>Tabla D-IX.</b>	Refuerzo tipo T de mamparo.....	119
<b>Tabla D-X.</b>	Refuerzo tipo T de mamparo.....	120

<b>Tabla D-XI.</b>	Refuerzo longitudinal tipo bulbo.....	120
<b>Tabla D-XII.</b>	Refuerzo longitudinal tipo platina.....	121
<b>Tabla D-XIII.</b>	Refuerzo longitudinal tipo T de cubierta intermedia.....	122
<b>Tabla D-XIV.</b>	Refuerzo transversal tipo T de cubierta intermedia.....	122
<b>Tabla D-XV.</b>	Refuerzo transversal tipo platina de cubierta intermedia.	123
<b>Tabla E-I.</b>	Distribución de pesos por cada nodo.....	125

## ÍNDICE DE FIGURAS

		<b>Pag.</b>
<b>Figura 1.</b>	Plano de Distribución General.....	6
<b>Figura 2.</b>	Plano de Líneas de Formas.....	7
<b>Figura 3.</b>	Cuadernas típicas.....	9
<b>Figura 4.</b>	Mamparo típico.....	11
<b>Figura 5.</b>	Ejes locales para elementos Frame.....	15
<b>Figura 6.</b>	Ejes locales para elementos Shell.....	17
<b>Figura 7.</b>	Cuadernas desarrolladas en AutoCAD.....	22
<b>Figura 8.</b>	Refuerzos longitudinales desarrollados en AutoCAD....	23
<b>Figura 9.</b>	Planchaje del casco de Proa desarrollado en AutoCAD..	24
<b>Figura 10.</b>	Mamparos y cubierta intermedia desarrolladas en AutoCAD.....	25
<b>Figura 11.</b>	Unión de las secciones de la corbeta en AutoCAD.....	27
<b>Figura 12.</b>	Modelo estructural desarrollado en SAP2000.....	34
<b>Figura 13.</b>	Comparación entre la embarcación y el modelo desarrollado, Proa.....	35
<b>Figura 14.</b>	Comparación entre la embarcación y el modelo desarrollado, Popa.....	36
<b>Figura 15.</b>	Comparación entre la embarcación y el modelo desarrollado, Base de máquinas propulsoras.....	36

<b>Figura 16.</b>	Comparación entre la embarcación y el modelo desarrollado, Mamparo estanco.....	37
<b>Figura 17.</b>	Plano de Cambios de Planchaje.....	41
<b>Figura 18.</b>	Plano de Varamiento.....	45
<b>Figura 19.</b>	Soportes simples en el modelo estructural.....	46
<b>Figura 20.</b>	Cantilibrio en la zona de Popa.....	47
<b>Figura 21.</b>	Modelo estructural utilizando el MEF para la Primera etapa de reparación.....	49
<b>Figura 22.</b>	Modelo estructural utilizando el MEF para la Segunda etapa de reparación.....	51
<b>Figura 23.</b>	Modelo estructural utilizando el MEF para la Tercera etapa de reparación.....	53
<b>Figura 24.</b>	Esfuerzos Máximos desarrollados en la Primera etapa de reparación.....	57
<b>Figura 25.</b>	Esfuerzos Mínimos desarrollados en la Primera etapa de reparación.....	58
<b>Figura 26.</b>	Esfuerzos Máximos desarrollados en la Segunda etapa de reparación.....	60
<b>Figura 27.</b>	Esfuerzos Mínimos desarrollados en la Segunda etapa de reparación.....	61
<b>Figura 28.</b>	Esfuerzos Máximos desarrollados en la Tercera etapa de reparación.....	63

<b>Figura 29.</b>	Esfuerzos Mínimos desarrollados en la Tercera etapa de reparación.....	64
<b>Figura 30.</b>	Esfuerzo principal en el nodo 18028, cuaderna 45. Primera etapa de reparación.....	67
<b>Figura 31.</b>	Esfuerzo principal en el nodo 13397, cuaderna 62. Primera etapa de reparación.....	69
<b>Figura 32.</b>	Esfuerzo principal en el nodo 15585, cuaderna 45. Segunda etapa de reparación.....	71
<b>Figura 33.</b>	Esfuerzo principal en el nodo 20686, cuaderna 76. Tercera etapa de reparación.....	73
<b>Figura 34.</b>	Distribución de carga sobre los bloques de quilla en las condiciones analizadas.....	77
<b>Figura 35.</b>	Distribución de carga sobre los bloques laterales de Estribor en las condiciones analizadas.....	78
<b>Figura 36.</b>	Distribución de carga sobre los bloques laterales de Babor en las condiciones analizadas.....	79
<b>Figura 37.</b>	Desmontaje de las tapas de registro.....	81
<b>Figura 38.</b>	Cambio de planchaje en la cubierta principal.....	82
<b>Figura 39.</b>	Corte y retiro del planchaje del casco.....	82
<b>Figura 40.</b>	Cambio de refuerzos estructurales.....	83
<b>Figura 41.</b>	Trabajos realizados en el sector de Sala de Máquinas...	83
<b>Figura 42.</b>	Planchaje nuevo instalado en el sector de Proa.....	84

<b>Figura 43.</b>	Planchaje nuevo a ser instalado en la embarcación.....	84
<b>Figura 44.</b>	Deformación en la roda de la Corbeta.....	85
<b>Figura 45.</b>	Vista lateral de la nueva quilla instalada en el sector de la roda.....	86
<b>Figura 46.</b>	Deformación permanente registrada en un refuerzo primario.....	87
<b>Figura 47.</b>	Deformación en la tapa de registros de Popa de Babor...	87
<b>Figura 48.</b>	Esfuerzos principales desarrollados en la zona de la Roda.....	89
<b>Figura 49.</b>	Esfuerzos desarrollados en el nodo 18028 (cara superior).....	94
<b>Figura 50.</b>	Esfuerzos desarrollados en el nodo 18028 (cara inferior)	95
<b>Figura 51.</b>	Esfuerzos desarrollados en el nodo 15585 (cara superior).....	96
<b>Figura 52.</b>	Esfuerzos desarrollados en el nodo 15585 (cara inferior)	96
<b>Figura 53.</b>	Esfuerzos desarrollados en el nodo 13397 (cara superior).....	97
<b>Figura 54.</b>	Esfuerzos desarrollados en el nodo 13397 (cara inferior)	98
<b>Figura 55.</b>	Esfuerzos desarrollados en el nodo 20686 (cara inferior)	99
<b>Figura 56.</b>	Esfuerzos desarrollados en la conexión entre refuerzos primarios, nodo 20686, cuaderna 76.....	100

<b>Figura A-1.</b>	Cuadernas desarrolladas en el programa AutoCAD.....	107
<b>Figura B-1.</b>	Generación de superficies con el comando EDGESURF	109
<b>Figura D-1.</b>	Refuerzo transversal secundario de cubierta.....	114
<b>Figura D-2.</b>	Cuaderna simple.....	114
<b>Figura D-3.</b>	Cuaderna intermedia.....	115
<b>Figura D-4.</b>	Refuerzo tipo bulbo del espejo.....	116
<b>Figura D-5.</b>	Refuerzo tipo platina del espejo.....	116
<b>Figura D-6.</b>	Refuerzo tipo platina de mamparo.....	117
<b>Figura D-7.</b>	Refuerzo tipo T de mamparo.....	118
<b>Figura D-8.</b>	Refuerzo tipo T de mamparo.....	119
<b>Figura D-9.</b>	Refuerzo tipo T de mamparo.....	119
<b>Figura D-10.</b>	Refuerzo tipo T de mamparo.....	120
<b>Figura D-11.</b>	Refuerzo longitudinal tipo bulbo.....	121
<b>Figura D-12.</b>	Refuerzo longitudinal tipo platina.....	121
<b>Figura D-13.</b>	Refuerzo longitudinal tipo T de cubierta intermedia.....	122
<b>Figura D-14.</b>	Refuerzo transversal tipo T de cubierta intermedia.....	123
<b>Figura D-15.</b>	Refuerzo transversal tipo platina de cubierta intermedia.	123
<b>Figura E-1.</b>	Distribución total de pesos, ton.....	128
<b>Figura E-2.</b>	Distribución de pesos, ton, en cubierta principal.....	129
<b>Figura E-3.</b>	Distribución de pesos, ton, en cubierta intermedia.....	129
<b>Figura E-4.</b>	Distribución de pesos, ton, en el fondo.....	130

<b>Figura E-5.</b>	Pesos asignados en los nodos de cubierta principal.....	131
<b>Figura E-6.</b>	Pesos asignados en los nodos de cubierta intermedia....	131
<b>Figura E-7.</b>	Pesos asignados en los nodos del fondo.....	132

## INTRODUCCIÓN

Durante un proceso de varamiento, una embarcación se asienta sobre bloques, lo que hace que su estructura desarrolle esfuerzos que pueden generar deformaciones permanentes. Por esto es necesario que al momento del varamiento la embarcación se apuntale de una manera adecuada. A su vez, el cambio de planchaje es una actividad típica durante una reparación, el cual se vuelve de especial cuidado cuando material estructural es retirado de la zona de cubierta; esto hace que la estructura pierda rigidez flexural lo que puede producir deformaciones permanentes. Posiblemente esta fue una de las causas de la deformación que sufrió la Corbeta Esmeraldas en su estructura, durante el proceso de reparación al que fue sometido, en el año 2008, [1].

Cuando se pretende realizar un análisis estructural de una embarcación en actividad, una de las limitaciones que se tiene es la de representar adecuadamente el desgaste no uniforme que presenta el planchaje del casco. Asimismo, en los puntos donde la embarcación se asienta durante un varamiento, es necesario representar los soportes en forma adecuada, de lo cual no se tiene mucha experiencia en el medio. Por otro lado, la información disponible para modelar la estructura de una embarcación en servicio, es muchas veces limitada por la falta de planos. Sin embargo, se puede

representar un espesor promedio para modelar el desgaste no uniforme del casco, y los soportes simples son una buena opción al momento de representar los puntos de asiento de la embarcación. Además en el caso de la corbeta, esta se encuentra disponible para realizar un levantamiento de los planos que sean necesarios. De esta manera, con las simplificaciones descritas se podría realizar un análisis estructural de la embarcación durante el proceso de reparación, empleando el método de Elementos Finitos.

El objetivo general de esta tesis es analizar los esfuerzos y deformaciones que se desarrollaron en la estructura del casco de la Corbeta Esmeraldas de la Armada del Ecuador, como consecuencia del retiro de material estructural durante el proceso de reparación.

Los objetivos específicos son:

1. Modelar la estructura del casco de la Corbeta Esmeraldas para aplicar el método de Elementos Finitos, utilizando los programas AutoCAD y SAP2000.
2. Calcular los niveles de esfuerzo en cada una de las etapas de retiro de material estructural durante el proceso de reparación de la Corbeta Esmeraldas.

3. Analizar la evolución de los esfuerzos que se desarrollaron en la Corbeta Esmeraldas, durante las diferentes etapas de los procesos de reparación.

Con este trabajo se pretende entender lo sucedido durante los trabajos de reparación realizados en la Corbeta Esmeraldas, lo que ayudará en la planificación y toma de decisiones para futuros trabajos, teniendo en mente que cinco más de estas embarcaciones entrarán en un proceso de reparación similar.

## **CAPÍTULO 1**

### **REPRESENTACIÓN DE LA ESTRUCTURA GLOBAL DE LA CORBETA ESMERALDAS**

#### **1.1. Descripción de la Corbeta Esmeraldas.**

La Corbeta Esmeraldas de la Armada del Ecuador tiene 62.30 metros de eslora total, fue diseñada y construida en Italia por el Astillero FICANTIERI, [2], en el año de 1980. Posee, por su característica de embarcación de alta velocidad, una proa con formas bien finas. El tipo de construcción de esta embarcación es mixta, incluye vagras y varengas, y el casco fue construido con Acero Naval de alta resistencia; la superestructura está construida con aleación de Aluminio. Posee cuatro máquinas diesel propulsoras que generan una potencia total de 3785 KW, ubicadas a Popa de Sección Media; los tanques de diesel se encuentran en la zona de Popa, mientras que los de agua dulce están ubicados en la zona de Proa de la embarcación.

Las principales características de la corbeta se presentan en la siguiente tabla:

<b>CARACTERISTICAS PRINCIPALES</b>	
Eslora total [m]	62.30
Manga total [m]	9.30
Puntal [m]	5.05
Calado ligero [m]	2.18
Desplazamiento ligero [ton]	528.73
Material de construcción (casco)	Acero de Alta Resistencia
Material de construcción (superestructura)	Aleación de Aluminio
Capacidad total de combustible [gal]	40673.59
Capacidad total de agua [gal]	4988.10
Potencia [KW - CV]	3785 (5150)

**Tabla I.** Características principales de la Corbeta Esmeraldas, [1]

A continuación se presentan los planos de Distribución General y Líneas de Formas de la corbeta:

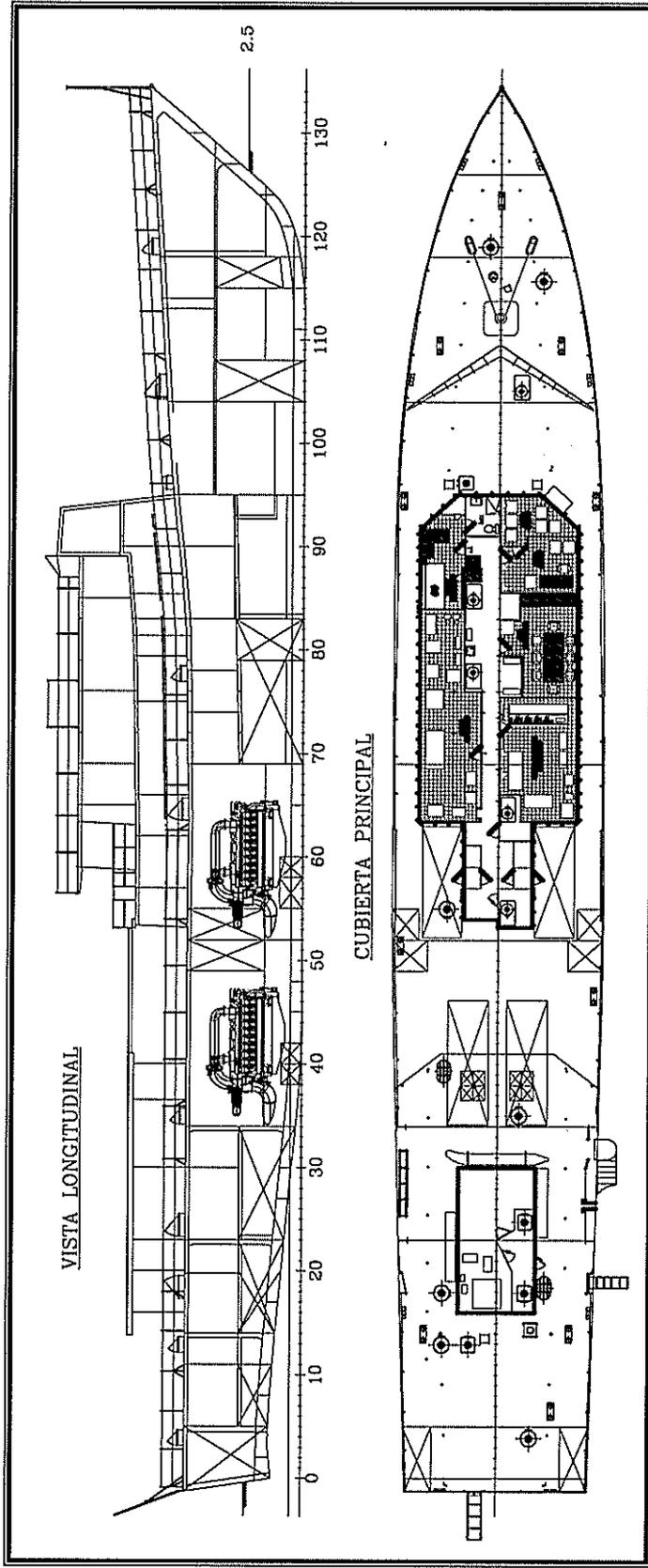


Figura 1. Plano de Distribución General, [2]

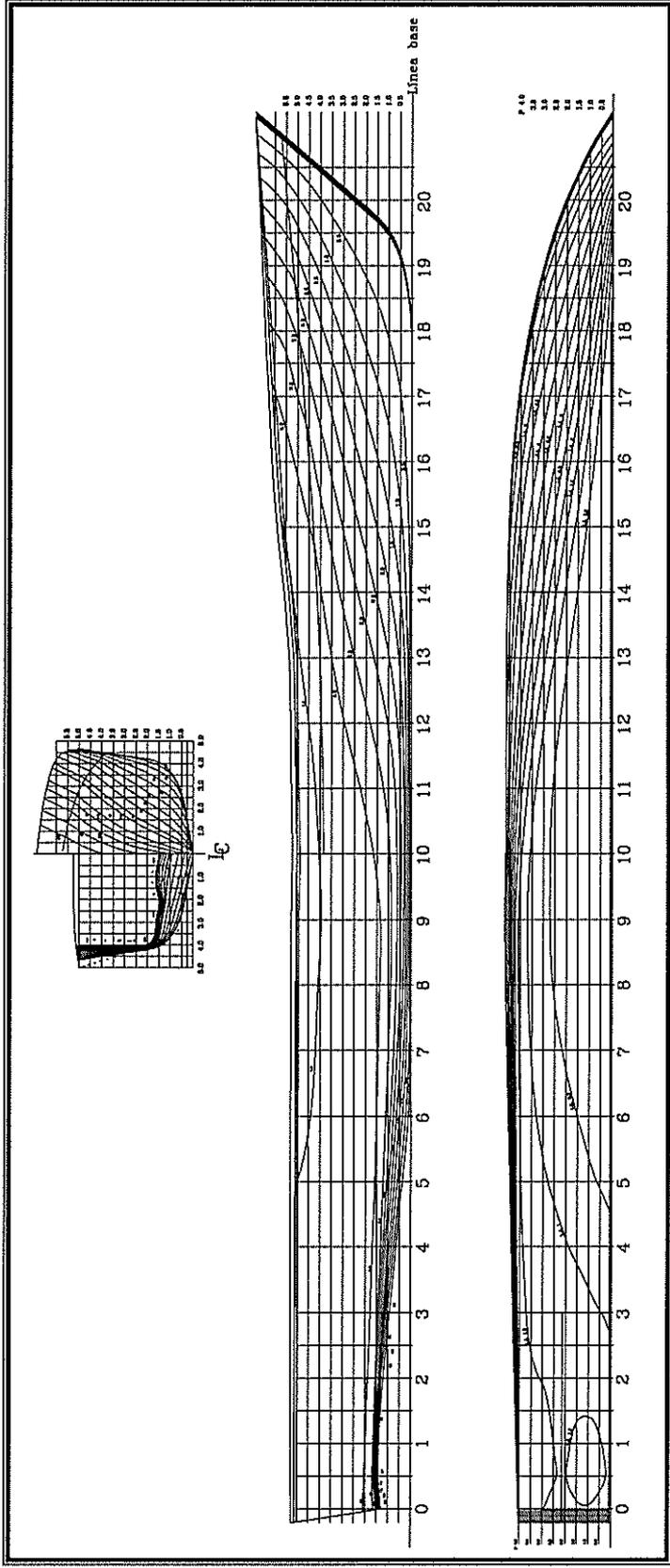


Figura 2. Plano de Líneas de Formas, [2]

La estructura de la embarcación es de tipo mixto, es decir que incluye vagras y bulárcamas (cuadernas reforzadas). Entre cada par de bulárcamas se encuentran 2 ó 3 cuadernas simples; la embarcación posee 134 cuadernas (ver Figura 1) con una separación de 0.46 metros. La sección transversal de las cuadernas reforzadas es de tipo T, con alma de 200x3.5 milímetros, y ala de 80x4 milímetros. Las cuadernas simples son platinas de 80x5 milímetros. Además, la estructura del buque incluye algunas cuadernas simples intermedias, que empiezan a la mitad del puntal de la embarcación. A continuación se presenta una figura en la cual se muestran dos cuadernas típicas, a la izquierda una cuaderna reforzada (bulárcama) y a la derecha una cuaderna simple.



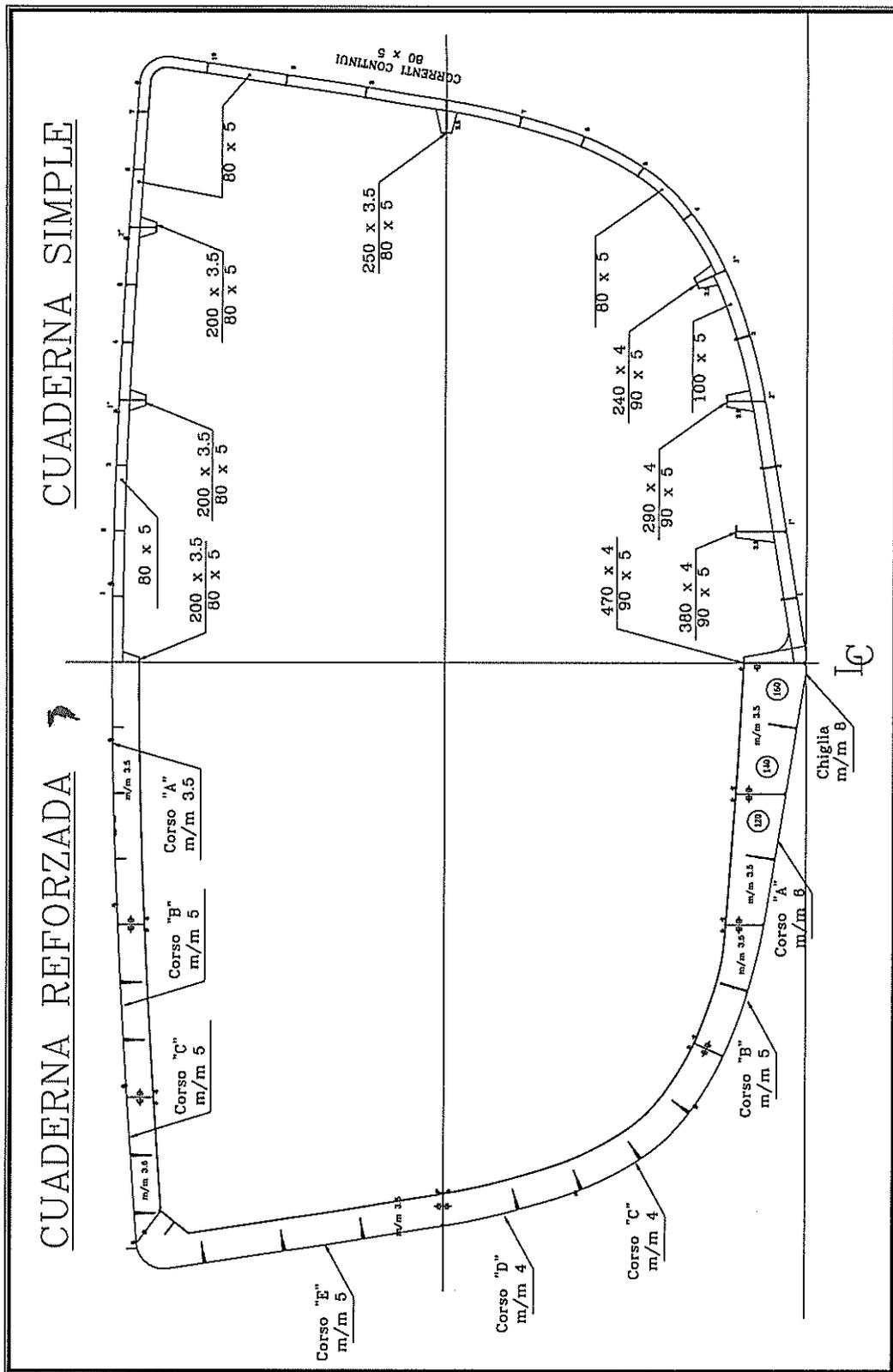


Figura 3. Cuadernas típicas, [2]

La estructura de la embarcación en el fondo presenta seis vagras además de la quilla vertical. Además posee un refuerzo primario ("girder") al costado en cada banda, y cinco en cubierta. Todos los refuerzos mencionados son de tipo T, con las siguientes dimensiones: en el fondo tiene de alma 300x4 y ala 90x5 milímetros, y, en los costados y cubierta los refuerzos tienen de alma 200x3.5 y ala 80x5 milímetros. También se incluyen en el fondo seis refuerzos longitudinales tipo bulbo de 120x6 milímetros, y, en los costados y cubierta 28 refuerzos de tipo platina de 80x5 milímetros.

La embarcación posee 10 mamparos transversales estancos a lo largo de su eslora; el espesor de estos varía según la posición vertical del mismo, teniendo en el fondo 5 milímetros, a la mitad, 4, y, en la zona cerca de la cubierta superior un espesor de 3.5 milímetros. A continuación se presenta un plano del mamparo que separa las salas de máquinas de Proa y Popa:



La embarcación analizada posee, a la altura del refuerzo primario de costado, una cubierta intermedia, que en Popa empieza en el mamparo de la cuaderna 5 hasta el de la 34. Entre los mamparos de las cuadernas 34 y 69 no existe esta cubierta intermedia, porque en esta zona se encuentra las dos salas de máquinas de la embarcación. En Proa la cubierta intermedia continúa a la altura del mismo refuerzo primario de costado, desde el mamparo de la cuaderna 69 hasta el de la 95; desde este punto hasta la Proa, la cubierta intermedia se encuentra a la altura del refuerzo secundario ubicado encima del refuerzo primario del costado.



## **1.2. Proceso para Representar e Importar un Modelo Estructural.**

El modelo estructural de un buque a nivel global, [3], aplicando el método de Elementos Finitos, incluye comúnmente elementos planos SHELL (planchas) para representar los refuerzos primarios, el planchaje del casco y los mamparos, y, elementos lineales FRAME (barra + viga + eje) para representar los refuerzos secundarios, [4]. Sin embargo, dada la complejidad geométrica, la estructura de un buque es más fácilmente desarrollada utilizando primero AutoCAD, [5], con las regiones planas representadas por comandos 3D FACE, y las vigas por comandos LINE. Finalmente este modelo geométrico es importado desde SAP2000, [6], programa que utiliza el método de Elementos Finitos, en donde se procede a completar el modelo estructural y luego a desarrollar el análisis pertinente.

### **Definición de Vigas y Regiones Planas.**

Para desarrollar los elementos lineales en AutoCAD se utiliza el comando LINE, el cual traza líneas entre dos puntos consecutivos; estas líneas al ser importados desde SAP2000 desarrollan los elementos FRAME. Los ejes locales para estos elementos se definen de la siguiente manera:

- El eje "1" local positivo, en dirección del punto inicial al punto final del elemento.
- El eje "2" local positivo es perpendicular al anterior y está siempre en el plano "1" local - "Z" global positivo, excepto cuando el elemento es vertical, en cuyo caso el eje "2" local positivo es paralelo al eje "X" global positivo.
- El eje "3" local positivo sigue la regla de la mano derecha.

A continuación se ejemplifica lo explicado.

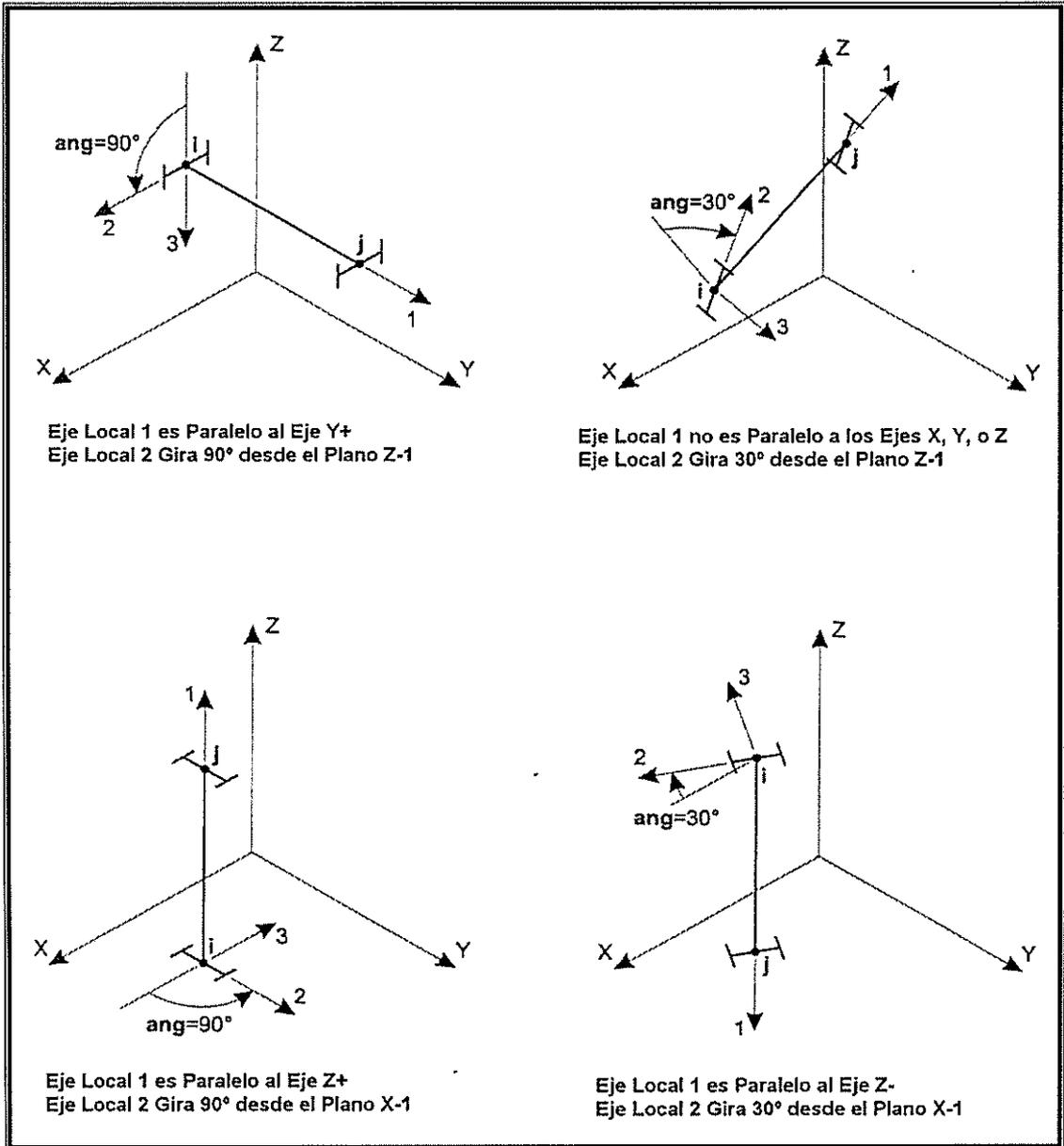


Figura 5. Ejes locales para elementos Frame, [6]

Para generar elementos planos en AutoCAD comúnmente se pueden utilizar los comandos 3D FACE ó EDGESURF. El primero es definido por medio de las esquinas, mientras que para la definición del segundo se utilizan los bordes del segmento (ver apéndice B). Los elementos planos desarrollados utilizando el comando 3D FACE, se generan como una superficie plana comprendida entre tres o cuatro puntos ubicados en las esquinas y que son seleccionados por el usuario. Estas superficies al ser importadas desde SAP2000 generan los elementos SHELL, cuyos ejes locales se definen de la siguiente manera:

- El eje "3" local positivo es perpendicular a la superficie del elemento y apunta hacia el observador si la superficie es generada en el sentido contrario al de las manecillas del reloj, si se genera en el otro sentido, el eje apuntará en la otra dirección.
- El eje "2" local positivo se encuentra en el plano de la superficie creada y es perpendicular al eje anterior, y, resulta de la intersección entre el plano del elemento y el plano "3" local – "Z" global positivos. Cuando el elemento está ubicado paralelo al plano "X"- "Y" global, el eje "2" local positivo es paralelo al eje "Y" global positivo.
- El eje "1" local positivo se encuentra también en el plano de la superficie creada y sigue la regla de la mano derecha.

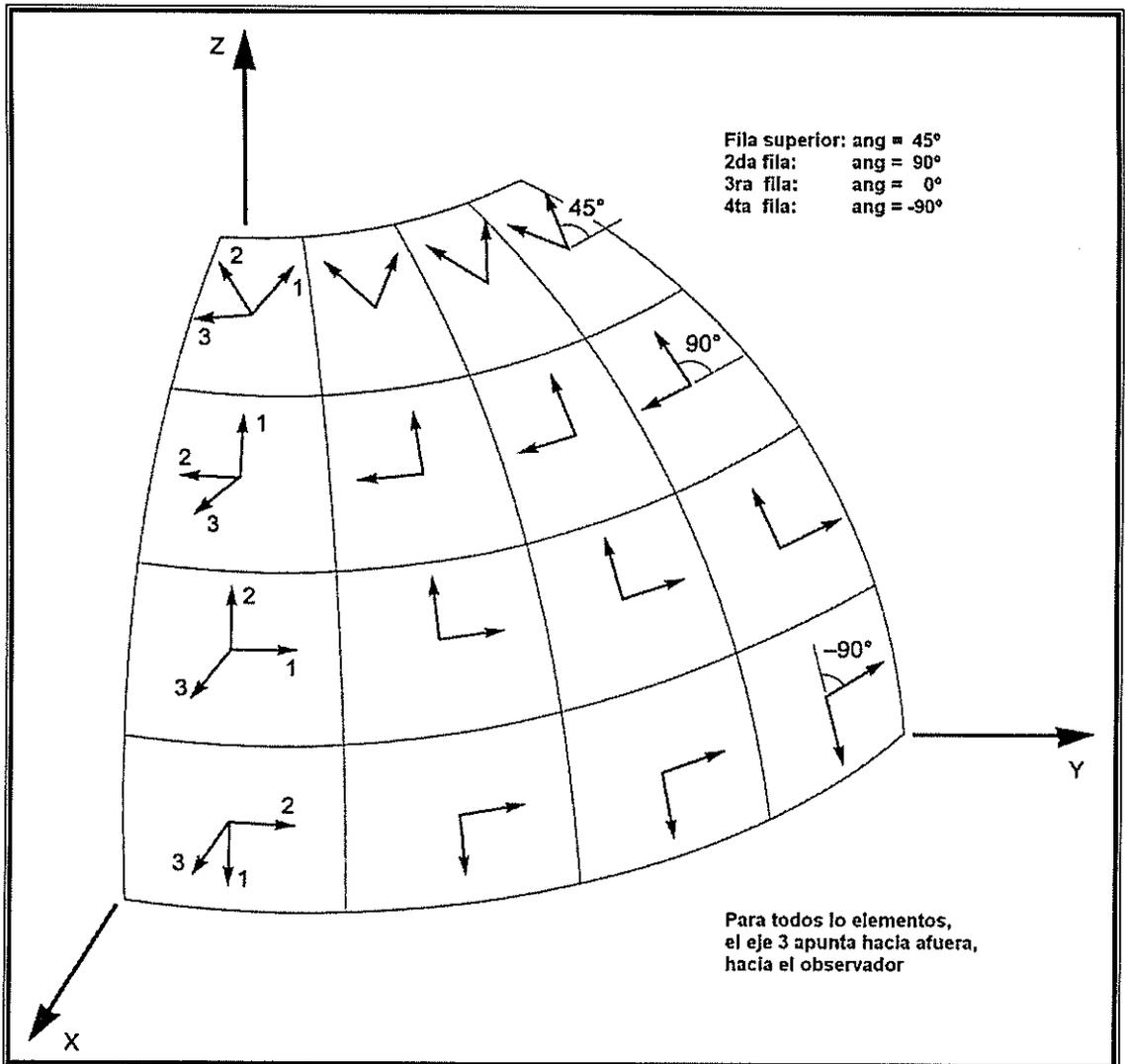


Figura 6.- Ejes locales para elementos Shell, [6].

### **Proceso de almacenado de información utilizando capas (“layers”).**

Cuando el modelo a desarrollarse es muy complejo, como en el caso de la estructura de un barco, es necesario organizar los elementos por capas (LAYERS). Esta clasificación se la realiza generalmente en el caso de elementos lineales por tipo de refuerzos utilizados, y, en el caso de elementos planos por espesores de planchaje registrados, o, en ambos casos puede ser por zonas definidas en el modelo. Para desarrollar esta organización, los elementos generados en el programa AutoCAD son almacenados en diferentes capas o “LAYER”, y se recomienda utilizar colores para una mejor visualización.

Finalmente para terminar con el trabajo de generar un modelo estructural en el programa AutoCAD, es necesario guardarlo con formato dxf, [4], para que, al momento de importarlo, este pueda ser reconocido por el programa SAP2000.

### **Importación del modelo desde SAP2000.**

Una vez desarrollado el modelo estructural con el programa AutoCAD, es necesario importarlo desde el programa SAP2000, y para esto se realiza el siguiente proceso: desde el menú principal se selecciona la opción File/Import/AutoCAD .dxf File.... Luego en el cuadro de diálogo que presenta, se busca y abre el archivo generado con AutoCAD, se escoge las unidades a trabajar, teniendo en consideración que las unidades de longitud sean las mismas con las que se trabajó en el archivo de AutoCAD. A continuación es necesario definir los ejes globales para el sistema de referencia, los cuales deben ser iguales para los modelos en los dos programas utilizados. Es necesario repetir esta instrucción tantas veces como capas (LAYER) hayan sido desarrollados en el archivo de AutoCAD.

### 1.3. Desarrollo del Modelo Estructural de la Sección de Proa.

El modelo estructural de la embarcación es generado en tres secciones por separado, e integrado en AutoCAD; la Sección de Popa, comprende desde el espejo hasta el mamparo de la cuaderna 34, la Sección Media, desde el mamparo de la cuaderna 34 hasta el de la 69, y, la Sección de Proa desde el mamparo de la cuaderna 69 en adelante. Esta última sección contiene 14 bulárcamas, 5 mamparos estancos, 45 cuadernas simples y 6 intermedias. Además incluye la cubierta intermedia que empieza en el mamparo de la cuaderna 69 hasta el de la 95, a la altura del refuerzo primario de costado, y desde este punto en adelante esta cubierta se encuentra sobre el refuerzo primario de costado.

La Sección de Proa, en este trabajo, se ha representado con elementos planos, SHELL, y con elementos lineales, FRAME. Los miembros estructurales definidos por elementos planos son los siguientes:

- Planchaje de fondo.
- Planchaje de costado.
- Planchaje de cubierta principal.
- Planchaje de mamparos.

- Planchaje de cubierta intermedia.
- Bulárcamas.
- Refuerzos primarios de fondo, costados y cubierta.
- Quilla vertical.

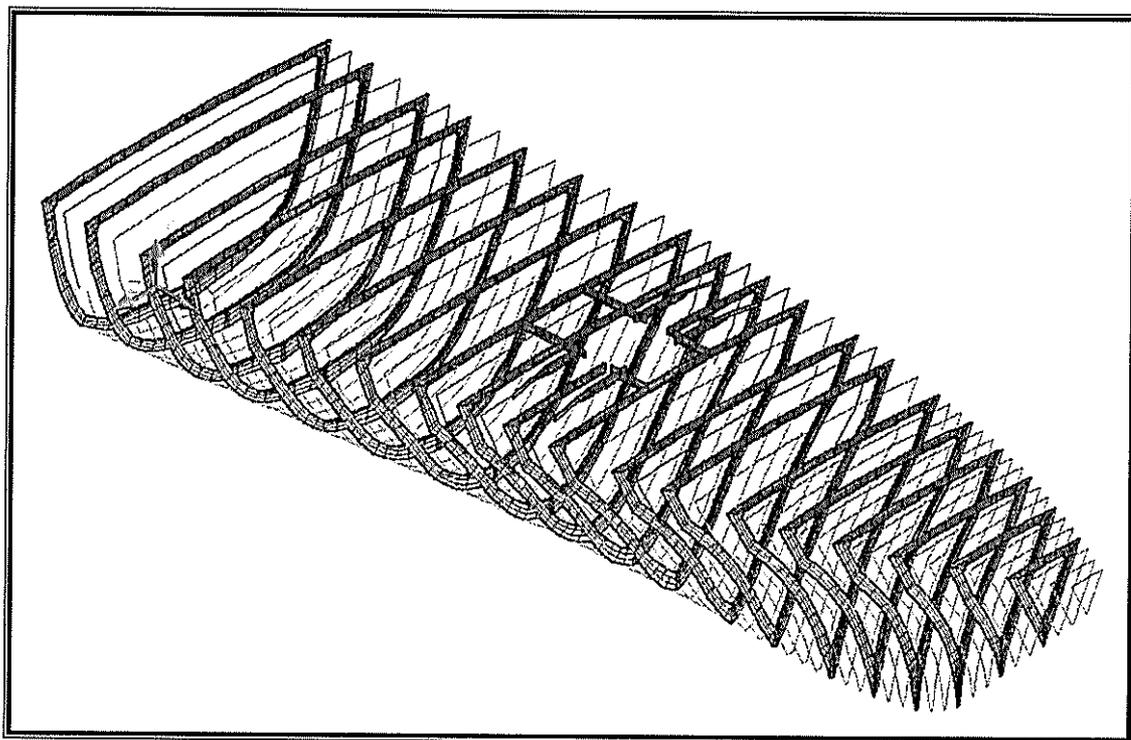
Mientras que los miembros estructurales secundarios definidos por elementos lineales son los siguientes:

- Cuadernas simples e intermedias.
- Refuerzos de mamparo.
- Refuerzos longitudinales del fondo, costados y cubierta.
- Refuerzos de cubierta intermedia.

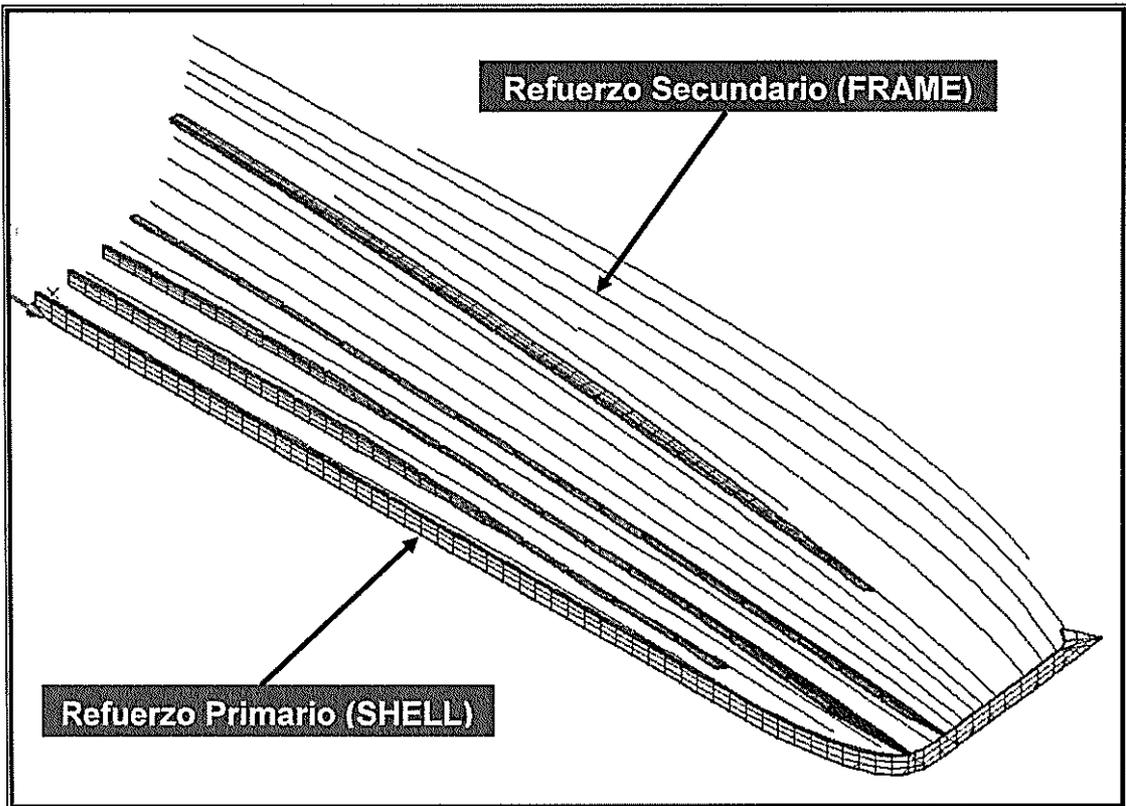
Para desarrollar la Sección de Proa, se procedió a generar en el espacio, las líneas de formas de las cuadernas que comprenden esta sección, luego fueron identificadas las bulárcamas, cuadernas simples e intermedias y dibujadas según el tipo de elemento al que corresponde, sean estos elementos planos ó lineales.

Una vez generadas las bulárcamas, cuadernas simples e intermedias, se procede a desarrollar los refuerzos longitudinales primarios y secundarios de fondo, costados y cubierta principal. Para esto se identifican los puntos en

las cuadernas por los cuales atraviesan cada refuerzo y luego se dibujan estos según el tipo de elemento que represente.

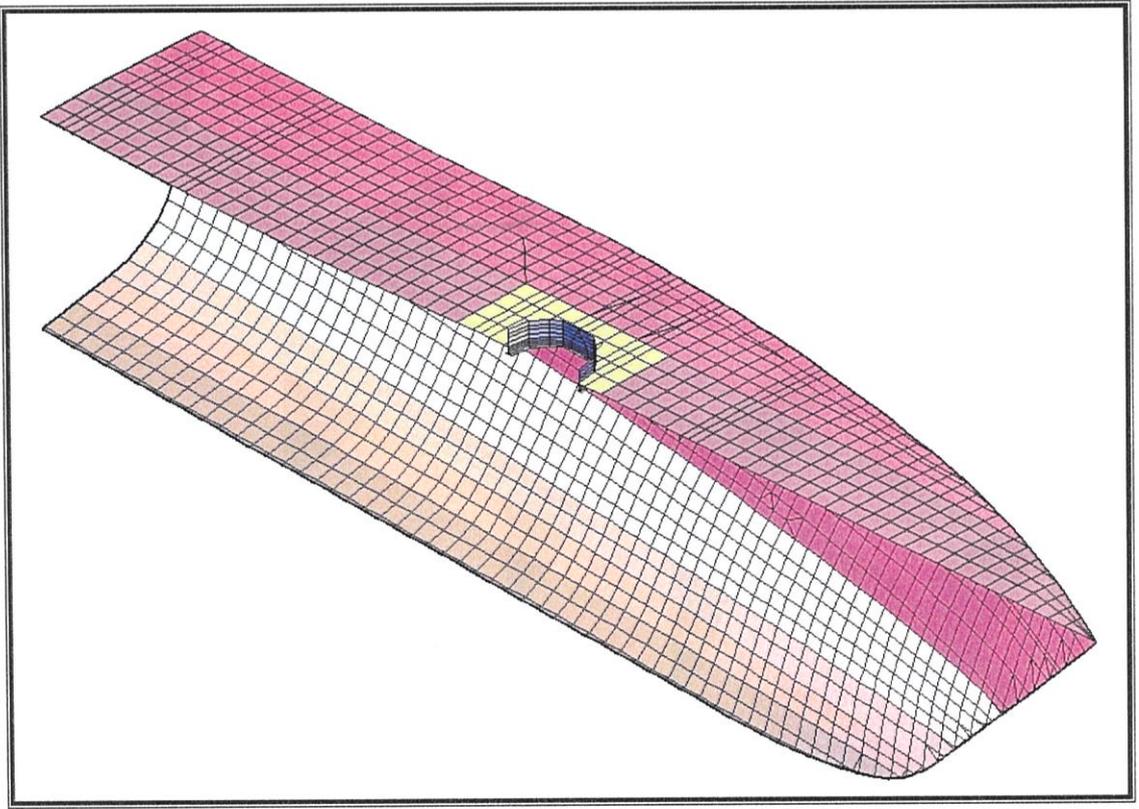


**Figura 7.** Cuadernas desarrolladas en AutoCAD



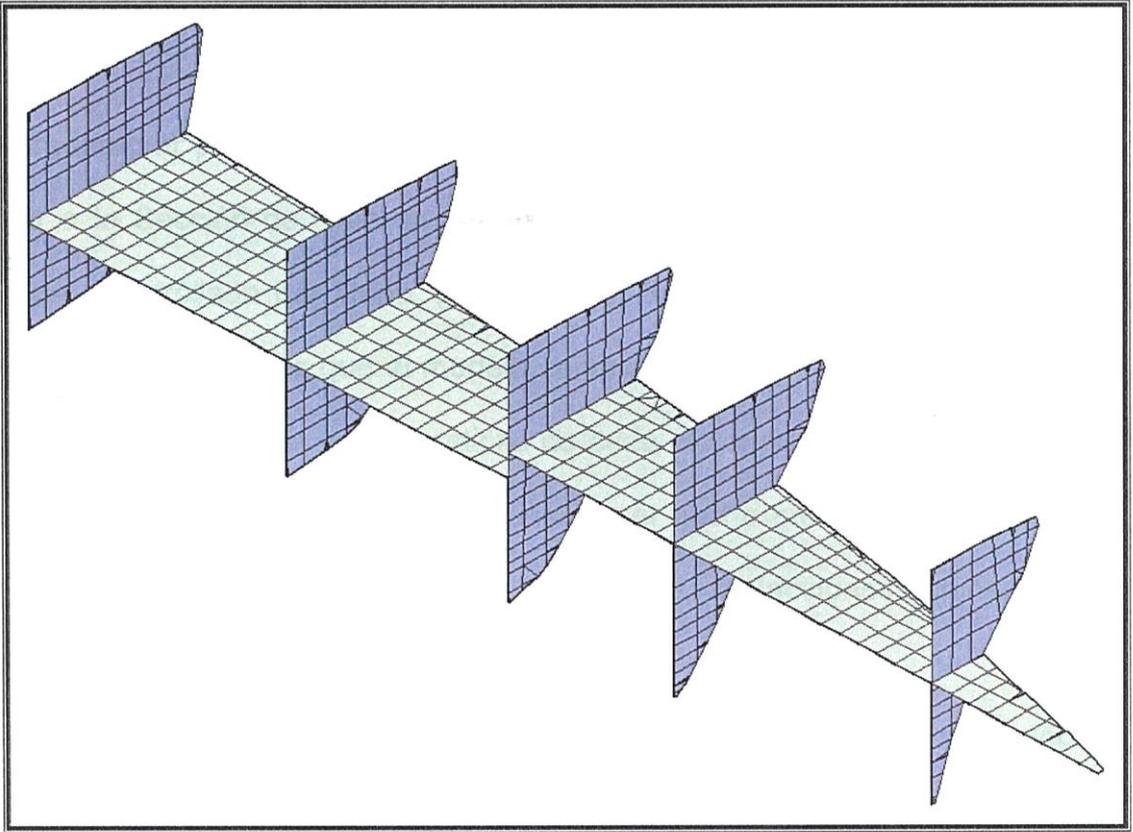
**Figura 8.** Refuerzos longitudinales desarrollados en AutoCAD

A continuación se procede a forrar el casco de la Proa de la embarcación, tomando como guía las cuadernas y refuerzos longitudinales desarrollados. Estos elementos planos son generados de manera tal que los vectores normales de cada uno de ellos estén en la misma dirección.



**Figura 9.** Planchaje del casco de Proa desarrollado en AutoCAD

Finalmente son ubicados y generados, con elementos planos, los mamparos y la cubierta intermedia, y, con elementos lineales los refuerzos de mamparo y los refuerzos transversales y longitudinales de la cubierta intermedia. Estos últimos elementos son desarrollados tomando como referencia las particiones que definieron los elementos anteriores.



**Figura 10.** Mamparos y cubierta intermedia desarrolladas en AutoCAD

Los elementos estructurales generados son almacenados en diferentes capas de acuerdo con la subdivisión de elementos primarios y secundarios que se detalló anteriormente, y, son asignados diferentes colores para una mejor visualización.

#### 1.4. Desarrollo del Modelo Estructural Completo.

Para integrar por completo el modelo estructural en AutoCAD, se procede a unir a la Sección de Proa desarrollada en este trabajo, con la Sección de Popa desarrollada por Cano, [7], y, con la Sección Media desarrollada por Hidalgo, [8]. Una vez que el modelo completo se encuentra en SAP2000 se procede a asignar las características de cada elemento de la estructura, por ejemplo la inercia equivalente que incluye el ancho efectivo de la plancha. También se deben incluir las cargas (pesos) y las restricciones pertinentes.

Al acoplar estas secciones del casco, se debe prestar atención a los nodos que unirán los bloques, los cuales deben tener las mismas coordenadas globales, es decir los nodos en el contorno de Proa de la Sección Media, deben ser los mismos que los nodos en el contorno de Popa de la sección de Proa. La siguiente figura ejemplifica lo aquí descrito.

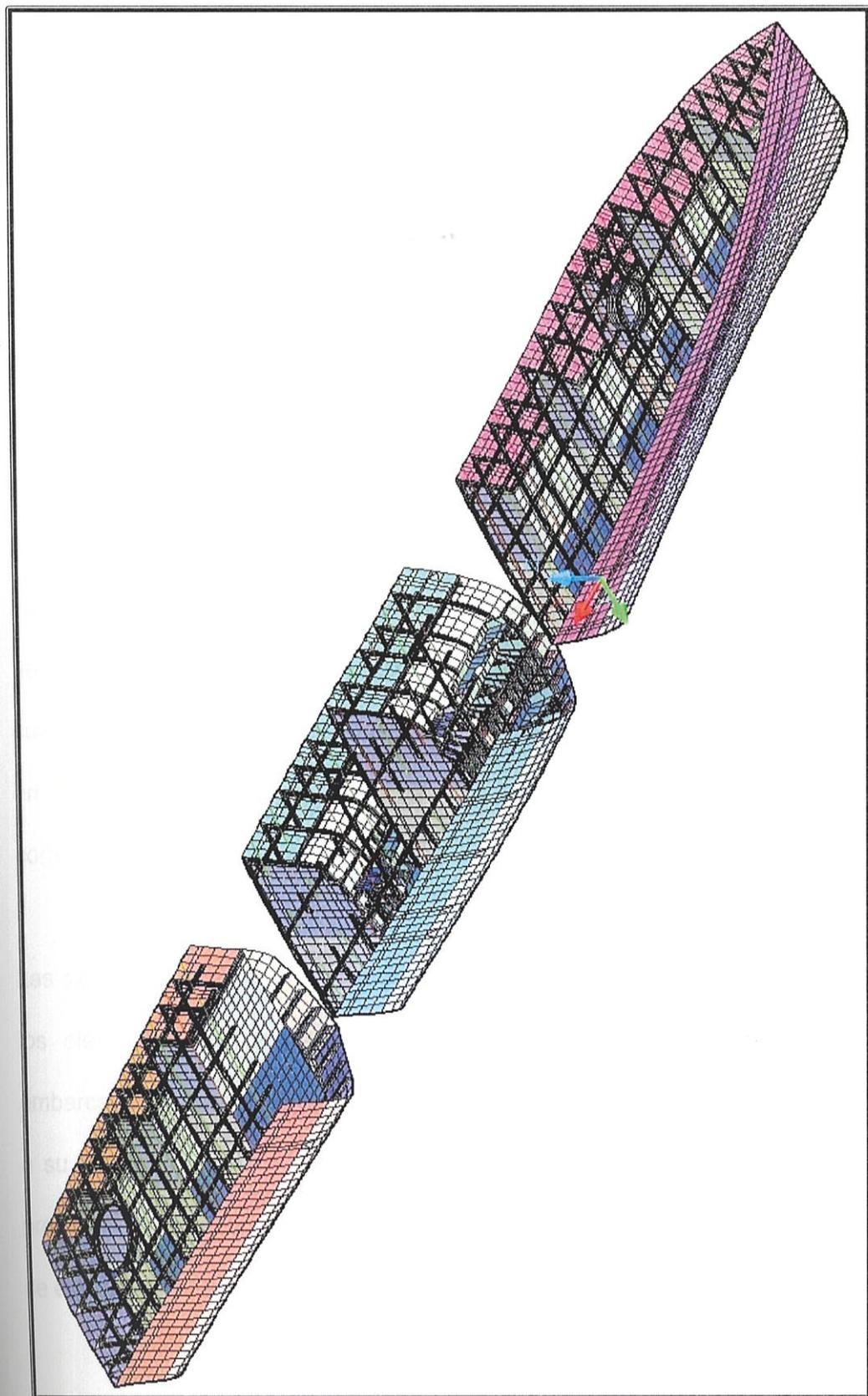


Figura 11. Unión de las secciones de la corbeta en AutoCAD

### **Inserción de las propiedades estructurales.**

Una vez importados los elementos estructurales desde SAP2000, el siguiente paso en el desarrollo del modelo estructural es asignar las propiedades mecánicas del mismo, es decir asignar espesores a los elementos primarios y el planchaje, áreas e inercias efectivas a los elementos estructurales secundarios y, características mecánicas del material. Para esto se realiza el siguiente proceso: para elementos planos se selecciona desde el menú principal la opción *Assign/Area/Sections...*, luego en el cuadro de diálogo que presenta se selecciona adicionar una nueva sección con el espesor requerido para el elemento correspondiente. Para elementos líneas se selecciona desde el menú principal la opción *Assign/Frame/Frame Sections...*, y en el cuadro de diálogo que presenta se escoge la opción adherir nueva propiedad en la que se incluye el área de la sección y la inercia efectiva correspondiente.

Las siguientes tablas muestran los espesores, áreas e inercias efectivas para los elementos utilizados para representar la estructura completa de la embarcación. Dado que la situación de la estructura analizada corresponde a su estado luego de 20 años de de servicio, se tomaron los espesores promedio por zonas del casco. Estos valores corresponden a las mediciones de espesores desarrollados externamente en la estructura del buque, [9].

<i>Información de AutoCAD</i>	<i>Información para SAP2000</i>	
<i>NOMBRE CAPA</i>	<i>ELEMENTO</i>	<i>ESPESOR [cm]</i>
101_BaoBularcamaAlma	shell	0.35
102_BaoBularcamaAla	shell	0.40
103_CuademaBularcamaAlma	shell	0.35
104_CuademaBularcamaAla	shell	0.40
203_EspejoPlanchaje	shell	0.36
209_MamparoPlanchaje	shell	0.35
301_PopaLongitudinalFondoAlma	shell	0.40
302_PopaLongitudinalCostadoCbtaAlma	shell	0.35
303_PopaLongitudinalAla	shell	0.50
304_SecMediaLongitudinalFondoAlma	shell	0.40
305_SecMediaLongitudinalCostadoCbtaAlma	shell	0.35
306_SecMediaLongitudinalAla	shell	0.50
307_ProaLongitudinalFondoAlma	shell	0.40
308_ProaLongitudinalCostadoCbtaAlma	shell	0.35
309_ProaLongitudinalAla	shell	0.50
401_PopaPlanchajeQuilla	shell	0.68
402_PopaPlanchajeFondo1	shell	0.68
403_PopaPlanchajeFondo2	shell	0.44
404_PopaPlanchajeFondo3	shell	0.42
405_PopaPlanchajeCostado1	shell	0.30
406_PopaPlanchajeCostado2	shell	0.37
407_PopaPlanchajeCbta1	shell	0.29
408_PopaPlanchajeCbta2	shell	0.31
409_PopaPlanchajeCbta3	shell	0.32
410_SecMediaPlanchajeQuilla	shell	0.68
411_SecMediaPlanchajeFondo1	shell	0.68
412_SecMediaPlanchajeFondo2	shell	0.55
413_SecMediaPlanchajeFondo3	shell	0.42
414_SecMediaPlanchajeCostado1	shell	0.31
415_SecMediaPlanchajeCostado2	shell	0.42
416_SecMediaPlanchajeCbta1	shell	0.27
417_SecMediaPlanchajeCbta2	shell	0.31
418_SecMediaPlanchajeCbta3	shell	0.32
419_ProaPlanchajeQuilla	shell	0.54
420_ProaPlanchajeFondo1	shell	0.54
421_ProaPlanchajeFondo2	shell	0.41
422_ProaPlanchajeFondo3	shell	0.35
423_ProaPlanchajeCostado1	shell	0.31
424_ProaPlanchajeCostado2	shell	0.36
425_ProaPlanchajeCbta1	shell	0.31
426_ProaPlanchajeCbta2	shell	0.34
427_ProaPlanchajeCbta3	shell	0.33
501_CubicheteBaoAlma	shell	0.35
502_CubicheteBaoAla	shell	0.40
505_CubicheteLongitudinalAlma	shell	0.35
506_CubicheteLongitudinalAla	shell	0.50
508_CubichetePlanchaje	shell	0.40
604_CbtaIntermediaPopaPlanchaje	shell	0.30
608_CbtaIntermediaSecMediaPlanchaje	shell	0.30
612_CbtaIntermediaProaPlanchajeLateral	shell	0.35
613_CbtaIntermediaProaPlanchaje	shell	0.30
701_SalaMáquinasRefuerzoAlma	shell	0.40
702_SalaMáquinasRefuerzoAla	shell	0.40
703_SalaMáquinasBaseMotor	shell	1.00
704_SalaMáquinasBaseReductor	shell	1.00
801_BasePopa	shell	1.00
802_PlanchajeCubiertaBasePopa	shell	0.75
803_BaseProa	shell	1.00
804_PlanchajeCubiertaBaseProa	shell	0.57
805_BaseProaRefuerzoAlma	shell	0.80
806_BaseProaRefuerzoAla	shell	1.00
809_Escuadras	shell	0.50
810_ContornoSuperEstructura	shell	1.00

Tabla II. Clasificación de elementos planos por Capas

Información de AutoCAD	Información para SAP2000		
NOMBRE CAPA	ELEMENTO	AREA [cm <sup>2</sup> ]	INERCIA [cm <sup>4</sup> ]
105_BaoPlatina	frame	4.00	68.67
106_CuademaPlatina	frame	4.00	75.31
107_CuademaIntermediaPlatina	frame	4.00	74.02
201_EspejoBulbo	frame	9.31	371.78
202_EspejoPlatina	frame	4.00	71.48
204_MamparoPlatina	frame	3.00	32.25
205_MamparoRefuerzoT1	frame	27.60	4874.81
206_MamparoRefuerzoT2	frame	10.50	653.41
207_MamparoRefuerzoT3	frame	10.15	331.96
208_MamparoRefuerzoT4	frame	14.00	1010.14
310_LongitudinalBulbo	frame	9.31	452.15
311_LongitudinalPlatina	frame	4.00	70.84
503_CubicheteBaoPlatina	frame	4.00	68.67
504_CubicheteCuademaIntermediaPlatina	frame	4.00	74.02
507_CubicheteLongitudinalPlatina	frame	4.00	70.84
601_CbtalIntermediaPopaLongitudinal	frame	8.50	1089.51
602_CbtalIntermediaPopaTransversalT	frame	8.50	750.90
603_CbtalIntermediaPopaTransversalPlatina	frame	4.00	68.06
605_CbtalIntermediaSecMediaLongitudinal	frame	8.50	1089.51
606_CbtalIntermediaSecMediaTransversalT	frame	8.50	750.90
607_CbtalIntermediaSecMediaTransversalPlatina	frame	4.00	68.06
609_CbtalIntermediaProaLongitudinal	frame	8.50	1089.51
610_CbtalIntermediaProaTransversalT	frame	8.50	750.90
611_CbtalIntermediaProaTransversalPlatina	frame	4.00	68.06
807_Puntal_D140mm	frame	---	---
808_Puntal_D90mm	frame	---	---
GuiaChinasCubierta	---	---	---
GuiaCuademaPlatina	---	---	---
GuiaLongitudinal	---	---	---

**Tabla III.** Clasificación de elementos lineales por Capas

### Inserción de Restricciones y Cargas.

Una vez que al modelo estructural se le han asignado las propiedades estructurales, el siguiente paso en el desarrollo del mismo es asignarle restricciones que puedan representar adecuadamente una flotación en aguas tranquilas ó una varada en dique. Cuando la embarcación está flotando, se utilizan resortes para quitar la singularidad del sistema de ecuaciones, mientras que cuando está varada en dique se utilizan soportes simples, [10]. El proceso para asignar estas restricciones es el siguiente: para los resortes, desde el menú principal se selecciona la opción Assign/Joint/Springs..., y en

cuadro de diálogo que presenta se asignan las rigideces para los desplazamientos y rotaciones. En cambio para los soportes simples, desde el menú principal se selecciona la opción *Assign/Joint/Restraints...*, y en el cuadro de diálogo que presenta se escoge la opción de soportes simples.

Con las características asignadas a los elementos planos y lineales, puede obtenerse el peso de la estructura neta de la embarcación, que incluye planchaje del casco, refuerzos, cubiertas y mamparos. Como se mencionó, este análisis se lo realiza en condición Ligera, por lo que al peso calculado de la estructura tiene que adicionarse el peso de los equipamientos que posee la embarcación, [11], y, una vez colocados, son equilibrarlos con la fuerza que genera la presión hidrostática para simular una adecuada flotabilidad.

En la siguiente tabla se resumen los pesos adicionales a ser ingresados en el modelo estructural:

<b>EMBARCACIÓN EN CONDICIÓN LIGERA</b>					
<b>Especificación</b>	<b>Peso [ton]</b>	<b>Respecto de la Línea Base</b>		<b>Respecto de la Perp. de Pp.</b>	
		<b>Distancia [m]</b>	<b>Mnto. [ton-m]</b>	<b>Distancia [m]</b>	<b>Mnto. [ton-m]</b>
Estructura del casco	191.873	3.895	747.345	25.707	4932.479
Equipamiento	89.710	5.008	449.268	30.501	2736.245
Equipo eléctrico	17.039	4.405	75.057	27.645	471.043
Equipo propulsor	2.400	2.230	5.352	22.531	54.074
Equipo bélico	40.959	6.960	285.075	31.177	1276.979
<b>TOTAL.....</b>	<b>341.981</b>	<b>4.568</b>	<b>1562.096</b>	<b>27.694</b>	<b>9470.820</b>

**Tabla IV.** Resumen de pesos presentes en la embarcación, [11]

Los pesos adicionales son aplicados sobre los nodos de cubierta principal, cubierta intermedia o el fondo según sea el caso. El proceso para ingresarlos es el siguiente: desde el menú principal se selecciona la opción Assign/Joint Loads/Forces..., y en el cuadro de diálogo que presenta se ingresa el valor numérico de la carga y la dirección en que se aplica.

Para ingresar la fuerza que genera la presión hidrostática, se desarrollan los siguientes tres pasos:

- Definir un patrón de nodos.
- Asignar un patrón de carga sobre los nodos.
- Asignar la presión sobre una superficie.

Para realizar estos pasos en SAP2000, se realiza el siguiente proceso:

- Primero desde el menú principal se selecciona la opción Define/Joint Patterns..., y en el cuadro de diálogo que presenta se especifica un nombre para el patrón de nodos.
- Como segundo paso desde el menú principal se selecciona la opción Assign/Joint Patterns..., y en el cuadro de diálogo que presenta se ingresa la distribución de presión presente a un calado determinado.

- Por último desde el menú principal se selecciona la opción Assign/Area Loads/Surface Pressure (All)..., y en el cuadro de diálogo que presenta se especifica el tipo de presión y la cara del elemento plano sobre la que se aplica.

Una vez realizado todos los pasos que se han descrito, finalmente se tiene el modelo estructural de la embarcación para ejecutarlo e interpretar los resultados que proporciona. La siguiente figura muestra el modelo estructural completamente terminado en el programa SAP2000, en la que se puede observar algunos detalles que fueron incluidos en el modelo, como son las bases de las máquinas propulsoras, bases de los reductores, contorno de la superestructura, contorno de la cubierta de vuelo, y, las bases para el equipo bélico de proa y popa.

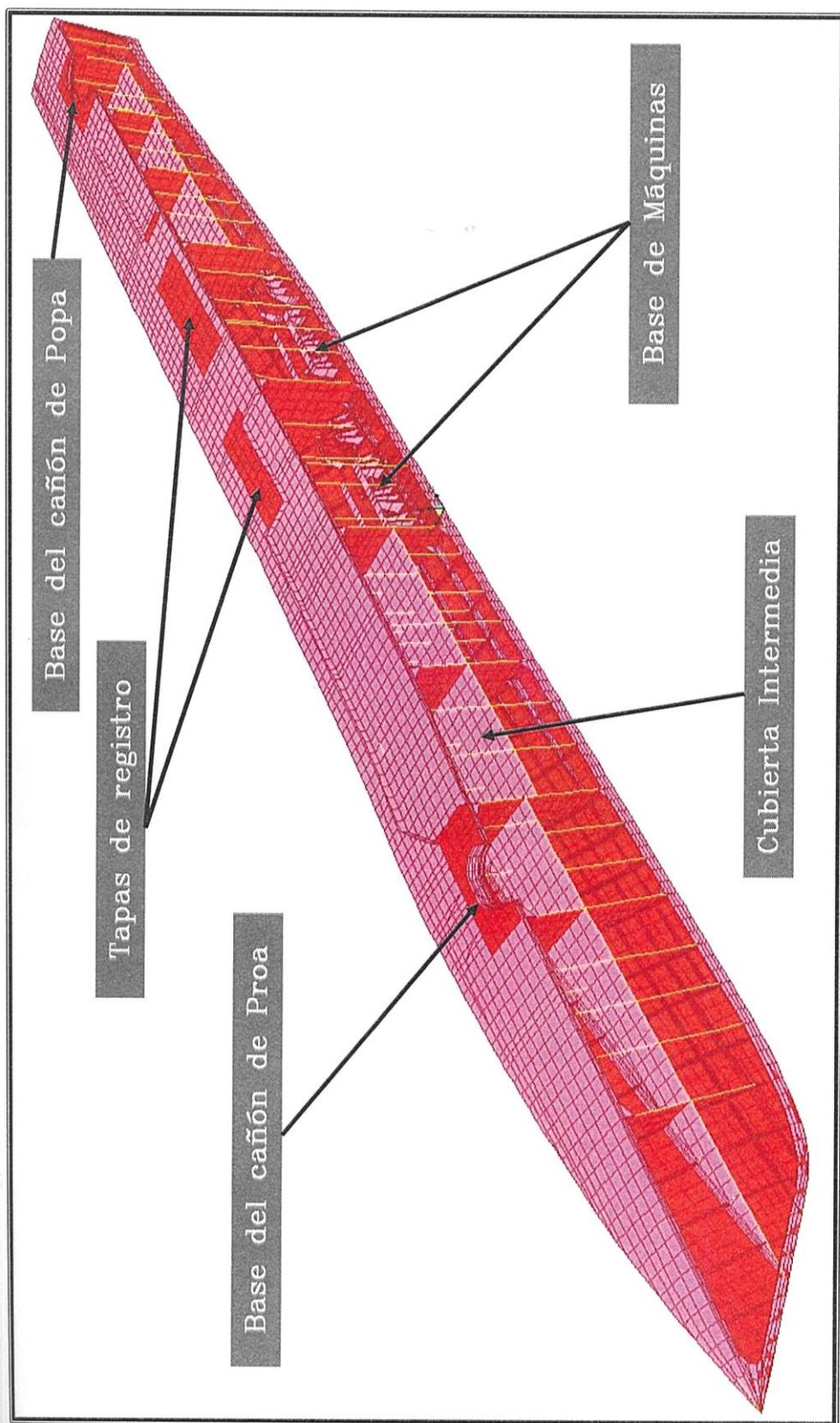
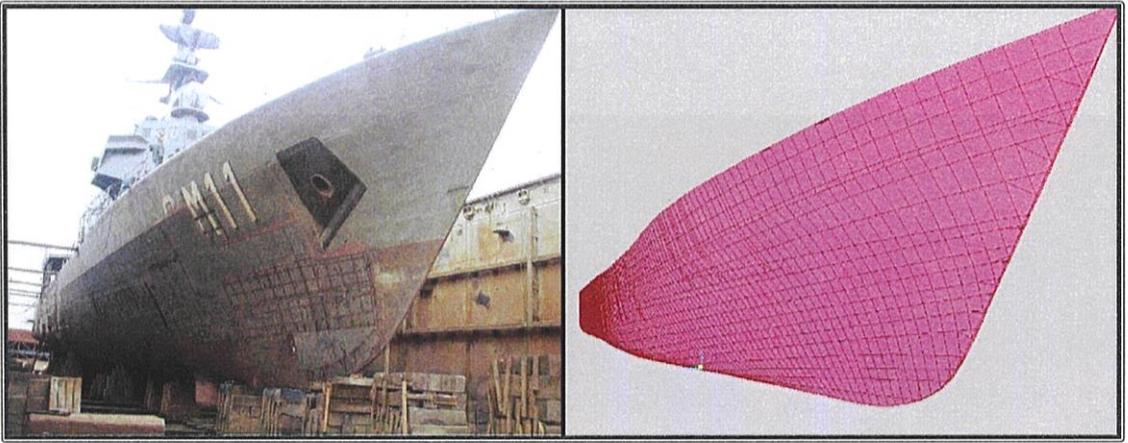
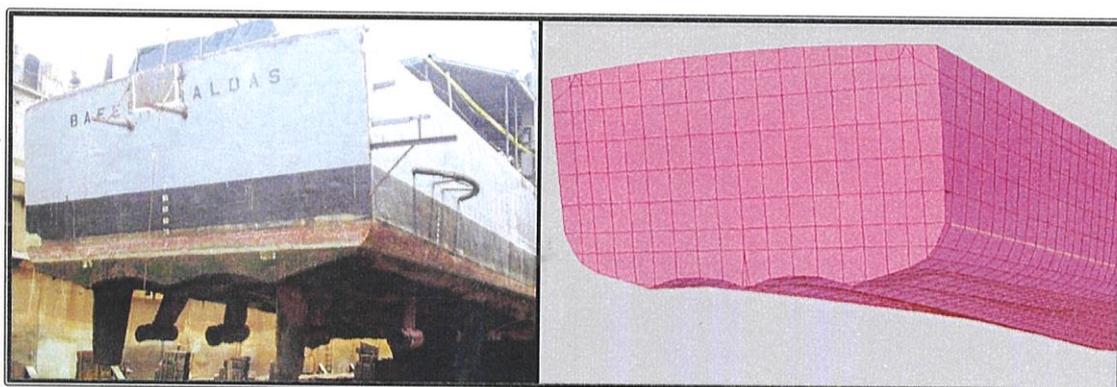


Figura 12. Modelo estructural desarrollado en SAP2000

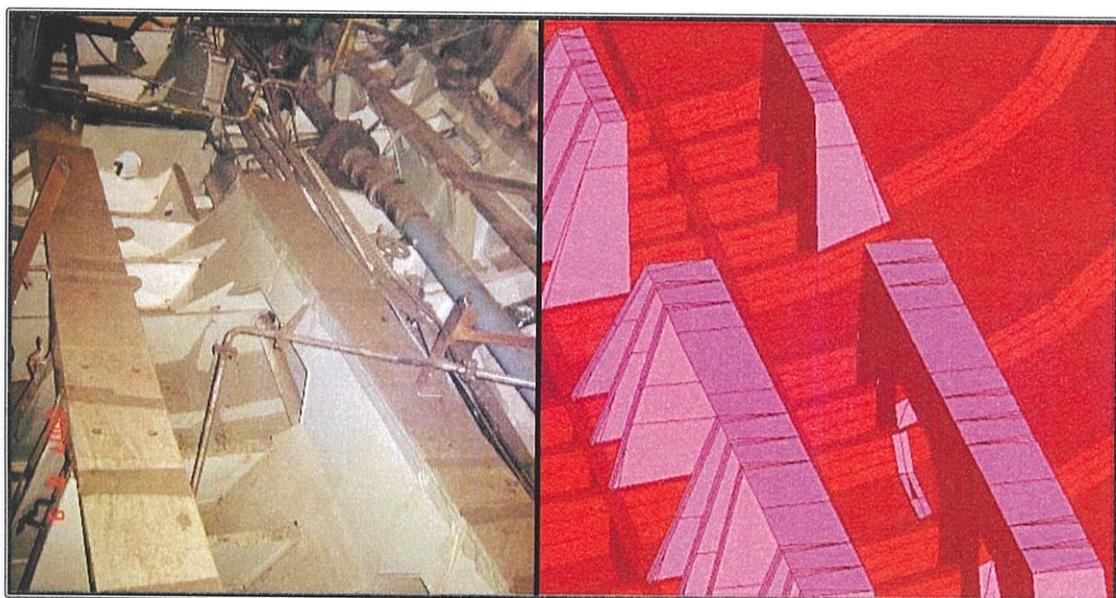
Para tener la certeza de que este modelo es adecuado, [3], es necesario corroborar que el mismo es lo más cercano a la realidad, y una buena opción para comprobarlo es comparar el modelo generado con fotografías de la embarcación real. En las siguientes imágenes se comparan varias zonas de la corbeta, en las que se nota la similitud razonable entre el sistema físico y el modelo estructural.



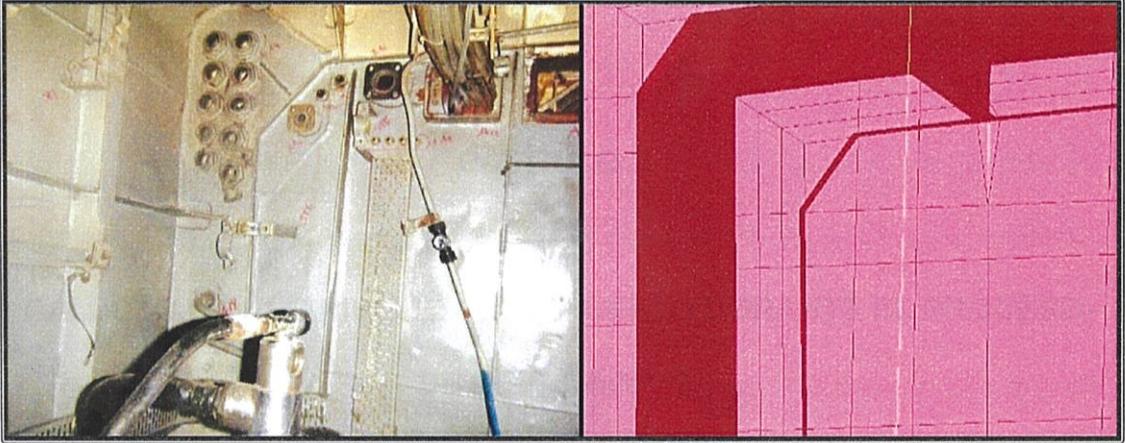
**Figura 13.** Comparación entre la embarcación y el modelo desarrollado, Proa



**Figura 14.** Comparación entre la embarcación y el modelo desarrollado,  
Popa



**Figura 15.** Comparación entre la embarcación y el modelo desarrollado,  
Base de máquinas propulsoras



**Figura 16.** Comparación entre la embarcación y el modelo desarrollado,  
Mamparo estanco

## **CAPÍTULO 2**

### **CÁLCULO DE LOS NIVELES DE ESFUERZO DURANTE EL PROCESO DE REPARACIÓN**

En este capítulo, se describen primero las zonas en las cuales se procedió a retirar parte del material estructural de la embarcación, para posteriormente desarrollar tres modelos numéricos que representarán cada etapa de reparación. Luego de la ejecución del programa SAP2000 se realizará una comparación entre los resultados de cada uno de ellos, y los obtenidos con el modelo estructural original.

## **2.1. Descripción de las Etapas de Reparación de la Corbeta.**

Para el análisis del presente trabajo, se detallan tres zonas sobre los costados y el fondo, desde donde se retiró el planchaje, incluyendo los refuerzos secundarios longitudinales y transversales. Los refuerzos primarios, tanto longitudinales como transversales no fueron retirados, los mismos que intentaron mantener la curvatura de la estructura de la embarcación. Las zonas de retiro de material fueron tomadas del plan de trabajo establecido por el armador e identificadas mediante el Plano de Cambio de Planchaje de la Corbeta Esmeraldas [12]. El presente análisis considera que en cada zona, se retira el material e inmediatamente se lo reemplaza con material estructural nuevo, para luego continuar con los siguientes sectores.

La primera zona en ser considerada para el retiro de parte de su material estructural está ubicada en la zona de Proa en la banda de Babor, y se encuentra longitudinalmente entre las cuadernas 99 y 124, y, verticalmente entre el refuerzo primario de la quilla vertical y el décimo refuerzo secundario de costado.

En la segunda zona, el retiro de material estructural comprende sectores de Proa y Sección Media de la banda de Estribor, ubicada longitudinalmente entre las cuadernas 41 y 124, y, verticalmente entre el refuerzo primario de la quilla vertical y el octavo refuerzo secundario de costado.

La tercera zona de retiro de material estructural considerada para este análisis comprende el sector de Sección Media en la banda de Babor, ubicada longitudinalmente entre las cuadernas 52 y 96, y, verticalmente entre el segundo refuerzo primario de fondo y el décimo refuerzo secundario de costado.

En la siguiente figura se pueden apreciar las tres zonas descritas anteriormente, consideradas para el análisis correspondiente.

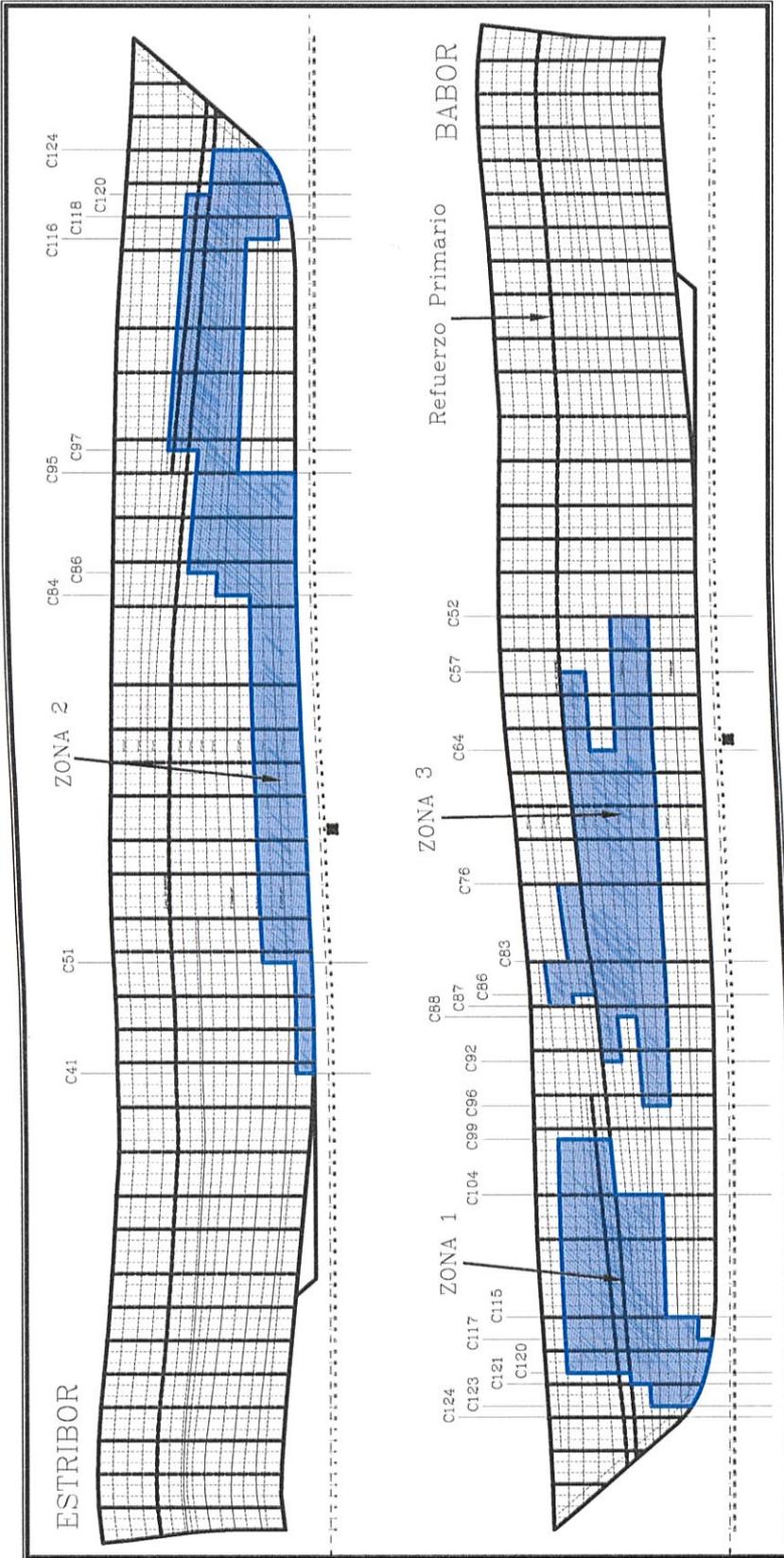


Figura 17. Plano de Cambios de Planchaje, [12]

En la primera zona, se realizará el retiro de aproximadamente 42 metros cuadrados de plancha, además se cortarán 19 cuadernas simples y 11 refuerzos longitudinales secundarios de fondo y de costado. En la segunda zona se retirarán 90 metros cuadrados aproximadamente, y se cortarán 61 cuadernas simples y 8 refuerzos longitudinales secundarios de fondo y de costado. La tercera zona, comprende aproximadamente 59 metros cuadrados de planchaje, y afecta a 32 cuadernas simples y 9 refuerzos longitudinales secundarios de fondo y costado.

## **2.2. Representación de las Restricciones Presentes.**

Cuando se realizaron los trabajos de retiro de material estructural, la embarcación se encontraba varada, por ello es necesario representar esta condición con restricciones adecuadas. Por este motivo, tomando como guía el plano de varamiento de la Corbeta [13], se utilizan soportes simples, [10], para representar los puntos de varamiento en dique de la embarcación.

Esta embarcación al momento de vararse, estaba asentada sobre un total de 25 bloques distribuidos de la siguiente manera:

- 13 bloques bajo la quilla, ubicados a la altura de las cuadernas 15, 26, 31, 39, 47, 55, 63, 71, 79, 87, 95, 108 y 119.
- 12 bloques en Sección Media, distribuidos 6 a cada banda, ubicados a la altura de las cuadernas 43, 51, 59, 67, 75 y 83.

Los bloques hacia los costados, que se utilizan para alinear la embarcación varada, longitudinalmente se encuentran entre dos bloques de quilla.

En el modelo desarrollado cada bloque bajo la quilla corresponde a un total de tres cuadernas, mientras que los bloques hacia los costados corresponden a dos cuadernas y tiene una longitud de aproximadamente un metro. A lo largo de la quilla se restringieron un total de 117 nodos, mientras que en los costados se restringieron 72, siendo 189 el total de nodos restringidos.

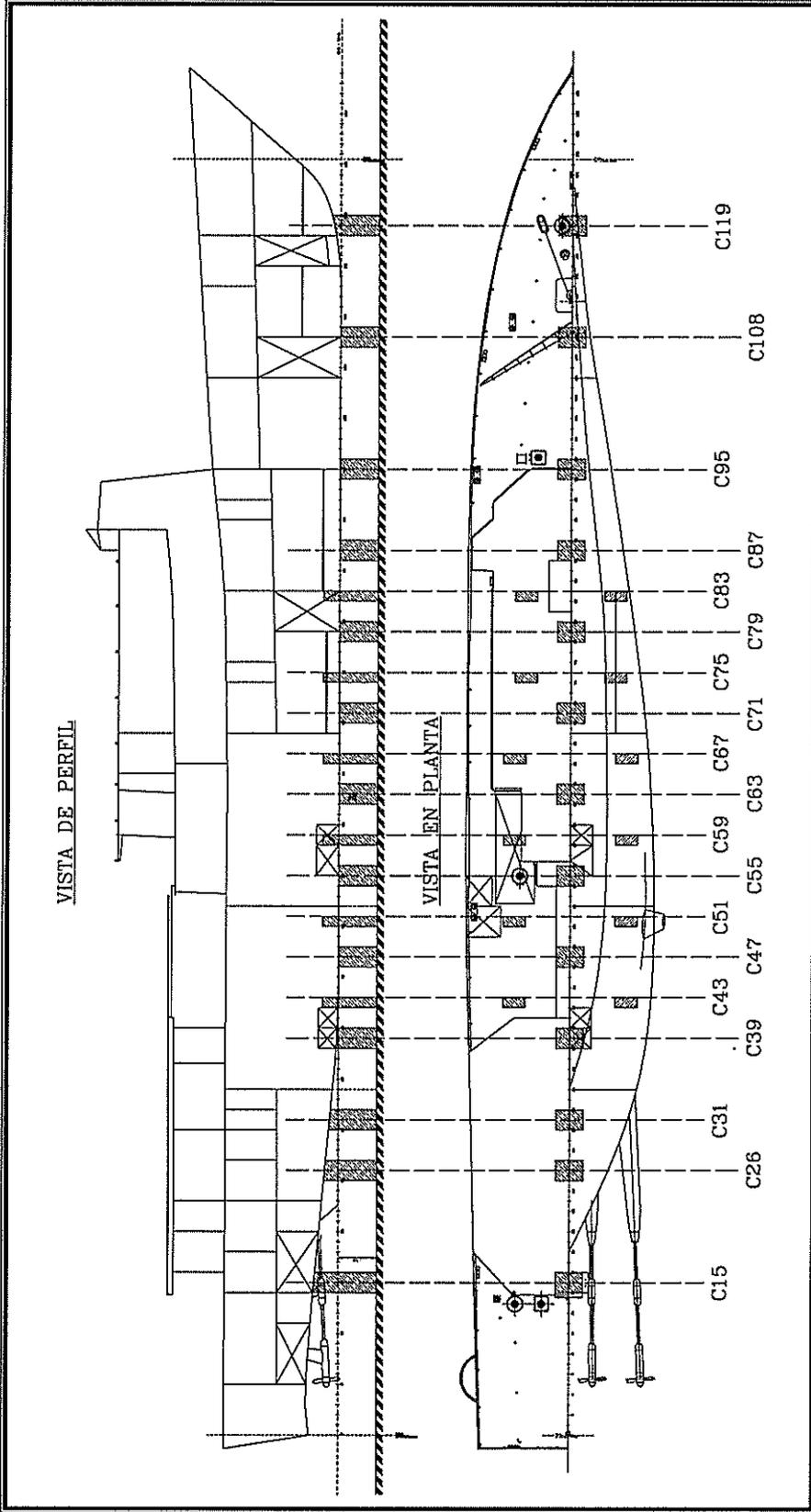


Figura 18. Plano de Varamiento, [13]

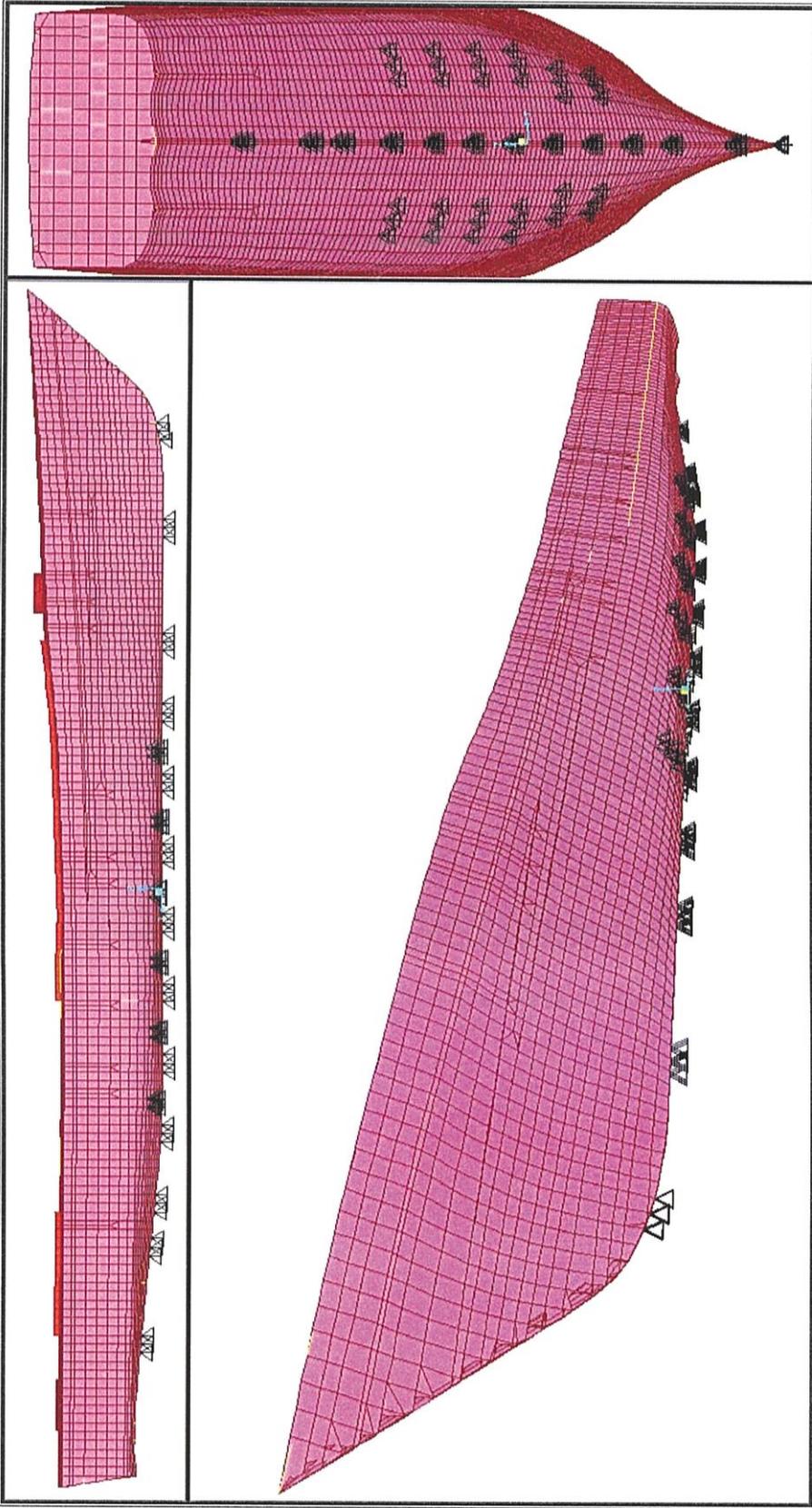
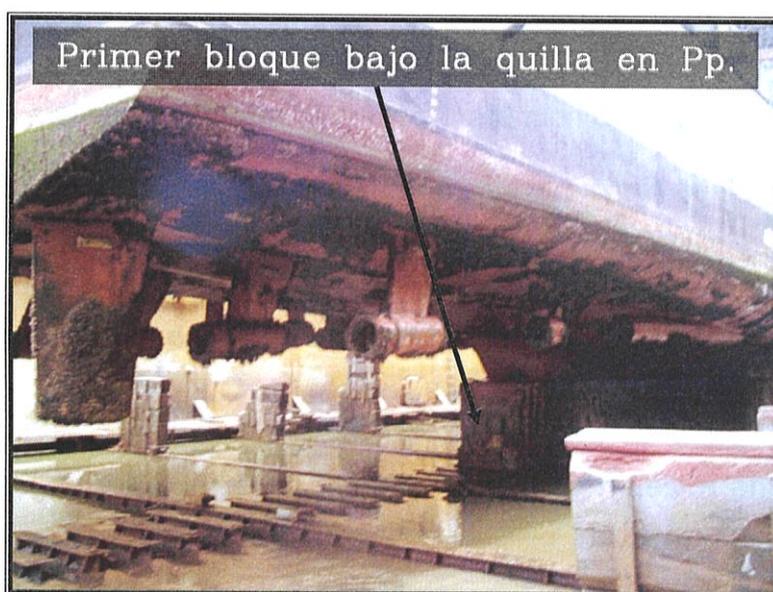


Figura 19. Soportes simples en el modelo estructural

En la zona de Popa, debido a la presencia de las hélices propulsoras, el primer bloque bajo la quilla se encuentra aproximadamente a 6.44 metros medidos desde el espejo; debido a esto, al momento del varamiento la embarcación presenta un notorio cantilibrío, como se puede apreciar en la siguiente imagen.



**Figura 20.** Cantilibrío en la zona de Popa, [1]

### **2.3. Representación Numérica de cada Etapa de Reparación.**

Conocidas las zonas de trabajo y representadas las restricciones que tendrá la embarcación, es necesario modelar adecuadamente las zonas de retiro de material estructural descritas anteriormente. Se generará un modelo independiente para cada etapa de reparación y este será analizado en comparación con los resultados del modelo estructural original. Una vez ubicadas las restricciones para simular el varamiento, se procede a suprimir los elementos SHELL que representan el planchaje del casco y los elementos FRAMES que representan los refuerzos secundarios de la embarcación, según lo detallado anteriormente.

El modelo desarrollado para la primera etapa, se muestra en la siguiente figura.

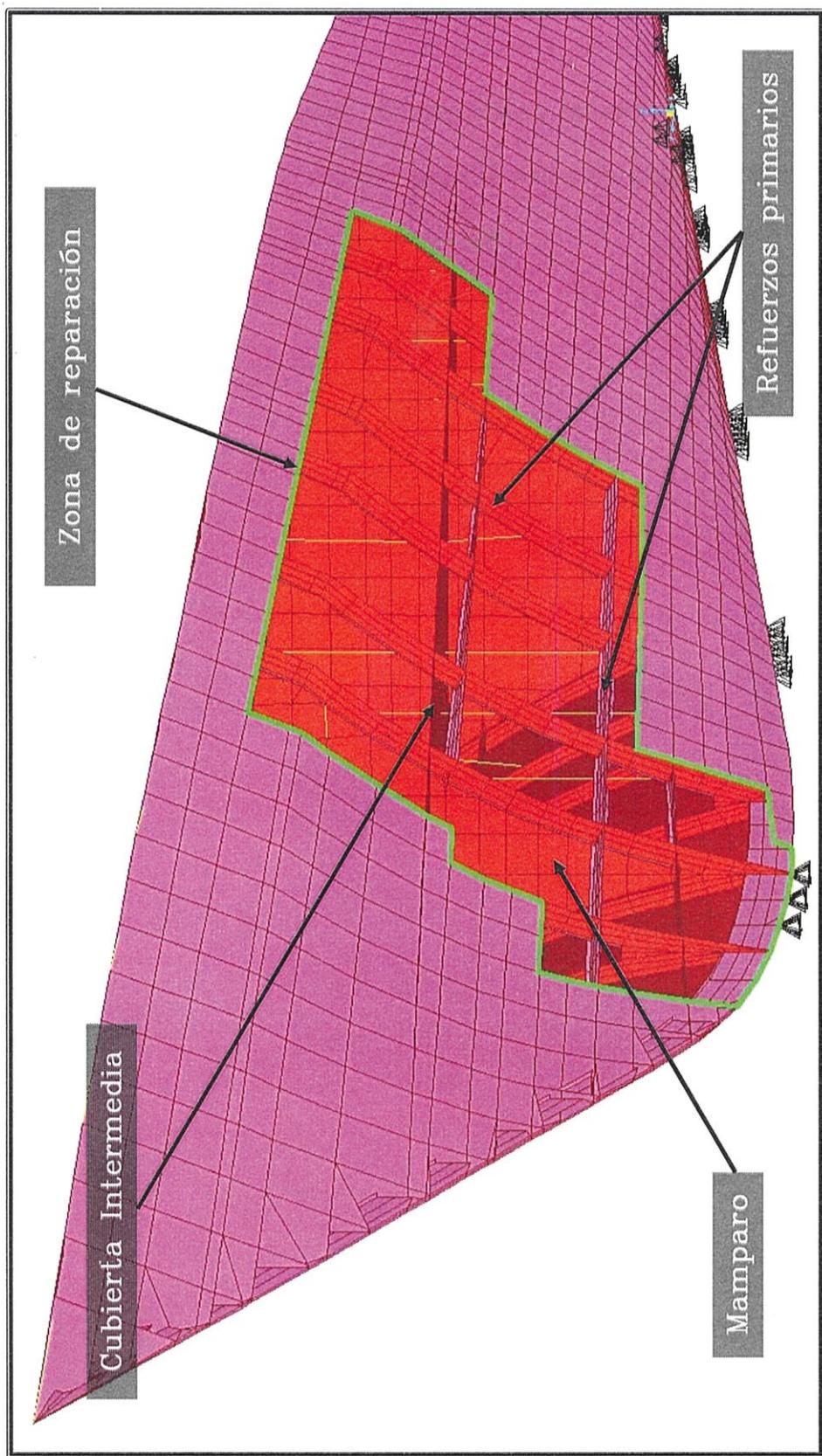


Figura 21. Modelo estructural utilizando el MEF para la Primera etapa de reparación

Una vez realizado el cambio del planchaje y refuerzos de la primera etapa, se procede a desarrollar el modelo para la segunda etapa, el cual se muestra a continuación.

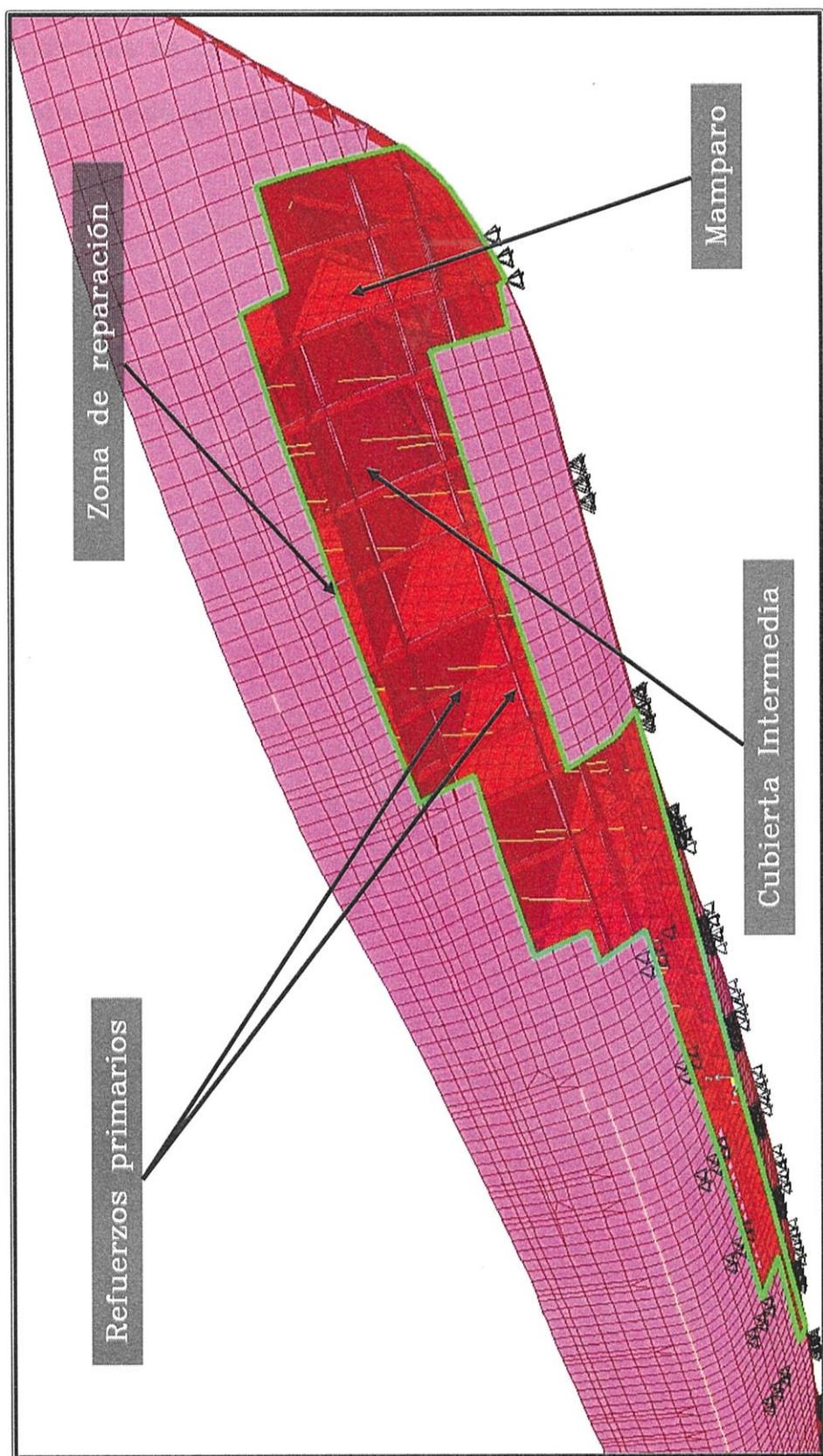


Figura 22. Modelo estructural utilizando el MEF para la Segunda etapa de reparación

Finalmente se desarrolla el modelo para la tercera etapa de reparación, la cual se puede apreciar en la siguiente figura.

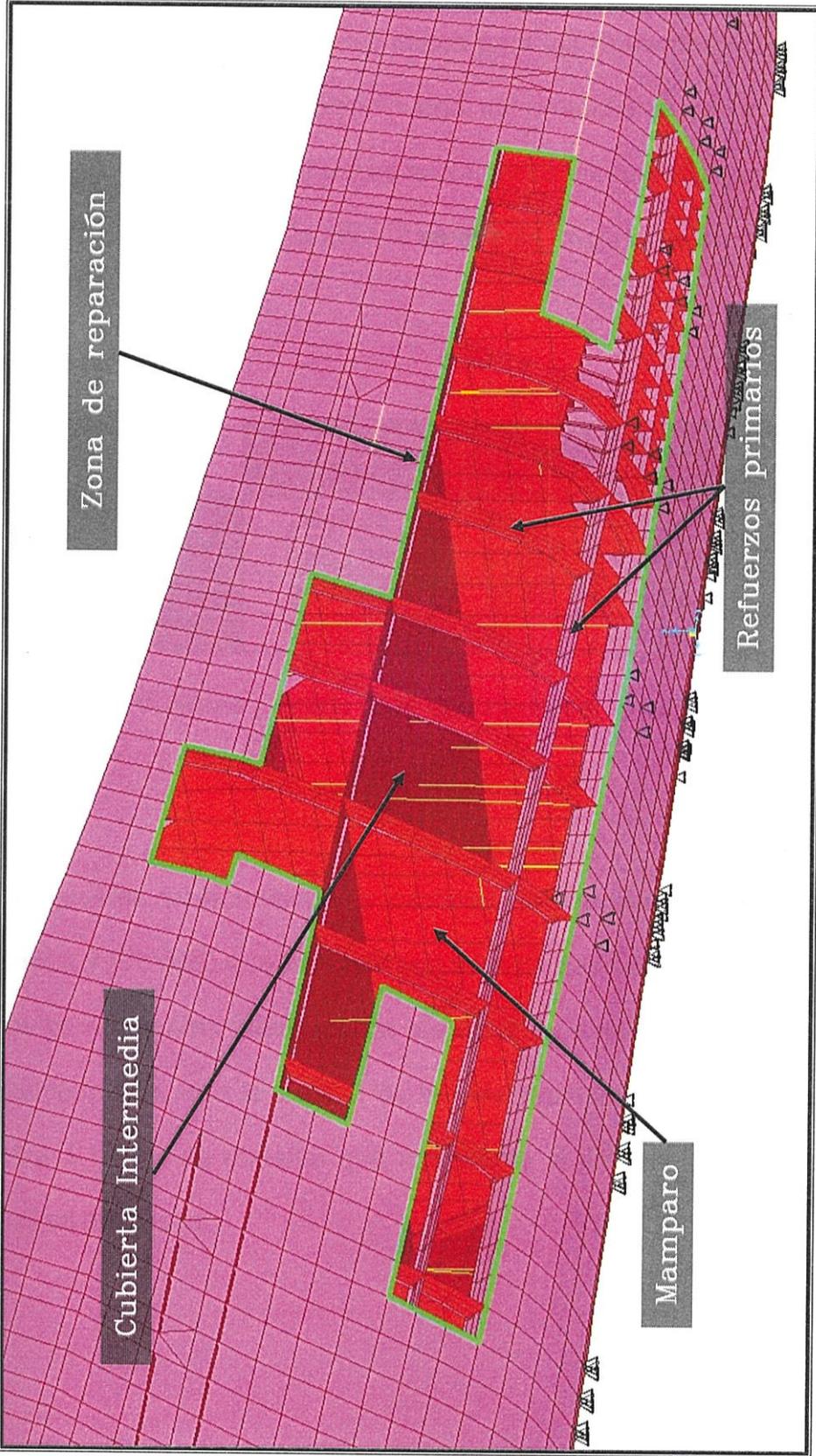


Figura 23. Modelo estructural utilizando el MEF para la Tercera etapa de reparación

La siguiente tabla muestra los pesos para las diferentes condiciones en que se encuentra la embarcación luego de proceder al retiro de parte de su planchaje del casco y refuerzos secundarios, claramente podemos notar que el retiro de material en la zona 2 es el más importante en cuanto a cantidad, y, por ende a peso.

	<b>Elementos SHELL</b>		<b>Elementos FRAME</b>	
	<b>Area [m<sup>2</sup>]</b>	<b>Peso [ton]</b>	<b>Longitud [m]</b>	<b>Peso [ton]</b>
<b>CorbetaOriginal</b>	2649.26	82.57	5240.19	23.27
<b>CorbetaZona_1</b>	2603.36	81.30	5108.13	22.82
<b>CorbetaZona_2</b>	2554.44	79.43	4995.11	22.28
<b>CorbetaZona_3</b>	2589.02	80.97	5083.76	22.69

**Tabla V.** Áreas y Pesos de la estructura del casco de los modelos a analizarse

La siguiente tabla muestra la cantidad de material estructural, (elementos SHELL y FRAME) que han sido retirados de cada uno de los modelos en los que se representó cada una de las etapas de reparación, notando lo dicho anteriormente, que la zona 2 es la más representativa, ya que en total se retira 4.12 ton de material que representa el 4% del peso de la estructura original del casco.

	<i>Elementos SHELL</i>		<i>Elementos FRAME</i>	
	<i>Area [m<sup>2</sup>]</i>	<i>Peso [ton]</i>	<i>Longitud [m]</i>	<i>Peso [ton]</i>
<b>CorbetaZona_1</b>	45.91	1.27	132.07	0.44
<b>CorbetaZona_2</b>	94.82	3.14	245.08	0.98
<b>CorbetaZona_3</b>	60.24	1.59	156.44	0.58

**Tabla VI.** Áreas y Pesos retirados para cada etapa de reparación

## 2.4. Cálculo de los Niveles de Esfuerzo.

Con la ayuda del programa SAP2000 se procede a calcular los esfuerzos en la estructura de la embarcación, para cada una de las condiciones en las que fue representada. De esta manera se analizan los esfuerzos que se generan alrededor de las zonas donde se realizó el retiro de parte de su material estructural, además se localizan los nodos de los elementos SHELL sobre los cuales se generan los máximos y mínimos esfuerzos principales<sup>1</sup>.

Para la primera zona de reparación se tiene que los esfuerzos máximos en este sector se encuentran entre el intervalo -0.19 y 0.19 ton/cm<sup>2</sup>, mientras que los esfuerzos mínimos se encuentran entre el intervalo -0.22 y 0.22 ton/cm<sup>2</sup>. Gráficamente lo podemos observar en las siguientes figuras.

---

<sup>1</sup> Los esfuerzos principales son calculados por el programa aplicando la formulación clásica

para Esfuerzo Plano: 
$$\sigma_{m\acute{a}x,min} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}\right)^2 + \tau_{12}^2}, [14].$$

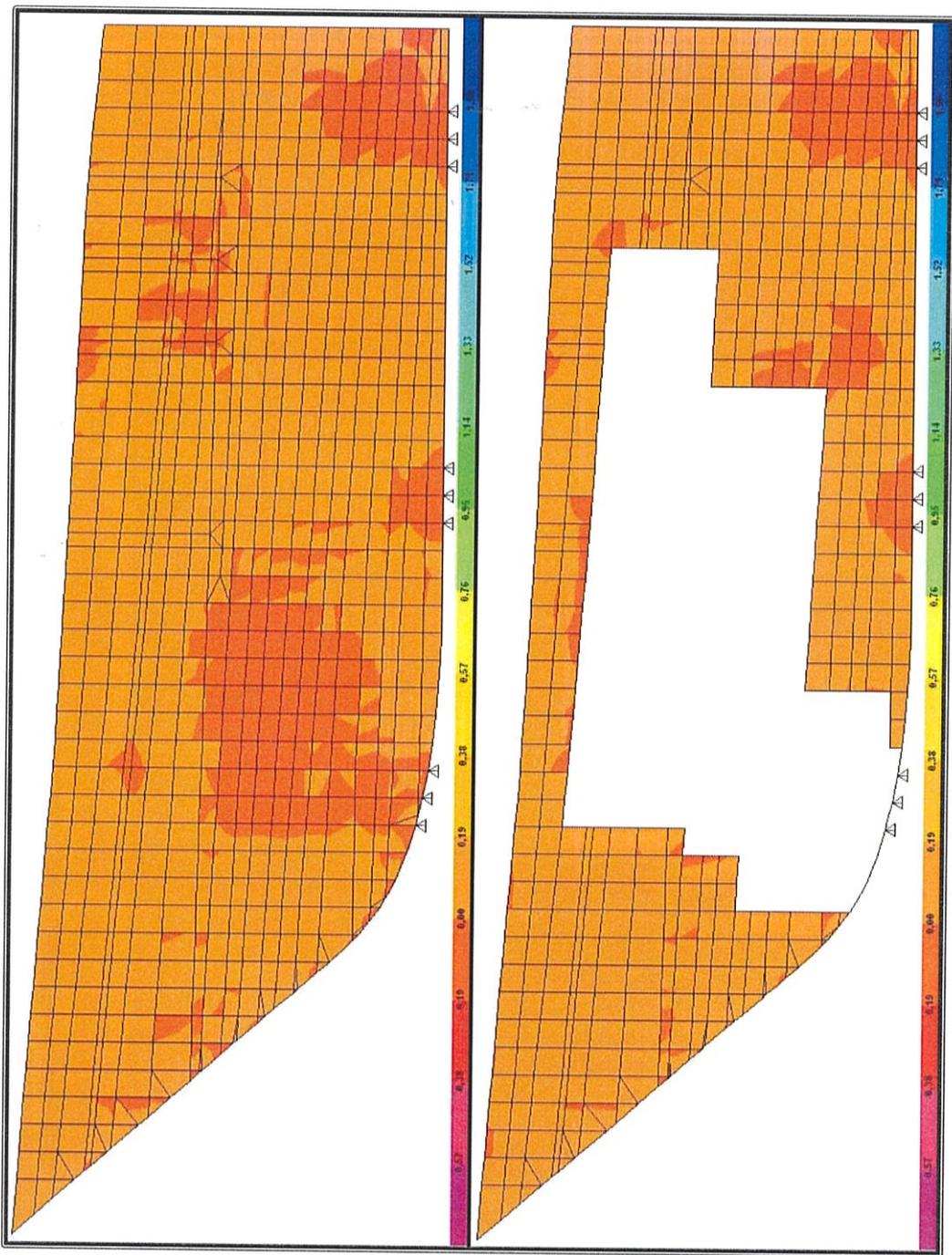


Figura 24. Esfuerzos Máximos desarrollados en la Primera etapa de reparación

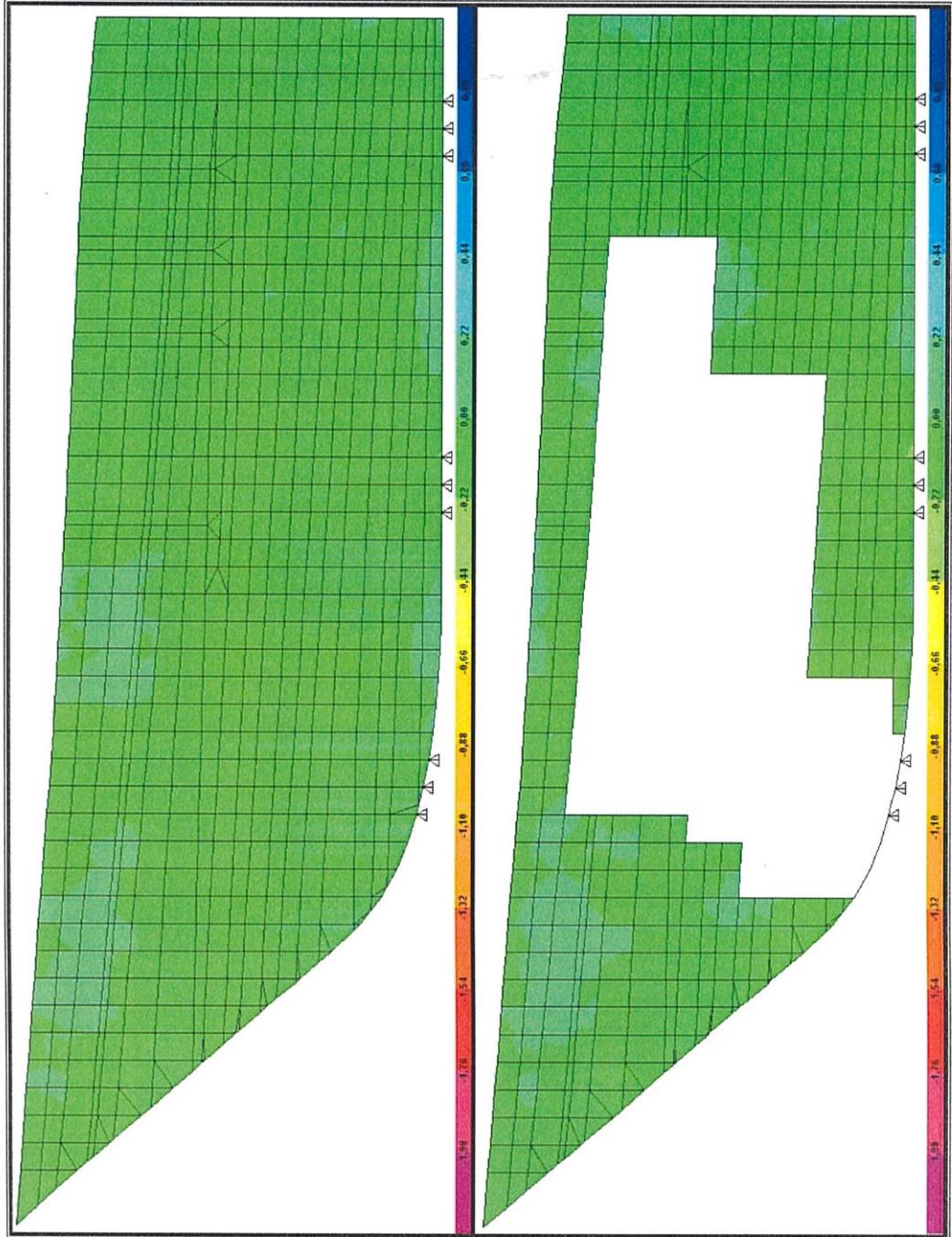


Figura 25. Esfuerzos Mínimos desarrollados en la Primera etapa de reparación

Para la segunda zona de reparación se tiene que los esfuerzos máximos en este sector se encuentran entre el intervalo  $-0.20$  y  $0.20$   $\text{ton/cm}^2$ , mientras que los esfuerzos mínimos se encuentran entre el intervalo  $-0.44$  y  $0.22$   $\text{ton/cm}^2$ . Gráficamente lo podemos observar en las siguientes figuras.

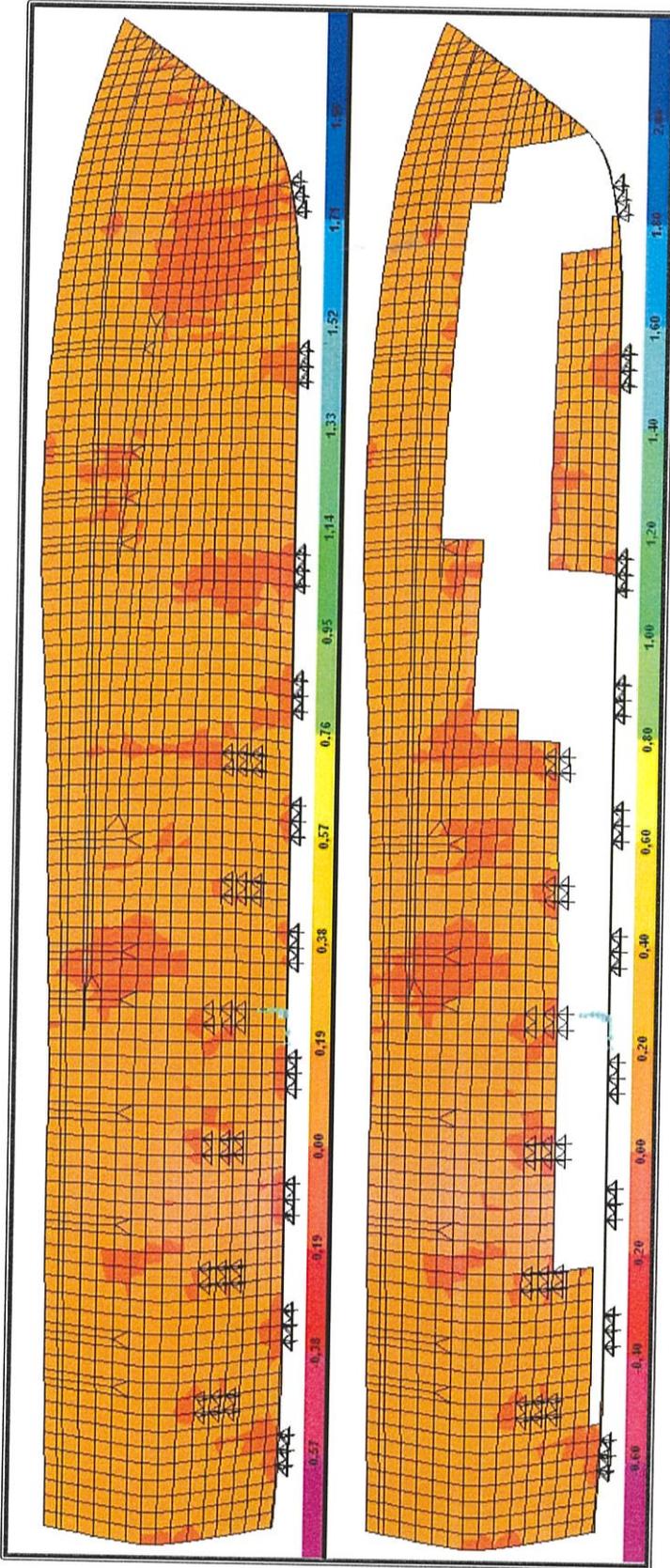


Figura 26. Esfuerzos Máximos desarrollados en la Segunda etapa de reparación

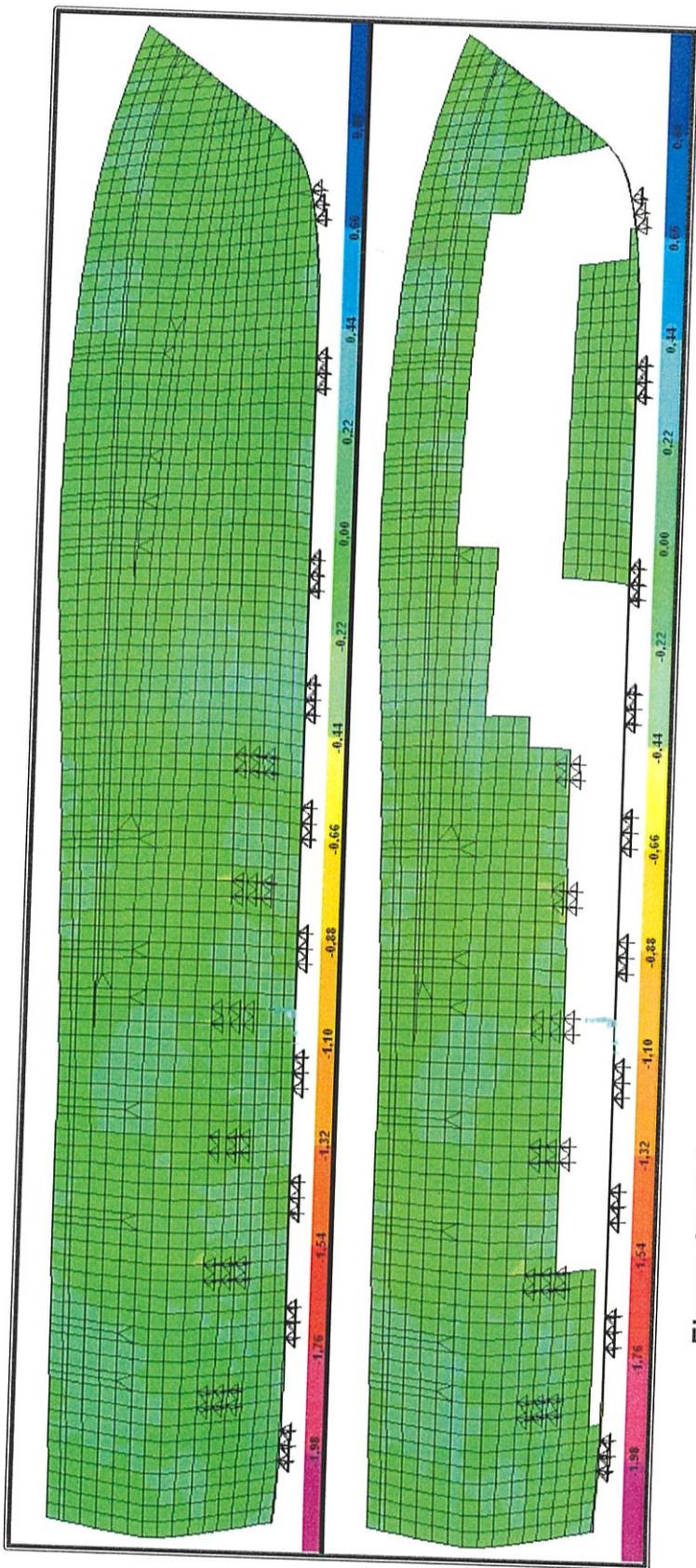


Figura 27. Esfuerzos Mínimos desarrollados en la Segunda etapa de reparación

Finalmente, para la tercera zona de reparación se tiene que los esfuerzos máximos en este sector se encuentran entre el intervalo  $-0.25$  y  $0.25$  ton/cm<sup>2</sup>, mientras que los esfuerzos mínimos se encuentran entre el intervalo  $-0.56$  y  $0.28$  ton/cm<sup>2</sup>. Gráficamente lo podemos observar en las siguientes figuras.

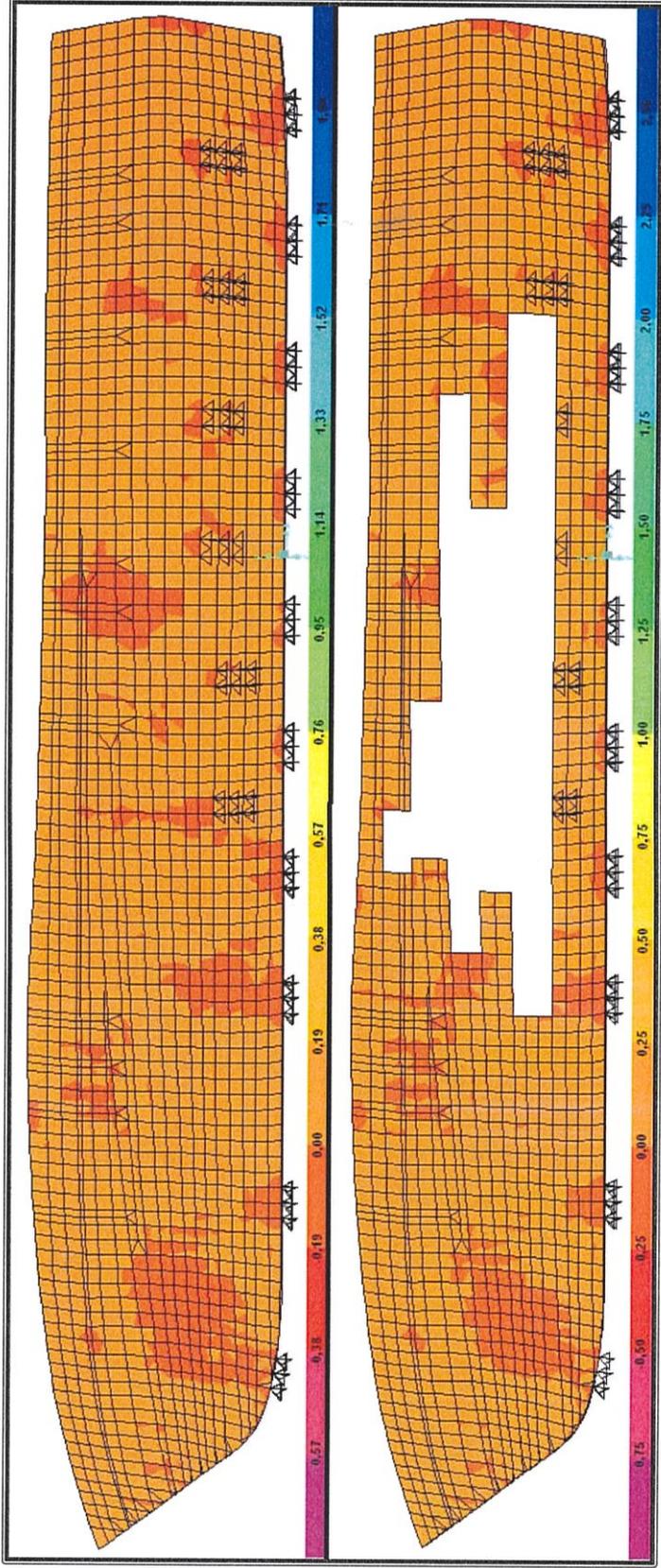


Figura 28. Esfuerzos Máximos desarrollados en la Tercera etapa de reparación

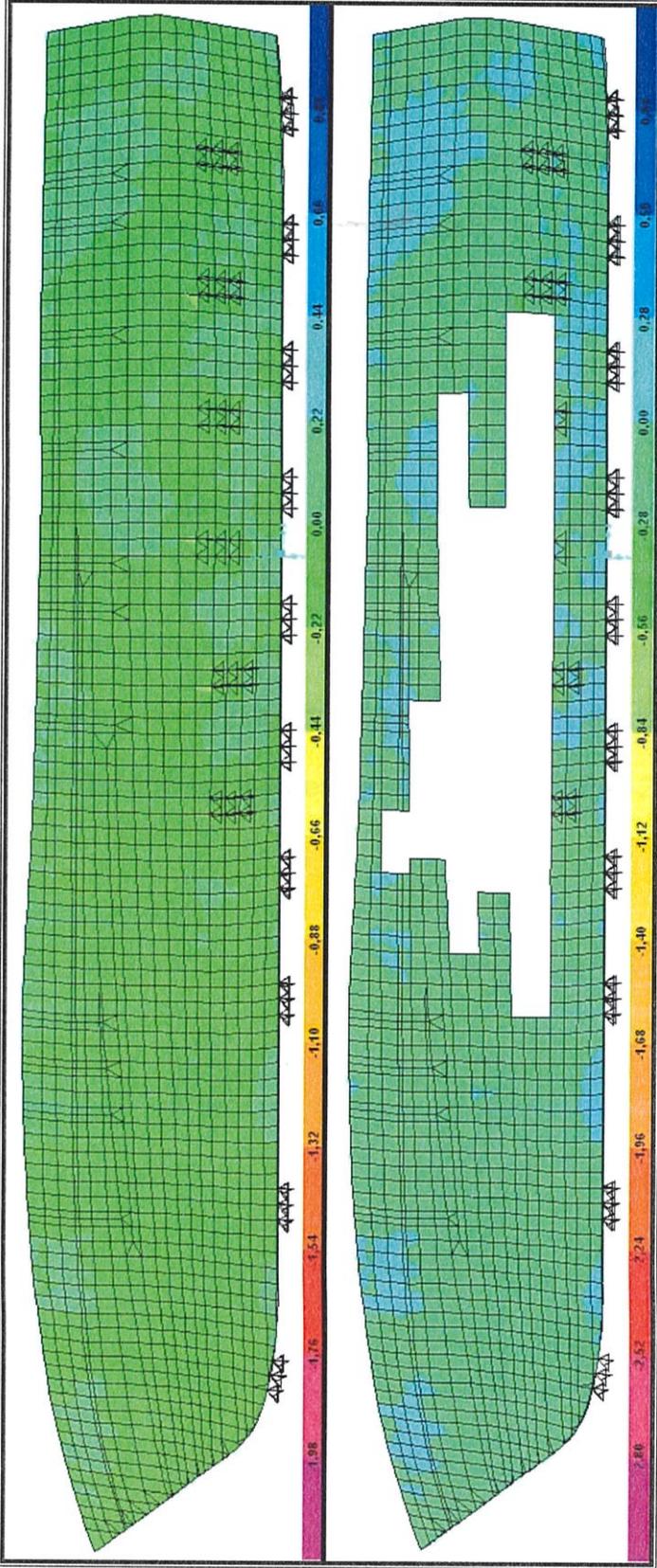


Figura 29. Esfuerzos Mínimos desarrollados en la Tercera etapa de reparación

Observando los esfuerzos desarrollados en la condición original de la embarcación y en cada una de las etapas de reparación, vemos que estos se encuentran muy por debajo del límite de fluencia tomando como referencia el acero estándar de construcción naval ( $2.45 \text{ ton/cm}^2$ ). Además se puede anotar que los valores de esfuerzo se incrementan a medida que estos se acercan hacia los bordes de las zonas cortadas.

Ahora, se procede a identificar los nodos en los cuales se presentan los valores extremos para los Esfuerzos Principales en los elementos planos del modelo estructural. Las siguientes tablas muestran estos valores tanto para la condición original, como para cada una de las etapas de reparación, en las que podemos notar que los valores extremos son  $2.10$  y  $-2.13 \text{ ton/cm}^2$ .

<b>CorbetaOriginal</b>									
Nodo	Posición espacial			Pos. Espesor	1 ó 2	Esf. Pcpal. [ton/cm <sup>2</sup> ]	Esf. 11 [ton/cm2]	Esf. 22 [ton/cm2]	Esf. 12 [ton/cm2]
	X [cm]	Y [cm]	Z [cm]						
18028	1009.21	291.09	93.09	top	MAX:	2.0879	1.2055	1.4339	-0.7596
13397	233.37	0.00	504.74	top	MIN:	-2.0270	-1.0809	-1.1545	0.9085
18028	1009.21	291.09	93.09	bot	MAX:	2.0700	1.2096	1.4032	-0.7574
13397	233.37	0.00	504.74	bot	MIN:	-2.0270	-1.0809	-1.1545	0.9085

<b>CorbetaZona_1</b>									
Nodo	Posición espacial			Pos. Espesor	1 ó 2	Esf. Pcpal. [ton/cm <sup>2</sup> ]	Esf. 11 [ton/cm2]	Esf. 22 [ton/cm2]	Esf. 12 [ton/cm2]
	X [cm]	Y [cm]	Z [cm]						
18028	1009.21	291.09	93.09	top	MAX:	2.0882	1.2056	1.4341	-0.7598
13397	233.37	0.00	504.74	top	MIN:	-2.0277	-1.0811	-1.1552	0.9088
18028	1009.21	291.09	93.09	bot	MAX:	2.0703	1.2098	1.4033	-0.7576
13397	233.37	0.00	504.74	bot	MIN:	-2.0276	-1.0810	-1.1552	0.9088

<b>CorbetaZona_2</b>									
Nodo	Posición espacial			Pos. Espesor	1 ó 2	Esf. Pcpal. [ton/cm <sup>2</sup> ]	Esf. 11 [ton/cm2]	Esf. 22 [ton/cm2]	Esf. 12 [ton/cm2]
	X [cm]	Y [cm]	Z [cm]						
15585	1009.21	-291.09	93.09	top	MAX:	2.0909	1.2066	1.4359	0.7611
13397	233.37	0.00	504.74	top	MIN:	-2.0860	-1.1140	-1.1859	0.9354
15585	1009.21	-291.09	93.09	bot	MAX:	2.0726	1.2110	1.4045	0.7587
13397	233.37	0.00	504.74	bot	MIN:	-2.0788	-1.1105	-1.1833	0.9312

<b>CorbetaZona_3</b>									
Nodo	Posición espacial			Pos. Espesor	1 ó 2	Esf. Pcpal. [ton/cm <sup>2</sup> ]	Esf. 11 [ton/cm2]	Esf. 22 [ton/cm2]	Esf. 12 [ton/cm2]
	X [cm]	Y [cm]	Z [cm]						
15585	1009.21	-291.09	93.09	top	MAX:	2.1003	1.2110	1.4426	0.7648
13397	233.37	0.00	504.74	top	MIN:	-2.0275	-1.0838	-1.1513	0.9093
15585	1009.21	-291.09	93.09	bot	MAX:	2.0794	1.2147	1.4075	0.7623
20686	-408.86	-200.00	69.87	bot	MIN:	-2.1271	-1.1796	-1.0235	-1.0226

Tabla VII, VIII, IX y X. Resumen de esfuerzos en las condiciones analizadas

A continuación se identifican los sectores sobre el modelo estructural donde se producen los valores extremos de los Esfuerzos Principales, considerando ambas caras de los elementos planos. El nodo 18028 presenta esfuerzos máximos tanto en la cara superior como en la inferior del elemento, en la condición original y la primera etapa de reparación. Este se ubica en el fondo de la cuaderna 45, en la conexión entre la Bulárcama y la tercera Vagra en la banda de Estribor.

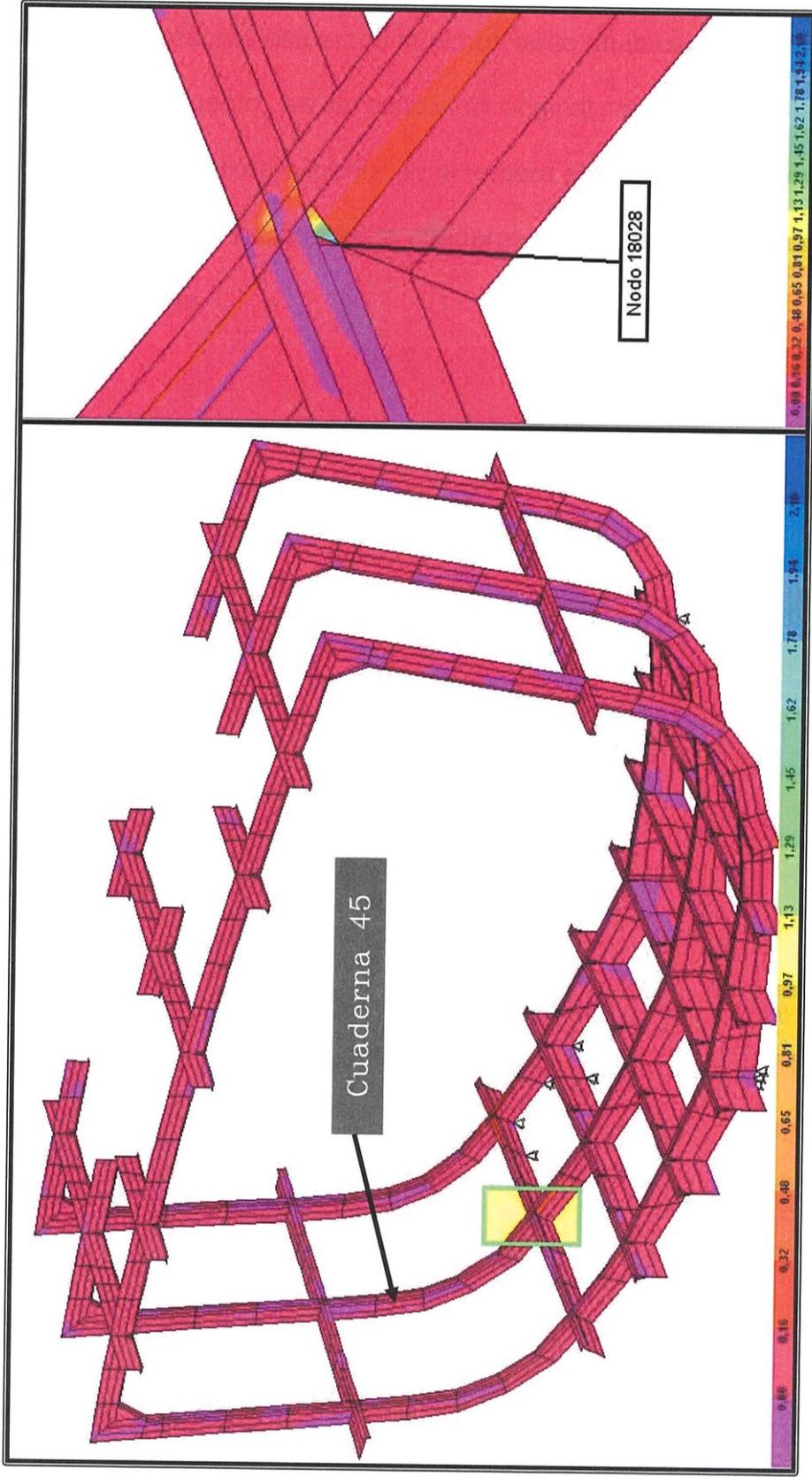


Figura 30. Esfuerzo principal en el nodo 18028, cuaderna 45. Primera etapa de reparación

El nodo 13397 presenta esfuerzos mínimos tanto en la cara superior como en la inferior del elemento, en la condición original, la primera y la segunda etapa, además de la cara superior de la tercera etapa de reparación. Este se ubica en la Cubierta Principal en la cuaderna 62, en la conexión entre el Bao y la Eslora de crujía.

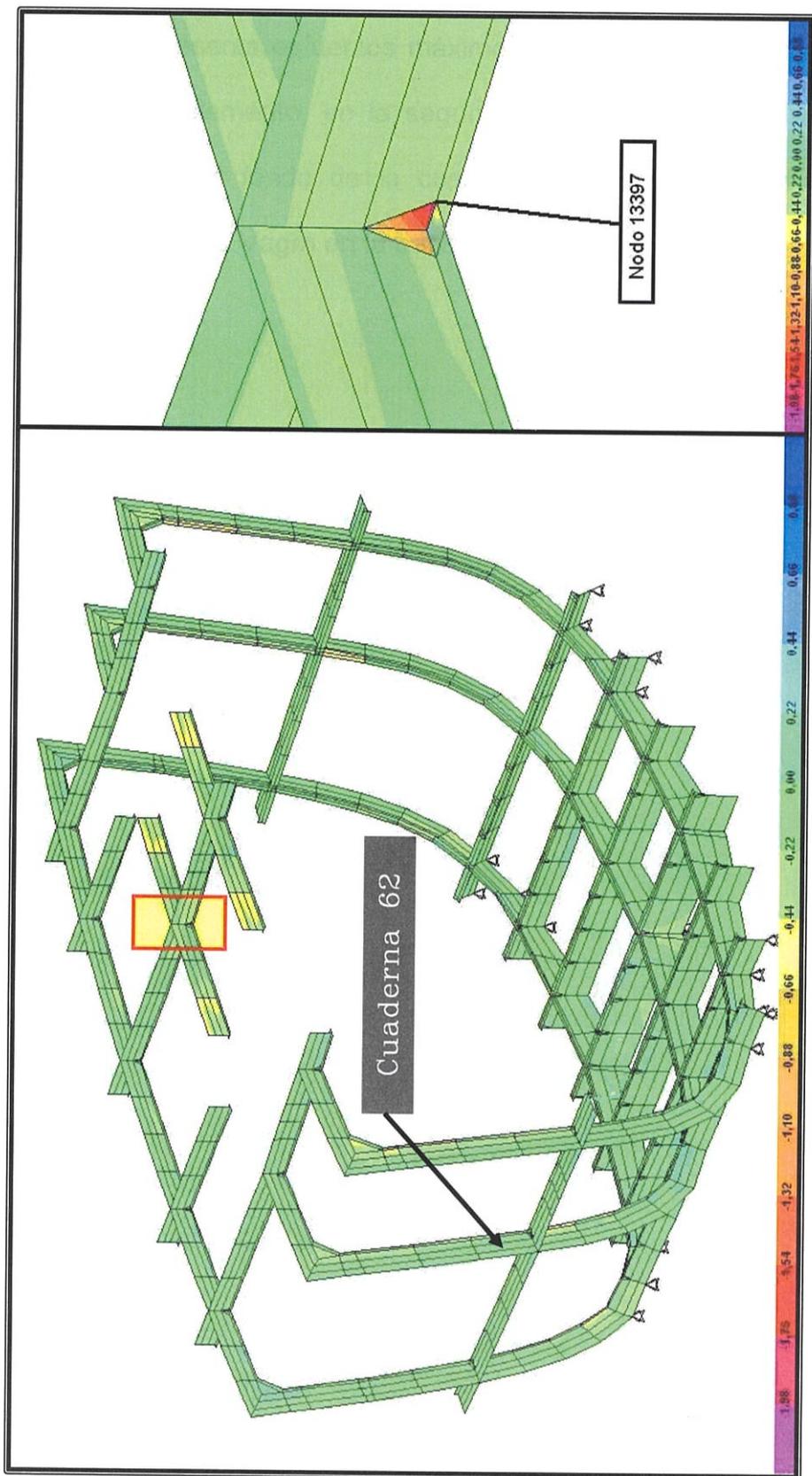


Figura 31. Esfuerzo principal en el nodo 13397, cuaderna 62. Primera etapa de reparación

El nodo 15585 presenta esfuerzos máximos tanto en la cara superior como en la inferior del elemento, en la segunda y tercera etapa de reparación. Este se ubica en el fondo de la cuaderna 45, en la conexión entre la Bulárcama y la tercera Vagra en la banda de Babor.

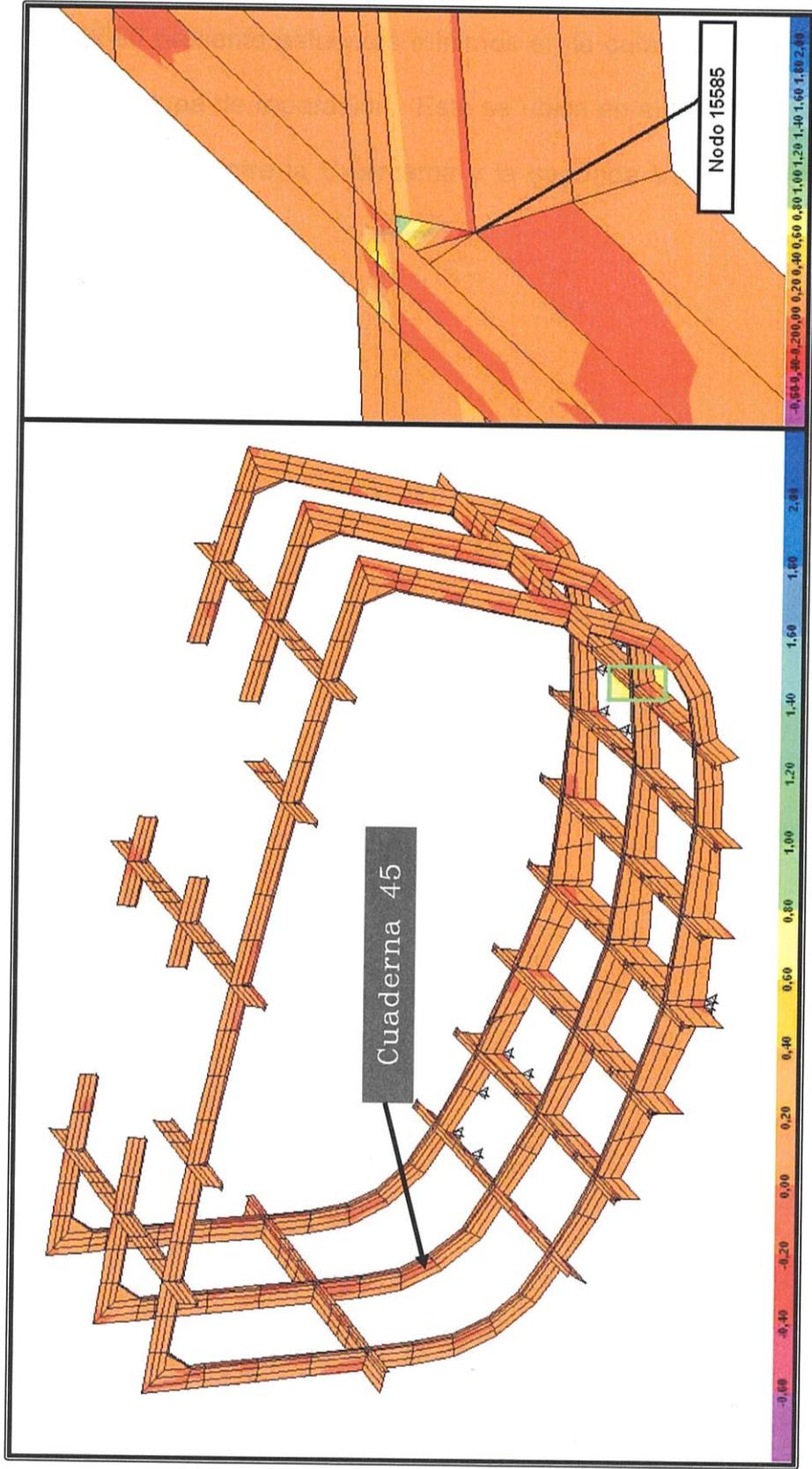


Figura 32. Esfuerzo principal en el nodo 15585, cuaderna 45. Segunda etapa de reparación

El nodo 20686 presenta esfuerzos mínimos en la cara inferior del elemento, en la Tercera etapa de reparación. Este se ubica en el fondo de la cuaderna 76, en la conexión entre la Bulárcama y la segunda Vagra en la banda de Babor.

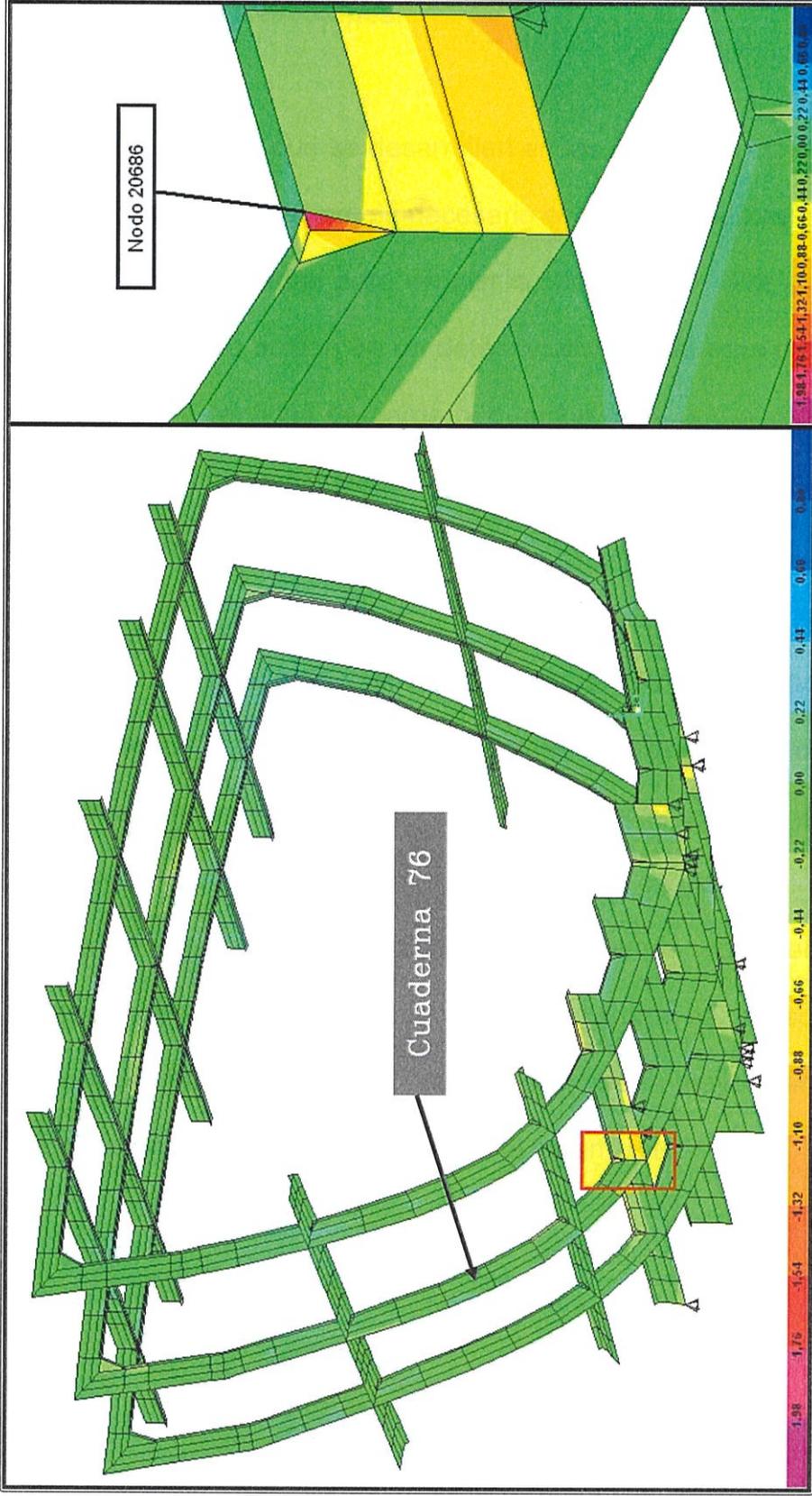


Figura 33. Esfuerzo principal en el nodo 20686, cuadernas 76. Tercera etapa de reparación

## 2.5. Análisis de las Reacciones.

Calculados los esfuerzos que se desarrollan en las diferentes condiciones en que se presenta la embarcación, es necesario evaluar las fuerzas que actúan en las restricciones utilizadas para simular su varamiento. Por esto se han sumado las cargas que actúan en un determinado bloque para presentar un resultado total de la cantidad de carga que recibe cada uno al momento del varamiento, además de la distribución que presenta al momento de realizar el retiro de material estructural.

Las siguientes tablas muestran el total de carga que recibe cada bloque durante el varamiento, para la condición original en la que el planchaje de la embarcación se encuentra completo, y para las tres etapas de reparación. Podemos apreciar en ellas que existe equilibrio en las cargas en dirección "X" e "Y", mientras que en la sumatoria de las cargas en dirección "Z", recuperamos el peso presente en la embarcación. Como es de esperarse, el primer bloque en Popa bajo la quilla es quien recibe la mayor carga, por el cantilibrio que tiene la embarcación durante el varamiento.

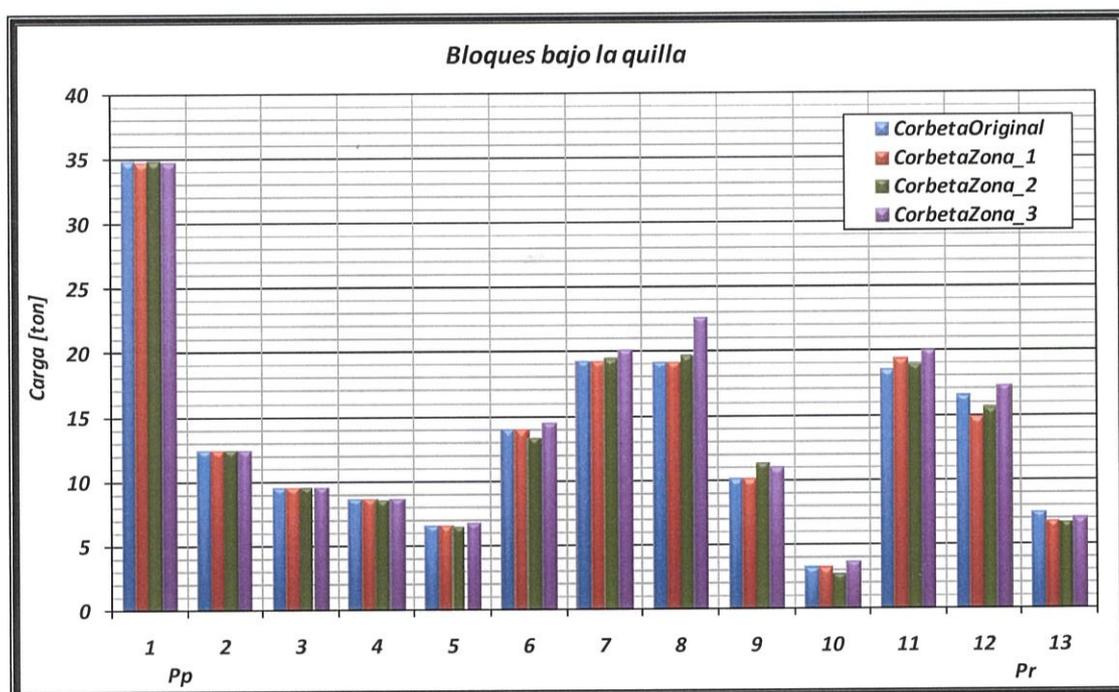
CarbetaOriginal				CarbetaZona_1				CarbetaZona_2				CarbetaZona_3			
Rx [ton]	Ry [ton]	Rz [ton]		Rx [ton]	Ry [ton]	Rz [ton]		Rx [ton]	Ry [ton]	Rz [ton]		Rx [ton]	Ry [ton]	Rz [ton]	
C15	9.93	0.00	34.80	9.96	0.02	34.77		9.89	-0.01	34.79		9.94	0.09	34.73	
C26	7.83	0.00	12.47	7.85	0.00	12.46		7.82	0.01	12.49		7.81	0.05	12.45	
C31	-2.53	0.00	9.59	-2.50	0.00	9.57		-2.59	0.03	9.65		-2.55	0.09	9.58	
C39	6.02	0.00	8.68	6.01	0.00	8.67		5.99	0.05	8.66		5.99	-0.06	8.65	
C47	-2.23	0.00	6.53	-2.22	0.00	6.53		-1.32	-0.75	6.55		-2.50	-0.04	6.75	
C55	0.63	0.00	13.98	0.63	-0.01	13.97		0.23	1.20	13.36		0.80	-0.42	14.56	
C63	-0.79	0.00	19.30	-0.78	0.01	19.29		-0.43	1.08	19.50		-2.28	-1.90	20.17	
C71	2.51	0.00	19.18	2.51	0.01	19.17		1.68	3.52	19.71		3.08	-5.54	22.68	
C79	2.75	0.00	10.08	2.75	-0.03	10.08		2.16	2.67	11.46		3.33	-1.77	11.00	
C87	-1.72	0.00	3.22	-1.83	-0.04	3.26		-0.71	0.59	2.78		-1.40	-0.33	3.66	
C95	-3.11	0.00	18.60	-3.89	-1.29	19.48		-4.38	0.66	18.95		-2.96	-1.28	20.15	
C108	3.77	0.00	16.55	4.36	0.44	14.85		4.75	0.16	15.66		3.76	-0.37	17.30	
C119	-1.01	0.00	7.49	-1.66	0.62	6.76		-1.60	-0.66	6.80		-1.29	0.15	6.97	
C43_Eb	-2.18	3.05	5.96	-2.16	3.05	5.97		-2.51	3.08	5.97		-2.19	2.94	5.76	
C51_Eb	-4.02	9.83	13.38	-4.03	9.83	13.41		-5.97	7.79	13.43		-3.91	10.47	12.91	
C59_Eb	-1.48	5.64	10.11	-1.49	5.66	10.13		-0.54	2.28	9.73		-1.81	5.34	9.85	
C67_Eb	-2.16	10.45	16.72	-2.24	10.49	16.78		-2.78	5.69	15.46		-2.53	9.75	17.00	
C75_Eb	0.43	13.46	16.64	0.32	13.50	16.70		1.19	6.37	14.94		0.58	13.21	16.34	
C83_Eb	-1.62	8.67	17.50	-2.03	8.67	17.96		1.96	5.15	14.81		-1.29	8.40	15.34	
C43_Bb	-2.18	-3.05	5.96	-2.10	-3.04	5.94		-2.41	-2.94	5.98		-3.08	-3.42	6.28	
C51_Bb	-4.02	-9.83	13.38	-3.91	-9.78	13.31		-4.61	-7.61	13.47		-6.52	-9.88	14.22	
C59_Bb	-1.48	-5.64	10.11	-1.34	-5.61	10.07		-1.46	-3.51	9.91		0.51	-3.36	8.30	
C67_Bb	-2.16	-10.45	16.72	-1.89	-10.37	16.61		-2.75	-7.04	16.46		1.14	-8.96	14.32	
C75_Bb	0.43	-13.46	16.64	0.71	-13.40	16.55		0.36	-9.88	16.14		-1.88	-10.11	14.48	
C83_Bb	-1.62	-8.67	17.50	-1.03	-8.72	17.08		-1.99	-7.92	17.94		-0.75	-3.04	14.35	
Σ	0.00	0.00	341.08	0.00	0.00	339.38		0.00	0.00	334.59		0.00	0.00	337.82	

Tabla XI, XII, XIII y XIV. Reacciones en los bloques de varamiento para la condición Original, Primera, Segunda y

Tercera etapa de reparación

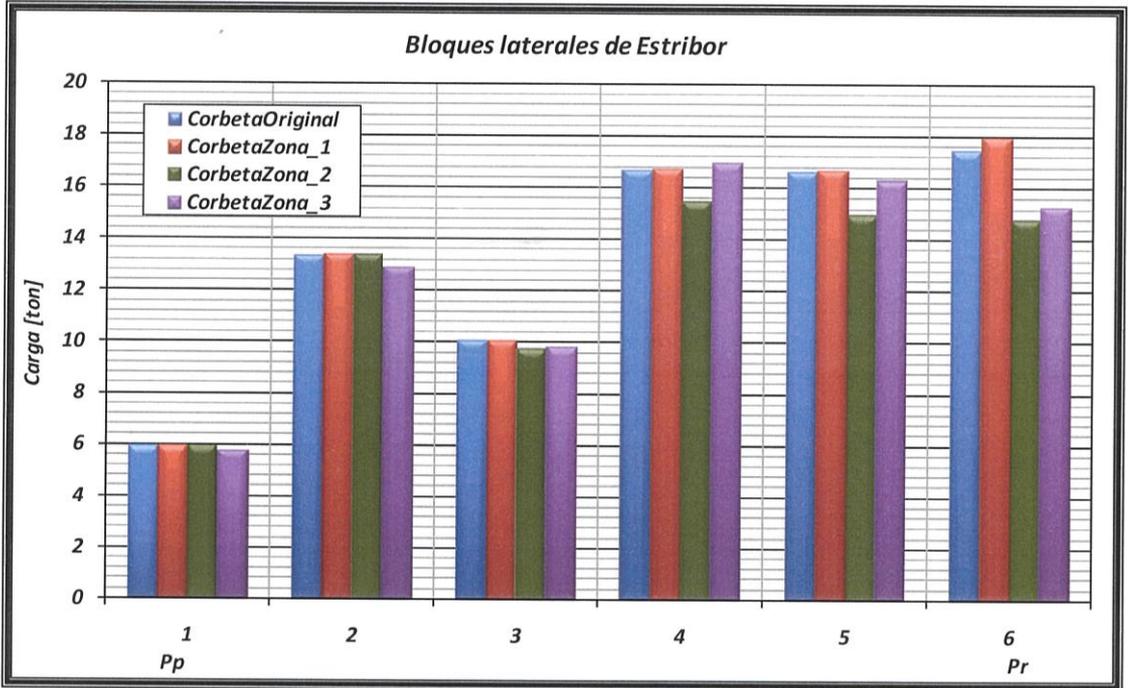
Observando las cargas que presentan en dirección "Y" los bloques laterales, notamos que para la condición original las cargas son idénticas en Estribor y Babor, pero de sentido contrario, mientras que para las tres etapas de reparación estas cargas no son las mismas, pero se distribuyen de manera tal que, como es de esperarse, se mantiene el equilibrio en esa dirección.

Para comparar la distribución de carga en la condición original y en cada una de las etapas de reparación, en el siguiente gráfico se presenta para cada uno de los bloques bajo la quilla, la Fuerza vertical desarrollada. Se observa que desde el bloque 6 hasta el 13 se presenta variación en la carga que soporta cada bloque, esto se debe a que desde Sección Media hacia la zona de Proa es donde se ha retirado material estructural, presentando la mayor variación de carga el bloque 8, con un valor de 3.50 ton.



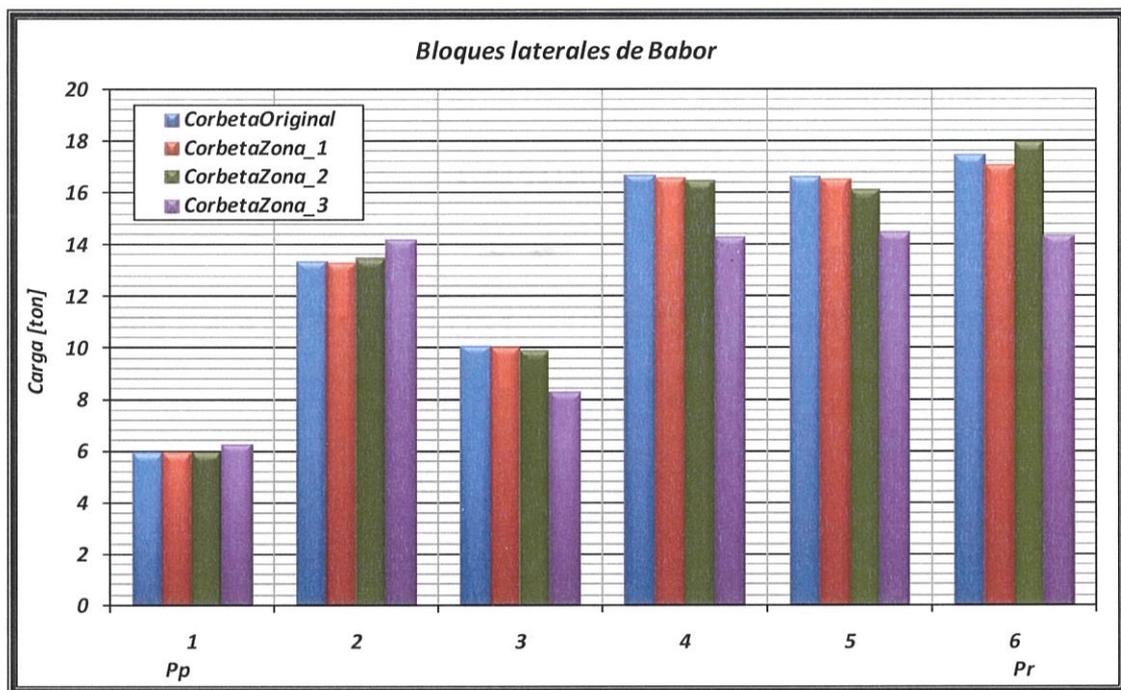
**Figura 34.** Distribución de carga sobre los bloques de quilla en las condiciones analizadas

La siguiente figura muestra una comparación de la distribución de cargas presentes sobre cada uno de los bloques laterales en la banda de Estribor entre la condición original y cada una de las etapas de reparación. Se observa que el sexto bloque ubicado hacia Proa, es quien presenta la mayor variación de carga con un valor de 3.16 ton, al pasar de la Primera a la Segunda etapa de reparación.



**Figura 35.** Distribución de carga sobre los bloques laterales de Estribor en las condiciones analizadas

La siguiente figura muestra una comparación en la distribución de cargas sobre los bloques laterales de la banda de Babor, para la condición original y cada una de las tres etapas de reparación de la embarcación. Se observa asimismo, como en la figura anterior, que el sexto bloque ubicado hacia Proa es quien presenta la mayor variación de carga con un valor de 3.59 ton, al pasar de la Segunda a la Tercera etapa de reparación.



**Figura 36.** Distribución de carga sobre los bloques laterales de Babor en las condiciones analizadas

## **CAPÍTULO 3**

### **ANÁLISIS EVOLUTIVO DE LOS ESFUERZOS DURANTE EL PROCESO DE REPARACIÓN**

#### **3.1. Descripción de las Zonas más Afectadas por la Reparación.**

Luego de 24 años de servicio, la corbeta Esmeraldas de la Armada del Ecuador fue sometida a un proceso integral de reparación, en el que se incluyó el cambio de parte de su planchaje y refuerzos estructurales en zonas del fondo, costado y cubierta principal a lo largo de todo el casco. Al completar los trabajos, la estructura sufrió distorsiones, algunas de las cuales son descritas a continuación.

El primer retiro de material estructural se dio sobre la cubierta principal, con el desmontaje de las tapas de registro de la embarcación, las cuales se ubican sobre cada una de las cuatro máquinas propulsoras. La siguiente imagen muestra la discontinuidad longitudinal en la estructura generada por

el trabajo realizado, considerando que dichas tapas incluyen refuerzos estructurales.



**Figura 37.** Desmontaje de las tapas de registro, [1]

Posterior a esto, se realizó el retiro de material estructural en diferentes sectores de la embarcación, cortando el planchaje y los refuerzos secundarios a ser retirados y luego soldando los nuevos elementos estructurales; las siguientes imágenes muestran estos trabajos realizados sobre algunos sectores de la embarcación.



**Figura 38.** Cambio de planchaje en la cubierta principal, [1]



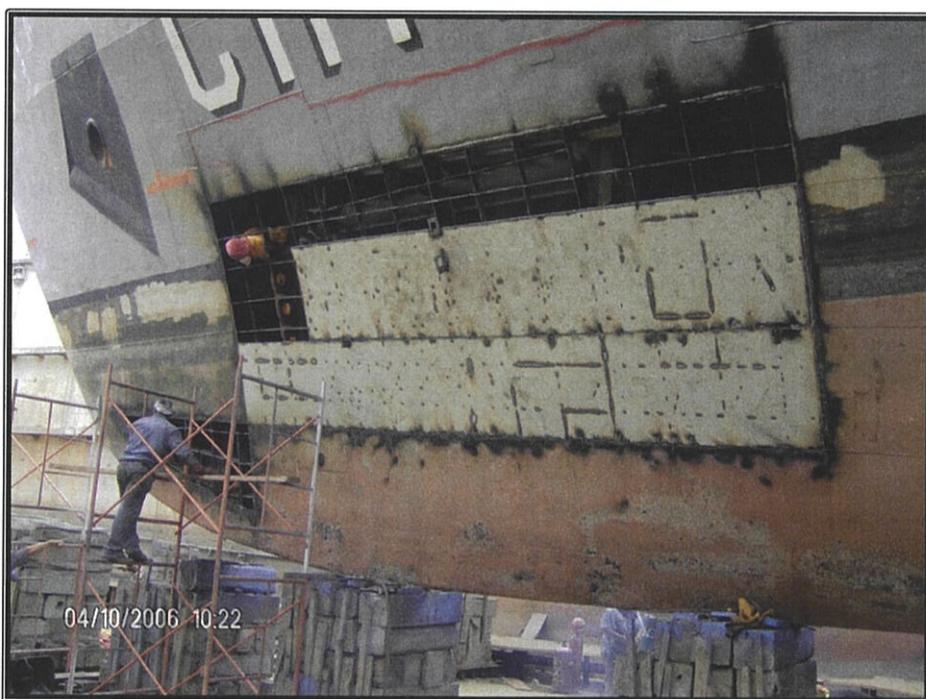
**Figura 39.** Corte y retiro del planchaje del casco, [1]



**Figura 40.** Cambio de refuerzos estructurales, [1]



**Figura 41.** Trabajos realizados en el sector de Sala de Máquinas, [1]



**Figura 42.** Planchaje nuevo instalado en el sector de Proa, [1]



**Figura 43.** Planchaje nuevo a ser instalado en la embarcación, [1]

Durante la realización de estos trabajos, se registraron algunas distorsiones en la estructura de la embarcación; el daño más notorio ocurrió en la roda, la misma que sufrió una deformación permanente, fácilmente visible, localizada en la quilla, longitudinalmente a la altura del primer bloque de varamiento, entre las cuadernas 118 y 123. En la siguiente figura se puede apreciar el daño ocurrido en esta zona.



**Figura 44.** Deformación en la roda de la Corbeta, [1]

Por este motivo, toda la estructura del sector de la roda de la corbeta tuvo que ser retirada y reemplazada, para corregir la deformación producida, como se lo puede apreciar en la siguiente imagen.

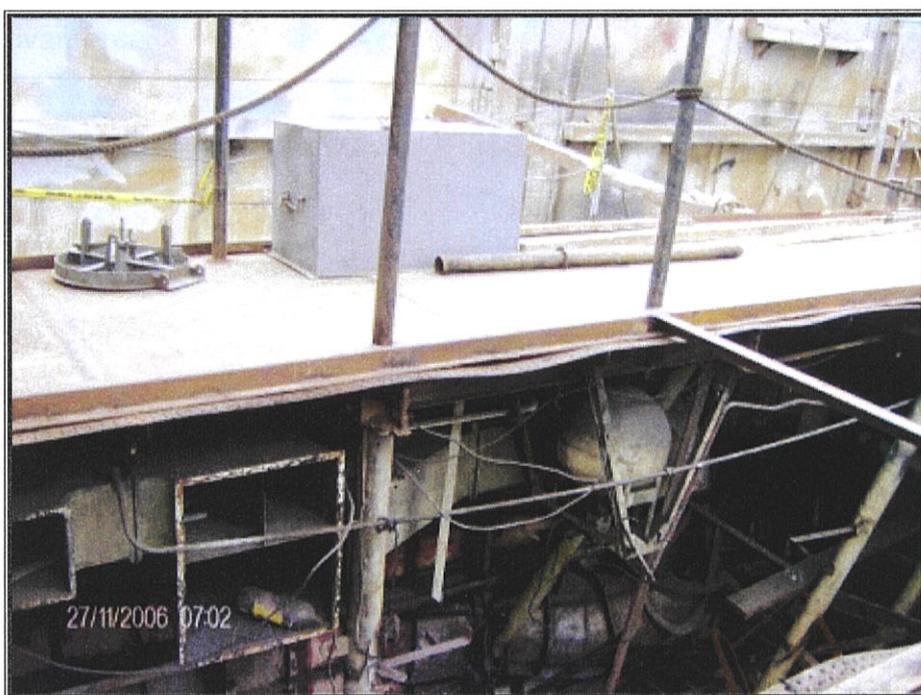


**Figura 45.** Vista lateral de la nueva quilla instalada en el sector de la roda, [1]

Otra deformación registrada durante los trabajos de la corbeta ocurrió en el sector de la sala de máquinas de Popa, en el elemento ubicado en la línea de crujía, en la cubierta principal y sobre los bordes de las tapas de registro. Las siguientes imágenes muestran los daños ocurridos sobre estos elementos.



**Figura 46.** Deformación permanente registrada en un refuerzo primario, [1]



**Figura 47.** Deformación en la tapa de registros de Popa de Babor, [1]

### **3.2. Representación Secuencial de los Esfuerzos en cada Etapa de Reparación.**

Debido a las deformaciones producidas en la embarcación, a continuación se procede a analizar los niveles de esfuerzo desarrollados en ciertos puntos críticos durante cada etapa de reparación; para esto se graficarán estos valores y se los comparará con el límite de Fluencia del acero de alta resistencia, utilizado para la construcción de esta embarcación ( $\sigma_y = 3.62$  ton/cm<sup>2</sup>). Las siguientes figuras presentan por medio de colores los esfuerzos principales desarrollados en la zona de Proa, para cada una de las etapas de reparación. En ellas podemos observar que los valores extremos para los esfuerzos máximos y mínimos registrados son 0.03 y -0.08 ton/cm<sup>2</sup> respectivamente.

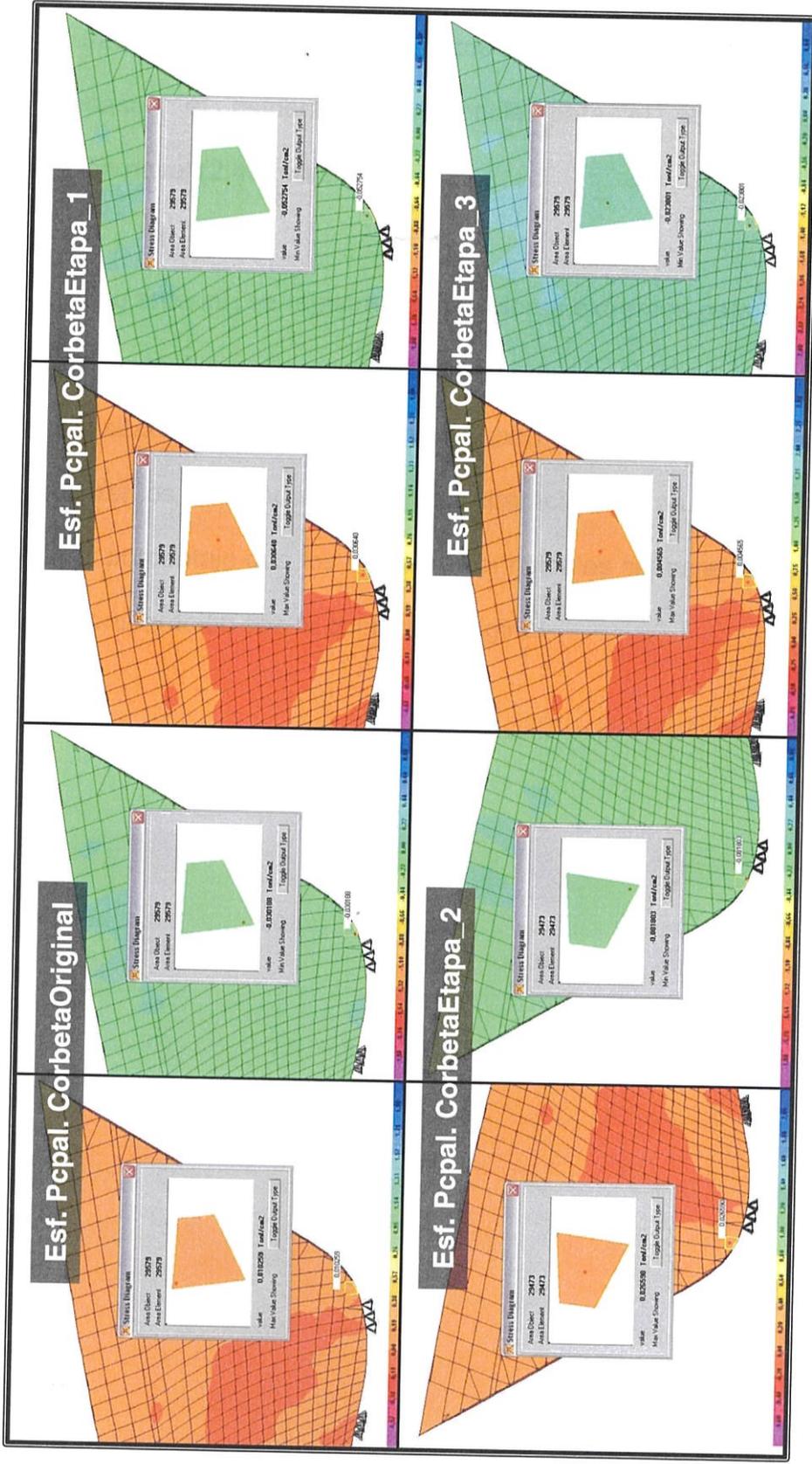


Figura 48. Esfuerzos principales desarrollados en la zona de la Roda

Estas figuras muestran que los esfuerzos que se desarrollan en este sector no sobrepasan el esfuerzo de Fluencia para el acero estándar de construcción naval ( $2.45 \text{ ton/cm}^2$ ).

En el capítulo anterior, se registraron los valores extremos para los esfuerzos principales, a continuación se procede a comparar estos valores máximos con los registrados en el modelo original, para los nodos que presentan los valores extremos en cada etapa de reparación. Las siguientes tablas muestran el porcentaje que los esfuerzos principales se incrementan en cada etapa, en comparación con la condición original:

<b>CorbetaOriginal vs. CorbetaZona_1</b>							
<b>Nodo</b>	<b>Pos. Espesor</b>	<b>1 ó 2</b>	<b>Esf. Pcpal. [ton/cm<sup>2</sup>]</b>	<b>Esf. 11 [ton/cm2]</b>	<b>Esf. 22 [ton/cm2]</b>	<b>Esf. 12 [ton/cm2]</b>	<b>% Esf. Pcpal.</b>
18028 (orig.)	top	MAX:	2.0879	1.2055	1.4339	-0.7596	0.02
18028 (zona_1)	top	MAX:	2.0882	1.2056	1.4341	-0.7598	
13397 (orig.)	top	MIN:	-2.0270	-1.0809	-1.1545	0.9085	0.04
13397 (zona_1)	top	MIN:	-2.0277	-1.0811	-1.1552	0.9088	
18028 (orig.)	bot	MAX:	2.0700	1.2096	1.4032	-0.7574	0.01
18028 (zona_1)	bot	MAX:	2.0703	1.2098	1.4033	-0.7576	
13397 (orig.)	bot	MIN:	-2.0270	-1.0809	-1.1545	0.9085	0.03
13397 (zona_1)	bot	MIN:	-2.0276	-1.0810	-1.1552	0.9088	

<b>CorbetaOriginal vs. CorbetaZona_2</b>							
<b>Nodo</b>	<b>Pos. Espesor</b>	<b>1 ó 2</b>	<b>Esf. Pcpal. [ton/cm<sup>2</sup>]</b>	<b>Esf. 11 [ton/cm2]</b>	<b>Esf. 22 [ton/cm2]</b>	<b>Esf. 12 [ton/cm2]</b>	<b>% Esf. Pcpal.</b>
15585 (orig.)	top	MAX:	2.0878	1.2055	1.4339	0.7596	0.15
15585 (zona_2)	top	MAX:	2.0909	1.2066	1.4359	0.7611	
13397 (orig.)	top	MIN:	-2.0270	-1.0809	-1.1545	0.9085	2.91
13397 (zona_2)	top	MIN:	-2.0860	-1.1140	-1.1859	0.9354	
15585 (orig.)	bot	MAX:	2.0699	1.2096	1.4032	0.7574	0.13
15585 (zona_2)	bot	MAX:	2.0726	1.2110	1.4045	0.7587	
13397 (orig.)	bot	MIN:	-2.0270	-1.0809	-1.1545	0.9085	2.56
13397 (zona_2)	bot	MIN:	-2.0788	-1.1105	-1.1833	0.9312	

<b>CorbetaOriginal vs. CorbetaZona_3</b>							
<b>Nodo</b>	<b>Pos. Espesor</b>	<b>1 ó 2</b>	<b>Esf. Pcpal. [ton/cm<sup>2</sup>]</b>	<b>Esf. 11 [ton/cm2]</b>	<b>Esf. 22 [ton/cm2]</b>	<b>Esf. 12 [ton/cm2]</b>	<b>% Esf. Pcpal.</b>
15585 (orig.)	top	MAX:	2.0878	1.2055	1.4339	0.7596	0.60
15585 (zona_3)	top	MAX:	2.1003	1.2110	1.4426	0.7648	
13397 (orig.)	top	MIN:	-2.0270	-1.0809	-1.1545	0.9085	0.03
13397 (zona_3)	top	MIN:	-2.0275	-1.0838	-1.1513	0.9093	
15585 (orig.)	bot	MAX:	2.0699	1.2096	1.4032	0.7574	0.46
15585 (zona_3)	bot	MAX:	2.0794	1.2147	1.4075	0.7623	
20686 (orig.)	bot	MIN:	-1.4875	-0.7213	-0.7659	-0.7436	43.00
20686 (zona_3)	bot	MIN:	-2.1271	-1.1796	-1.0235	-1.0226	

Tabla XV, XVI y XVII. Comparación de esfuerzos máximos en cada etapa de reparación

En las tablas anteriores se puede observar que para la primera etapa de reparación, el mayor incremento del esfuerzo principal comparado con el original es compresivo y ocurre en el nodo 13397, en la cara superior del elemento; este punto corresponde a la conexión entre el Bao y la Eslora de crujía en la cubierta principal de la cuaderna 62. Para la segunda etapa de reparación, el mayor incremento del esfuerzo principal también es compresivo, ocurre también en el nodo 13397, en la cara superior del elemento. Para la tercera etapa de reparación, existe un considerable incremento del esfuerzo principal, el mismo que es compresivo y ocurre en el nodo 20686, en la cara inferior del elemento; este punto corresponde a la conexión en el fondo entre la cuaderna 76 y la segunda Vagra de Babor.

Se puede observar también que incrementos menores de esfuerzo ocurridos, son de tensión, los mismos que están por debajo del 1% comparados con los esfuerzos originales.

### 3.3. Análisis de la Evolución de los Valores de Esfuerzos Máximos.

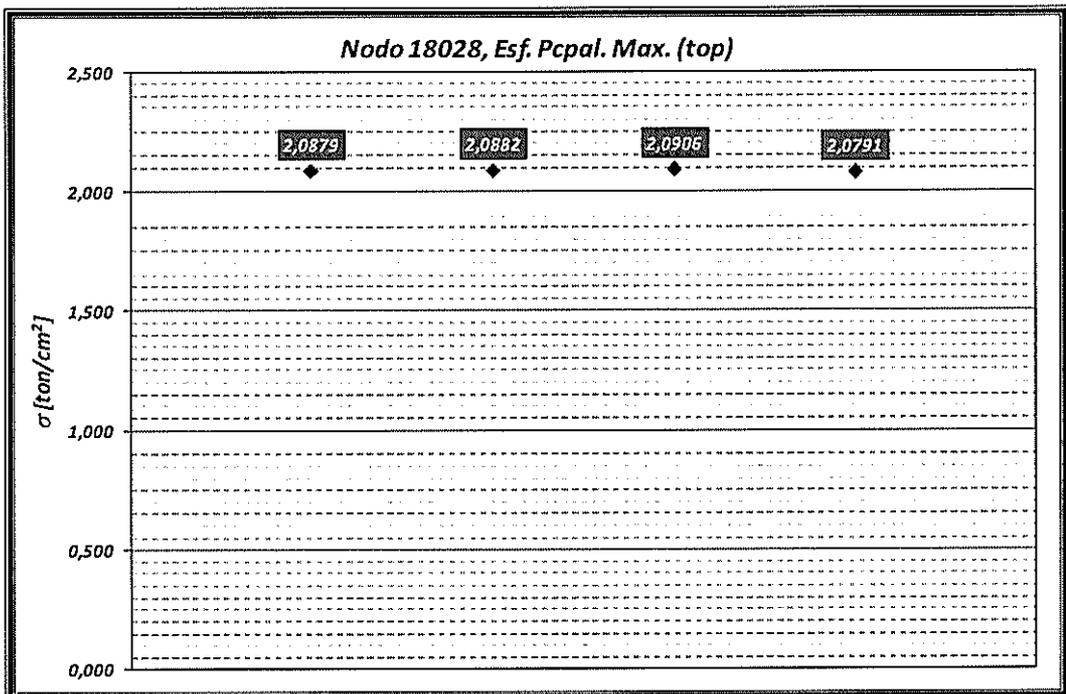
A continuación, sobre los nodos registrados anteriormente se procede a registrar los valores que presentan en cada una de las etapas de reparación, para observar su evolución con el avance de los trabajos en la estructura de la embarcación. La siguiente tabla muestra los siete nodos en los cuales se produjeron los esfuerzos máximos y los valores que alcanzaron en cada condición.

	18028	15585	13397	18028	15585	13397	20686
	<i>Esf. Pcpal. Max. (top)</i>	<i>Esf. Pcpal. Max. (top)</i>	<i>Esf. Pcpal. Min. (top)</i>	<i>Esf. Pcpal. Max. (bot)</i>	<i>Esf. Pcpal. Max. (bot)</i>	<i>Esf. Pcpal. Min. (bot)</i>	<i>Esf. Pcpal. Min. (bot)</i>
<i>CorbetaOriginal</i>	2.0879	2.0878	-2.0270	2.0700	2.0699	-2.0270	-1.4875
<i>CorbetaZona_1</i>	2.0882	2.0870	-2.0277	2.0703	2.0692	-2.0276	-1.4798
<i>CorbetaZona_2</i>	2.0906	2.0909	-2.0860	2.0725	2.0726	-2.0788	-1.5010
<i>CorbetaZona_3</i>	2.0791	2.1003	-2.0275	2.0623	2.0794	-2.0217	-2.1271

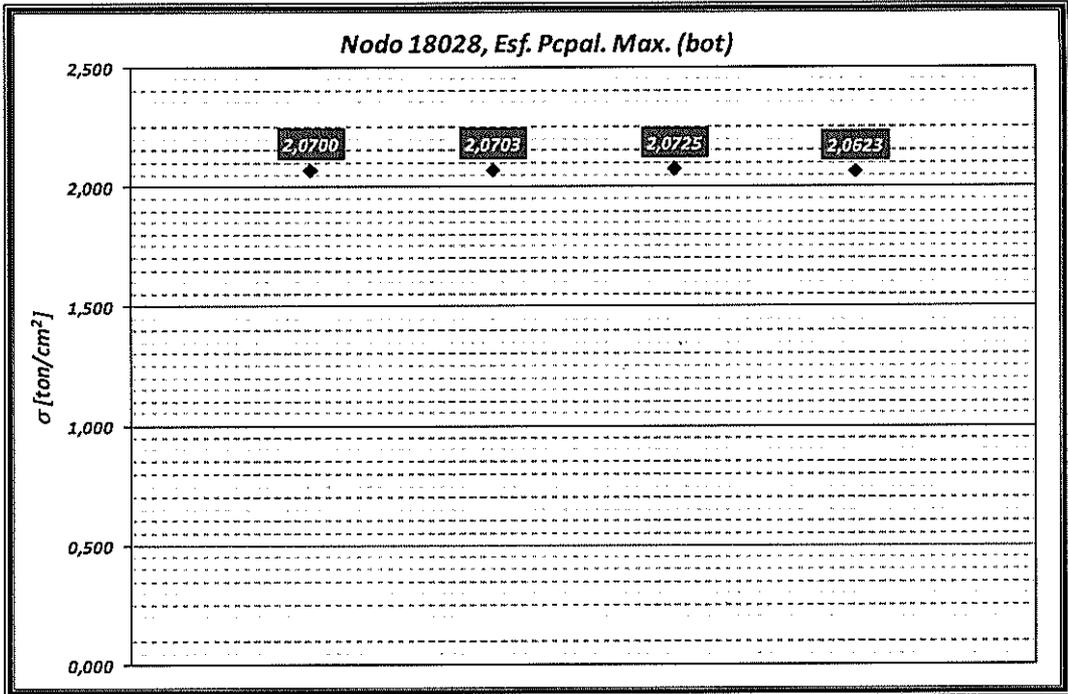
**Tabla XVIII.** Esfuerzos principales, ton/cm<sup>2</sup>, en las diferentes etapas de reparación

En la tabla anterior podemos observar que seis de los siete nodos registrados no presentan grandes variaciones en los valores de esfuerzo, el único que presenta un incremento considerable de alrededor del 40% del esfuerzo original es el nodo 20686 ubicado en la cuaderna 76. Gráficamente podemos observar estos resultados en las siguientes imágenes.

El nodo 18028 ubicado en la cuaderna 45 presenta esfuerzos máximos en ambas caras del elemento, registrando su mayor incremento en la segunda etapa de reparación, para la cara superior, con un valor de  $0.0027 \text{ ton/cm}^2$ , y, para la cara inferior con un valor de  $0.0025 \text{ ton/cm}^2$ , estos incrementos representan el 0.13 y 0.12% del esfuerzo original respectivamente. Se puede deducir entonces que este elemento estará sometido a tensión en el plano, antes que a flexión.



**Figura 49.** Esfuerzos desarrollados en el nodo 18028 (cara superior)



**Figura 50.** Esfuerzos desarrollados en el nodo 18028 (cara inferior)

El nodo 15585 ubicado en la cuaderna 45 presenta esfuerzos máximos en ambas caras del elemento, registrando su mayor incremento en la tercera etapa de reparación, para la cara superior con un valor de 0.0125 ton/cm<sup>2</sup>, y, para la cara inferior con un valor de 0.0095 ton/cm<sup>2</sup>, estos incrementos representan el 0.60 y 0.46% del esfuerzo original respectivamente.

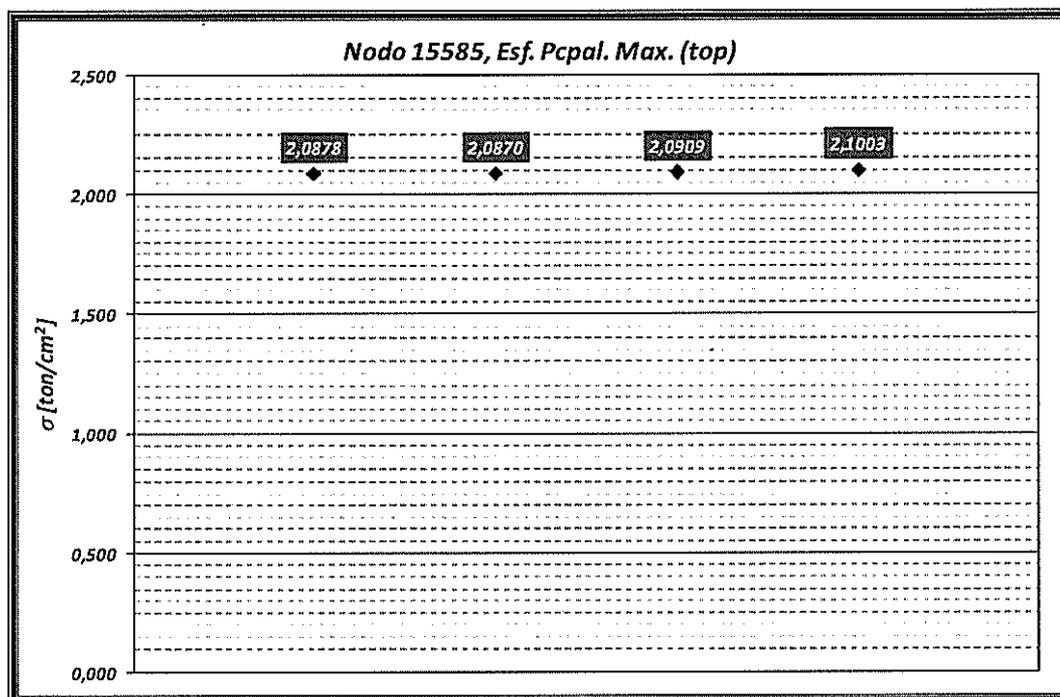


Figura 51. Esfuerzos desarrollados en el nodo 15585 (cara superior)

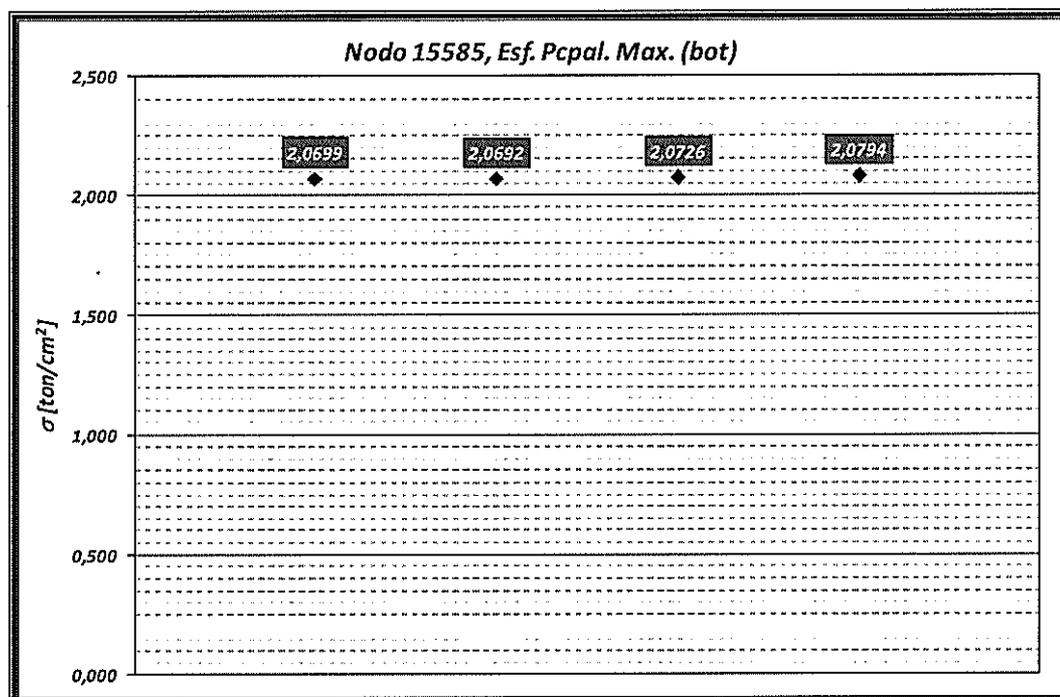
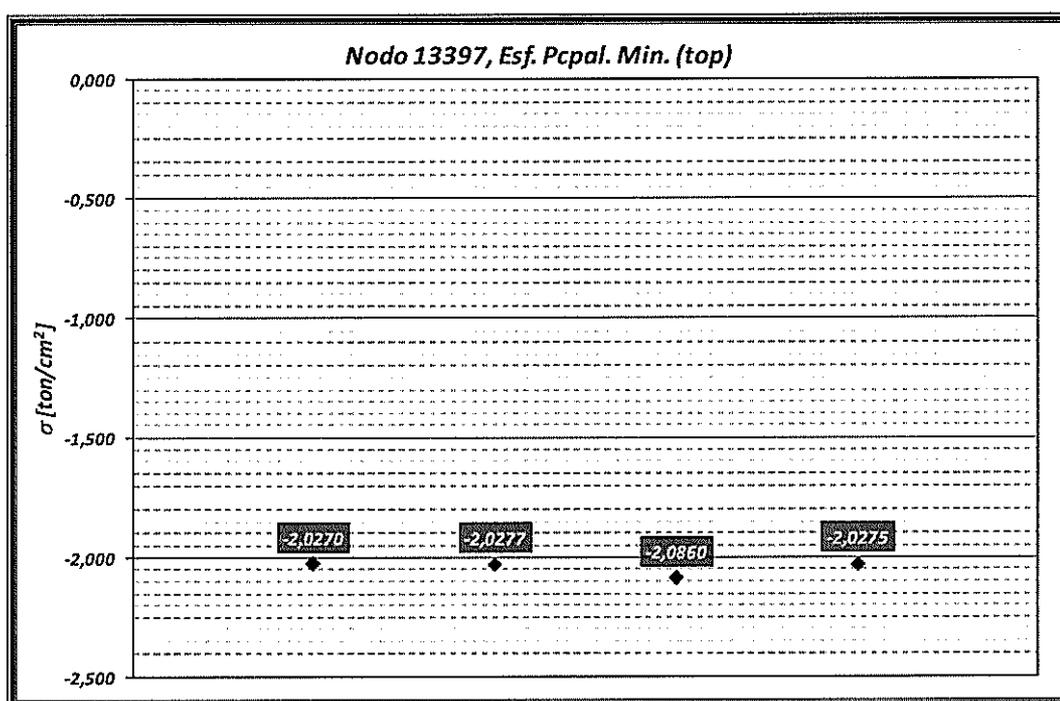
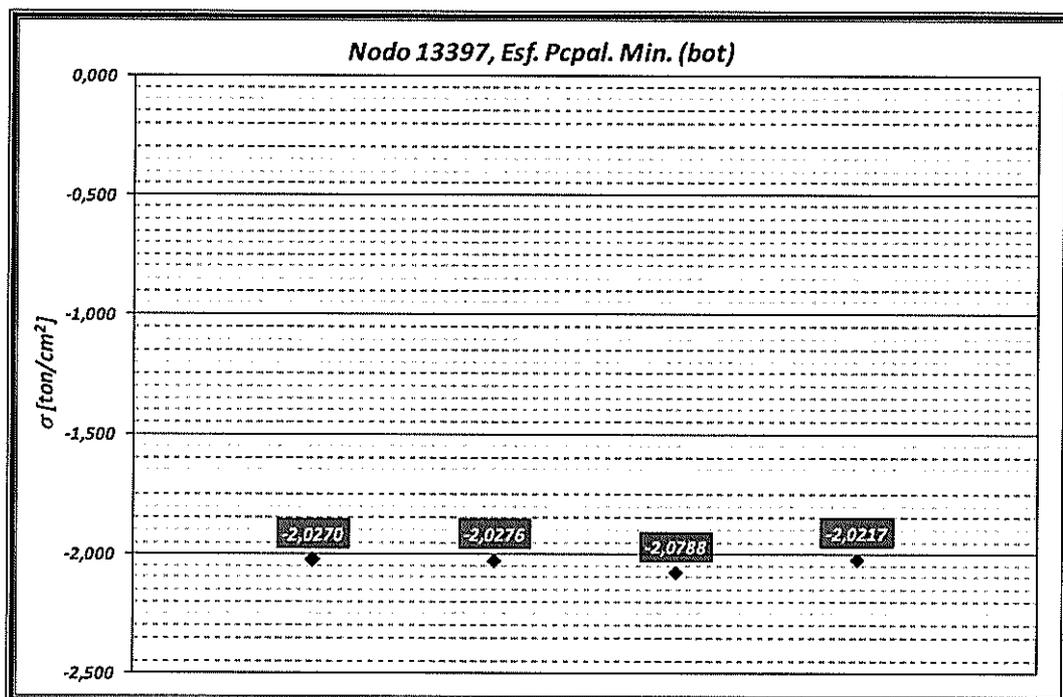


Figura 52. Esfuerzos desarrollados en el nodo 15585 (cara inferior)

El nodo 13397 ubicado en la cuaderna 62 presenta esfuerzos mínimos en ambas caras del elemento, registrando su mayor incremento en la segunda etapa de reparación, para la cara superior con un valor de  $0.059 \text{ ton/cm}^2$ , y, para la cara inferior con un valor de  $0.0518 \text{ ton/cm}^2$ ; estos incrementos representan el 2.91 y 2.56% del esfuerzo original respectivamente.

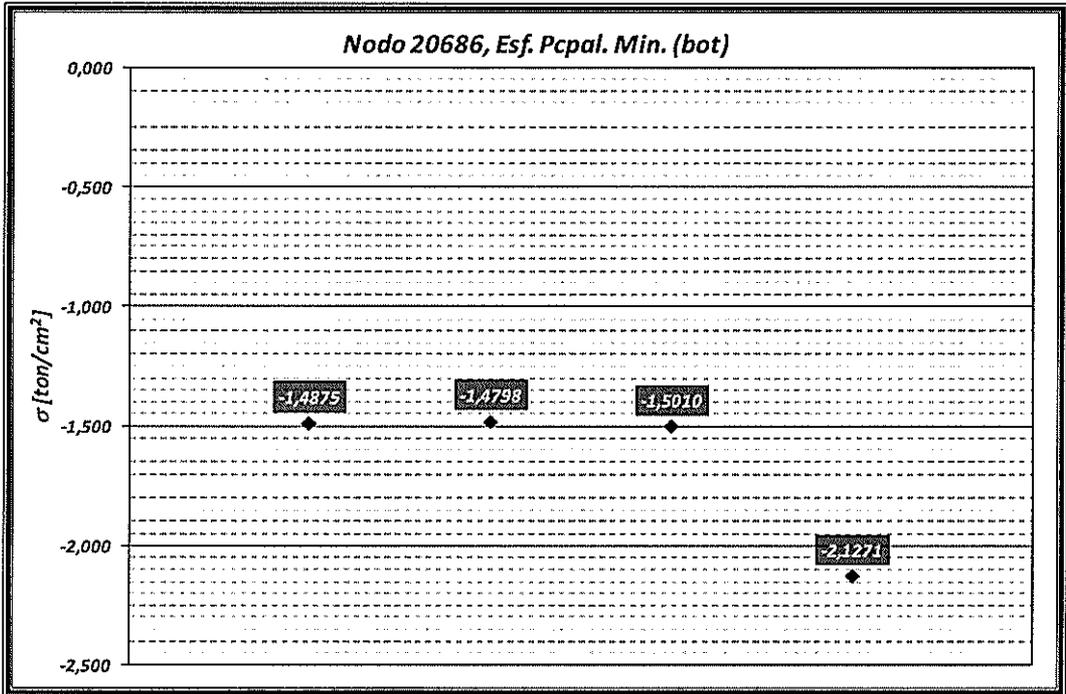


**Figura 53.** Esfuerzos desarrollados en el nodo 13397 (cara superior)



**Figura 54.** Esfuerzos desarrollados en el nodo 13397 (cara inferior)

El nodo 20686 ubicado en la cuaderna 76 presenta esfuerzos mínimos en la cara inferior del elemento, registrando su mayor incremento en la tercera etapa de reparación con un valor de 0.6396 ton/cm<sup>2</sup>, que representa el 43% del esfuerzo original.



**Figura 55.** Esfuerzos desarrollados en el nodo 20686 (cara inferior)

Este incremento se da en la conexión entre la Bulárcama y la segunda Vagra y está ubicado en el sector donde se ha retirado parte del planchaje del casco de la embarcación con sus refuerzos secundarios, como se puede apreciar en la siguiente figura, entonces, por la falta de rigidez estructural en este sector, se produce el incremento en el esfuerzo principal.

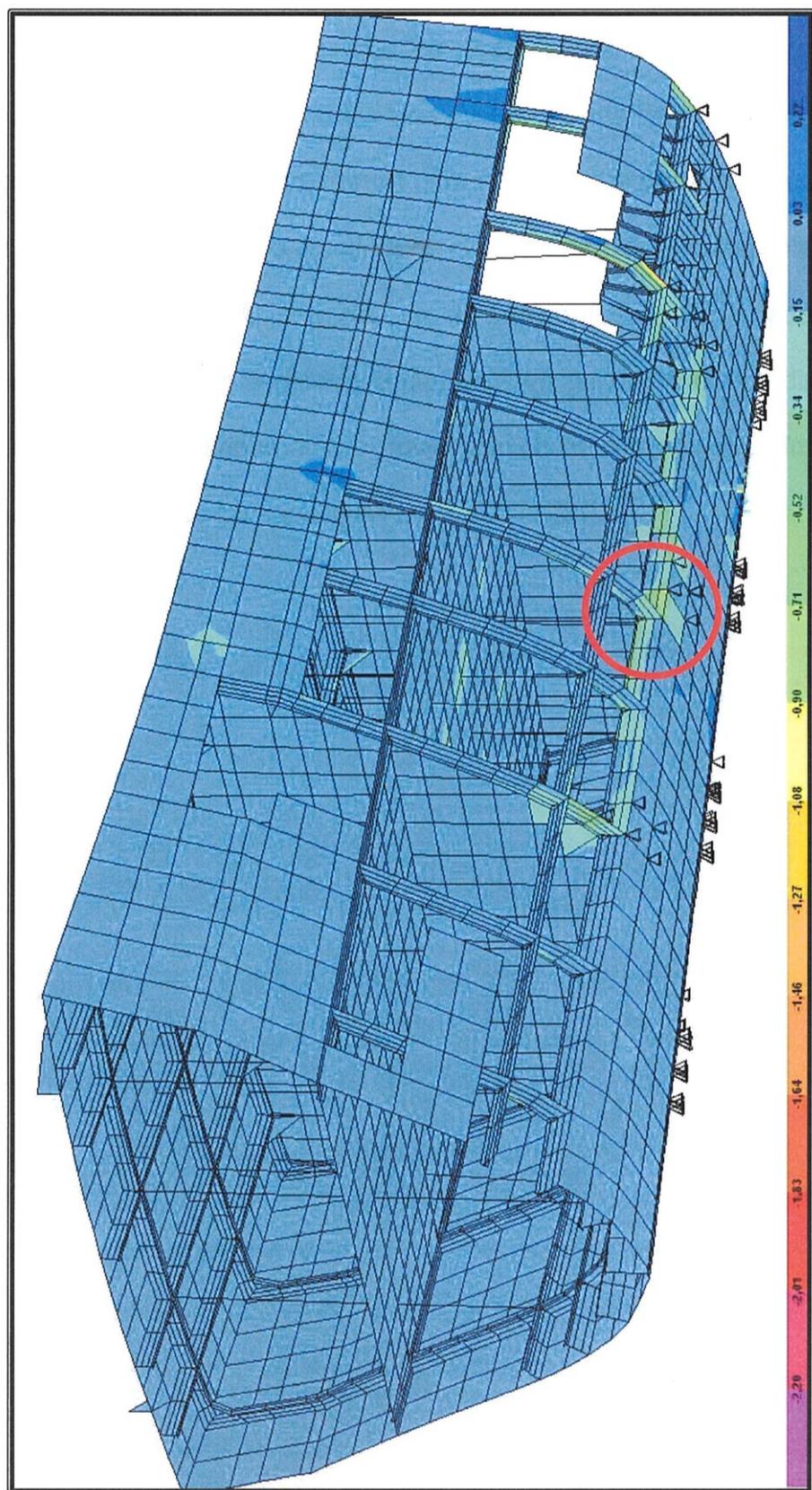


Figura 56. Esfuerzos desarrollados en la conexión entre refuerzos primarios, nodo 20686, cuaderna 76

Para finalizar, cabe mencionar que los desplazamientos de los nodos en la condición original, y durante cada una de las etapas de reparación a la que fue sometida la embarcación, fueron pequeños. En la proa, prácticamente no existieron desplazamientos en ninguna de las tres direcciones, mientras que los desplazamientos en la popa, en el espejo fueron de alrededor de 2 milímetros en dirección vertical, y despreciables en las otras dos direcciones. El resto de la embarcación tuvo un comportamiento similar, con desplazamientos que no superaron los 2 milímetros.

## CONCLUSIONES

Empleando el método de Elementos Finitos se ha analizado la estructura del casco de la corbeta Esmeraldas sometida a tres diferentes etapas de retiro de material estructural durante el proceso de Reparación Integral, tratando de investigar si dichas situaciones explican las deformaciones permanentes que sufrió la estructura del buque. El modelo empleado representó el planchaje y los refuerzos principales como elementos Planos, y los refuerzos secundarios como elementos Vigas, y, se puede concluir lo siguiente:

1. El modelo estructural desarrollado para obtener los objetivos propuestos en este trabajo es apropiado, ya que se representó adecuadamente los elementos primarios, secundarios y la mayor cantidad de detalles estructurales presentes en la estructura real de la embarcación. Fueron representadas completamente las cuadernas y refuerzos longitudinales que comprenden esta estructura, como también las bases para las máquinas propulsoras y los refuerzos del armamento de Proa y Popa. Se emplearon 33711 nodos, 12951 elementos vigas y 39773 elementos planos, y, el problema numérico fue resuelto como un sistema de 198255 ecuaciones de equilibrio. Además, los resultados estructurales calculados a partir de este

modelo fueron razonables, sin la presencia de exageradas concentraciones de esfuerzos.

2. Al analizar los primeros cálculos estructurales, se presentaron concentraciones de esfuerzos muy altas, las mismas que sobrepasaban el Límite de Fluencia del material. Estos ocurrían en las intersecciones entre los refuerzos primarios longitudinales y transversales, y, en la unión con los mamparos estancos. Por este motivo se incluyeron en el modelo numérico las escuadras que conectaban las alas de los refuerzos primarios y el planchaje de los mamparos; con ayuda de estos elementos, al realizar nuevos cálculos de niveles de esfuerzos, estos se redujeron en los sectores mencionados hasta alcanzar valores razonables. De esta manera se comprueba numéricamente la importancia de incorporar estos elementos estructurales para aliviar las concentraciones de esfuerzos que se presentan en varios sectores de la estructura de una embarcación.
3. A partir del modelo estructural original, se retiró parte de los elementos planos y vigas en tres zonas de la embarcación y con esto se representó cada etapa de reparación con un modelo independiente. Los esfuerzos que se desarrollaron en cada uno de los cuatro modelos siempre estuvieron por debajo del Límite de Fluencia del material, sin

embargo existieron sectores en los cuales se presentaron concentraciones de esfuerzos, los cuales correspondieron a las intersecciones entre refuerzos principales, en las conexiones de elementos planos muy pequeños que unieron las alas de cada elemento. Todos estos esfuerzos en los cuatro modelos desarrollados tuvieron valores de alrededor de  $2.00 \text{ ton/cm}^2$ .

4. Los esfuerzos principales encontrados no sufrieron cambios considerables al desarrollarse cada una de las etapas de reparación. En general se encontraron incrementos menores al 3% en comparación con los esfuerzos desarrollados en el modelo original; una excepción fue el caso de la cuaderna 76 en la intersección con la segunda Vagra de Babor, en la cual se observó un incremento del 43% al pasar hacia la tercera etapa de reparación, alcanzando un valor de  $-2.13 \text{ ton/cm}^2$ . En este mismo sector, en la primera y segunda etapa de reparación los esfuerzos se mantuvieron muy cercanos a los originales, como se puede apreciar en la Figura 55. Cabe recalcar que en este sector, a pesar del incremento que se presentó, el nivel de esfuerzos se encontraba por debajo del Límite de Fluencia.
5. A partir del análisis de los esfuerzos desarrollados en la estructura de la corbeta Esmeraldas, tanto en el modelo original como en cada una

de las tres etapas de reparación que se representaron, se observa que estos no sobrepasan el Límite de Fluencia para el acero de alta resistencia utilizado en la construcción del casco de esta embarcación ( $\sigma_y = 3.62 \text{ ton/cm}^2$ ). Por ello se cree que el retiro de material estructural de diferentes sectores de la misma no es la causa principal para producir las deformaciones permanentes que se registraron en la embarcación; por esta razón, se debería investigar además de los esfuerzos desarrollados, calculados en este trabajo, los planes de corte y soldadura realizados durante el proceso de recuperación integral al que fue sometida esta embarcación.

## RECOMENDACIONES

1. En el desarrollo del presente trabajo, primeramente se dibujaron las cuadernas de la embarcación, y luego, estas fueron generadas como elementos planos y vigas; esto produjo problemas al interceptarlas con los elementos longitudinales, por lo que para agilizar el proceso de modelar una estructura tan compleja como el casco de una embarcación, se recomienda empezar a dibujar en AutoCAD en el espacio las líneas que representarán la estructura longitudinal y transversal completa de la misma. Luego comprobar la continuidad de los refuerzos longitudinales, es decir que no tengan cambios bruscos de pendiente. A partir de estas líneas generadas se pueden desarrollar primeramente la estructura transversal según el tipo de elementos que se utilicen y finalmente interceptar con facilidad la estructura longitudinal. De esta manera se evitará realizar correcciones futuras en las intersecciones entre estos elementos.

## APÉNDICE A

### CUADERNAS GENERADAS EN EL ESPACIO PARA EL DESARROLLO DEL MODELO ESTRUCTURAL

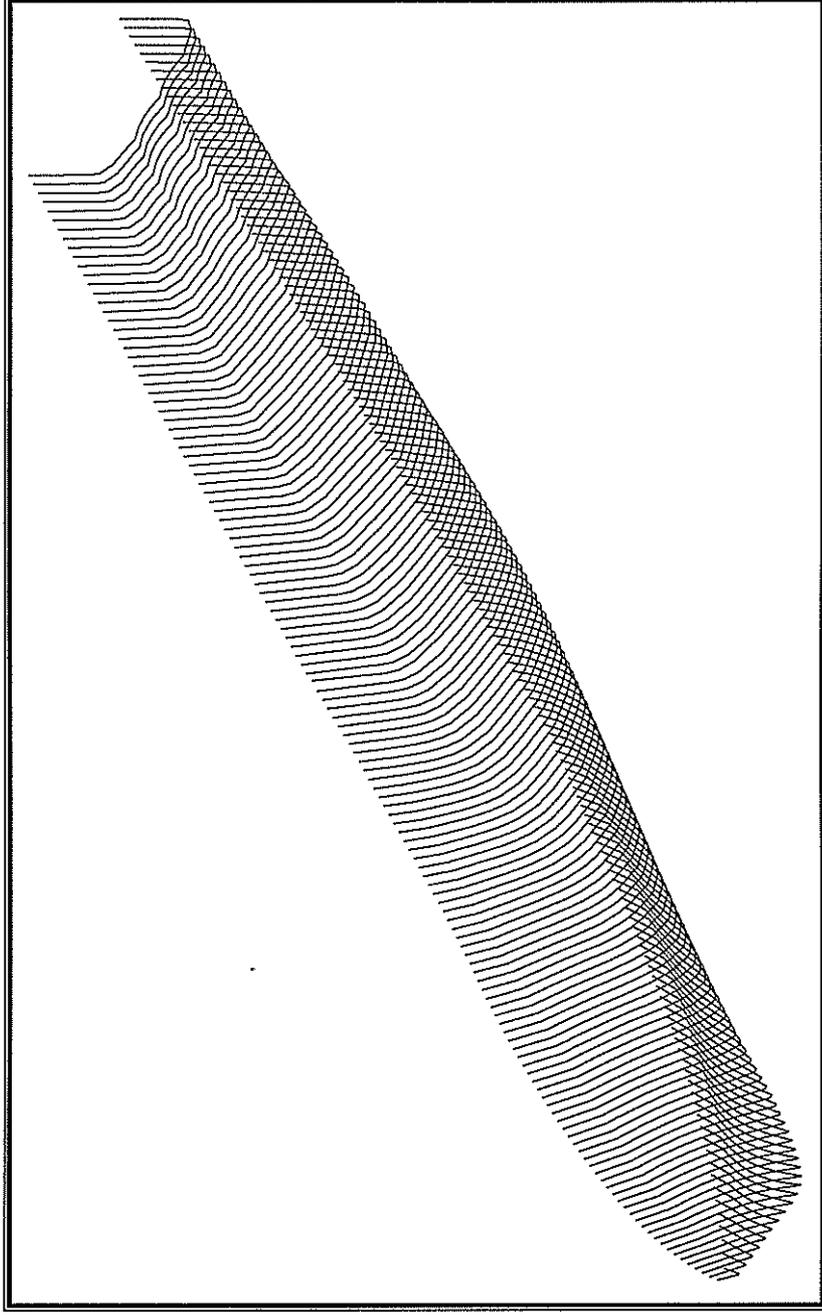


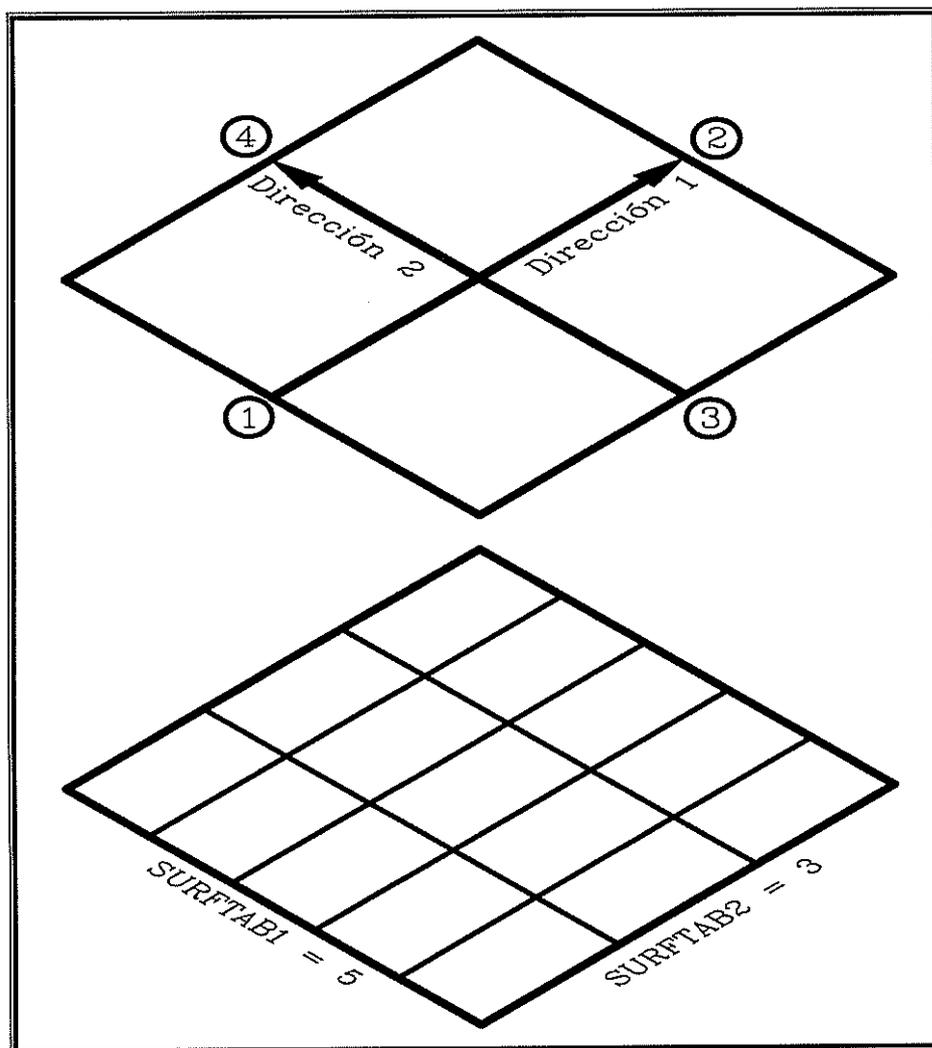
Figura A-1. Cuadernas desarrolladas en el programa AutoCAD

## APÉNDICE B

### DESARROLLO DE ELEMENTOS PLANOS EN AUTOCAD UTILIZANDO EL COMANDO EDGESURF

Como se mencionó anteriormente, una superficie también se puede generar utilizando el comando EDGESURF, el cual genera automáticamente una malla de superficies planas entre cuatro bordes cerrados. Para aplicar este comando primero se seleccionan dos bordes opuestos, los cuales determinan la primera dirección, posteriormente se seleccionan los restantes dos bordes opuestos, los cuales determinaran la segunda dirección de particiones que tendrá el cuadrilátero en donde se va a generar la superficie plana. Para asignar el número de particiones en que se divide la superficie cuadrilátera se utilizan los comandos SURFTAB1, que controla las subdivisiones en la segunda dirección, y, SURFTAB2 que controla las subdivisiones en la primera dirección.

Este tipo de malla es muy útil cuando las superficie a crearse en uniforme, como puede ser el caso de una barcaza, ó, el cuerpo medio paralelo de una embarcación, mientras que las superficies 3D FACE son útiles en sectores no uniformes, como puede ser la proa de la misma.



**Figura B-1.** Generación de superficies con el comando EDGESURF

La malla generada con el comando EDGESURF no es reconocida por el programa SAP2000 al momento de importarla, por lo que es necesario descomponerla primero en superficies independientes del tipo 3D FACE con ayuda del comando EXPLODE. Los ejes locales para los elementos planos generados con el comando EDGESURF se definen de la misma manera que para los elementos 3D FACE.

## APÉNDICE C

### ESPESORES PROMEDIO PARA EL PLANCHAJE DEL CASCO DE LA EMBARCACIÓN

POPA																
fondo 1		fondo 2		fondo 3		costado 1		costado 2		cubierta 1		cubierta 2		cubierta 3		
Eb	Bb	Eb	Bb	Eb	Bb	Eb	Bb	Eb	Bb	Eb	Bb	Eb	Bb	Eb	Bb	
6.0	6.3	4.6	4.7	4.6	3.2	3.3	2.7	2.3	3.7	3.8	2.7	3.0	3.4	2.7	3.1	3.0
6.9	6.8	4.9	4.3	4.7	3.1	3.0	2.6	3.8	3.7	3.8	2.7	3.4	2.6	3.3	3.3	2.7
6.6	7.0	5.0	4.0	4.8	3.4	3.4	2.9	3.9	3.8	3.9	2.4	3.2	3.0	3.1	3.2	3.2
6.7	6.8	5.0	3.3	4.8	3.2	3.5	3.0	3.3	3.6	3.9	3.1	3.5	2.6	3.0	3.0	3.0
6.8	7.0	5.0	3.7	4.8	4.0	3.7	2.5	3.9	3.6	3.9	3.0	3.3	3.2	2.7	3.1	3.0
6.8	6.9	4.8	3.2	4.9	4.0	3.7	2.5	3.6	3.5	3.8	3.5	3.4	2.9	3.2	3.4	3.0
6.8	7.0	4.7	3.6	4.6	3.6	3.6	2.7	3.5	3.8	3.8	3.2	3.2	3.0	3.2	3.5	3.1
6.9	7.0	5.0	3.0	4.8	3.2	3.5	2.6	3.5	3.5	3.8	3.4	3.3	3.1	3.2	3.0	3.4
6.7	7.0	4.8	3.5	4.4	3.4	3.4	2.4	3.9	3.2	3.8	3.3	3.4	3.0	3.2	3.2	3.2
6.9	7.0	4.8	4.6	4.6	3.3	3.2	2.2	3.9	3.3	3.5	2.7	3.2	3.2	3.4	3.1	3.3
6.8	7.0	4.6	5.0	4.7	4.4	2.9	3.3	3.7	3.9	4.0	2.6	2.6	3.2	3.0	3.5	3.3
6.9	7.0	4.9	5.0	4.8	4.4	2.7	3.4	3.6	3.8	3.7	2.9	3.0	3.0	2.4	3.2	3.3
7.0	7.0	4.9	4.7	3.6	4.6	3.0	2.6	4.0	3.5	3.8	2.8	2.4	2.6	3.4	2.7	3.4
7.0	6.8	4.9	4.9	3.0	3.8	3.2	2.7	3.5	3.8	3.8	2.8	3.1	2.4	3.4	2.9	2.7
6.8	7.0	4.8	4.0	3.0	4.2	3.4	3.3	3.0	3.6	3.8	2.4	2.6	3.1	3.3	2.7	3.4
4.8	6.8	4.0	4.4	3.8	3.7	3.5	2.9	3.8	3.6	3.8	2.2	3.5	2.7	3.4	2.6	3.0
5.3	6.9	3.8	4.9	3.2	4.6	3.2	3.4	3.9	3.4	3.7	2.6	3.0	2.6	3.3	3.2	3.3
7.0	6.9	3.2	4.6	4.0	4.8	3.6	3.4	4.0	3.5	3.8	2.2	3.2	2.4	3.2	3.4	3.4
6.8	6.9	3.1	4.7	3.5	4.6	3.4	3.8	3.8	3.9	3.8	2.9	3.1	2.4	3.4	3.3	3.3
7.0	7.0	3.1	4.7		4.7	3.4		3.9	3.8	3.8	2.4	2.6	2.7	3.3	3.4	3.2
7.0		4.0	4.6		4.9	3.6		3.8	3.9	3.8	2.5	2.7	2.8	3.4	3.4	3.4
6.8		3.4	4.8		4.8	3.7		3.9	3.7			3.0	3.4	3.1	3.2	3.5
6.9		3.8	4.8		4.7	3.5		3.8	3.4			2.9	2.8	3.3		3.5
7.0		3.8	4.7		4.9	3.6		3.3	3.6			3.0	3.3	3.4		3.5
6.9			4.6		4.9	2.4		3.2	3.9			2.7	2.7	3.5		
7.0			4.7			2.7		3.6	3.8			2.6	3.0	3.2		
6.9			4.7			2.9		2.8	3.9			2.8	3.5	3.2		
6.9			4.9			2.4		3.3	3.8			2.6	3.0	3.1		
			4.9			3.0		3.5	3.9			2.8	3.6			
						2.2		3.8	3.9			2.7	3.2			
						2.8		3.9	3.9			3.2	2.9			
						2.7		3.8	3.7							
						2.5		3.8	3.8							
						2.7		3.8	3.8							
						2.6		3.5	4.0							
						2.3		3.8	3.8							
								3.5	3.8							
								2.8	3.6							
								2.8	3.4							
								3.7	3.8							
									3.8							
									3.8							
6.7	6.9	4.4	4.4	4.2	4.1	3.1	2.9	3.6	3.7		2.8	3.0	2.9	3.2	3.2	3.2
6.8		4.4		4.2		3.0			3.7		2.9		3.1		3.2	

Tabla C-I. Espesores promedio para el sector de Popa

SECCION MEDIA															
fondo 1		fondo 2		fondo 3		costado 1		costado 2		cubierta 1		cubierta 2		cubierta 3	
Eb	Bb	Eb	Bb	Eb	Bb	Eb	Bb	Eb	Bb	Eb	Bb	Eb	Bb	Eb	Bb
7.5	6.0	4.3	5.3	4.0	3.2	2.2	2.6	3.9	2.7	2.4	2.6	2.6	3.6	3.2	3.0
7.6	6.3	5.8	5.8	4.9	3.2	2.2	2.7	3.8	3.0	2.3	2.9	2.7	3.4	3.0	3.0
7.6	5.7	5.9	5.7	4.8	3.2	2.5	2.9	3.9	4.8	2.6	2.6	2.6	3.7	3.2	3.1
7.8	7.8	6.0	5.5	4.8	3.2	2.6	3.8	3.0	4.5	2.4	2.9	2.9	3.3	3.0	3.4
7.7	7.6	5.9	5.5	4.7	3.2	2.6	3.9	3.8	4.4	2.5	2.4	3.0	3.6		3.1
7.8	5.9	5.8	4.6	4.9	3.2	3.0	2.6	4.0	4.6	3.0	3.1	3.1	3.9		3.0
7.2	7.8	5.8	4.6	4.7	3.2	2.7	3.8	4.0	4.5	3.0	3.0	2.5	3.4		3.2
4.0	7.7	5.9	5.0	4.9	3.2	2.9	4.0	4.0	4.6	3.4	3.2	2.4	3.7		3.4
7.8	4.6	5.6	4.6	4.8	3.2	4.0	3.9	4.0	4.5	3.3	2.6	2.7	3.6		3.1
7.9	5.6	5.7	5.7	4.8	3.2	4.0	2.9	3.5	3.3	3.2	3.2	2.6	3.3		3.4
7.6	4.6	5.2	3.9	4.9	3.8	3.8	2.4	4.0	3.2	2.8	2.7	2.7	3.4		3.4
7.8	5.9	5.7	5.2	4.7	4.7	4.0	2.6	4.0	3.4	2.7	2.8	2.9	3.5		3.0
7.2	7.0	5.6	3.2	4.6	4.7	3.8	4.0	3.8	3.5	2.6	3.2	2.7	2.7		
6.0	3.9	5.7	5.8	3.7	4.3	4.0	2.7	4.0	3.4	2.7	2.7		2.6		
7.6	4.6	6.0	5.2	3.2	3.6	2.7	2.5	3.9	4.5	2.6	2.9		3.3		
7.1	7.3	5.6	5.2	3.4	3.1	2.6	2.7	3.9	4.6	2.6	2.6				
7.2	7.3	6.0	5.7	4.8	4.7	3.0	4.0	4.0	4.5	2.5	2.7				
7.6	7.3	5.6	4.3	4.9	4.7	2.8	4.0	4.0	4.7	2.2	2.8				
7.8	7.3	5.6	5.7	4.7	3.2	2.4	3.9	3.6	4.6	2.6	2.7				
7.0	4.1	5.7	5.8	4.2	3.2	3.2	2.8	3.7	4.0	2.7	2.6				
7.5	5.8	5.7	5.8	4.1	4.7	2.8	3.8	4.9	4.7	2.7	2.9				
7.7	5.6	6.0	5.2	3.9	4.9	4.0	4.0	4.8	4.7	3.2	2.4				
6.8	7.6	5.6	5.8	3.6	4.8	4.0	3.1	4.7	4.8	2.9	2.7				
7.3	6.9	5.5	5.2	4.0	4.9	3.2	3.2	4.7	4.7	3.0	2.7				
7.5	7.6	6.0	5.8	3.6	5.0	3.9	3.0	3.8	4.8	2.7	2.6				
	5.6	5.7	5.7	4.0	4.4	3.2	2.7	5.0	4.7	2.6	3.1				
	7.6	5.4	5.9	4.6	4.3	4.0	2.9	5.0	4.6		2.5				
	7.9	5.7	5.6	4.6	4.6	3.2	2.7	4.7	4.3		2.2				
	7.7	5.7	5.6	4.7	4.8	2.8	2.6	4.8	3.9		2.6				
	6.7	5.7	5.7	4.4	4.8	3.2	3.0	3.8	4.7						
		5.8	5.6	4.7	3.7	3.2	2.8	4.8	3.8						
		5.5	5.8	4.7	4.7	2.5	2.6	3.9	4.0						
		5.3	5.8	4.7	4.5	2.7	2.4	4.6	4.0						
		5.6	5.8	4.9	3.8	3.1	3.0	4.0	3.7						
		5.5	5.7		3.2	3.0	2.7	4.9							
		5.7				3.0	2.7	4.8							
		5.5				3.0		4.8							
						3.0		4.8							
								4.8							
								4.2							
7.3	6.4	5.7	5.4	4.4	4.0	3.1	3.1	4.2	4.2	2.7	2.8	2.7	3.4	3.1	3.2
6.8		5.5		4.2		3.1		4.2		2.7		3.1		3.2	

Tabla C-II. Espesores promedio para el sector de Sección Media



## APÉNDICE D

### CÁLCULO DE LAS ÁREAS E INERCIAS EFECTIVAS PARA LOS REFUERZOS SECUNDARIOS

Los elementos secundarios para este trabajo fueron representados en el programa SAP2000 como elementos FRAME, por ello se ha calculado el área correspondiente de cada refuerzo y su inercia efectiva. Para esta última, se ha considerado el ancho efectivo del conjunto plancha – refuerzo que, según ABS, es tomado como el 30% de la longitud no soportada entre refuerzos [15].

A continuación se presentan los cálculos desarrollados para cada refuerzo secundario representado en este trabajo:

BAO							
Elemento	$b [cm]$	$h [cm]$	$z [cm]$	$A [cm^2]$	$Az [cm^3]$	$Az^2 [cm^4]$	$I_o [cm^4]$
<i>Plancha fondo</i>	28.00	0.31	0.16	8.68	1.35	0.21	0.07
<i>Platina</i>	0.50	8.00	4.31	4.00	17.24	74.30	21.33
			$\Sigma$	12.68	18.59	74.51	21.40

$Z_{medio} [cm]$	1.47
$I_o [cm^4]$	68.67
$SM [cm^3]$	10.03

**Tabla D-I.** Refuerzo transversal secundario de cubierta

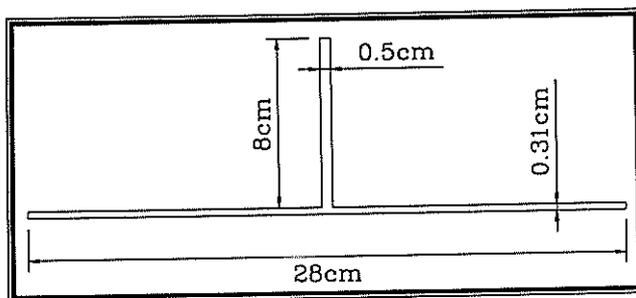


Figura D-1. Refuerzo transversal secundario de cubierta

Cuaderna							
Elemento	$b$ [cm]	$h$ [cm]	$z$ [cm]	$A$ [cm <sup>2</sup> ]	$Az$ [cm <sup>3</sup> ]	$Az^2$ [cm <sup>4</sup> ]	$I_o$ [cm <sup>4</sup> ]
Plancha fondo	28.00	0.44	0.22	12.32	2.71	0.60	0.20
Platina	0.50	8.00	4.44	4.00	17.76	78.85	21.33
			$\Sigma$	16.32	20.47	79.45	21.53

$z_{medio}$ [cm]	1.25
$I_o$ [cm <sup>4</sup> ]	75.31
$SM$ [cm <sup>3</sup> ]	10.48

Tabla D-II. Cuaderna simple

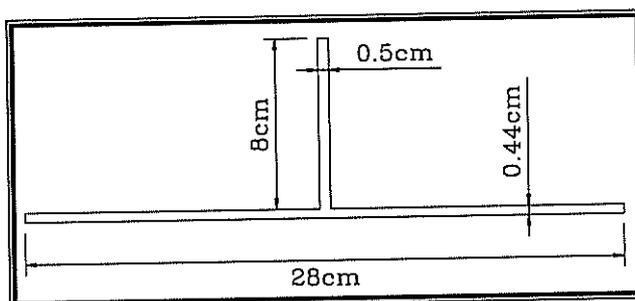


Figura D-2. Cuaderna simple

<i>Cuaderna Intermedia</i>							
<i>Elemento</i>	<i>b [cm]</i>	<i>h [cm]</i>	<i>z [cm]</i>	<i>A [cm<sup>2</sup>]</i>	<i>Az [cm<sup>3</sup>]</i>	<i>Az<sup>2</sup> [cm<sup>4</sup>]</i>	<i>I<sub>o</sub> [cm<sup>4</sup>]</i>
<i>Plancha fondo</i>	41.20	0.31	0.16	12.77	1.98	0.31	0.10
<i>Platina</i>	0.50	8.00	4.31	4.00	17.24	74.30	21.33
			$\Sigma$	16.77	19.22	74.61	21.44

<i>z<sub>medio</sub> [cm]</i>	1.15
<i>I<sub>o</sub> [cm<sup>4</sup>]</i>	74.02
<i>SM [cm<sup>3</sup>]</i>	10.33

Tabla D-III. Cuaderna intermedia

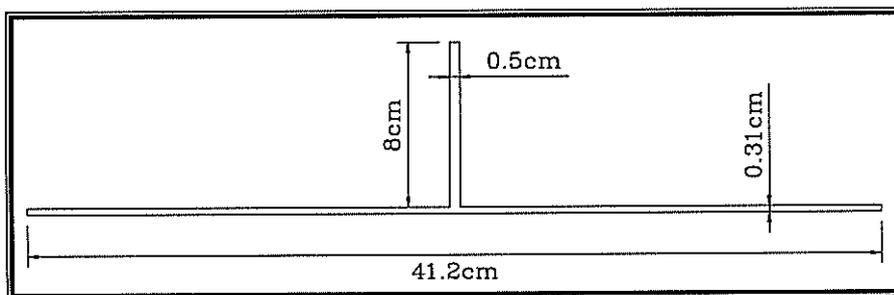


Figura D-3. Cuaderna intermedia

<i>Espejo Bulbo</i>							
<i>Elemento</i>	<i>b [cm]</i>	<i>h [cm]</i>	<i>z [cm]</i>	<i>A [cm<sup>2</sup>]</i>	<i>Az [cm<sup>3</sup>]</i>	<i>Az<sup>2</sup> [cm<sup>4</sup>]</i>	<i>I<sub>o</sub> [cm<sup>4</sup>]</i>
<i>Plancha fondo</i>	23.00	0.36	0.18	8.28	1.49	0.27	0.09
<i>Bulbó</i>	0.60	12.00	7.56	9.31	70.38	532.10	133.00
			$\Sigma$	17.59	71.87	532.37	133.09

<i>z<sub>medio</sub> [cm]</i>	4.09
<i>I<sub>o</sub> [cm<sup>4</sup>]</i>	371.78
<i>SM [cm<sup>3</sup>]</i>	44.93

Tabla D-IV. Refuerzo tipo bulbo del espejo

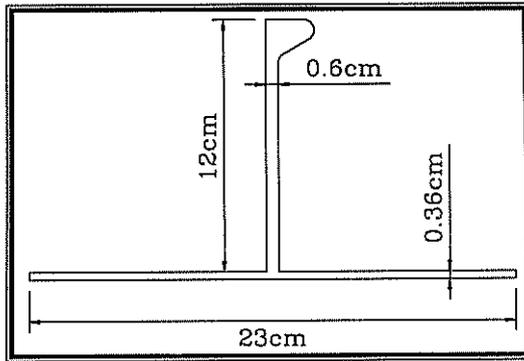


Figura D-4. Refuerzo tipo bulbo del espejo

Espejo Platina							
Elemento	$b$ [cm]	$h$ [cm]	$z$ [cm]	$A$ [cm <sup>2</sup> ]	$Az$ [cm <sup>3</sup> ]	$Az^2$ [cm <sup>4</sup> ]	$I_o$ [cm <sup>4</sup> ]
Plancha fondo	28.00	0.36	0.18	10.08	1.81	0.33	0.11
Platina	0.50	8.00	4.36	4.00	17.44	76.04	21.33
			$\Sigma$	14.08	19.25	76.36	21.44

$z_{medio}$ [cm]	1.37
$I_o$ [cm <sup>4</sup> ]	71.48
$SM$ [cm <sup>3</sup> ]	10.22

Tabla D-V. Refuerzo tipo platina del espejo

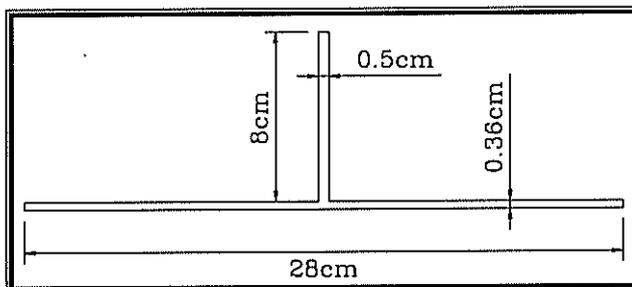


Figura D-5. Refuerzo tipo platina del espejo

Mamparo Platina							
Elemento	$b$ [cm]	$h$ [cm]	$z$ [cm]	$A$ [cm <sup>2</sup> ]	$Az$ [cm <sup>3</sup> ]	$Az^2$ [cm <sup>4</sup> ]	$I_o$ [cm <sup>4</sup> ]
Plancha fondo	28.00	0.35	0.18	9.80	1.72	0.30	0.10
Platina	0.50	6.00	3.35	3.00	10.05	33.67	9.00
$\Sigma$				12.80	11.77	33.97	9.10

$z_{medio}$ [cm]	0.92
$I_o$ [cm <sup>4</sup> ]	32.25
$SM$ [cm <sup>3</sup> ]	5.94

Tabla D-VI. Refuerzo tipo platina de mamparo

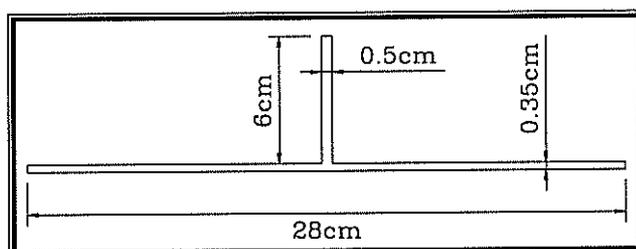


Figura D-6. Refuerzo tipo platina de mamparo

Mamparo Refuerzo T1							
Elemento	$b$ [cm]	$h$ [cm]	$z$ [cm]	$A$ [cm <sup>2</sup> ]	$Az$ [cm <sup>3</sup> ]	$Az^2$ [cm <sup>4</sup> ]	$I_o$ [cm <sup>4</sup> ]
Plancha fondo	30.00	0.35	0.18	10.50	1.84	0.32	0.11
Alma	0.60	26.00	13.35	15.60	208.26	2780.27	878.80
Ala	12.00	1.00	26.85	12.00	322.20	8651.07	1.00
$\Sigma$				38.10	532.30	11431.66	879.91

$z_{medio}$ [cm]	13.97
$I_o$ [cm <sup>4</sup> ]	4874.81
$SM$ [cm <sup>3</sup> ]	364.36

Tabla D-VII. Refuerzo tipo T de mamparo

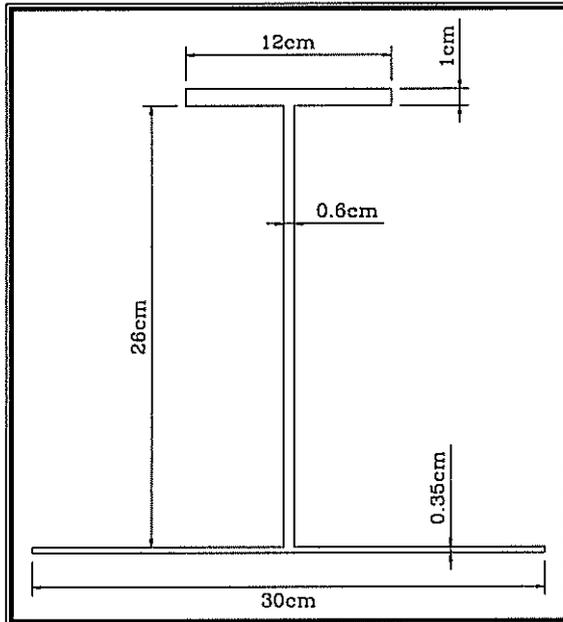


Figura D-7. Refuerzo tipo T de mamparo

Mamparo Refuerzo T2							
Elemento	$b$ [cm]	$h$ [cm]	$z$ [cm]	$A$ [cm <sup>2</sup> ]	$Az$ [cm <sup>3</sup> ]	$Az^2$ [cm <sup>4</sup> ]	$I_o$ [cm <sup>4</sup> ]
Plancha fondo	30.00	0.35	0.18	10.50	1.84	0.32	0.11
Alma	0.50	13.00	6.85	6.50	44.53	305.00	91.54
Ala	8.00	0.50	13.60	4.00	54.40	739.84	0.08
$\Sigma$				21.00	100.76	1045.16	91.73

$Z_{medio}$ [cm]	4.80
$I_o$ [cm <sup>4</sup> ]	653.41
$SM$ [cm <sup>3</sup> ]	72.19

Tabla D-VIII. Refuerzo tipo T de mamparo

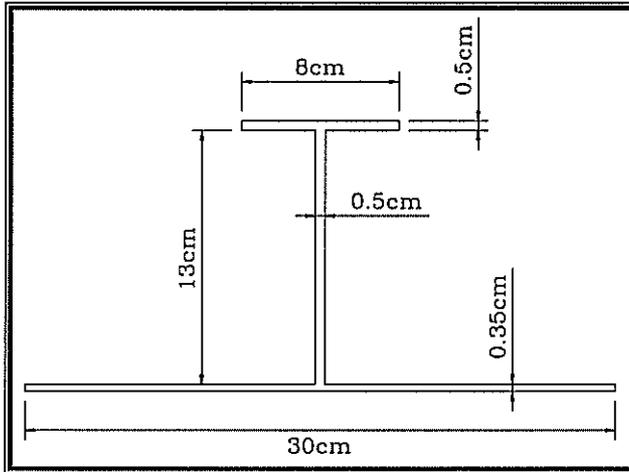


Figura D-8. Refuerzo tipo T de mamparo

Mamparo Refuerzo T3							
Elemento	$b$ [cm]	$h$ [cm]	$z$ [cm]	$A$ [cm <sup>2</sup> ]	$Az$ [cm <sup>3</sup> ]	$Az^2$ [cm <sup>4</sup> ]	$I_o$ [cm <sup>4</sup> ]
Plancha fondo	69.00	0.35	0.18	24.15	4.23	0.74	0.25
Alma	0.45	7.00	3.85	3.15	12.13	46.69	12.86
Ala	10.00	0.70	7.70	7.00	53.90	415.03	0.29
			$\Sigma$	34.30	70.25	462.46	13.39

$z_{medio}$ [cm]	2.05
$I_o$ [cm <sup>4</sup> ]	331.96
$SM$ [cm <sup>3</sup> ]	55.31

Tabla D-IX. Refuerzo tipo T de mamparo

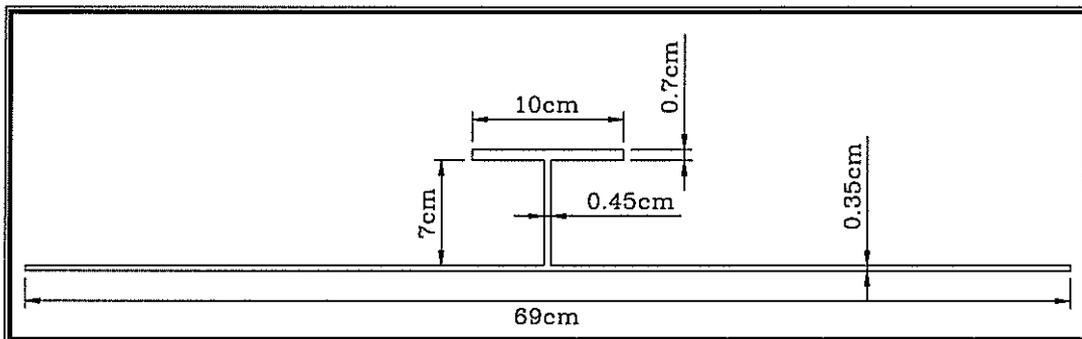


Figura D-9. Refuerzo tipo T de mamparo

Mamparo Refuerzo T4							
Elemento	$b$ [cm]	$h$ [cm]	$z$ [cm]	$A$ [cm <sup>2</sup> ]	$Az$ [cm <sup>3</sup> ]	$Az^2$ [cm <sup>4</sup> ]	$I_o$ [cm <sup>4</sup> ]
Plancha fondo	30.00	0.35	0.18	10.50	1.84	0.32	0.11
Alma	0.50	14.00	7.35	7.00	51.45	378.16	114.33
Ala	10.00	0.70	14.70	7.00	102.90	1512.63	0.29
$\Sigma$				24.50	156.19	1891.11	114.73

$z_{medio}$ [cm]	6.38
$I_o$ [cm <sup>4</sup> ]	1010.14
$SM$ [cm <sup>3</sup> ]	116.44

Tabla D-X. Refuerzo tipo T de mamparo

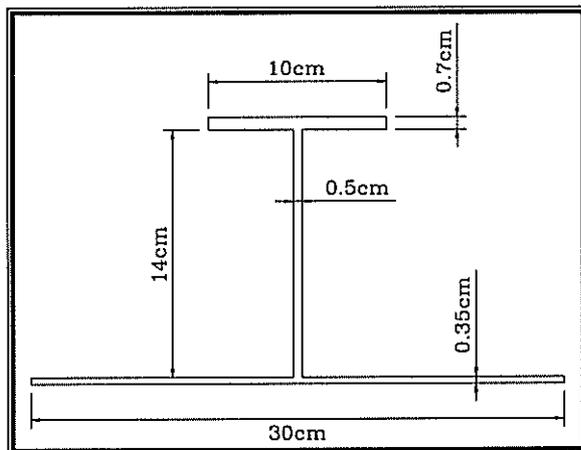


Figura D-10. Refuerzo tipo T de mamparo

Longitudinal Bulbo							
Elemento	$b$ [cm]	$h$ [cm]	$z$ [cm]	$A$ [cm <sup>2</sup> ]	$Az$ [cm <sup>3</sup> ]	$Az^2$ [cm <sup>4</sup> ]	$I_o$ [cm <sup>4</sup> ]
Plancha fondo	30.00	0.50	0.25	15.00	3.75	0.94	0.31
Bulbo	0.60	12.00	7.70	9.31	71.69	551.99	133.00
$\Sigma$				24.31	75.44	552.93	133.31

$z_{medio}$ [cm]	3.10
$I_o$ [cm <sup>4</sup> ]	452.15
$SM$ [cm <sup>3</sup> ]	48.12

Tabla D-XI. Refuerzo longitudinal tipo bulbo

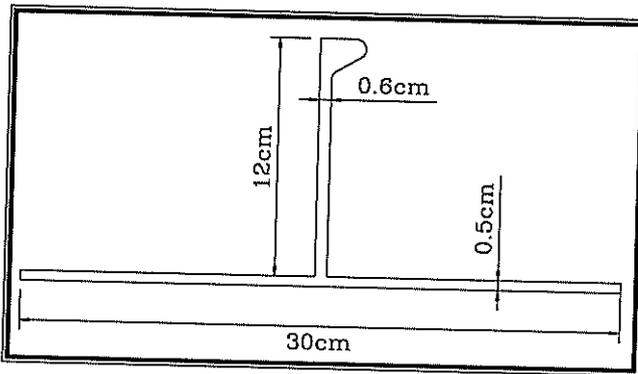


Figura D-11. Refuerzo longitudinal tipo bulbo

Longitudinal Platina							
Elemento	$b$ [cm]	$h$ [cm]	$z$ [cm]	$A$ [cm <sup>2</sup> ]	$Az$ [cm <sup>3</sup> ]	$Az^2$ [cm <sup>4</sup> ]	$I_o$ [cm <sup>4</sup> ]
Plancha fondo	30.00	0.33	0.17	9.90	1.63	0.27	0.09
Platina	0.50	8.00	4.33	4.00	17.32	75.00	21.33
$\Sigma$				13.90	18.95	75.27	21.42

$z_{medio}$ [cm]	1.36
$I_o$ [cm <sup>4</sup> ]	70.84
$SM$ [cm <sup>3</sup> ]	10.17

Tabla D-XII. Refuerzo longitudinal tipo platina

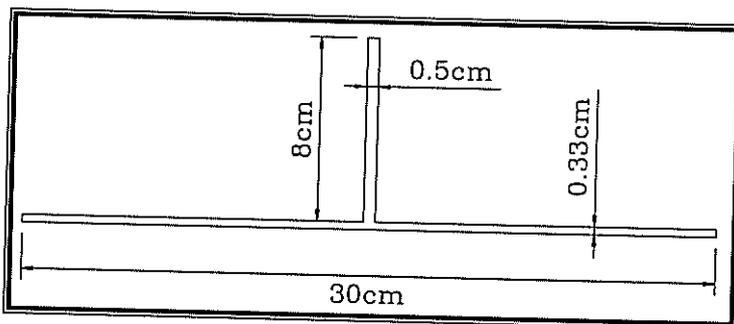


Figura D-12. Refuerzo longitudinal tipo platina

<i>Longitudinal Cubierta Intermedia</i>							
<i>Elemento</i>	<i>b [cm]</i>	<i>h [cm]</i>	<i>z [cm]</i>	<i>A [cm<sup>2</sup>]</i>	<i>Az [cm<sup>3</sup>]</i>	<i>Az<sup>2</sup> [cm<sup>4</sup>]</i>	<i>I<sub>o</sub> [cm<sup>4</sup>]</i>
<i>Plancha fondo</i>	120.00	0.30	0.15	36.00	5.40	0.81	0.27
<i>Alma</i>	0.30	15.00	7.80	4.50	35.10	273.78	84.38
<i>Ala</i>	8.00	0.50	15.55	4.00	62.20	967.21	0.08
			$\Sigma$	44.50	102.70	1241.80	84.73

<i>z<sub>medio</sub> [cm]</i>	2.31
<i>I<sub>o</sub> [cm<sup>4</sup>]</i>	1089.51
<i>SM [cm<sup>3</sup>]</i>	80.75

Tabla D-XIII. Refuerzo longitudinal tipo T de cubierta intermedia

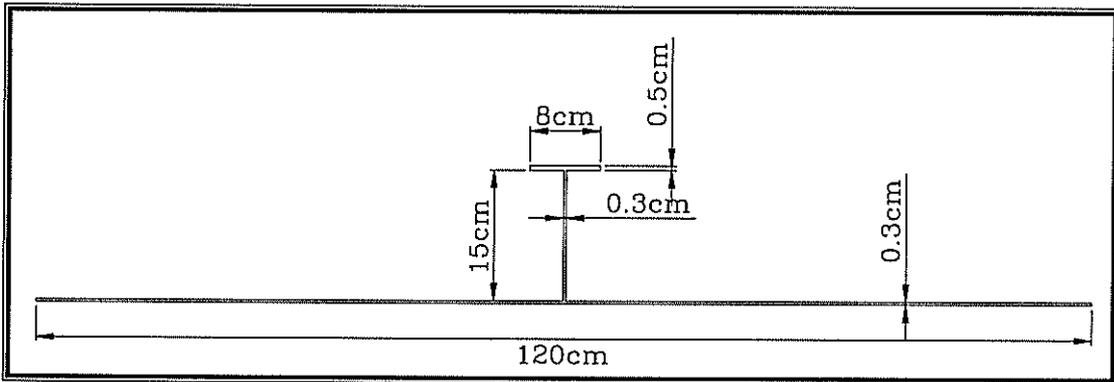


Figura D-13. Refuerzo longitudinal tipo T de cubierta intermedia

<i>Transversal T Cubierta Intermedia</i>							
<i>Elemento</i>	<i>b [cm]</i>	<i>h [cm]</i>	<i>z [cm]</i>	<i>A [cm<sup>2</sup>]</i>	<i>Az [cm<sup>3</sup>]</i>	<i>Az<sup>2</sup> [cm<sup>4</sup>]</i>	<i>I<sub>o</sub> [cm<sup>4</sup>]</i>
<i>Plancha fondo</i>	28.00	0.30	0.15	8.40	1.26	0.19	0.06
<i>Alma</i>	0.30	15.00	7.80	4.50	35.10	273.78	84.38
<i>Ala</i>	8.00	0.50	15.55	4.00	62.20	967.21	0.08
			$\Sigma$	16.90	98.56	1241.18	84.52

<i>z<sub>medio</sub> [cm]</i>	5.83
<i>I<sub>o</sub> [cm<sup>4</sup>]</i>	750.90
<i>SM [cm<sup>3</sup>]</i>	75.33

Tabla D-XIV. Refuerzo transversal tipo T de cubierta intermedia

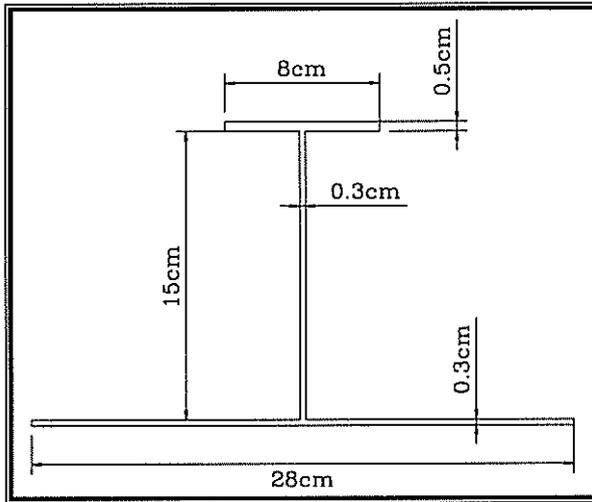


Figura D-14. Refuerzo transversal tipo T de cubierta intermedia

Transversal Platina Cubierta Intermedia							
Elemento	$b$ [cm]	$h$ [cm]	$z$ [cm]	$A$ [cm <sup>2</sup> ]	$Az$ [cm <sup>3</sup> ]	$Az^2$ [cm <sup>4</sup> ]	$I_o$ [cm <sup>4</sup> ]
Plancha fondo	28.00	0.30	0.15	8.40	1.26	0.19	0.06
Platina	0.50	8.00	4.30	4.00	17.20	73.96	21.33
			$\Sigma$	12.40	18.46	74.15	21.40

$z_{medio}$ [cm]	1.49
$I_o$ [cm <sup>4</sup> ]	68.06
$SM$ [cm <sup>3</sup> ]	9.99

Tabla D-XV. Refuerzo transversal tipo platina de cubierta intermedia

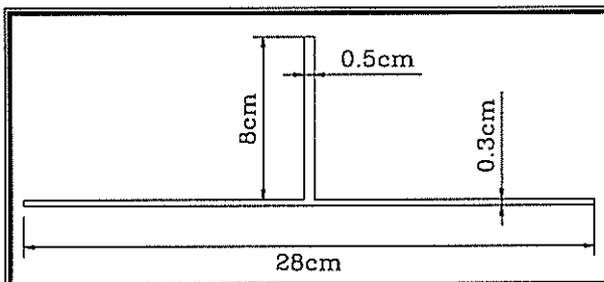


Figura D-15. Refuerzo transversal tipo platina de cubierta intermedia

## APÉNDICE E

### DISTRIBUCIÓN DE PESOS SOBRE LOS NODOS EN EL MODELO ESTRUCTURAL

El peso propio de la estructura del casco de la embarcación (105.08 ton) es calculado por el programa SAP2000, a este se le adiciona los pesos de los accesorios presentes en la misma, los cuales han sido clasificados de la siguiente manera:

- Peso de la Superestructura (15.43 ton) distribuido sobre un total de 546 nodos.
- Peso de Cubierta de Vuelo (11.44 ton) distribuidos sobre un total de 105 nodos.
- Peso de los cañones (13.25 ton) distribuidos sobre un total de 32 nodos.
- Peso del resto de equipos y accesorios (196.04 ton) distribuidos como se muestra en la siguiente tabla:

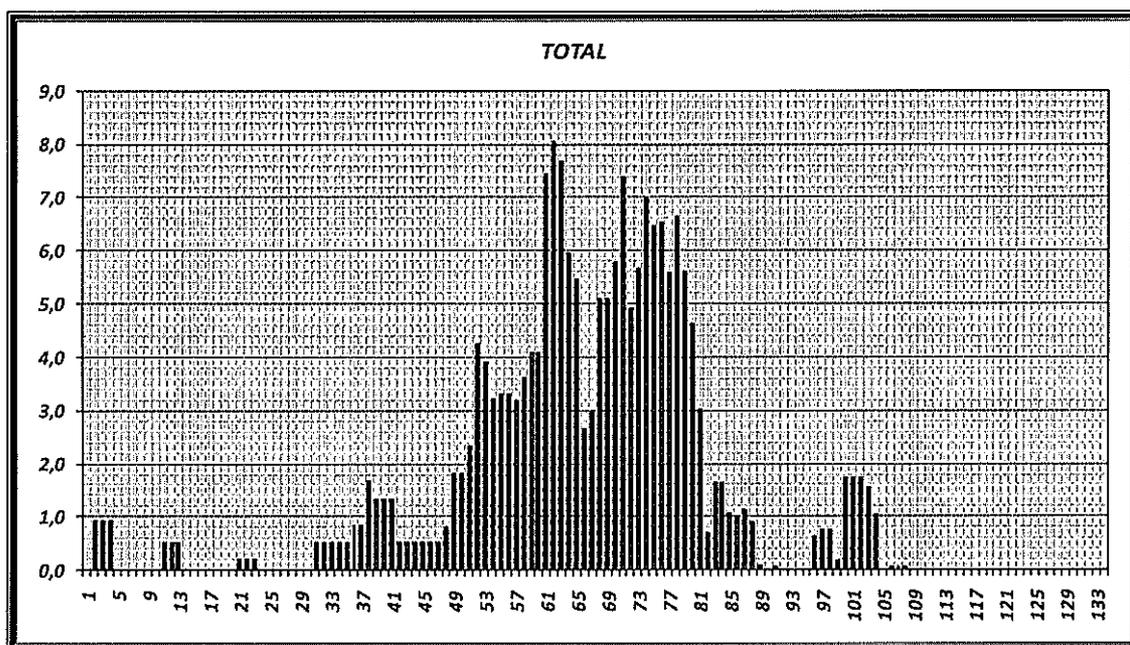
Cuad.	Peso por cada nodo [Ton]					
	Cubierta Principal		Cubierta Intermedia		Fondo	
0	0.00000	(15 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(13 nodos)
1	0.00000	(15 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.07077	(13 nodos)
2	0.00000	(15 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.07077	(13 nodos)
3	0.00000	(15 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.07077	(13 nodos)
4	0.00000	(15 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(13 nodos)
5	0.00000	(15 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(13 nodos)
6	0.00000	(15 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(13 nodos)
7	0.00000	(15 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(13 nodos)
8	0.00000	(15 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(13 nodos)
9	0.00000	(15 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(13 nodos)
10	0.00000	(15 nodos)	0.04848	(11 nodos)	0.00000	(13 nodos)
11	0.00000	(15 nodos)	0.04848	(11 nodos)	0.00000	(13 nodos)
12	0.00000	(15 nodos)	0.04848	(11 nodos)	0.00000	(13 nodos)
13	0.00000	(15 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(13 nodos)
14	0.00000	(15 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(13 nodos)
15	0.00000	(15 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(13 nodos)
16	0.00000	(15 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(13 nodos)
17	0.00000	(15 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(13 nodos)
18	0.00000	(15 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(13 nodos)
19	0.00000	(15 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(13 nodos)
20	0.00000	(15 nodos)	0.01894	(11 nodos)	0.00000	(13 nodos)
21	0.00000	(15 nodos)	0.01894	(11 nodos)	0.00000	(13 nodos)
22	0.00000	(15 nodos)	0.01894	(11 nodos)	0.00000	(13 nodos)
23	0.00000	(15 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(13 nodos)
24	0.00000	(15 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(13 nodos)
25	0.00000	(15 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(13 nodos)
26	0.00000	(15 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(13 nodos)
27	0.00000	(15 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(13 nodos)
28	0.00000	(15 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(13 nodos)
29	0.00000	(15 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(13 nodos)
30	0.00000	(15 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.03944	(13 nodos)
31	0.00000	(15 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.03944	(13 nodos)
32	0.00000	(15 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.03944	(13 nodos)
33	0.00000	(15 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.03944	(13 nodos)
34	0.00000	(15 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.03944	(13 nodos)
35	0.01481	(9 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.05482	(13 nodos)
36	0.01481	(9 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.05482	(13 nodos)
37	0.01481	(9 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.11846	(13 nodos)
38	0.00000	(9 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.10307	(13 nodos)
39	0.00000	(9 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.10307	(13 nodos)
40	0.00000	(9 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.10307	(13 nodos)
41	0.00000	(9 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.03944	(13 nodos)
42	0.00000	(9 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.03944	(13 nodos)
43	0.00000	(9 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.03944	(13 nodos)

44	0.00000	(9 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.03944	(13 nodos)
45	0.00000	(9 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.03944	(13 nodos)
46	0.00000	(9 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.03944	(13 nodos)
47	0.02248	(19 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.02974	(13 nodos)
48	0.02248	(19 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.10751	(13 nodos)
49	0.02248	(19 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.10751	(13 nodos)
50	0.04933	(19 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.10751	(13 nodos)
51	0.11423	(19 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.16095	(13 nodos)
52	0.19368	(9 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.16787	(13 nodos)
53	0.19368	(9 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.11280	(13 nodos)
54	0.19368	(9 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.12049	(13 nodos)
55	0.19368	(9 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.12049	(13 nodos)
56	0.23557	(9 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.08318	(13 nodos)
57	0.23557	(9 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.11615	(13 nodos)
58	0.28598	(9 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.11615	(13 nodos)
59	0.28598	(9 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.11615	(13 nodos)
60	0.55454	(9 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.18958	(13 nodos)
61	0.62182	(9 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.18958	(13 nodos)
62	0.62182	(9 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.15983	(13 nodos)
63	0.43182	(9 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.15983	(13 nodos)
64	0.19890	(17 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.15983	(13 nodos)
65	0.09031	(17 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.08640	(13 nodos)
66	0.09031	(17 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.11317	(13 nodos)
67	0.11414	(17 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.24146	(13 nodos)
68	0.11414	(17 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.24146	(13 nodos)
69	0.09196	(17 nodos)	0.09695	(11 nodos)	0.24146	(13 nodos)
70	0.11630	(17 nodos)	0.23683	(11 nodos)	0.21469	(13 nodos)
71	0.05863	(17 nodos)	0.25483	(11 nodos)	0.08640	(13 nodos)
72	0.06530	(17 nodos)	0.31285	(11 nodos)	0.08640	(13 nodos)
73	0.14306	(17 nodos)	0.31285	(11 nodos)	0.08640	(13 nodos)
74	0.14812	(17 nodos)	0.29485	(11 nodos)	0.05344	(13 nodos)
75	0.15253	(17 nodos)	0.29485	(11 nodos)	0.05344	(13 nodos)
76	0.13465	(17 nodos)	0.23683	(11 nodos)	0.05344	(13 nodos)
77	0.15274	(17 nodos)	0.30501	(11 nodos)	0.05344	(13 nodos)
78	0.09238	(17 nodos)	0.30501	(11 nodos)	0.05344	(13 nodos)
79	0.03335	(17 nodos)	0.30501	(11 nodos)	0.05344	(13 nodos)
80	0.00306	(17 nodos)	0.20806	(11 nodos)	0.05344	(13 nodos)
81	0.00000	(17 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.05344	(13 nodos)
82	0.05636	(17 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.05344	(13 nodos)
83	0.05636	(17 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.05344	(13 nodos)
84	0.06234	(17 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(13 nodos)
85	0.05999	(17 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(13 nodos)
86	0.06587	(17 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(13 nodos)
87	0.05313	(17 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(13 nodos)
88	0.00588	(17 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(13 nodos)

89	0.00000	(17 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(13 nodos)
90	0.00000	(17 nodos)	0.00636	(11 nodos)	0.00000	(13 nodos)
91	0.00000	(17 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(13 nodos)
92	0.00000	(17 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(13 nodos)
93	0.00000	(17 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(13 nodos)
94	0.00000	(17 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(13 nodos)
95	0.03339	(17 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.00462	(13 nodos)
96	0.03339	(17 nodos)	0.01700	(11 nodos)	0.00000	(13 nodos)
97	0.03339	(17 nodos)	0.01700	(11 nodos)	0.00000	(13 nodos)
98	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.01327	(13 nodos)
99	0.00000	(11 nodos)	0.09444	(11 nodos)	0.05342	(13 nodos)
100	0.00000	(11 nodos)	0.09444	(11 nodos)	0.05342	(13 nodos)
101	0.00000	(11 nodos)	0.09444	(11 nodos)	0.05342	(13 nodos)
102	0.00000	(11 nodos)	0.09444	(11 nodos)	0.04015	(13 nodos)
103	0.00000	(11 nodos)	0.09444	(11 nodos)	0.00000	(13 nodos)
104	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(13 nodos)
105	0.00485	(11 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(13 nodos)
106	0.00485	(11 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(13 nodos)
107	0.00485	(11 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(13 nodos)
108	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(13 nodos)
109	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(13 nodos)
110	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(13 nodos)
111	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(13 nodos)
112	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(13 nodos)
113	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(13 nodos)
114	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(13 nodos)
115	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(13 nodos)
116	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(13 nodos)
117	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(13 nodos)
118	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(13 nodos)
119	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(13 nodos)
120	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(13 nodos)
121	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(13 nodos)
122	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(13 nodos)
123	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(13 nodos)
124	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(13 nodos)
125	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(13 nodos)
126	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(13 nodos)
127	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(13 nodos)
128	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(13 nodos)
129	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(13 nodos)
130	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(13 nodos)
131	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(13 nodos)
132	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(13 nodos)
133	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(11 nodos)	0.00000	(13 nodos)

**Tabla E-I.** Distribución de pesos por cada nodo

Las siguientes imágenes muestran la distribución total de pesos, y, sobre cada cubierta y el fondo a lo largo de la eslora de la embarcación:



**Figura E-1.** Distribución total de pesos, ton

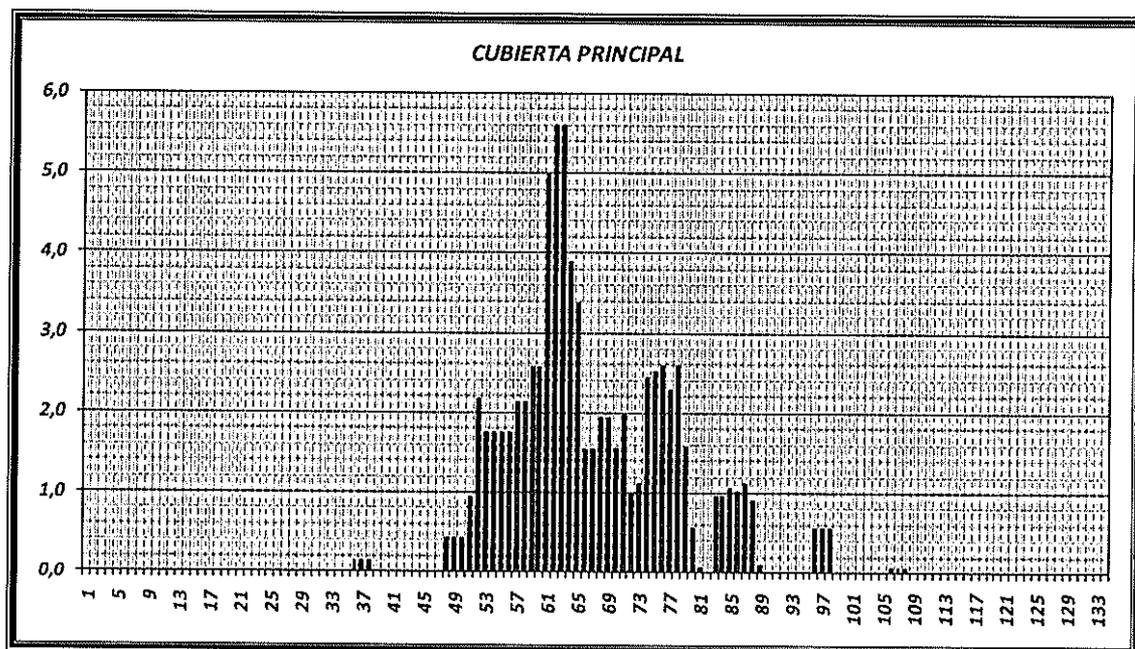


Figura E-2. Distribución de pesos, ton, en cubierta principal

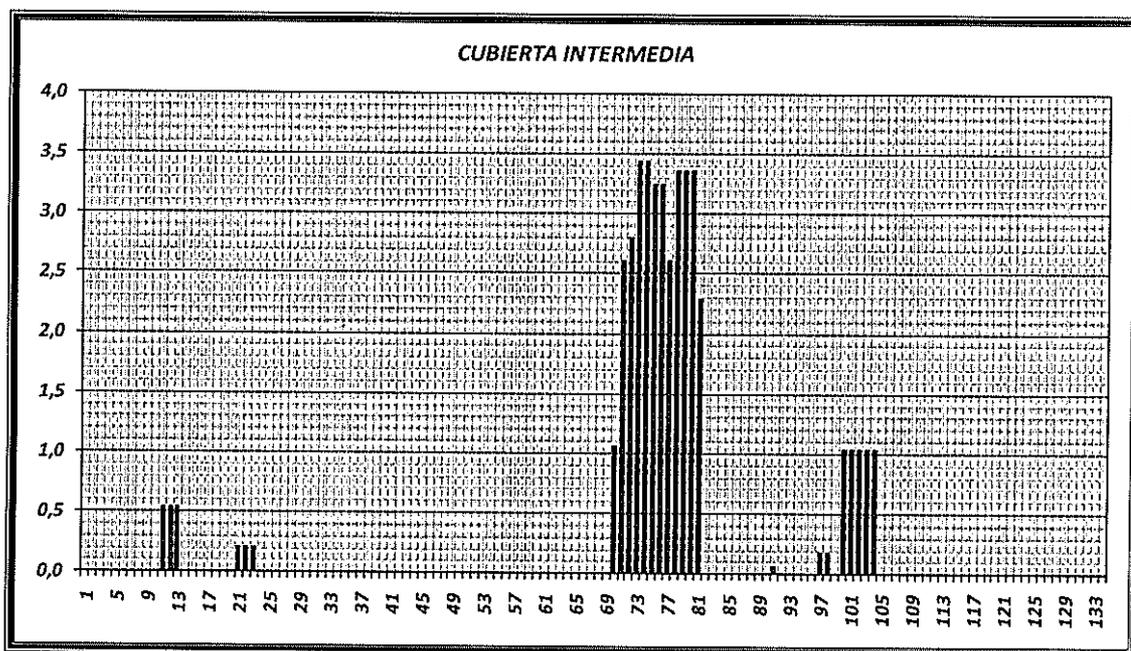
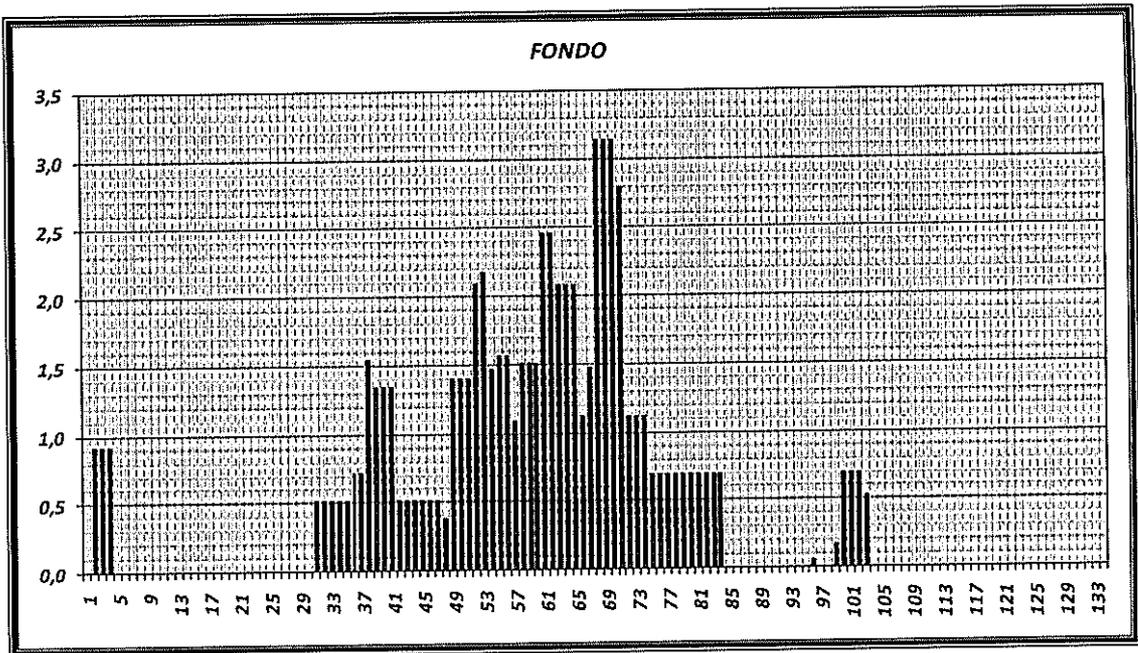
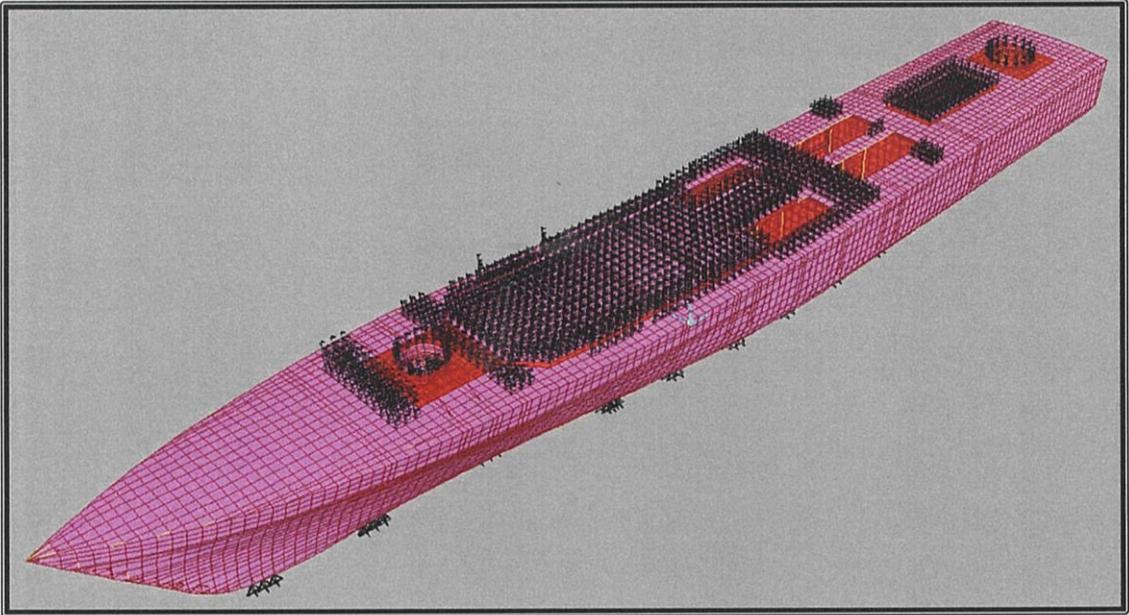


Figura E-3. Distribución de pesos, ton, en cubierta intermedia

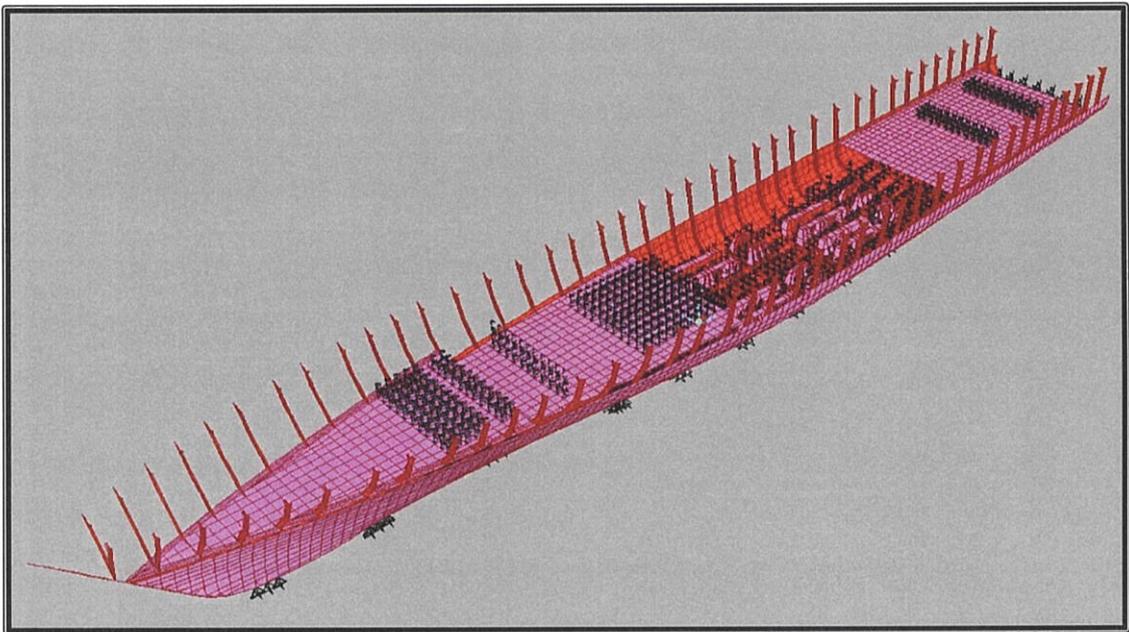


**Figura E-4.** Distribución de pesos, ton, en el fondo

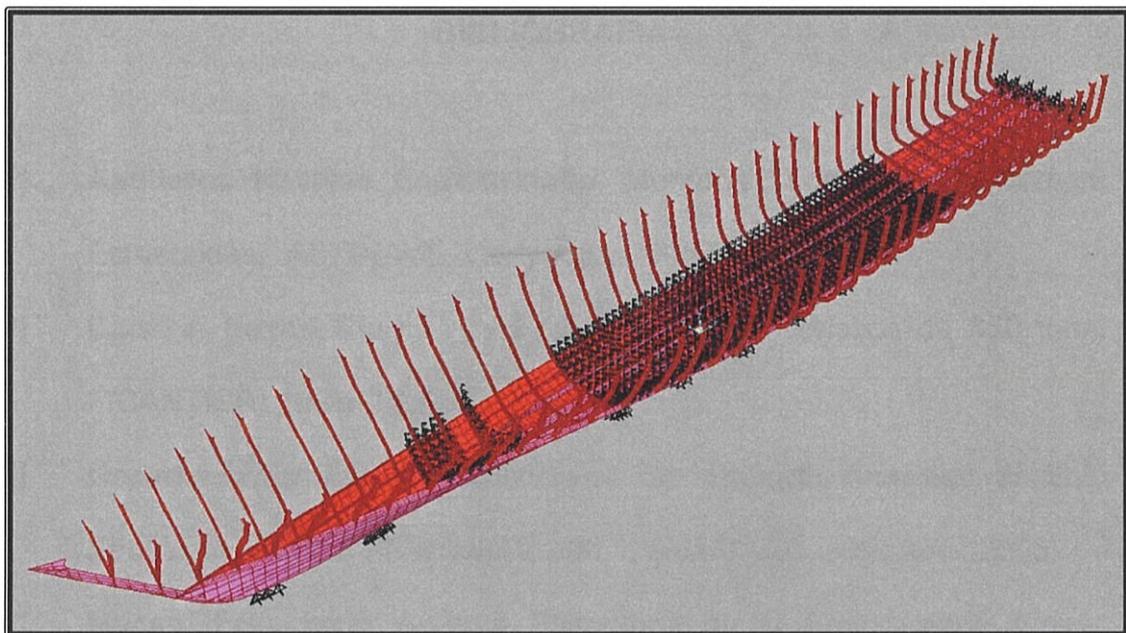
Las siguientes imágenes muestran los pesos asignados en cada nodo en el modelo estructural según la distribución presentada previamente:



**Figura E-5.** Pesos asignados en los nodos de cubierta principal



**Figura E-6.** Pesos asignados en los nodos de cubierta intermedia



**Figura E-7.** Pesos asignados en los nodos del fondo

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] **Astilleros Navales Ecuatorianos**, Memoria Técnica de la Corbeta Esmeraldas. ASTINAVE, Guayaquil, 2008.
- [2] **Cantieri Navali Riuniti**, Corvetta Veloce Elicotteristica da 650 tonn. FICANTIERI, Italia, 1980.
- [3] **Germanischer Lloyd's**, Guidelines for Strength Analyses of Ship Structures with the FEM, cap 1, part 1, sect V. GL, Alemania, 2005.
- [4] **Macas, Francisco**, Análisis Estructural de la Embarcación Fluvial Samarina utilizando el Método de Elementos Finitos. Tesis de Ingeniero Naval, ESPOL-FIMCM, 2006.
- [5] **Autodesk, Inc.**, Manual del Usuario AutoCAD. Autodesk, Inc., EE.UU., 2000.
- [6] **Computers and Structures, Inc.**, SAP2000 Linear and Non Linear, Static and Dynamic, Analysis and Design of Three Dimensional Structures. CSI, Berkeley, California, EE.UU., 2005.
- [7] **Cano, Rosa**, Análisis de la Deformación de la Estructura de una Corbeta de la Armada del Ecuador durante el Proceso de Varamiento. Tesis de Ingeniero Naval, ESPOL-FIMCM, en preparación.
- [8] **Hidalgo, Armando**, Análisis Estructural de una Corbeta de la Armada del Ecuador por Influencia del Retiro de las Máquinas Principales. Tesis de Ingeniero Naval, ESPOL-FIMCM, en preparación.

- [9] **Astilleros Navales Ecuatorianos**, Plano de Toma de Espesores del BAE Esmeraldas. ASTINAVE, 2007.
- [10] **Yeo Liangui, Gabriel**, Stress Analysis and Computer Simulation of Vessel Dry Docking. National University of Singapore, Singapur, 2007.
- [11] **Cantieri Navali Riuniti**, Weight List and G.C. Position. Corvetta Veloce Elicotteristica da 650 tonn. FICANTIERI, Italia, 1980.
- [12] **Astilleros Navales Ecuatorianos**, Plano de Cambio de Planchaje del BAE Esmeraldas. ASTINAVE, 2007
- [13] **Astilleros Navales Ecuatorianos**, Plano de Varamiento del BAE Los Ríos. ASTINAVE, 2009.
- [14] Popov, Egor P., Introducción a la Mecánica de Sólidos, LIMUSA, Segunda Edición, 2000
- [15] **American Bureau of Shipping**, Rules for Building and Classing Steel Vessels, part 3, chapter 1, section 2, EE.UU., 2009