



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

**ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LA EMBARCACIÓN FLUVIAL SAMARINA**  
**UTILIZANDO EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS**

**TESIS DE GRADO**

Previa la obtención del Título de

**INGENIERO NAVAL**

**Presentado por:**

Francisco Javier Macas Camacho

Guayaquil – Ecuador

2006

## **AGRADECIMIENTO**

Un agradecimiento especial para el director de la presente tesis, el Dr. José R. Marín López, por su apoyo y colaboración en el presente trabajo, a todos los profesores de la carrera de Ingeniería Naval por impartir sus sabios conocimientos, y a todos mis compañeros de aula con los cuales se compartió momentos de estudios y de alegría en algunos momentos.

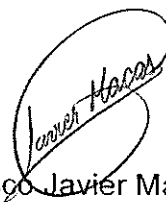
## **DEDICATORIA**

Este trabajo se lo dedico a Dios y sin lugar a dudas a mis padres, a la padriniu y al padriniu, como les digo cariñosamente, por inculcarnos a nosotros sus hijos, sus buenos ejemplos, y por su gran sacrificio y apoyo hacia nosotros. A mi hermano, el TNFG-UN Christian Macas C., por su valiosa ayuda; a mi hermanito Andrés, el gordillo, por haber llegado a alegrarnos más la vida. A mi Ñaña Eliza, por su incondicional cariño aún no estando aquí en el país. A mis tíos, primos, amigos, los cuales estuvieron pendientes de este gran momento.

## 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)



Francisco Javier Macas Camacho

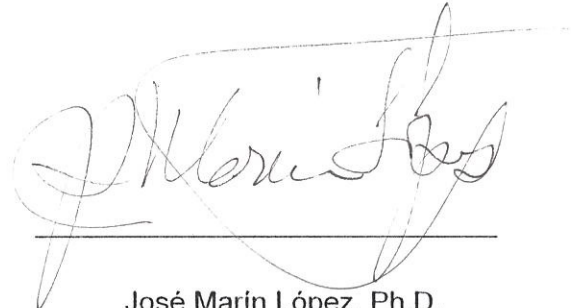
---

TRIBUNAL DE GRADO



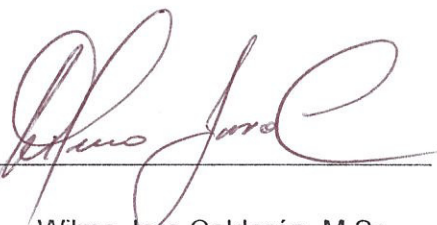
---

Cristóbal Mariscal Díaz, M.Sc.  
Presidente del Tribunal



---

José Marín López, Ph.D.  
Director de Tesis



---

Wilmo Jara Calderón, M.Sc.  
Miembro Principal



---

Raúl Coello Fernández, M.Sc.  
Miembro Principal

## RESUMEN

En el presente trabajo se ha analizado la estructura de la lancha de servicio fluvial hospitalario SAMARINA, empleando el Método de Elementos Finitos. Se ha modelado completamente el casco de la estructura y se la sometió a cuatro condiciones de carga consideradas típicas de embarcaciones fluviales. Para el desarrollo del modelo estructural se usó el programa SAP 2000. Conociendo el tipo de cuadernaje (longitudinal) usado en la construcción de la lancha, se procedió a modelar los elementos estructurales. El planchaje y los refuerzos primarios, cuadernas, baos y quilla, fueron modelados como elementos "Plancha"; los refuerzos secundarios, tales como longitudinales, rudón y puntales fueron modelados como elementos "Viga".

El peso propio de la estructura fue incluido como propiedad de los elementos. Los otros pesos, superestructura, accesorios, consumibles y motores, fueron aplicados como fuerzas concentradas en los nodos donde se definieron los refuerzos estructurales. La presión hidrostática, fue calculada por el programa, especificando el calado como nivel de referencia.

En la condición 1, Navegación Libre, se incluyeron resortes para evitar la singularidad del problema; las reacciones en estos elementos fueron pequeñas y comprobaron el equilibrio estático del buque. Para la condición 2,

Varamiento en proa y en popa, se colocaron restricciones (soportes simples) en los puntos de varamiento respectivos para cada caso; se asumió que la fuerza de contacto es el 10% del desplazamiento total. Para la condición 3, Tensionada por cables, además de las cargas ya mencionadas en las demás condiciones se aplicó la fuerza hidrodinámica, en el costado de estribor de la embarcación; las restricciones usadas fueron 2 apoyos simples, ubicados uno en proa y el otro en popa. En la condición 4, Atrache lateral, actuó también la carga hidrodinámica aplicada en la región de proa de la embarcación; las restricciones fueron colocadas en un nodo en proa que representa el punto de pivote, y, un nodo en popa, el punto de contacto con el muelle.

Finalmente se encontró que los esfuerzos primarios son de tipo compresivo en el fondo y de tensión en cubierta. El máximo valor se presenta en la Sección Media en la condición de Aguas Tranquilas con un valor de  $-1217.87 \text{ Ton/m}^2$  en la plancha del fondo. El esfuerzo local máximo se presentó en dirección x, en la zona de Popa, con un valor de  $5350.51 \text{ Ton/m}^2$ , en la condición de Varamiento por popa. La intensidad de esfuerzo máxima ( $6093.68 \text{ Ton/m}^2$ ) ocurre en esta misma condición, en la zona de Popa.

Las cargas compresivas en los puntales y refuerzos longitudinales resultan muy pequeñas comparadas con las cargas críticas. De manera que no se espera pandeo de elemento alguno de la estructura.

## INDICE GENERAL

	<b>Pág.</b>
RESUMEN .....	IV
ÍNDICE GENERAL .....	VI
ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS .....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS .....	X
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XI
INTRODUCCIÓN .....	XIV
1. GENERALIDADES .....	1
1.1 Importancia y características del transporte fluvial .....	2
1.2 Características de la zona de operación .....	4
1.3 Descripción de la embarcación fluvial L/H Samarina .....	8
2. ANÁLISIS ESTRUCTURAL CON EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS .....	12
2.1 Descripción del arreglo estructural .....	13
2.2 Proceso de discretización y selección de los tipos de elementos .....	17
2.3 Desarrollo del modelo estructural .....	19
3. CONDICIONES DE CARGAS CARACTERÍSTICAS .....	35
3.1 Condición de carga 1: Aguas Tranquilas .....	38
3.2 Condición de carga 2: Varamiento .....	43
3.3 Condición de carga 3: Tensionada por cables .....	51
3.4 Condición de carga 4: Atraque lateral .....	56



4. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	61
4.1 Análisis de resultados, condición de carga 1 .....	62
4.2 Análisis de resultados, condición de carga 2 .....	70
4.1 Análisis de resultados, condición de carga 3 .....	88
4.1 Análisis de resultados, condición de carga 4 .....	97
4.1 Resumen del análisis de resultados .....	103
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	105
ANEXO 1.- Ambientes disponibles de la lancha hospital "Samarina" .....	110
ANEXO 2.- Modelación e importación del casco estructural desde AUTOCAD .....	112
ANEXO 3.- Definición de los ejes locales (Elementos viga) .....	119
ANEXO 4.- Ancho efectivo tomando en consideración el espesor del planchaje de cubierta .....	124
ANEXO 5.- Peso de la Superestructura .....	126
ANEXO 6.- Pesos de accesorios .....	127
ANEXO 7.- Distribución de pesos .....	128
ANEXO 8.- Variación del LCG y del asiento para la condición de varamiento en la zona de popa .....	130
ANEXO 9.- Carga crítica del puntal y del refuerzo longitudinal .....	132

## ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

“	Pulgadas
°	Grados
$\varphi$	Angulo de varamiento
$\rho$	Densidad del agua, 1.0 Ton/m <sup>3</sup>
$\Delta_F$	Desplazamiento final
$\beta$	Razón de esbeltez de la plancha.
%	Porcentaje
$\delta_{LCG}$	Variación del centro de gravedad longitudinal
$\sigma_y$	Esfuerzo de fluencia del acero
#	Numero
(L)	Refuerzo tipo angulo
ABS	American Bureau of Shipping
ASTM	American Society for Testing and Materials
b	Ancho de la plancha
B	Manga
Bb	Babor
Eb	Estribor
be	Ancho efectivo
cm	Centímetro

d	Distancia entre donde actúa la fuerza P y la posición longitudinal del centro de flotación
Di	Diámetro interno
De	Diámetro externo
DNV	Der Norske Veritas
E	Módulo de Young del acero
F	Fuerza hidrodinámica
FB	Flat bars
Fx	Reacción en el eje X
Fy	Reacción en el eje Y
Fz	Reacción en el eje Z
I	Inercia seccional del puntal
$I_{22}$	Momento de Inercia sobre el eje 2
$I_{33}$	Momento de Inercia sobre el eje 3
Km	Kilómetros
$Km^2$	Kilómetros cuadrados
L	Eslora de la embarcación
Lp	Longitud del puntal (m)
LCG	Posición del centro de gravedad
$LCG'$	Nueva posición del centro de gravedad
l	Longitud ni soportada del refuerzo
m	Metros

$m^3$	Metros cúbicos
mm	Milímetros
msnm	Metros sobre el nivel del mar
P	Fuerza de contacto
$P_{cr}$	Carga crítica del puntal
$P_e$	Presión de estancamiento
s	Espaciamiento entre longitudinales
seg	Segundos
SCH20	Cédula 20
SCH40	Cédula 40
T	Calado
t	Espesor
Ton	Toneladas
U1	Dirección en el eje 1 (eje X)
U2	Dirección en el eje 2 (eje Y)
U3	Dirección en el eje 1 (eje Z)
$V_c$	Velocidad de corriente
$\sigma_l$	Esfuerzo primario
$\sigma_x$	Esfuerzo local en dirección X
$\sigma_y$	Esfuerzo local en dirección Y
$\sigma_{xy}$	Esfuerzo cortante
$\sigma_{VM}$	Esfuerzo Von Mises

## ÍNDICE DE TABLAS

No.	Pág.
1.- Características principales de la L/H Samarina .....	9
2.- Elementos estructurales del casco .....	14
3.- Elementos estructurales de la superestructura .....	15
4.- Valores de ancho efectivo .....	24
5.- Momentos de inercias usadas para los refuerzos longitudinales del fondo .....	25
6.- Momentos de inercias usadas para los refuerzos longitudinales de cubierta .....	26
7.- Descripción de los elementos usados .....	27
8.- Fuerzas Externas Concentradas aplicadas en la embarcación .....	37
9.- Reacciones en los resortes en Aguas Tranquilas .....	42
10.- Reacciones globales en Varamiento en Proa .....	48
11.- Reacciones globales en Varamiento en Popa .....	50
12.- Reacciones en los resortes en la condición Tensionada por cables ..	56
13.- Reacciones en los resortes en condición de Atraque Lateral .....	60
14.- Esfuerzos primarios (Condición 1) por el MEF.....	62
15.- Esfuerzos primarios por la aplicación del modelo de la viga buque .....	63
16.- Valores de esfuerzos locales en las secciones del casco en Aguas Tranquilas .....	66

17.- Esfuerzos primarios (Condición 2 – Varamiento en Proa) .....	71
18.- Valores de esfuerzos locales en las secciones del casco en Varamiento por Proa .....	74
19.- Esfuerzos primarios (Condición 2 – Varamiento en Popa) .....	80
20.- Valores de esfuerzos locales en las secciones del casco en Varamiento por Popa .....	83
21.- Esfuerzos primarios (Condición 3 – Tensionada por cables) .....	88
22.- Valores de esfuerzos locales en las secciones del casco en Tensionada por cables .....	91
23.- Esfuerzos primarios (Condición Atrache lateral) .....	97
24.- Valores de esfuerzos locales en las secciones del casco en Atrache lateral .....	99
25.- Valores máximos de esfuerzos en cada condición característica de carga .....	103
26.- Valores de carga de aplastamiento en cada condición característica de carga .....	104
5a.- Estimación de pesos de la superestructura .....	126
6a.- Estimación de pesos de los accesorios .....	127
7a.- Pesos de los tanques y motores .....	128

## ÍNDICE DE FIGURAS

No.	Pág.
1.- Trayecto del Río Napo .....	5
2.- Cuenca del río Napo .....	6
3.- Plano de Líneas de Formas de la lancha hospital Samarina .....	10
4.- Plano de distribución general de la lancha hospital Samarina .....	11
5.- Plano de estructurales de la lancha hospital Samarina .....	16
6.- Vista de perfil del modelo, indicando el sistema de referencia global ....	20
7.- Esquematación de una parte del arreglo estructural de L/H Samarina	21
8.- Ancho efectivo calculado para el refuerzo longitudinal de fondo .....	24
9.- Vista superior del modelo, identificando los elementos utilizados .....	27
10.- Vista en planta del modelo desarrollado .....	28
11.- Vista en 3-D del modelo desarrollado .....	28
12.- Secciones desarrolladas en el modelo estructural .....	29
13.- Detalle de la sección de proa .....	30
14.- Detalle del cuerpo paralelo medio .....	31
15.- Detalle desde línea de crujía de la cuaderna y puntales .....	32
16.- Detalle del mamparo y sus refuerzos verticales .....	33
17.- Detalle del espejo y sus refuerzos .....	34
18.- Aplicación del peso de la superestructura y de los equipos .....	39
19.- Aplicación del peso de tanques y del motor .....	40

20.- Distribución de la presión hidrostática en la obra viva del casco en Aguas Tranquilas .....	40
21.- Posición de los nodos definidos como resortes en Aguas Tranquilas .	41
22.- Embarcación asentada en proa por efecto del Varamiento en Proa .....	46
23.- Distribución de la presión hidrostática en la condición de varamiento en Proa .....	46
24.- Posición de las restricciones en Varamiento en Proa .....	47
25.- Embarcación asentada en popa por efecto del varamiento .....	48
26.- Distribución de la presión hidrostática en la condición de Varamiento en Popa .....	49
27.- Posición de las restricciones en Varamiento en Popa .....	50
28.- Vista en planta de la aplicación de la fuerza hidrodinámica (Tensionada por cables) .....	53
29.- Vista en 3-D de la aplicación de la fuerza hidrodinámica (Tensionada por cables) .....	53
30.- Vista transversal de la embarcación rotada 0.5° .....	54
31.- Distribución de la presión hidrostática en la condición de Tensionada por cables .....	54
32.- Posición de las restricciones en la condición Tensionada por cables ..	55



33 Aplicación de la presión hidrodinámica en Atraque Lateral .....	57
34.- Vista de perfil de la embarcación rotada 2° .....	58
35.- Distribución de la presión hidrostática en la condición de Atraque Lateral .....	58
36.- Posición de las restricciones en Atraque Lateral .....	59
37.- Comparación de los Esfuerzos primarios vs. Posición (Aguas tranquilas) .....	64
38.- Comparación de los Esfuerzos primarios (Aguas tranquilas), en la Sección Media .....	65
39.- Detalle del puntal que soporta la máxima carga de aplastamiento (Aguas tranquilas) .....	67
40.- Vista de perfil del panel deformado en Aguas Tranquilas .....	68
41.- Máxima deformación en Aguas Tranquilas .....	68
42.- Vista de perfil de la quilla deformada en Aguas Tranquilas .....	69
43.- Vista transversal de la cuaderna deformada en Aguas Tranquilas .....	70
44. Comparación de los Esfuerzos primarios en Sección Media (Varamiento por Proa) .....	72
45.- Comparación de los Esfuerzos primarios de la condición 1 y 2 (Varamiento por Proa), en la Sección Media .....	73

46.- Detalle del puntal que soporta la máxima carga de aplastamiento (V. Proa) .....	75
47.- Vista de perfil del panel deformado en Varamiento por Proa .....	76
48.- Máxima deformación en Varamiento en Proa .....	76
49.- Vista de perfil de la quilla deformada en Varamiento por Proa .....	77
50.- Vista transversal de la cuaderna deformada en Varamiento por Proa .	78
51.- Vista transversal del espejo deformado en Varamiento por Proa .....	79
52.- Comparación de los Esfuerzos primarios vs. Posición (Varamiento por Popa) .....	81
53.- Comparación de los Esfuerzos primarios de la condición 1 y 2 (Varamiento por Popa), en la Sección Media .....	82
54.- Puntal que soporta la máxima carga de aplastamiento (Varamiento por Popa) .....	84
55.- Vista de perfil del panel deformado en Varamiento por Popa .....	85
56.- Vista de perfil de la quilla deformada en Varamiento por Popa .....	85
57.- Vista transversal de la cuaderna deformada en Varamiento por Popa	86
58.- Vista transversal del espejo deformado en Varamiento por Popa .....	87
59.- Esfuerzos primarios Estribor vs. Posición (Condición Tensionada por cables) .....	89
60.- Esfuerzos primarios Babor vs. Posición (Condición Tensionada por cables) .....	90

61.- Comparación de los Esfuerzos primarios de la condición 1 y 3 (Tensionada por cables), en la Sección Media .....	90
62.- Detalle del puntal que soporta la máxima carga de aplastamiento (Tensionada por cables) .....	92
63.- Vista de perfil del panel deformado en Tensionada por cables .....	93
64.- Máxima deformación en Tensionada por cables .....	94
65.- Vista de perfil de la quilla deformada en Tensionada por cables .....	94
66.- Vista de planta de la quilla deformada en Tensionada por cables .....	95
67.- Vista transversal de la cuaderna deformada en Tensionada por cables .....	95
68.- Vista transversal del espejo deformado en Tensionada por cables .....	96
69.- Esfuerzos primarios Estribor vs. Posición (Condición Atraque lateral)	98
70.- Esfuerzos primarios Babor vs. Posición (Condición Atraque lateral) ...	98
71.- Esfuerzos locales en el punto de pivote .....	100
72.- Esfuerzos locales en el punto de contacto al muelle .....	101
73.- Detalle del puntal que soporta la máxima carga de aplastamiento (Atracada lateral) .....	102
2a.- Forro del casco .....	113
2b.- Modelo con todas las partes estructurales .....	114
2c.- Forro del casco transferido en SAP 2000 .....	115
2d.- Mamparos transferidos desde AUTOCAD .....	116
2e.- Generación de planchas en el mamparo .....	117

2f.- Generación de los refuerzos longitudinales de cubierta (Vigas) .....	118
3a.- Ejes locales para un elemento (FRAME) longitudinal .....	120
3b.- Ejes locales para un elemento (FRAME) vertical .....	120
3c.- Ejes locales para un elemento (SHELL) vertical .....	122
3d.- Ejes locales para un elemento (SHELL) horizontal .....	122
3e Fuerza internas y esfuerzos del elemento SHELL .....	123
7a.- Distribución de pesos de los tanques y motores .....	129

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad se tiene poco conocimiento sobre los diferentes niveles de esfuerzos que se desarrollan en los cascos de las embarcaciones que prestan servicio ambulatorio en el Oriente. Se debe recordar que las condiciones de carga a las que están expuestas estas embarcaciones son muy diferentes a las que soportan las de tipo oceánico. Sin esta información técnica es probable que se produzcan desperdicios económicos, tanto en la inversión inicial, al usar miembros estructurales sobredimensionados, debido a que los costos de construcción se basan en el peso del acero, así también como en los gastos de operación de la embarcación.

El objetivo general de este trabajo es analizar los niveles de esfuerzos y deformaciones producidos en una embarcación fluvial en condiciones características de carga.

Los objetivos específicos son:

- Modelar en forma numérica completamente la estructura de la L/H Samarina utilizando el Método de Elementos Finitos.
- Determinar las condiciones de carga estructural características del servicio fluvial, a la cual puede estar expuesta la embarcación.

- Analizar los niveles de esfuerzos y deformaciones debido a las condiciones de cargas características.
- Determinar los elementos o regiones estructurales que soportan elevados y reducidos niveles de esfuerzo.

Con este trabajo se logrará un adecuado adiestramiento y una buena experiencia en el desarrollo de modelos estructurales de embarcaciones fluviales utilizando el Método de Elementos Finitos, y de esta manera, en un futuro se podrán modelar estructuras de embarcaciones más complejas. Mediante los resultados obtenidos se determinarán también de manera apropiada las zonas estructurales que necesitarán ser reforzadas y las que están sobredimensionadas, lo que será muy útil para futuros nuevos diseños.

## **CAPITULO 1**

### **GENERALIDADES**

En este capítulo se describen las características generales del transporte fluvial en la Amazonía ecuatoriana, se proporcionan datos comparativos con respecto a otros sistemas de transporte y se especifican también las características hidrográficas de la zona donde la embarcación que se analiza en este trabajo presta servicio. Finalmente se describen las características principales de la embarcación a ser analizada.

### **1.1 Importancia y características del transporte fluvial**

La referencia "El transporte fluvial", por Roberto Bloch, [3] indica que: "El desarrollo económico y social de los pueblos ha estado ligado, en gran medida, al progreso en el campo de los transportes y las soluciones dadas a muchos de sus problemas, tanto en el ámbito económico como en el técnico. La función principal de los transportes es la integración de todos los elementos de la sociedad, tanto de las personas como de los bienes, en ámbitos geográficos más amplios". Este comentario resalta la gran importancia que tiene el transporte en el desarrollo de los pueblos.

Dentro de los diferentes sistemas de transporte que existen en la actualidad, para el desarrollo de la presente tesis se va a profundizar en el sistema de transporte fluvial. Este tipo de transporte entre sus características de uso, se basa en, [3]:

1. Existencia de zonas industriales y agrícolas desarrolladas a lo largo del río.
2. Existencia de un puerto importante en la desembocadura del río o cerca de ella.
3. Costos competitivos, con otros sistemas de transporte, de tonelada por kilómetro para determinadas mercaderías.
4. Adecuadas conexiones con el modo terrestre.



5. Existencia de comunidades necesitadas de servicios básicos a lo largo del río.

Otro aspecto importante es que el transporte fluvial es ideal para trasladar mercaderías pesadas a bajo precio, en especial graneles sólidos y líquidos, en general, productos de gran volumen con relación a su valor. Se puede afirmar, [3] que con adecuada infraestructura y medios para los productos indicados, el modo fluvial es el más económico. Con los siguientes datos comparativos, tomados de la referencia mencionada, se puede apreciar la ventaja que el transporte fluvial tiene sobre los demás transportes:

- Una barcaza equivale a 30 vagones de ferrocarril de 50 toneladas cada uno, o 54 camiones de 28 toneladas cada uno.
- Por tonelada y por litro de combustible se pueden recorrer los siguientes kilómetros:
  - Camión : 25.1 Km.
  - Ferrocarril : 85.87 Km.
  - Barcaza : 218.49 Km.
- El transporte fluvial es muy poco contaminante del medio ambiente en lo que se refiere a la emisión de gases, con casi nulo impacto por polución de ruidos o accidentes.

- Los estudios de la referencia [3], indican que el costo promedio para el transporte fluvial varía entre 0.005 y 0.01 por Ton/Km. de carga transportada. Para el transporte por ferrocarril, dicho parámetro vale aproximadamente 0.04 por Ton/Km., y para el transporte por camión, 0.10 por Ton/Km.

## **1.2 Características de la zona de operación**

De un estudio realizado por el Ing. Fernando Rodas, [21], se conoce que: “el Ecuador ocupa solo el 2% de toda la cuenca del río Amazonas, donde se sabe que la mayor parte de la tierra firme en la Amazonía ecuatoriana, se encuentra en las laderas de la cordillera oriental, donde dan inicio los cursos de sus ríos principales, como lo son: El Putumayo, El Aguarico, El Napo, El Tigre, El Pastaza y El Santiago, los cuales se constituyen en afluentes del Marañón y del Amazonas”. En la figura No. 1, se muestra el trayecto del río Napo. Al norte de éste, la Amazonía ecuatoriana es verdaderamente una de las áreas con pobre drenaje, están ocupadas por pantanos y lagos oligotróficos<sup>1</sup> de aguas negras.

---

<sup>1</sup> Lagos profundos con pocos nutrientes, poca materia orgánica y un alto nivel de oxígeno disuelto. [www.definición.org](http://www.definición.org)



Figura No.1 Trayecto del Río Napo, [15]

Entre las características del río Napo, según la referencia [21], se dice que nace en las alturas de la cordillera Oriental, cerca de los 6,000 msnm (metros sobre el nivel del mar). Sus afluentes tales como: el Misahuallí, Payamino, Suno, Arajuno, Tiputini, Yasuní, etc., caen con fuerte pendiente hasta alcanzar el río, el cual a la altura de la ciudad de Tena, comienza a ser navegable por embarcaciones menores; su principal afluente es el río Coca, cuyos valores promedios de cuenca y de caudal son de 5,705 Km<sup>2</sup> y de 317 m<sup>3</sup>/seg, respectivamente.

La cuenca del Río Napo, [21], considerada punto de cierre en la frontera con el Perú precisamente en la población de Nuevo Rocafuerte, tiene un área de 26,980 Km<sup>2</sup>, tal como lo indica la figura No. 2 tomada de la referencia [9], dentro de la que se asientan 13 estaciones hidrométricas y 35 estaciones meteorológicas que constituyen a su vez subcuencas que proporcionan datos de niveles y aforos. La mayoría de éstas estaciones se concentran en las zonas de mayor altitud entre los 1,400 y 3,800 msnm, encontrándose una en la desembocadura del Río Coca (Puerto Francisco de Orellana) a 330 msnm y la de cierre en la parte este de la cuenca, en el Puerto de Nuevo Rocafuerte a 180 m de altitud. Es decir, la cuenca del Napo está formada en un 60% de su área total con valles extensos, mientras que el 15% representa cumbres escarpadas, [21].



Figura No. 2 Cuenca del río Napo, [9]

Las condiciones de navegabilidad en el río Napo, tomada de la referencia [21], ofrecen mayor dificultad cuando se llega a la planicie. En este trecho se aprecia un ancho reducido, erosiones violentas, mutaciones del lecho, formación de unas islas, desaparición de otras, y demás obstáculos que son comunes en los recorridos altos de los afluentes del Amazonas. La violenta subida de las aguas con gran fuerza erosiva produce el fenómeno llamado “caída de tierra”, la cual arrastra consigo gran cantidad de árboles que encallan en los puntos más bajos y luego dan lugar a la acumulación de arcilla, vegetación y palizadas que permiten la aparición de nuevas islas.

De la referencia [21], puede afirmarse que el río Napo, en sus 1,100 Km. de recorrido, desde el río Coca aguas abajo, hasta su desembocadura en el río Amazonas, permite la navegación durante todo el año. En el sector ecuatoriano, es decir entre las ciudades de Coca y Nuevo Rocafuerte la navegación depende de la estación: “en verano o estación seca, pueden surcar sus aguas embarcaciones de 3 pies de calado y en invierno o estación lluviosa para barcos hasta de 7 pies”, [21].

### **1.3 Descripción de la embarcación fluvial L/H Samarina**

De la referencia [4], se conoce que la implementación de la lancha de servicio hospital Samarina fue necesaria debido a que desde Puerto Misahuallí hasta Nuevo Rocafuerte existían asentadas alrededor de 400 comunidades, que no disponían de un servicio de salud a lo largo de la ribera del Napo. Tan sólo se contaba con una red de promotores de salud preparados por el Vicariato Apostólico de Aguarico y la Dirección de Salud de Napo. La presencia de estos promotores se constituía en el único medio de dar atención a estos pueblos aislados. Además, se sabía que las tasas de mortalidad infantil en ese sector llegaban a 80 y 90 por 1000 nacidos vivos, [4], por lo que la alternativa idónea fue la construcción de un centro de salud flotante, que de manera itinerante, pueda apoyar actividades de atención primaria de salud y resolver emergencias médicas de la población.

Con los ambientes requeridos, descritos en el Anexo 1, la embarcación fluvial Samarina, de la referencia [14], presenta las Líneas de Formas, descritas en la figura No. 3, del cual se detallan las características principales, mostradas en la tabla No. 1. Así también, de la referencia [12], se presenta la distribución general de la lancha hospital, descrita en la figura No. 4, para un mejor detalle de los ambientes anteriormente mencionados.

Eslora total	20.00	m
Eslora en la línea de agua de diseño	18.20	m
Manga total	4.60	m
Puntal al costado	0.80	m
Calado de diseño	0.50	m
Desplazamiento	22.00	ton
Coefficiente bloque ( $C_B$ )	0.53	
Coefficiente plano de agua ( $C_P$ )	0.78	
Coefficiente de sección media ( $C_X$ )	0.54	
Coefficiente prismático longitudinal ( $C_{PL}$ )	0.97	

Tabla No. 1 Características principales de la L/H Samarina, [14]

Como se observa en la información presentada la embarcación tiene un calado bien bajo y elevada área de cubierta lo que le lleva a una relación B/T muy alta.

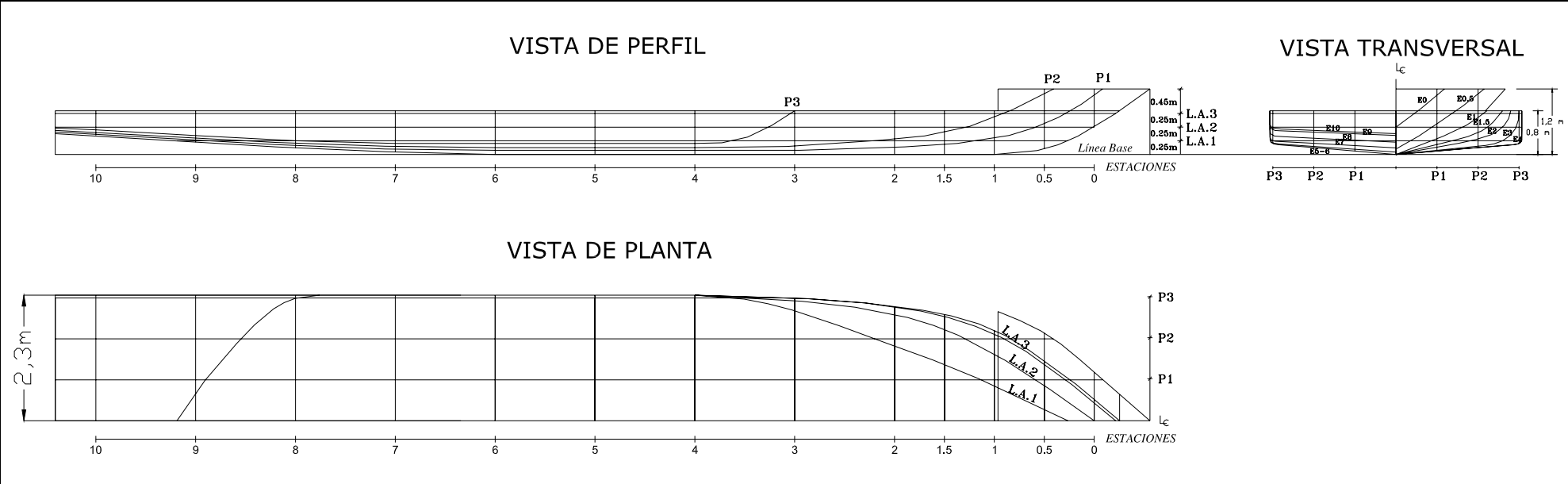


Figura No. 3 Plano de Líneas de Formas de la lancha hospital Samarina, [14]



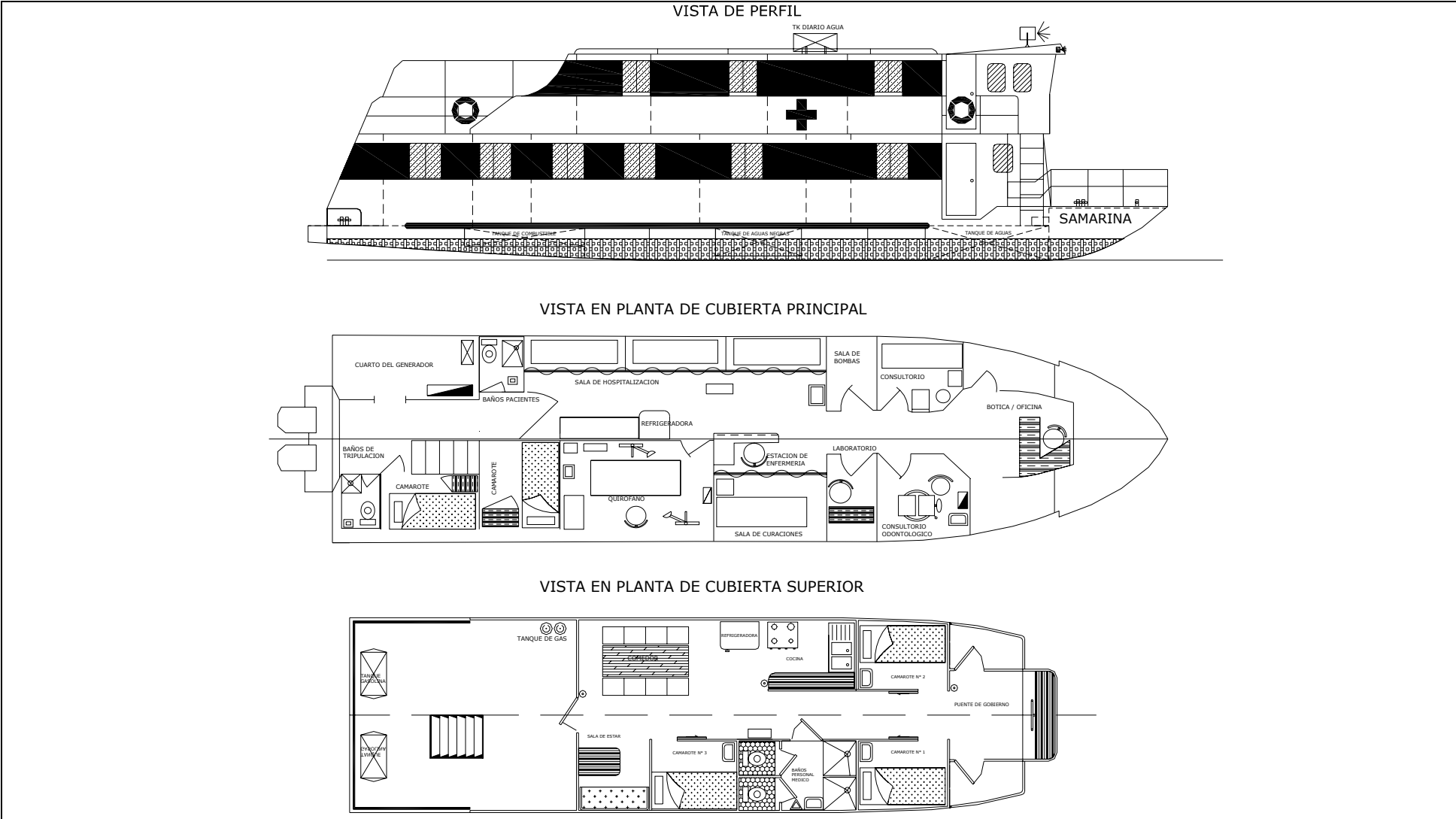


Figura No. 4 Plano de distribución general de la lancha hospital Samarina, [12]

## **CAPITULO 2**

### **ANÁLISIS ESTRUCTURAL CON EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS**

En este capítulo se procede a describir el arreglo estructural de la embarcación, a partir de la referencia [13], detallándose las dimensiones de los elementos usados para su construcción. Se discretiza luego la estructura del casco para aplicar el Método de Elementos Finitos identificando los elementos Vigas ("Beams") y Planchas ("Shells") que serán utilizados, para posteriormente modelar la estructura completamente.

## **2.1 Descripción del arreglo estructural de la embarcación**

El arreglo estructural utilizado en la construcción de la embarcación fluvial Samarina, descrita en el plano No. 3, tomado de la referencia [13], sigue un sistema de cuadernaje de tipo longitudinal. La estructura del casco consta de planchaje, mamparos, cuadernas, baos, quilla, roda, escuadras y de refuerzos longitudinales. Es importante mencionar que, en la mayoría de los casos, el casco de una embarcación fluvial con respecto a una embarcación oceánica es diferente en lo que se refiere a los compartimentos; debido a la baja profundidad de la zona de operación hace que el calado y el puntal sean bien bajos y todos los compartimentos estén situados sobre cubierta.

La embarcación tiene un cuerpo medio paralelo que va desde la cuaderna 7 hasta la cuaderna 11, ver la figura No. 5. Para un mejor amarre estructural se utilizan escuadras en la unión de la cuaderna de fondo y de costado, así como también en la unión de la cuaderna de costado y el bao. Posee cuatro mamparos transversales estancos, los mamparos 1 y 2 están situados hacia proa a 7.65 m y 3.40 m, respectivamente, tomando como referencia la cuaderna 10 (situada en la sección media); los mamparos 3 y 4 están situados hacia popa a 1.70 m y 5.95 m, respectivamente, tomando como referencia la cuaderna mencionada. Debido al peso sobre cubierta se colocan puntales en cada cuaderna. Para seguridad en los acoderamientos posee un rudón en cada banda. El material usado para su construcción fue el

acero ASTM – 36. La separación entre cuadernas y los refuerzos longitudinales es de 850 mm y 560 mm, respectivamente.

A continuación, en la tabla No. 2, tomada de la referencia [13], se presentan los escantillones de los elementos estructurales que fueron utilizados en la construcción del casco:

<b>CASCO</b>		
<b>Item</b>	<b>Elemento</b>	<b>Dimensiones</b>
<b>1</b>	Planchaje de fondo	1/4"
<b>2</b>	Planchaje de costado	1/8"
<b>3</b>	Cubierta principal	1/8"
<b>4</b>	Forro mamparo	1/8"
<b>5</b>	Refuerzo longitudinal del casco	1,5" x 1,5" x 1/8" (L)
<b>6</b>	Cuaderna de costado	2" x 2" x 1/8" (L)
<b>7</b>	Baos	2" x 2" x 1/8" (L)
<b>8</b>	Refuerzo verticales de mamparo	1,5" x 1,5" x 1/8" (L)
<b>9</b>	Quilla	4" x 1/4" FB
<b>10</b>	Rudón	4" SCHD 40
<b>11</b>	Roda	4" x 1/4" FB
<b>12</b>	Escuadras	1/8"
<b>13</b>	Puntales	1 1/2" SCH40

Tabla No.2 Elementos estructurales del casco, [13]

Sobre la cubierta principal se encuentra la superestructura; esto es típico de una embarcación fluvial dado que el puntal es reducido, la cual aproximadamente ocupa el 90% de la longitud de la embarcación. La

superestructura consta de una cubierta Superior y otra cubierta Magistral en donde se encuentran los ambientes de atención y vivienda, descritos en el subcapítulo 1.3. Para el amarre al muelle, la embarcación tiene bitas tanto en la parte de proa como en la popa.

En la tabla No. 3, tomada de la referencia [13], se presentan los escantillones de los elementos estructurales que fueron utilizados en la construcción de la superestructura:

<b>SUPER ESTRUCTURA</b>		
<b>Item</b>	<b>Elemento</b>	<b>Dimensiones</b>
<b>14</b>	Forro cubierta superior	1/16"
<b>15</b>	Forro cubierta magistral	1/16"
<b>16</b>	Forro de caseta	1/16"
<b>17</b>	Forro de mamparo de caseta	1/8"
<b>18</b>	Refuerzo longitudinal cubierta superior	1,5" x 1,5" x 1/8" (L)
<b>19</b>	Refuerzo longitudinal cubierta magistral	1,5" x 1,5" x 1/8" (L)
<b>20</b>	Refuerzo longitudinal de caseta	1,5" x 1,5" x 1/8" (L)
<b>21</b>	Refuerzos verticales de caseta	2" x 2"x 1/8" (L)
<b>22</b>	Baos de cubierta superior	1,5" x 1,5" x 1/8" (L)
<b>23</b>	Baos de cubierta magistral	1,5" x 1,5" x 1/8" (L)
<b>24</b>	Escuadras	1/8"
<b>25</b>	Bitas (Popa 4)	4" SCH40
<b>26</b>	Bitas (Proa 5)	2" SCH20
<b>27</b>	Barandales	3/4" SCH40

Tabla No. 3 Elementos estructurales de la superestructura, [13]

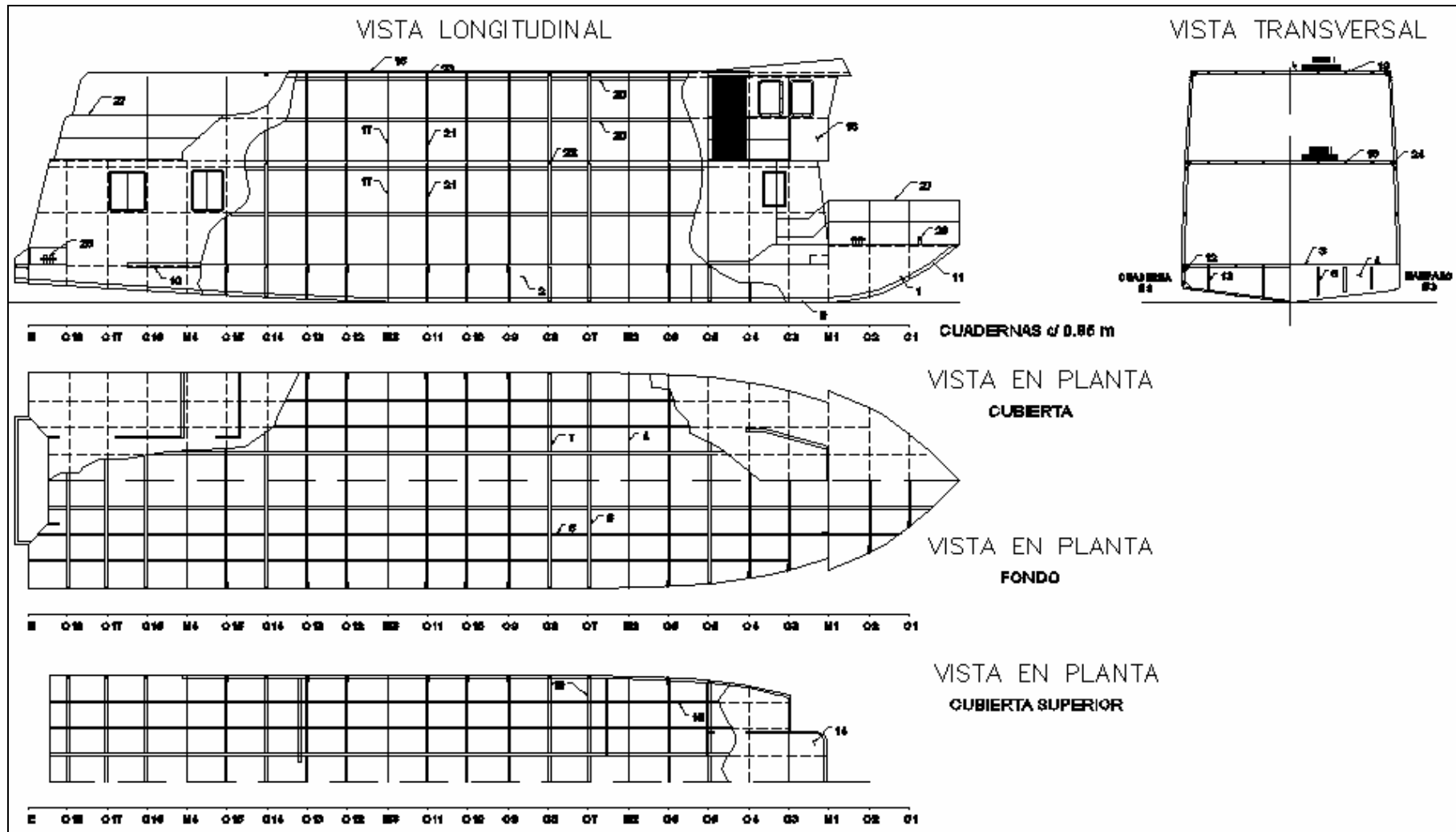


Figura No. 5 Plano de estructurales de la lancha hospital Samarina, [13]

## **2.2 Proceso de discretización y selección de los tipos de elementos**

La idea general del Método de Elementos Finitos, tomada de la referencia [5], es la división de un continuo en un conjunto de pequeños elementos definidos por una serie de puntos llamados nodos. Las ecuaciones que rigen el comportamiento del continuo regirán también las del elemento. De esta forma se consigue pasar de un sistema continuo (infinito # de grados de libertad), que es regido por una ecuación diferencial parcial o un sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias, a un sistema con un número de grados de libertad finito, cuyo comportamiento se rige por un sistema de ecuaciones algebraicas, lineales o no.

Uno de los pasos más importantes dentro del MEF es identificar el espacio geométrico donde se va analizar el sistema (dominio); en este caso el dominio será el casco de la embarcación fluvial Samarina.

Los elementos a emplearse en la presente tesis y disponibles en la librería del programa SAP 2000, ver referencia [22], serán: elementos "VIGA", denominados en el programa como "Frame", definidos con dos nodos y representan miembros estructurales secundarios, que soporten cargas concentradas o distribuidas; estos elementos permiten analizar problemas de: flexión en los dos planos con deformación por corte, torsión y axial. Los elementos "PLANCHAS", denominados en el programa como "Shells", serán

definidos con tres o cuatro nodos en el espacio. Estos elementos representarán el planchaje de la embarcación y los elementos estructurales transversales primarios. Estos elementos soportan cargas en el plano (membrana) y laterales (flexión).

Una vez definidos los elementos disponibles a utilizar, se han modelado utilizando elementos "PLANCHA", a los siguientes elementos estructurales:

- Planchaje de fondo.
- Planchaje de costado.
- Planchaje del espejo
- Cubierta principal.
- Planchaje de mamparos.
- Cuadernas fondo y costado.
- Baos.
- Quilla.
- Roda.

Así también, se han modelado como elementos "VIGA" a los siguientes miembros estructurales secundarios:

- Refuerzos de cubierta.
- Refuerzos del fondo.
- Refuerzos de mamparos.



- Refuerzos del espejo.
- Rudón.
- Puntales.

### **2.3 Desarrollo del modelo estructural.**

Luego de realizar el proceso de discretización de la estructura a modelar y la definición de los elementos a utilizar, se procedió a desarrollar el modelo estructural del casco en forma numérica. Para la elaboración del modelo se procedió a realizar las formas del casco con el programa AUTOCAD para posteriormente transferirlo (importarlo) desde el programa SAP 2000 y generar los elementos Viga y Plancha. En el Anexo 2 se presenta la secuencia que se siguió para desarrollar el modelo estructural con el programa AUTOCAD y luego como se fue desarrollando el modelo con el programa SAP 2000.

En la figura No. 6 se presenta el modelo completo; luego se define el sistema de referencia global de la estructura el cual se puede apreciar en la figura anteriormente mencionada. El origen del sistema de coordenadas global está cercano a la Sección Media, y es tomado de la siguiente manera: el eje "X", en dirección longitudinal, positivo a proa; el eje "Z", en dirección vertical positivo hacia arriba; y el eje "Y", en dirección transversal, positivo a Babor.

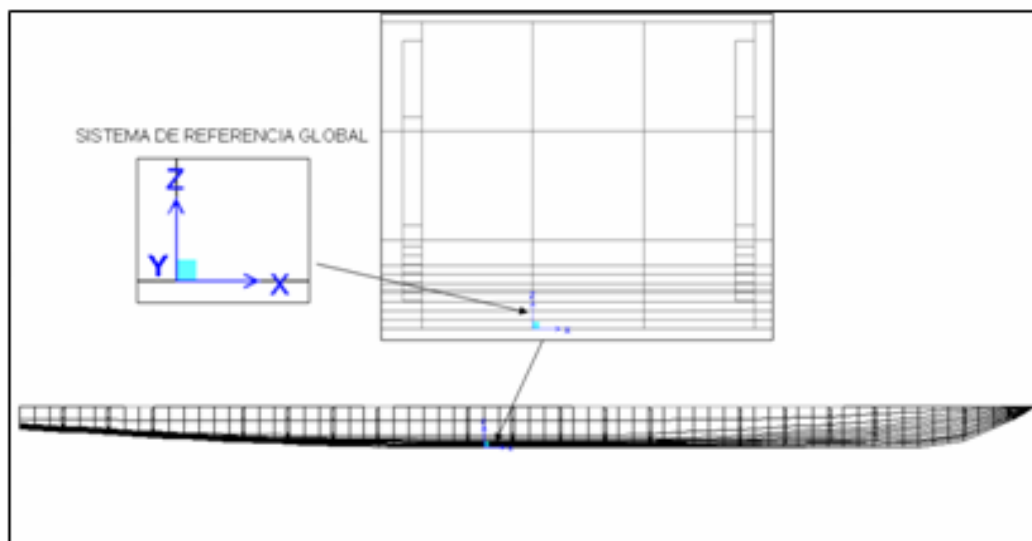


Figura No. 6 Vista de perfil del modelo, indicando el sistema de referencia global

Luego del desarrollo del modelo se necesita especificar los ejes locales: por omisión el programa toma la orientación de los ejes locales relacionada con el sistema de coordenadas globales descritos anteriormente, ver referencia [22]. Estos ejes locales sirven para asignar las propiedades geométricas, tales como el área seccional, inercia seccional, etc., para los elementos vigas (FRAME), así como también sirven para conocer las direcciones de los esfuerzos y fuerzas internas que se desarrollarán en los elementos planchas (SHELL). Para una mayor explicación de los ejes locales se describe en el anexo 3 la dirección de los ejes locales para los elementos utilizados.

Para el cálculo de las inercias de las secciones, en el caso en que se combinan planchas con refuerzos, se ha considerado el ancho efectivo de la plancha, [16], que será rigidizada por el refuerzo. Es decir para los estructurales secundarios modelados como elementos Viga, se incluyó en el cálculo de su inercia un valor del ancho de la plancha, tomado como efectivo.

En la figura No. 7, se representa un detalle del modelaje del arreglo estructural, donde se especifican los miembros estructurales y sus espaciamientos.

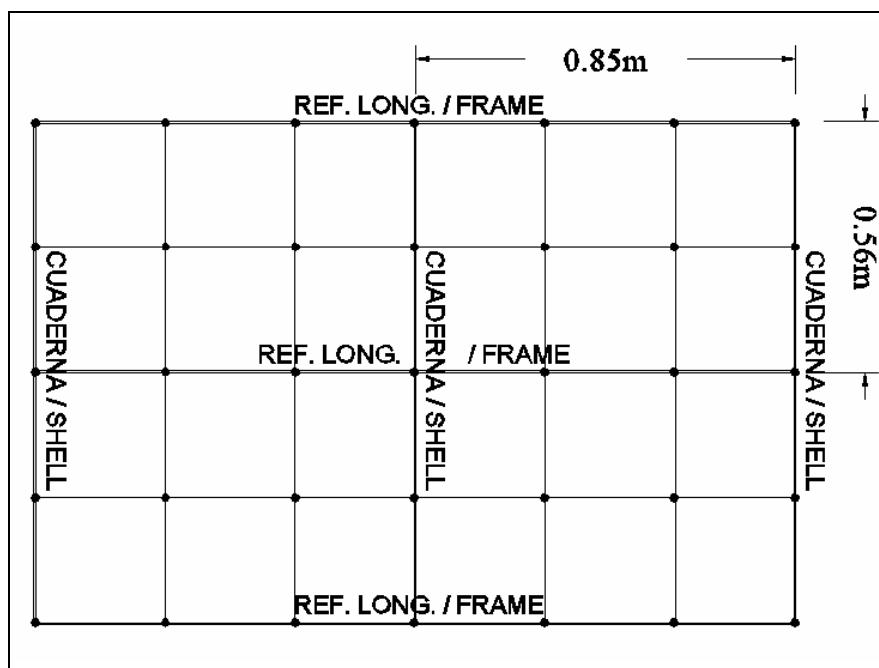


Figura No. 7 Esquematización de una parte del arreglo estructural de L/H

Samarina

De la referencia [7], se obtienen tres formulaciones para encontrar el ancho efectivo ( $be$ ), de donde se escoge, en forma conservativa, el menor ancho efectivo.

1.  $be = 60t$ , tomada del libro Cálculo de Estructuras de Buques, de Martín Domínguez, [8].

donde:

$t$  = espesor de la plancha del fondo (m)

$$be = 60 \times 0.00635\text{m} = 0.381\text{m}$$

2.  $be = \frac{s}{2}$ , tomada de las reglas de clasificación DNV, para embarcaciones menores, [6].

donde:

$s$  = espaciamiento entre refuerzos secundarios (m)

$$be = \frac{0.56\text{m}}{2} = 0.28\text{m}$$

3.  $be = \frac{l}{3}$ , tomada de las reglas de clasificación ABS, para embarcaciones menores, [1].

donde:

$l$  = longitud no soportada del refuerzo (m)

$$be = \frac{0.85\text{m}}{3} = 0.283\text{m}$$

4. De la referencia “Recent Advances and Future Trends in Ultimate Limit State Design of Steel Plated Structures”, [10], se procedió a usar las formulaciones 1 y 2, que se presentan a continuación para el cálculo del Ancho Efectivo:

$$\beta = \frac{b}{t} \sqrt{\frac{\sigma_Y}{E}} \quad (1)$$

donde:

$\beta$  = razón de esbeltez de la plancha.

$b$  = ancho de la plancha (m)

$t$  = espesor de la plancha (m)

$\sigma_y$  = Esfuerzo de Fluencia del acero (2.4E7 Kg/m<sup>2</sup>)

$E$  = Módulo de Young del acero (2.6E10 Kg/m<sup>2</sup>)

$$\beta = \frac{0.56\text{m}}{(0.25\text{pulg}) \times \left(\frac{0.0254\text{m}}{1\text{pulg}}\right)} \sqrt{\frac{2.4\text{E}7 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}}{2.6\text{E}10 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}}} = 2.68$$

$$\frac{b_e}{b} = \begin{cases} 1.0 & \text{for } \beta < 1 \\ \frac{2}{\beta} - \frac{1}{\beta^2} & \text{for } \beta \geq 1 \end{cases} \quad (2)$$

Debido a que el valor de  $\beta$  es mayor que 1, se toma la segunda fórmula para encontrar el porcentaje de ancho efectivo a usar.

$$\frac{b_e}{b} = \frac{2}{\beta} - \frac{1}{\beta^2} = \frac{2}{2.68} - \frac{1}{2.68^2} = 0.607\% ; b_e = 0.34\text{m}$$

A partir de estos resultados se obtiene que el ancho efectivo para el cálculo de la inercia de los longitudinales de fondo y cubierta es: 0.28 m, tal como se describe en la figura No. 8.

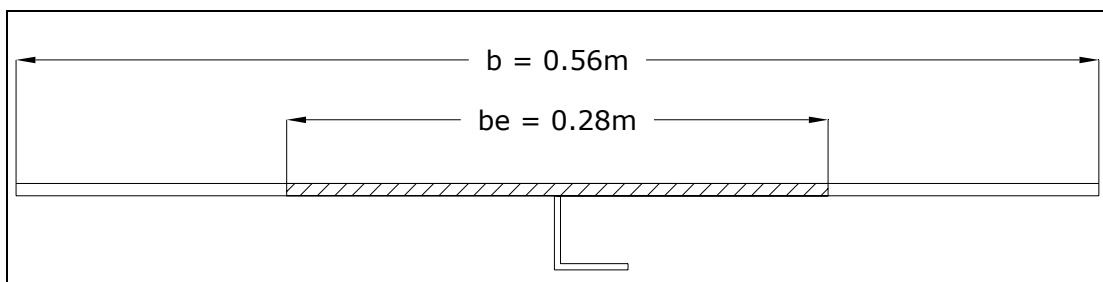


Figura No. 8 Ancho efectivo calculado para el refuerzo longitudinal de fondo

En el Anexo 4 se presentan los cálculos del ancho efectivo considerando el espesor del planchaje de cubierta, debido a que este espesor es diferente al espesor anterior, exactamente la mitad del espesor del fondo. En la tabla No. 4 se presentan los anchos efectivos calculados de acuerdo al planchaje.

Descripción	Ancho efectivo	Unidades
Planchaje de fondo	0.28	m
Planchaje de cubierta	0.19	m

Tabla No. 4 Valores de ancho efectivo

A continuación en la tabla No. 5 se presentan los valores de los momentos de inercia ( $I_{22}$ ,  $I_{33}$ ), tomando como ancho efectivo el valor proporcionado por el espesor del planchaje de fondo.

<b>Descripción</b>	<b><math>I_{22}</math> (m<sup>4</sup>)</b>	<b><math>I_{33}</math> (m<sup>4</sup>)</b>
Ref. long. de fondo	1.167E-05	2.301E-07

Tabla No. 5 Momentos de inercias usadas para los refuerzos longitudinales del fondo

Es necesario indicar que los valores mostrados en la tabla se repiten para el caso de los refuerzos del espejo usan los mismos valores de los momentos de inercia del refuerzo longitudinal de fondo. Esto se debe a que el planchaje del espejo es igual al del fondo. Por lo tanto las propiedades geométricas de ambos refuerzos van hacer las mismas.

De la misma manera se calcularon los momentos de inercia para los refuerzos longitudinales de cubierta usando el ancho efectivo calculado en el Anexo 4, el cual es calculado considerando el espesor de cubierta. De manera que los valores para los refuerzos longitudinales de fondo no varían, sólo lo hacen los valores para los refuerzos de cubierta, esto se puede apreciar en la tabla No. 6.

<b>Descripción</b>	<b><math>I_{22} \text{ (m}^4\text{)}</math></b>	<b><math>I_{33} \text{ (m}^4\text{)}</math></b>
Ref. long. de cubierta	5.856E-06	1.877E-07

Tabla No. 6 Momentos de inercias usadas para los refuerzos longitudinales de cubierta

Es necesario indicar que los valores mostrados en la tabla se repiten para el caso de los refuerzos de mamparos usan los mismos valores de los momentos de inercia del refuerzo longitudinal de cubierta. Esto se debe a que el planchaje del mamparo es igual al de cubierta. Por lo tanto las propiedades geométricas de ambos refuerzos van a ser las mismas.

Luego de haber escogido los ejes locales y de haber asignado las propiedades geométricas de los elementos "Vigas", se completó el modelo de la estructura del casco.

Debido a que algunas de las cargas a ser aplicadas y las condiciones de frontera son asimétricas, debió modelarse la estructura completamente, véanse las figuras No. 9, 10 y 11. Con todo esto, en la tabla No. 7, se describen algunos valores representativos del modelo.



Descripción	Cantidad
Nodos	4389
Elementos Viga (Frame)	1126
Elementos Plancha (Shell)	4557

Tabla No. 7 Descripción de los elementos usados

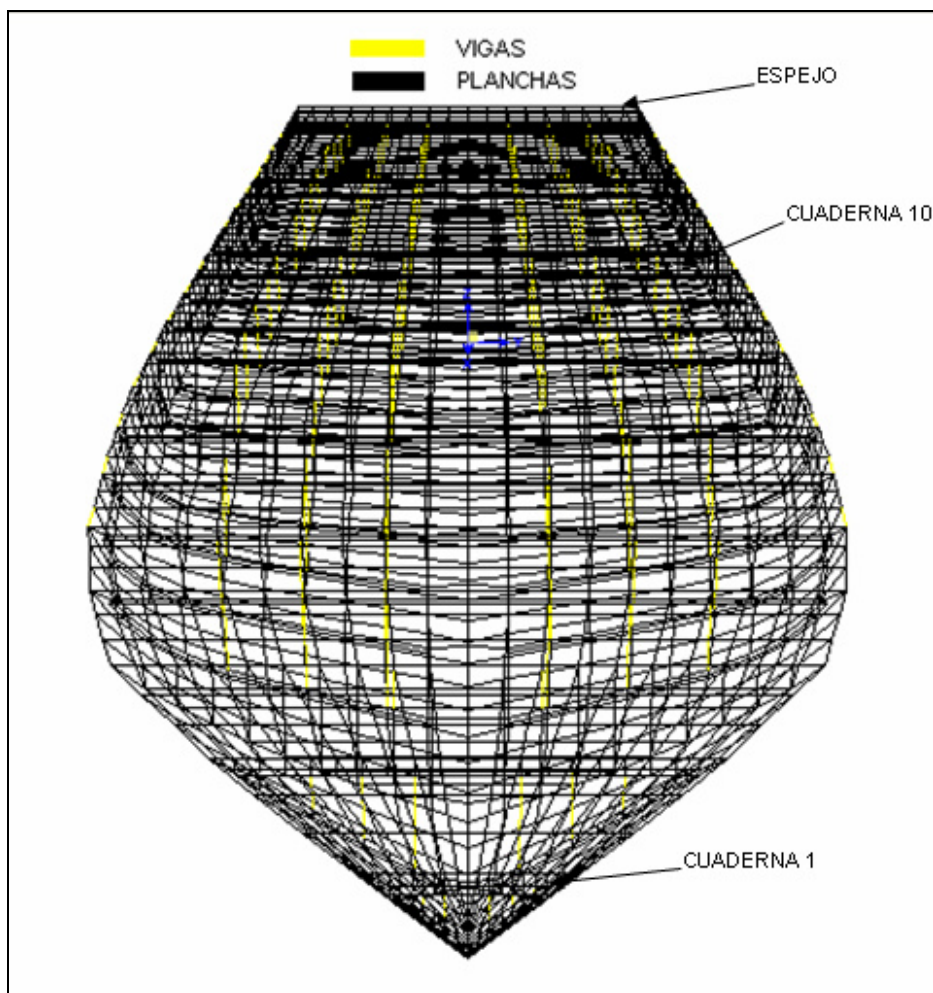


Figura No. 9 Vista superior del modelo, identificando los elementos utilizados

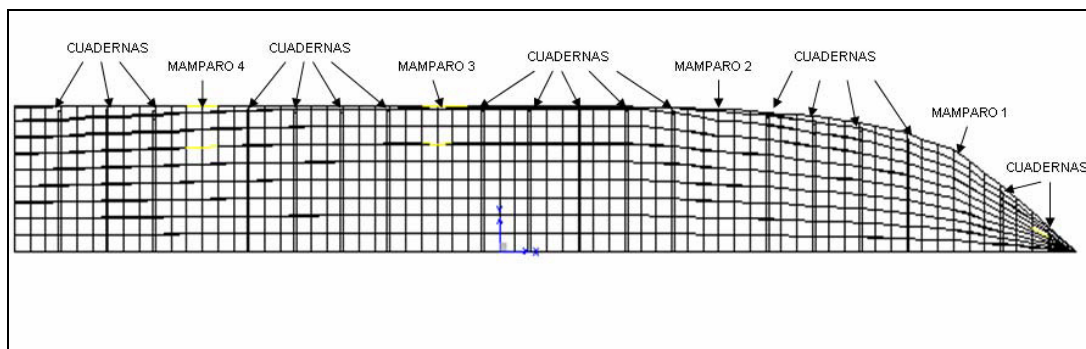


Figura No. 10 Vista en planta del modelo desarrollado

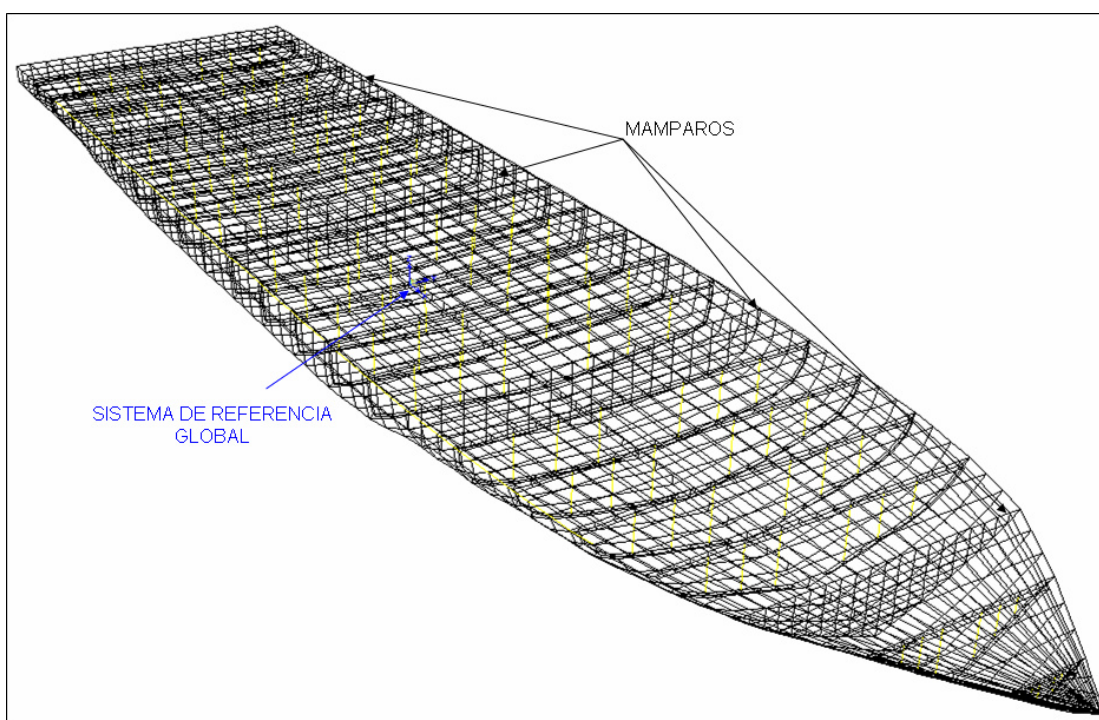


Figura No. 11 Vista en 3-D del modelo desarrollado

Para un mejor detalle del modelo estructural se procedió a realizar un corte en la línea de crujía con la intención de poder visualizar en mejor forma los elementos estructurales en el interior del casco. Para mejorar la identificación de los elementos se procedió a dar colores a cada sección

modelada, véase esto en la figura No. 12. En la misma figura en la parte inferior derecha se puede observar el sistema de unidades usado para el desarrollo del modelo, el cual es el sistema Internacional.

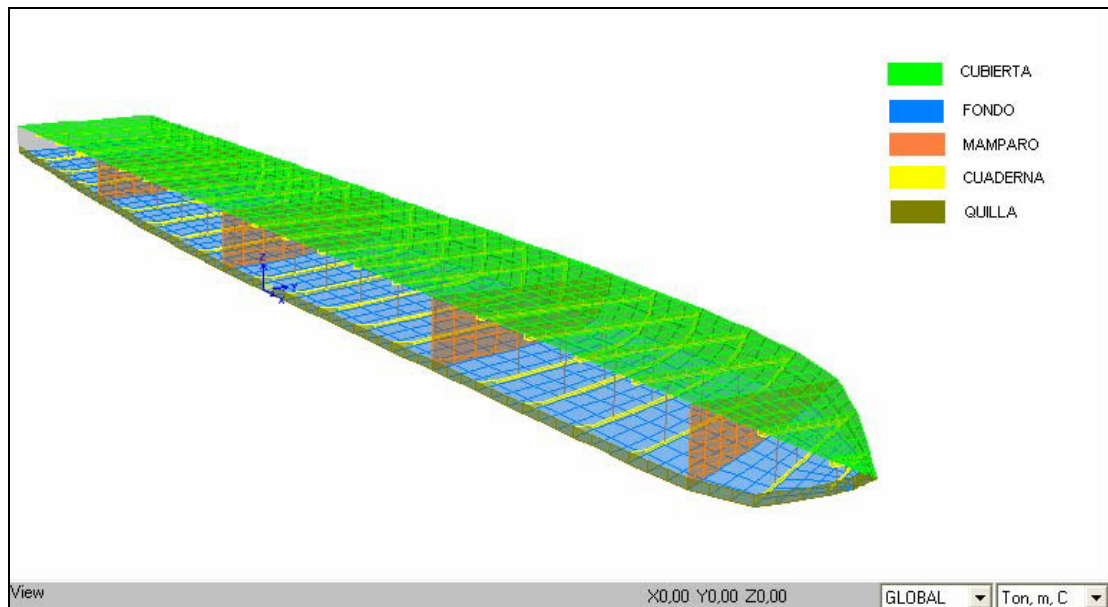


Figura No. 12 Secciones desarrolladas en el modelo estructural

A continuación, en la figura No. 10, se detalla la sección de Proa, señalando algunos elementos principales.

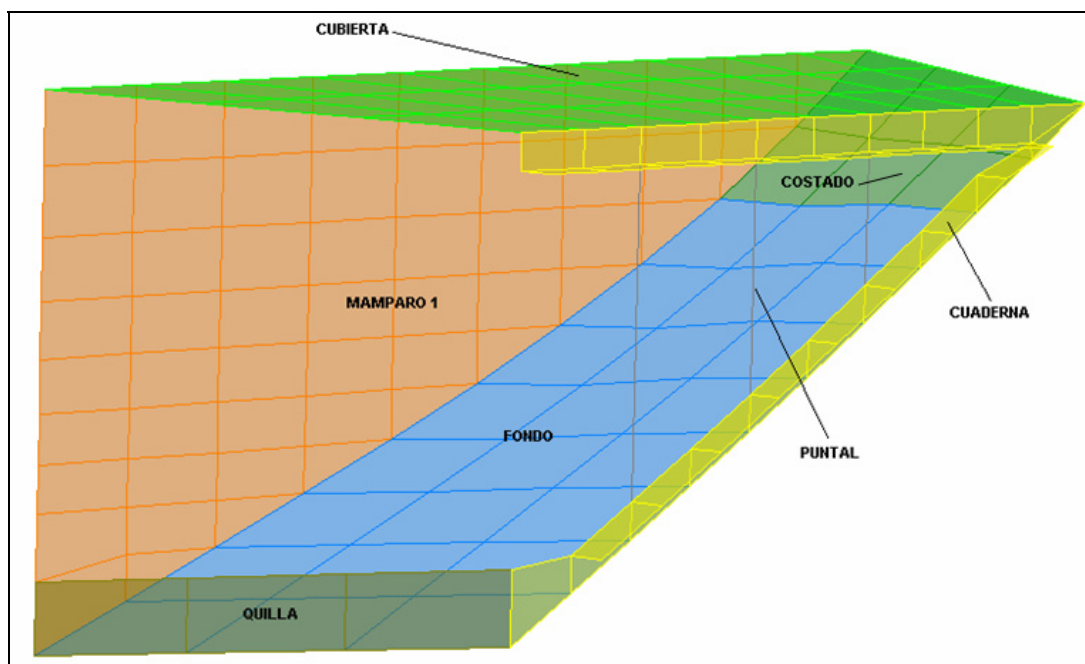


Figura No. 13 Detalle de la sección de proa

En la figura No. 14 se detalla el cuerpo paralelo medio, que tal como se mencionó en la descripción del arreglo estructural, subcapítulo 2.1, comienza en la cuaderna 7 y termina en la cuaderna 11. También se indican los elementos estructurales pertenecientes a esta sección, en donde aparte de los elementos que se detallaron en la sección de proa, se detalla también la presencia del rudón.

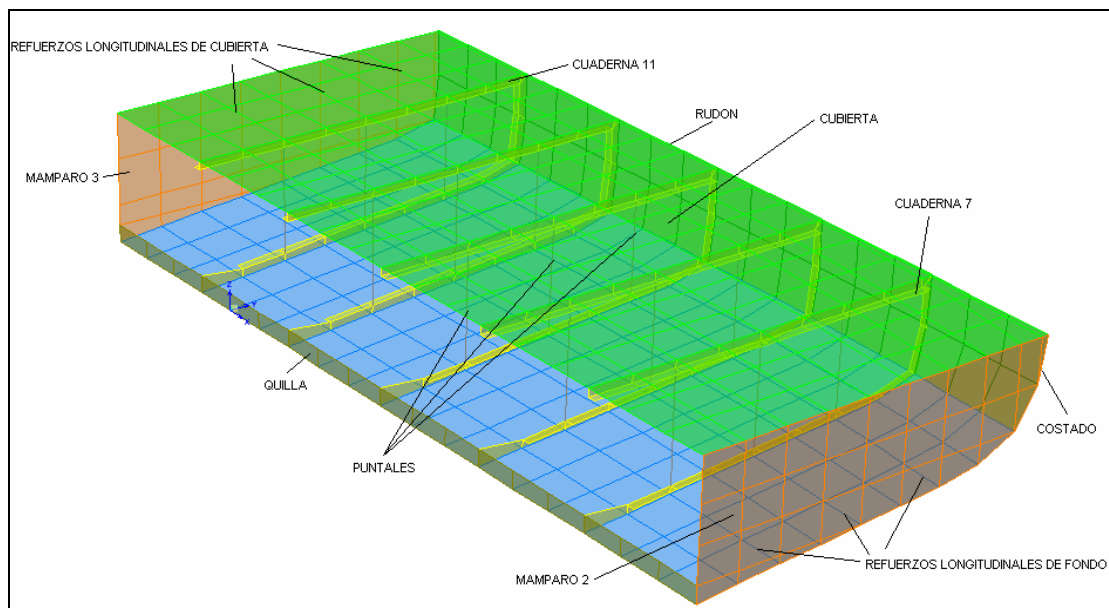


Figura No. 14 Detalle del cuerpo paralelo medio

En la figura No. 15, se muestra una cuaderna de fondo, de costado, y, el bao, con los cuales se forma un anillo estructural en el casco. A cada uno de estos elementos se los definió como cuadernas para evitar especificar a cada miembro estructural con su propio nombre y prescindir de más nombres y más colores lo cual podría haber provocado mayor confusión en la visualización del modelo. Las cuadernas fueron modeladas con elementos planchas, es decir tanto el alma y el ala son elementos Planchas ("Shell"). Los puntales están situados entre el bao y la cuaderna de fondo, y a su vez están conectados con los refuerzos longitudinales tanto los de cubierta, como los de fondo.

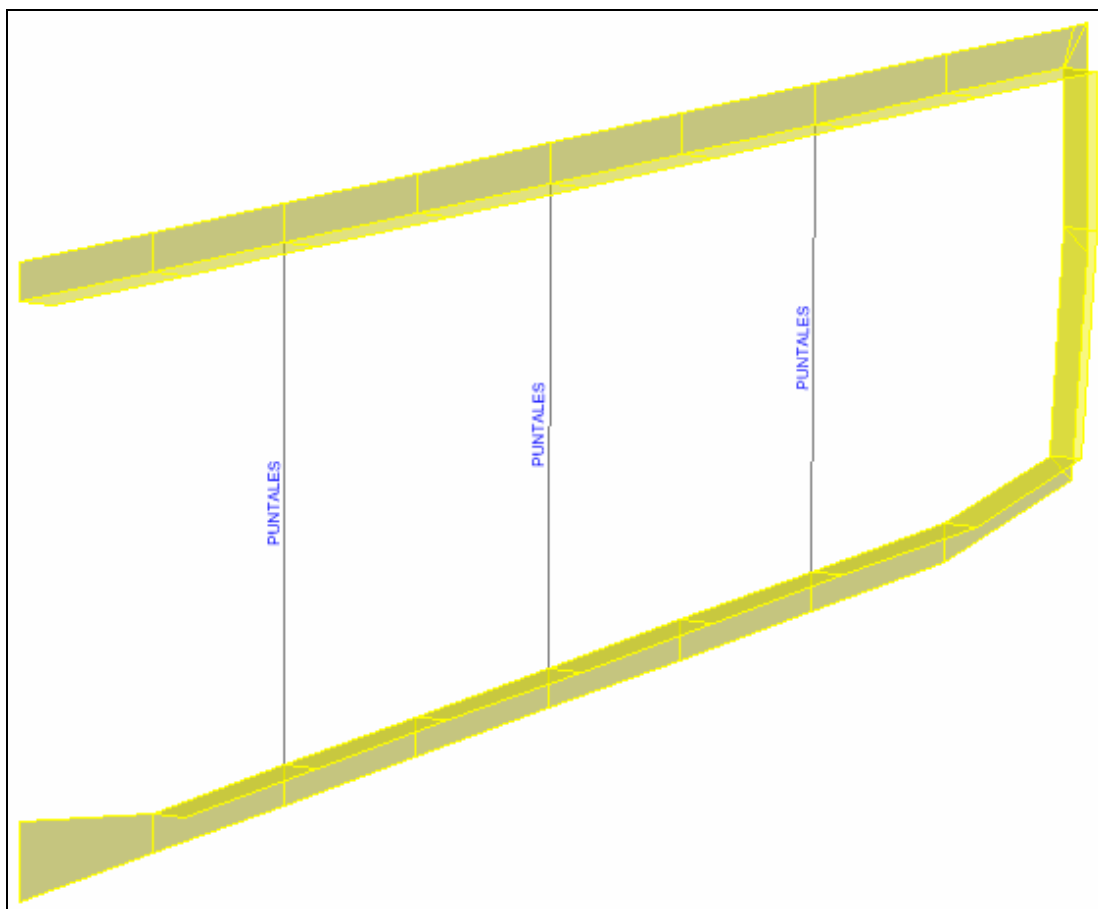


Figura No. 15 Detalle desde línea de crujía de la cuaderna y puntales

En la figura No. 16, se detalla un mamparo estanco con sus respectivos refuerzos verticales, los mismos que están conectados con los refuerzos longitudinales de cubierta y de fondo. Estos refuerzos fueron modelados con elementos FRAME.

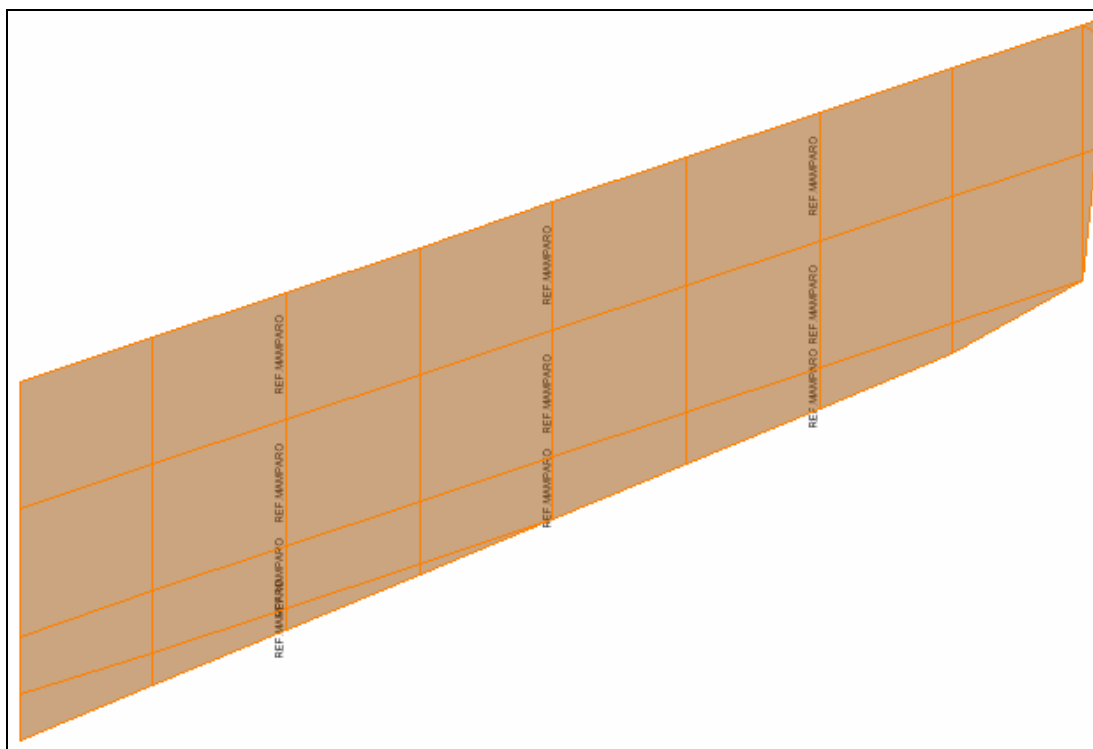


Figura No. 16 Detalle del mamparo y sus refuerzos verticales

En la figura No. 17 se puede observar el espejo junto con sus refuerzos, los cuales fueron instalados en dirección vertical y horizontal; estos refuerzos fortalecen esta parte estructural debido a que soporta el peso de los motores fuera de borda.

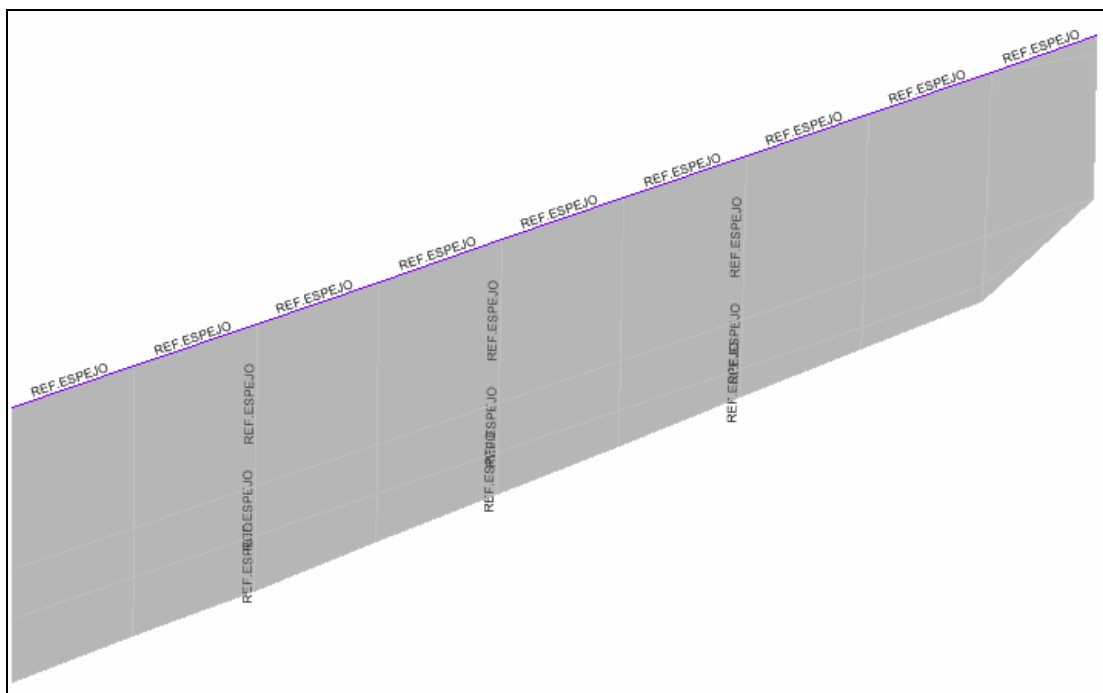


Figura No. 17 Detalle del espejo y sus refuerzos



## **CAPITULO 3**

### **CONDICIONES DE CARGAS CARACTERÍSTICAS**

Dentro de las diferentes condiciones de carga estructural que puede soportar una embarcación fluvial, en este capítulo se hace una descripción detallada de las 4 consideradas más importantes. Es válido indicar que estas condiciones de carga son diferentes a las que soportan las embarcaciones de tipo oceánico.

Para el desarrollo de este capítulo se describen primero las cargas que va a soportar la estructura del casco modelado:

- Peso de la estructura del casco: este parámetro es calculado internamente por el programa SAP 2000, activando la opción "Self Weight Multiplier", ver referencia [22]. Al peso específico del acero,  $7.8 \text{ Ton/m}^3$ , se le incrementa un 5% para considerar el peso de los cordones soldadura y escuadras no definidas.
- Peso de la superestructura: Se lo realizó de la siguiente manera: para los refuerzos se calcula el peso por medio del área seccional, la longitud y el peso específico; para el planchaje se tomó las mismas consideraciones, dependiendo de su posición, ya sea vertical u horizontal. A este cálculo sólo se incrementa un 3% para considerar los cordones de soldadura, debido a que las escuadras fueron consideradas en el cálculo del peso de la superestructura, ver Anexo 5.
- Pesos de accesorios: este ítem es originado por los equipos y accesorios necesarios para la operación como hospital que tiene la embarcación; el cálculo de este peso está detallado en el Anexo 6.
- Presión hidrostática: esta presión es calculada internamente por el programa SAP 2000, a través del nivel de referencia (calado) y el peso específico del agua, en este caso  $1 \text{ Ton/m}^3$ .

- Pesos de consumibles y maquinaria: se considerará las capacidades y la distribución de tanques y maquinaria de la embarcación, ver Anexo 7.

En la tabla No. 8, se presenta el listado de las fuerzas a ser aplicadas, su valor y la localización. En la columna de descripción cuando se refieren a los tanques y al motor se especifica "(Bb-Eb)", lo cual indica que esa fuerza tiene que ser aplicada tanto para Babor como para Estribor.

<b>CARGAS APLICADAS COMO FUERZAS CONCENTRADAS</b>				
<b>Descripción</b>	<b>Peso</b>	<b>No de nodos</b>	<b>Peso/nodo</b>	<b>Localización</b>
	<b>(Ton)</b>		<b>(Ton)</b>	
Superestructura	5,92	444	0,0133	Cubierta Principal
Accesorios de ambientes	3,57	444	0,0080	Cubierta Principal
Motor (Bb-Eb)	0,25	3	0,0818	Cubierta Principal
<b>Tanques (Bb-Eb)</b>				
Gasolina	0,31	5	0,0625	Cubierta Principal
Combustible	0,49	12	0,0407	Fondo
Aguas negras	1,02	9	0,1130	Fondo
Agua	1,33	12	0,1104	Fondo

Tabla No. 8 Fuerzas Externas Concentradas aplicadas en la embarcación

### **3.1 Condición de carga 1: Aguas tranquilas**

En esta condición se modela la embarcación en su posición de equilibrio estático de carga, es decir, navegando al calado al cual fue diseñado, sin ningún asiento ni escoramiento. Debido a esto, el casco de la embarcación soporta el peso de la superestructura sobre la cubierta, peso de accesorios y la presión hidrostática sobre el planchaje de costado, fondo y espejo. Todos los pesos son aplicados en la dirección de la gravedad, es decir en dirección Z hacia abajo y en los nodos que definen los refuerzos estructurales. El equilibrio se logra por la fuerza de boyantez aplicada como presión hidrostática sobre la estructura del casco hasta la línea de flotación.

Para una mejor visualización de las cargas aplicadas a la estructura del buque, en la figura No. 18, se puede apreciar cómo se aplica la fuerza distribuida que genera el peso de la superestructura y de los equipos sobre la cubierta principal, debido a que tienen el mismo sentido y aplicación, pero los diferentes pesos son distintos en valor; éste detalle se puede observar en la tabla No. 8.

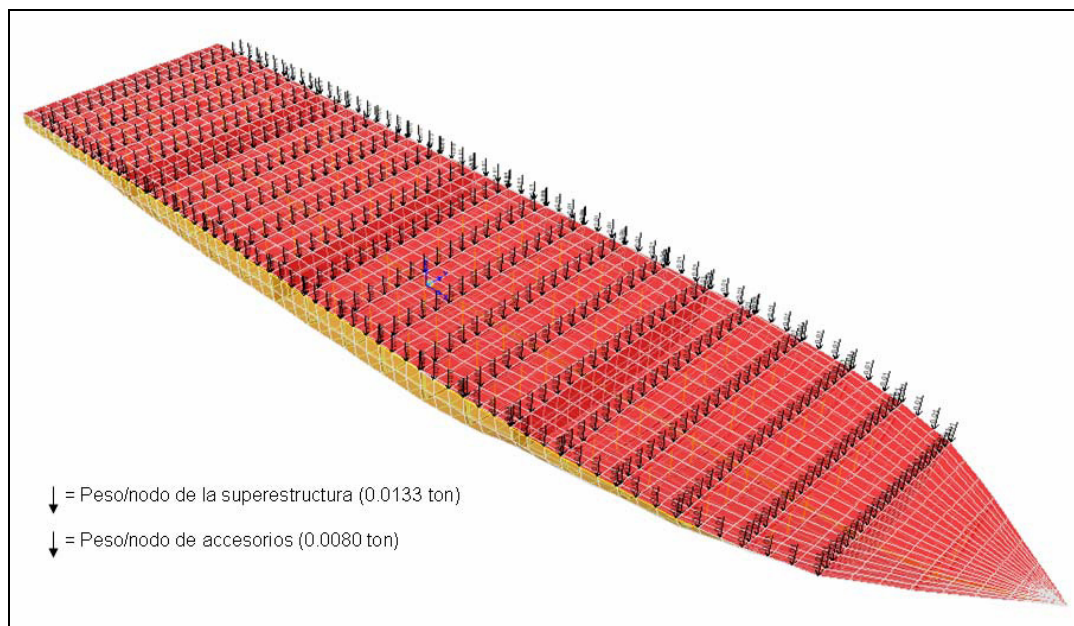


Figura No. 18 Aplicación del peso de la superestructura y de los equipos

La fuerza que generan los líquidos de los tanques en su respectiva ubicación, es detallada en la figura No. 19. Así también, se presentan las cargas de los motores aplicadas como fuerzas concentradas. Vale indicar que en la figura mencionada solo se presenta la vista desde la línea de crujía hacia babor, puesto que estas cargas son simétricas.

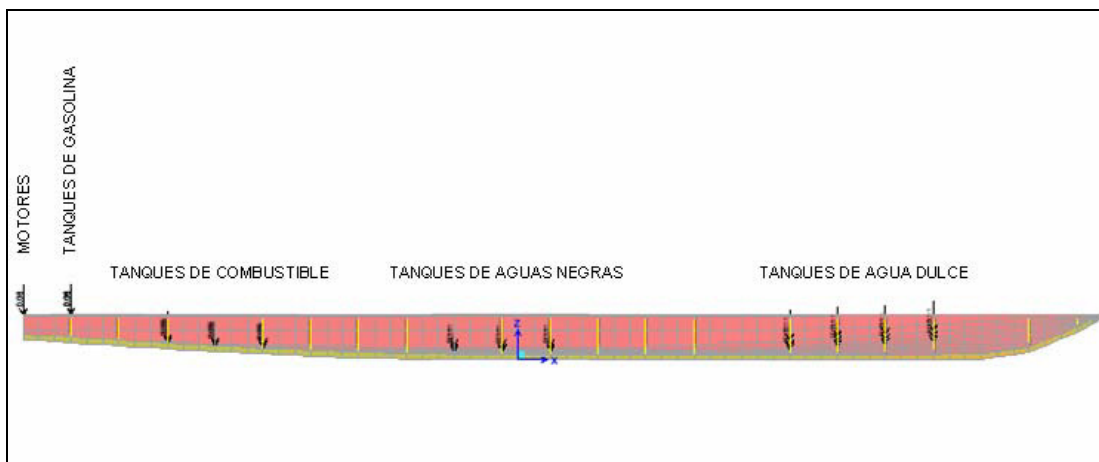


Figura No. 19 Aplicación del peso de tanques y del motor

La distribución de la presión hidrostática, se la presenta en la figura No. 20, en la cual se ha proyectado una vista de la obra viva, con la finalidad de visualizar mejor la distribución. Se tomó como nivel de referencia el calado de diseño de 0.5 m

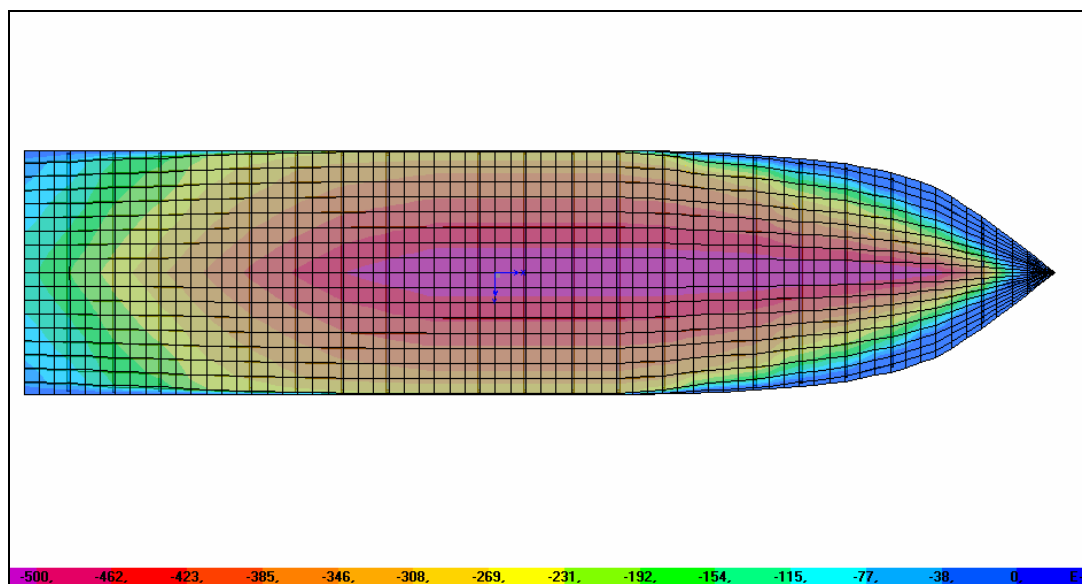


Figura No. 20 Distribución de la presión hidrostática en la obra viva del casco en Aguas Tranquilas.

Finalmente, luego de la aplicación de las fuerzas concentradas, debido a que el caso a ser analizado no tiene condiciones de frontera geométricas (desplazamiento o rotación conocidos) se colocarán resortes en 10 nodos, ver figura No. 21, para que el sistema de ecuaciones tenga solución. Estos nodos fueron seleccionados de la siguiente forma: 6 en sentido longitudinal (restringiéndose en dirección vertical Z) y 4 en sentido transversal (restringiéndose en dirección longitudinal y transversal, X y Y). Los resortes se situaron en el fondo y en el costado, longitudinalmente en el espejo y en el mamparo de colisión. Se los colocó en esa posición para que la rigidez que desarrollen genere poca influencia sobre la distribución de esfuerzos resultantes. Los demás nodos son definidos como libres.

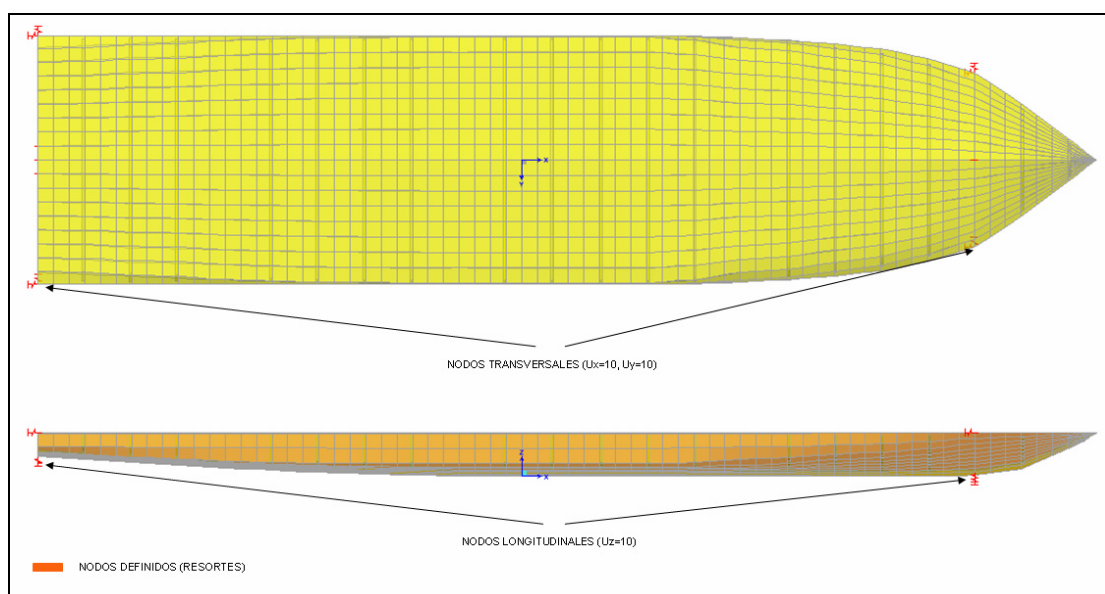


Figura No. 21 Posición de los nodos definidos como resortes en Aguas Tranquilas

En la tabla No. 9 se describen los nodos, en los cuales fueron instalados resortes, verificándose que los valores de las reacciones en dichos puntos, debido a las cargas aplicadas, son despreciables, por lo tanto no incidirán en los esfuerzos resultantes.

<b>POPA</b>			
<b>NODOS TRANSVERSALES</b>			
Nodo	U1	U2	U3
Texto	Ton	Ton	Ton
1	0.0031	-0.0006644	0
4282	0.0031	0.0006644	0
<b>NODOS LONGITUDINALES</b>			
1896	0	0	0.010541495
2055	0	0	0.010590712
2493	0	0	0.010541495
<b>PROA</b>			
<b>NODOS TRANSVERSALES</b>			
Nodo	U1	U2	U3
Texto	Ton	Ton	Ton
712	-0.0007367	0.00002857	0
3679	-0.0007367	-0.00002857	0
<b>NODOS LONGITUDINALES</b>			
1979	0	0	-0.010541668
2277	0	0	-0.010590364
2410	0	0	-0.010541668

Tabla No. 9 Reacciones en los resortes en Aguas Tranquilas



Entonces, en lo que se refiere al equilibrio estático, las sumatorias de las reacciones en los resortes, que denotan la diferencia entre los pesos y la fuerza de boyantez, son:  $F_x = 0.0047$ ,  $F_y = 1.555 \text{ E-}12$  y  $F_z = -2.288 \text{ E-}10$ , todos estos valores en toneladas. Dado que estos valores son pequeños, se confirma la condición  $W = \nabla\gamma$ .

### **3.2 Condición de carga 2: Varamiento**

En este subcapítulo se modela la embarcación como si estuviese varada primero en la parte de proa y luego en la de popa. Los pesos a ser aplicados son los de la condición anterior, mientras que la presión hidrostática será alterada, ya que la acción de varamiento modifica la distribución de ésta acción.

Para esta condición de carga, la embarcación rota un pequeño ángulo respecto del eje Y, debido a la acción de la reacción del fondo. Para estimar el valor de éste ángulo, de la referencia [17], se toma la información para modificar el asiento por acción del varamiento.

Cuando una embarcación se vara, el fondo ejerce una fuerza P (hacia arriba) a una distancia (d) del centro de flotación, la cual genera un momento y altera el asiento. De la referencia [17], se obtiene la formulación (3):

$$\delta LCG = \frac{w \times d}{\Delta_F} \quad (3)$$

Esta formulación, se la puede adaptar a la condición de varamiento de la siguiente manera:

$$\delta LCG = \frac{P \times d}{\Delta_F}$$

donde:

$\delta LCG$  = variación del centro de gravedad longitudinal (m)

$P$  = fuerza de contacto (Ton)

$d$  = distancia entre donde actúa la fuerza  $P$  y la posición longitudinal del centro de flotación (m)

$\Delta_F$  = desplazamiento final:  $(\Delta - P)$  (Ton)

La formulación mencionada sirve para recalcular el cambio de calado/asiento cuando el peso ( $w$ ) aplicado es conocido. En este caso la fuerza de contacto se la asume como del 10% del desplazamiento.

Usando las características hidrostáticas de la embarcación, se tiene lo siguiente:

$$\delta LCG = \frac{0.10 \times 24.58 \text{Ton} \times 7.89 \text{m}}{(24.58 - 0.10 \times 24.58) \text{Ton}} = 0.876 \text{m}$$

Sabiendo que el antiguo LCG es -0.41m, la nueva posición del centro de gravedad longitudinal (LCG') es:

$$LCG' = LCG - \Delta LCG$$

$$LCG = -0.41 - 0.876 = -1.286\text{m}$$

Teniendo como información el desplazamiento final y el nuevo centro de gravedad longitudinal se encuentra el asiento producido con los datos anteriormente calculados. Se obtiene un asiento de 0.207 m, por popa, tal como se esperaba.

Sabiendo que el asiento está relacionado con el ángulo de varamiento:

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{t}{L} \quad (4)$$

donde:

$\varphi$  = ángulo de varamiento (grados)

t = asiento (m)

L = eslora de la embarcación (m)

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{0.207}{19.44} = 0.61^\circ$$

Una vez encontrado el ángulo de varamiento, se procede a aplicar éste valor al modelo estructural, lo cual se puede observar en la figura No. 22, en la que se muestra a la embarcación rotada un ángulo de  $0.61^\circ$ , con respecto a un eje y a la altura de la línea de agua. Con este resultado se tiene la parte de popa más hundida que la de proa.

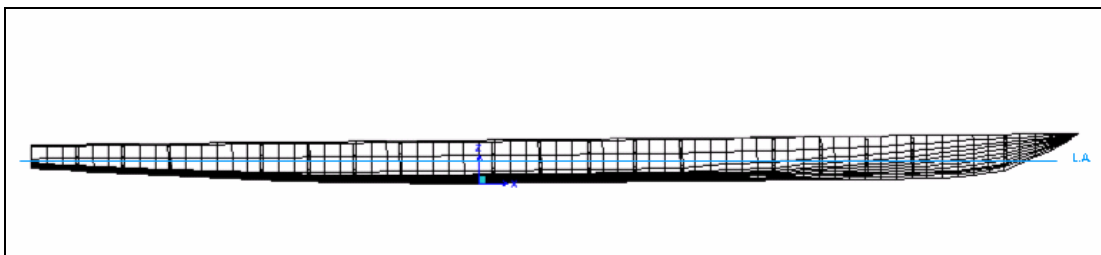


Figura No. 22 Embarcación asentada en popa por efecto del Varamiento en Proa

Tal como se indicó al inicio del subcapítulo la distribución de presión se altera debido al ángulo de varamiento; en la figura No. 23 se puede apreciar la nueva distribución de la presión hidrostática vista desde el fondo. Compárese esta figura con la distribución de presión original presentada en la figura No. 20.

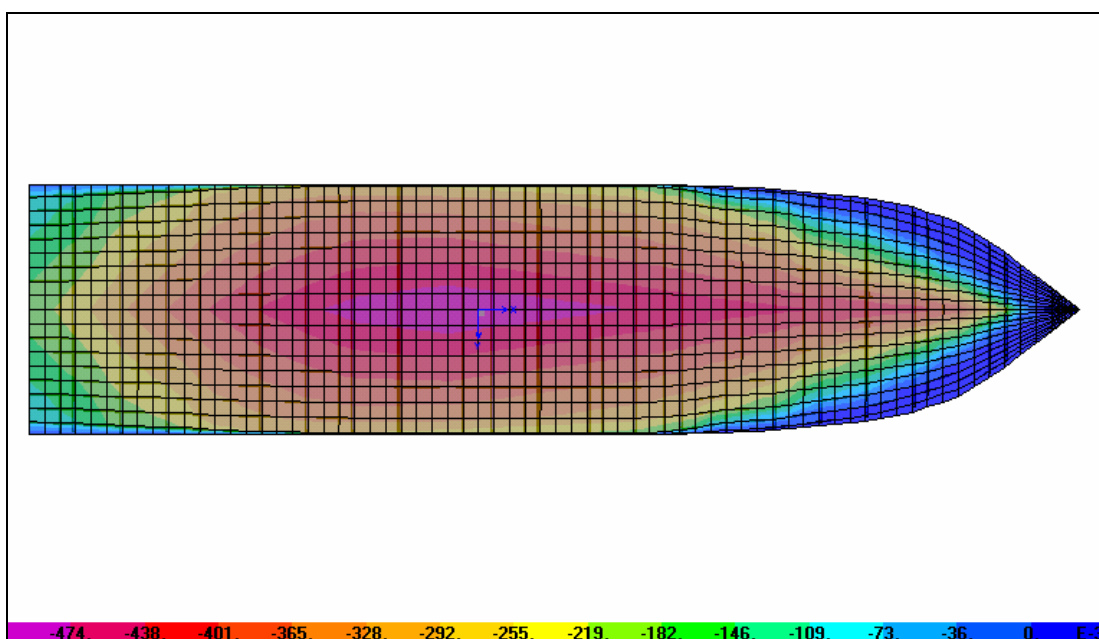


Figura No. 23 Distribución de la presión hidrostática en la condición de Varamiento en Proa

Luego se establecen las condiciones de frontera para poder resolver esta condición de carga. Las restricciones se colocan en el fondo y en la parte de proa. Los 5 nodos escogidos se los define como simplemente soportados y están localizados: 1 nodo en el mamparo 1 y en la cuaderna 3, respectivamente, y, los 3 nodos restantes en la cuaderna 5 alrededor de crujía, ver figura No. 24.

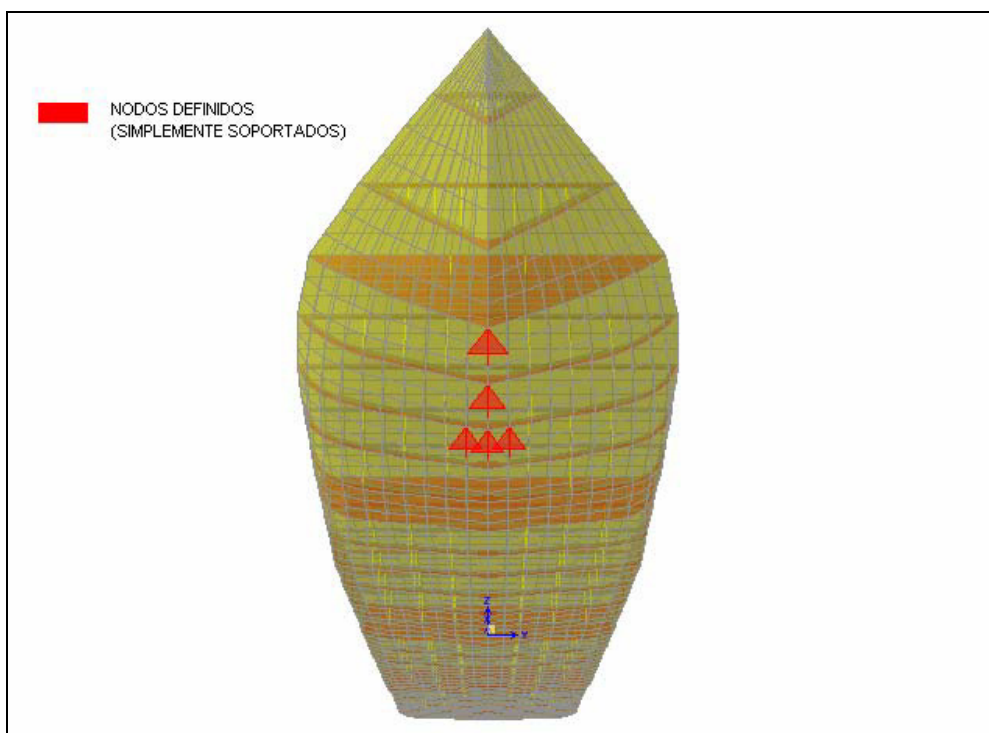


Figura No. 24 Posición de las restricciones en Varamiento en Proa

Finalmente para realizar esta condición se probaron diferentes calados hasta lograr el equilibrio estático, resultando un calado de 0.468 m. En la tabla No. 10 se aprecian las reacciones en esta condición, a fin de comprobar que el

calado y el ángulo escogidos son los correctos, de tal manera que se recupera el valor del 10% del desplazamiento en la dirección Z, la cual fue usada como fuerza (P), en este subcapítulo.

Carga	GlobalFX	GlobalFY	GlobalFZ	GlobalMX	GlobalMY	GlobalMZ
Texto	Ton	Ton	Ton	Ton-m	Ton-m	Ton-m
TOTALY	0.0036	4.98E-12	<b>2.4576</b>	-3.81E-12	-18.92861	-3.59E-11

Tabla No. 10 Reacciones globales en Varamiento en Proa

Luego se considera un varamiento en la zona de popa. El análisis de la variación del LCG y del asiento se lo desarrolla como el varamiento en proa; estos cálculos están detallados en el Anexo 8. Con los resultados obtenidos, en la figura No. 25, se presenta la embarcación girada  $0.436^\circ$ .

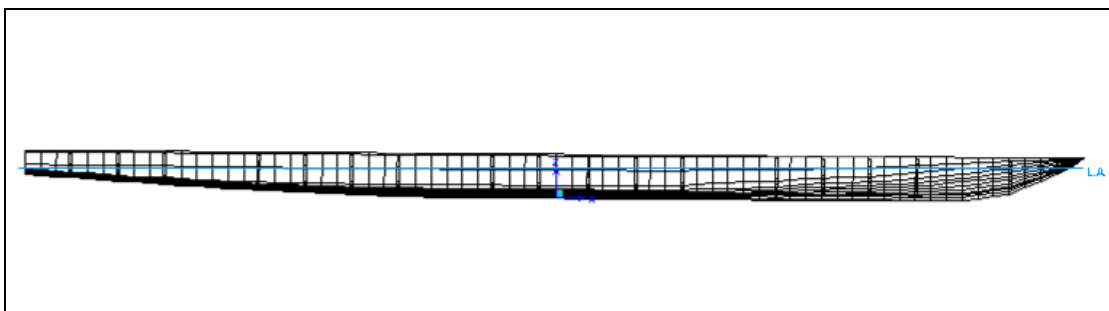


Figura No. 25 Embarcación asentada en popa por efecto del varamiento

La distribución de presión hidrostática varía también. En la figura No. 26 se nota mayor presión en la parte de proa, como era de esperarse. Compárese ésta figura con las figuras No. 20 y No. 23, para notar la diferencia en las distintas distribuciones de la presión hidrostática.

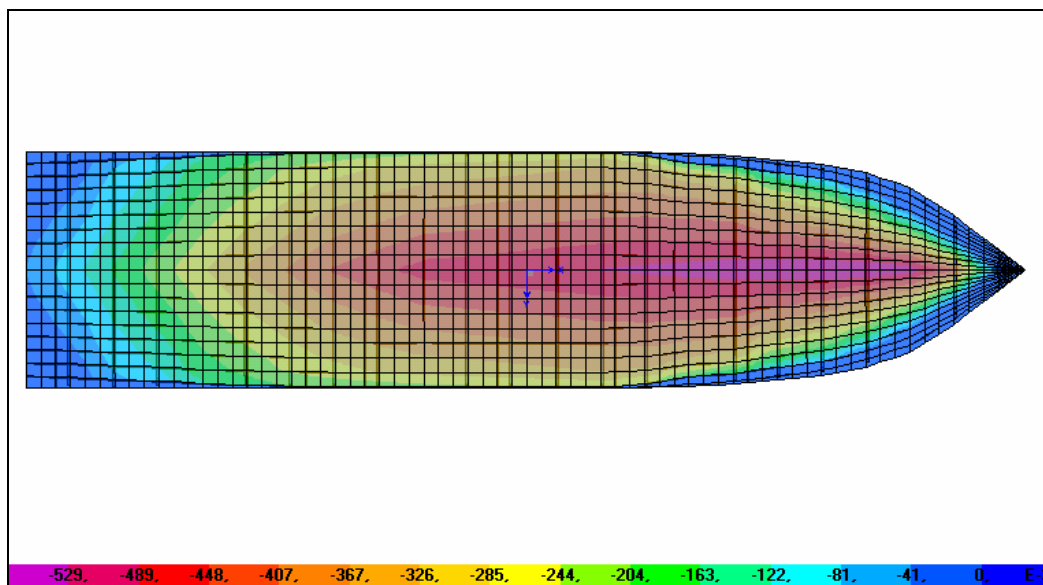


Figura No. 26 Distribución de la presión hidrostática en la condición de Varamiento en Popa

Luego se establecen las restricciones, las cuales se definen como simplemente soportadas y están localizadas en la parte de popa, tal como indica la figura No. 27. Los 14 nodos están localizados, 7 en la cuaderna 16 y los 7 restantes en el mamparo 4. Es válido mencionar que en esta condición se incluyen más nodos que en la condición de varamiento en proa debido a que se espera que el área de contacto en popa sea mayor que en la de proa.

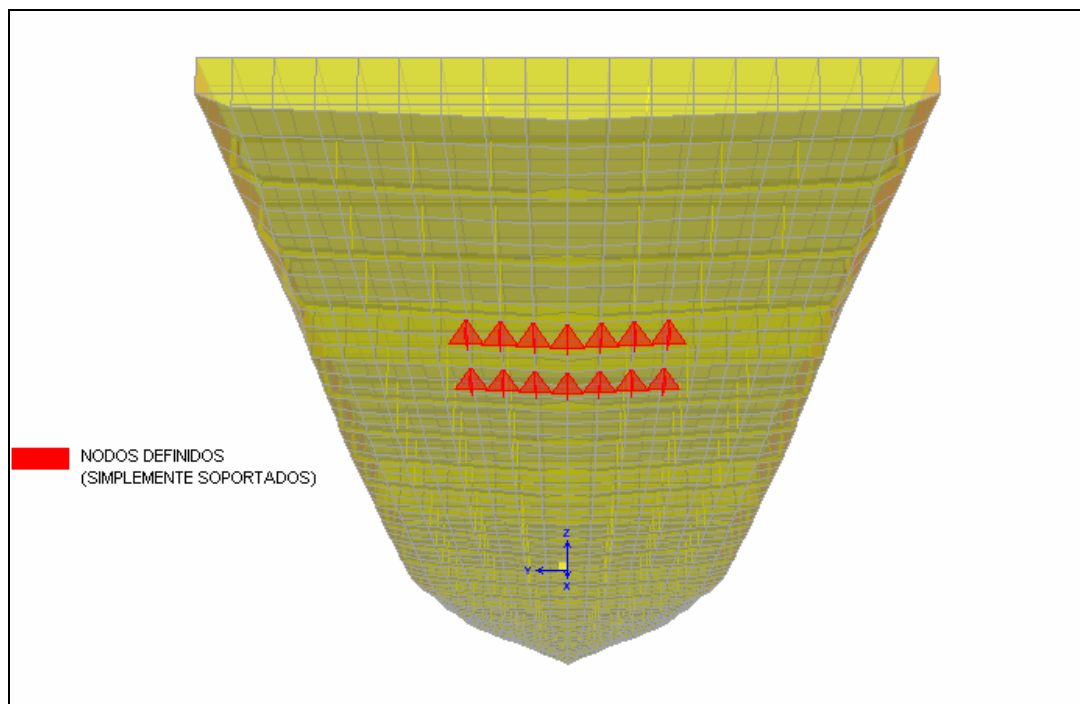


Figura No. 27 Posición de las restricciones en Varamiento en Popa

Finalmente en forma similar a la condición de varamiento por proa, se probaron diferentes calados hasta obtener el equilibrio estático, resultando un calado de 0.479 m. . En la tabla No. 11 se aprecian las reacciones en esta condición, para comprobar que el calado y el ángulo escogidos han sido los correctos, de tal manera que se recupera el valor del 10% del desplazamiento.

Carga	GlobalFX	GlobalFY	GlobalFZ	GlobalMX	GlobalMY	GlobalMZ
Texto	Ton	Ton	Ton	Ton-m	Ton-m	Ton-m
TOTALY	-0.0108	-1.032E-11	<b>2.4576</b>	6.264E-11	17.53036	-6.619E-11

Tabla No. 11 Reacciones globales en Varamiento en Popa



### 3.3 Condición de carga 3: Tensionada por cables

Esta condición se puede encontrar cuando la embarcación en su trayecto se encuentra con una falla de operación de sus motores, y soporta la acción de la corriente sobre un costado. Se va a modelar la embarcación simplemente soportada en dos puntos del casco (en proa y popa). Las fuerzas a ser aplicadas son similares a la condición 1, excepto que tendrá como carga adicional la fuerza hidrodinámica, la cual actúa contraria al movimiento del remolque.

De la referencia [18], se obtiene la información para el cálculo de la presión hidrodinámica en forma simplificada, mediante la siguiente formulación:

$$P_e = \frac{1}{2} \rho V_c^2 \quad (5)$$

donde:

$P_e$  = presión de estancamiento, Ton/m<sup>2</sup>

$V_c$  = velocidad de corriente, 4 nudos.

$\rho$  = densidad del agua, 1.0 Ton/m<sup>3</sup>

$$P_e = \frac{1}{2} (1.0) \left[ \frac{\text{Ton}}{\text{m}^3} \right] \times \left( 4 [\text{nudos}] \times \frac{0.514 \left[ \frac{\text{m/seg}}{\text{nudo}} \right]}{1} \right)^2 \times \left( \frac{1}{9.8} \right) \left[ \frac{\text{seg}^2}{\text{m}} \right]$$

$$P_e = 0.2156 \left[ \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} \right]$$

La velocidad se ha considerado como promedio en la columna, es decir, el valor máximo (en la superficie) posiblemente esté en el orden de los 6 nudos y el valor mínimo (en el fondo) posiblemente esté en 2 nudos, por lo que se toma como promedio una velocidad de corriente de 4 nudos.

Para obtener la fuerza que va hacer aplicada en el costado de la embarcación se procede a calcular el área sumergida del perfil, la cual alcanza un valor de  $7.93 \text{ m}^2$ , de tal manera que la fuerza total actuante es:

$$F = P_{\text{es tan camiento}} \times A_{\text{perfil}} \quad (6)$$

$$F = 0.2156 \left[ \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} \right] \times 7.93 \left[ \text{m}^2 \right] = 1.709 \left[ \text{Ton} \right]$$

Este valor de fuerza se aplica en 107 nodos que son repartidos en el costado de la embarcación, obteniéndose un valor de fuerza nodal de 0.01597 Ton. Esta fuerza hidrodinámica se aplica en el costado de la embarcación hasta la línea de flotación en el costado de Estribor, tal como se muestra en las figuras No. 28 y 29.

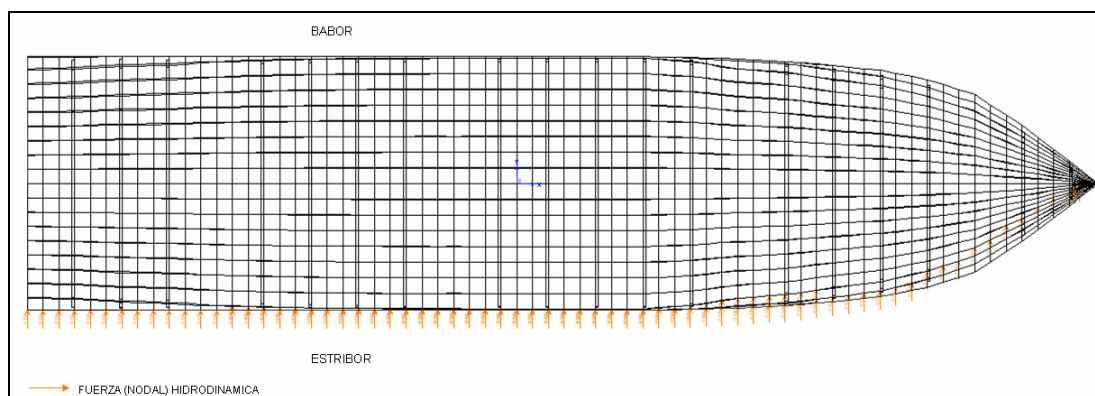


Figura No. 28 Vista en planta de la aplicación de la fuerza hidrodinámica  
(Tensionada por cables)

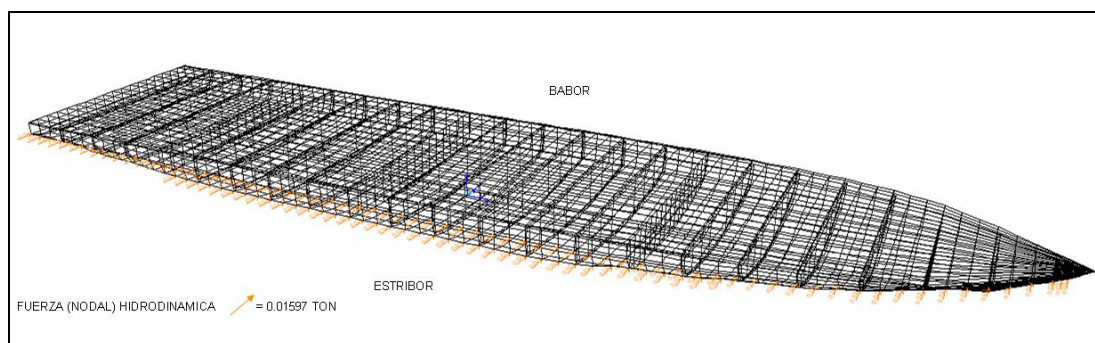


Figura No. 29 Vista en 3-D de la aplicación de la fuerza hidrodinámica  
(Tensionada por cables)

La fuerza hidrodinámica provoca que la embarcación rote respecto del eje X un ángulo de  $0.5^\circ$ , de tal manera que las reacciones de las restricciones no sean de consideración. La rotación de la embarcación se puede apreciar en la figura No. 30. Así también la embarcación tendrá una nueva distribución de la presión hidrostática, debido a la rotación, tal como se aprecia en la figura No. 31.

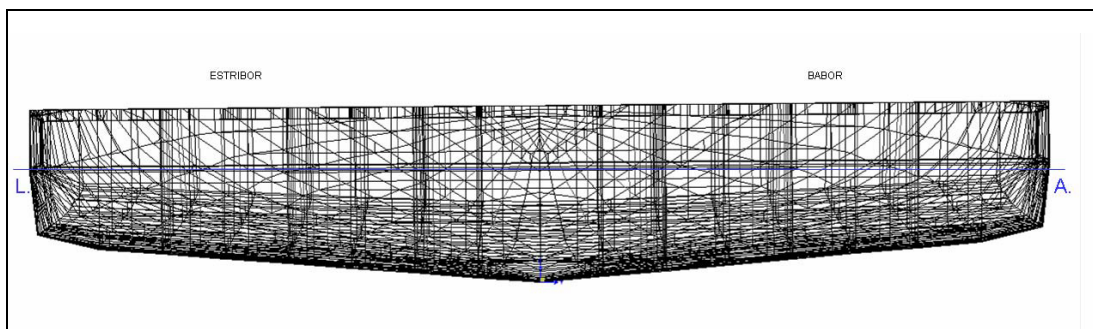


Figura No. 30 Vista transversal de la embarcación rotada  $0.5^\circ$

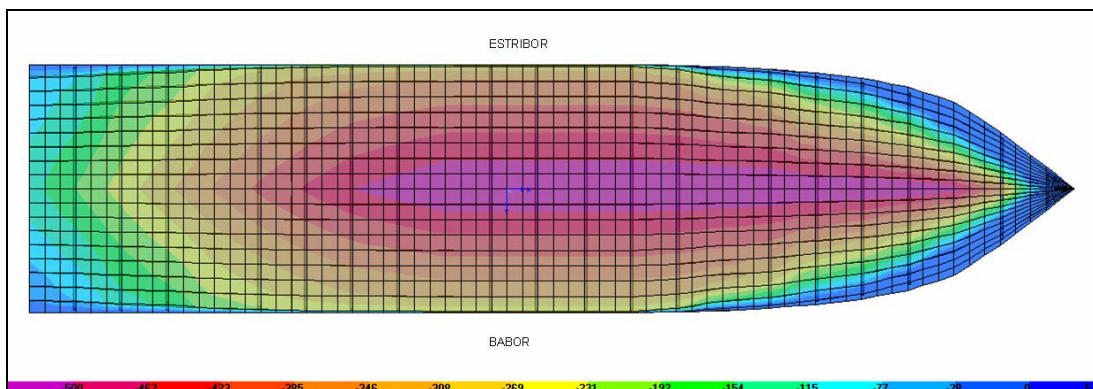


Figura No. 31 Distribución de la presión hidrostática en la condición de Tensionada por cables

Para esta condición se colocan dos nodos asignados como simplemente soportados, localizados uno en popa (cuaderna 18) y otro en proa (cuaderna 2), los cuales representan los puntos en donde se agarran los cables al casco. Para evitar el movimiento vertical y longitudinal se aplicaron dos resortes localizados en las mismas cuadernas donde actúan los apoyos

simplemente soportados, en la línea de crujía, el uno en proa y el otro en popa, ver figura No. 32.

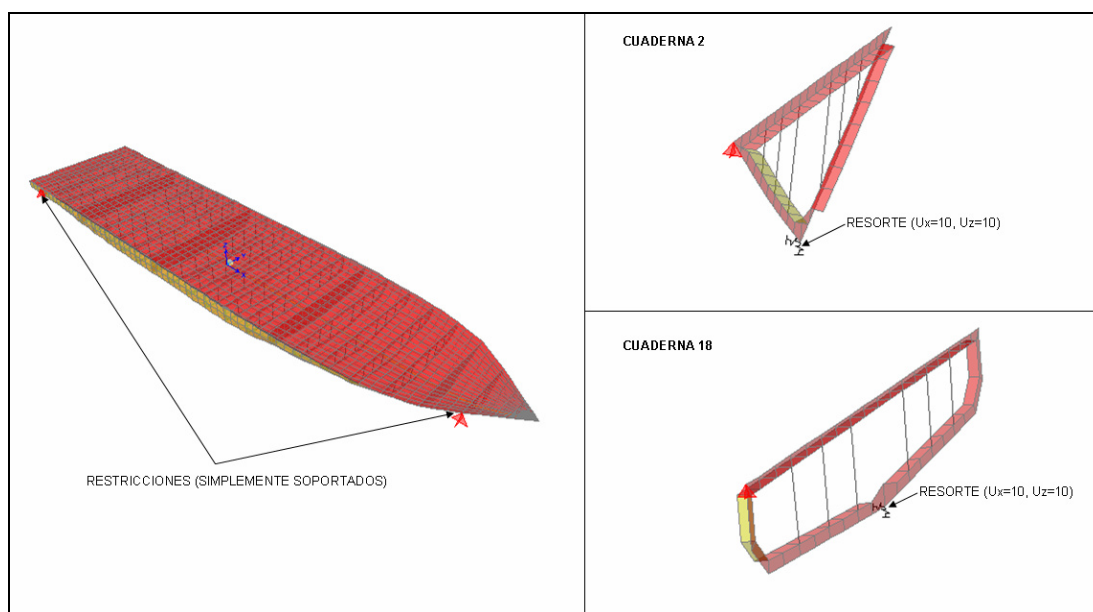


Figura No. 32 Posición de las restricciones en la condición Tensionada por cables

De la misma manera, en la tabla No. 12 se describen los nodos, en los cuales fueron instalados resortes, verificándose que los valores de las reacciones en dichos puntos, debido a las cargas aplicadas, son despreciables, por lo tanto no incidirán en el posterior análisis de esfuerzos.

PROA			
Nodo	U1	U2	U3
Texto	Ton	Ton	Ton
2255	-0.0022	0	0.066
POPA			
Nodo	U1	U2	U3
Texto	Ton	Ton	Ton
2219	-0.0025	0	0.1451

Tabla No. 12 Reacciones en los resortes en la condición Tensionada por cables

### 3.4 Condición de carga 4: Atraque lateral

Esta condición se presenta cuando la embarcación es atracada en un muelle, y sujeta en la parte de proa. Por lo tanto se modela la embarcación pivoteando en dos puntos hacia el costado: uno en Proa a un cuarto de la eslora, y, el otro en Popa.

La presión hidrodinámica vuelve aparecer, en esta ocasión el valor de la velocidad de la corriente se toma como el valor máximo, es decir 6 nudos.

Usando nuevamente la formulación 5, de la referencia [18], se tiene que:

$$P_e = \frac{1}{2}(1.0) \left[ \frac{\text{Ton}}{\text{m}^3} \right] \times \left( 6[\text{nudos}] \times \frac{0.514}{1} \left[ \frac{\text{m/seg}}{\text{nudo}} \right] \right)^2 \times \left( \frac{1}{9.8} \right) \left[ \frac{\text{seg}^2}{\text{m}} \right]$$

$$P_e = 0.4851 \left[ \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} \right]$$

El valor de presión hidrodinámica se la aplica en la parte de proa de la embarcación tal como se muestra en la figura No. 33. Esta presión hidrodinámica hace que la embarcación rote un ángulo de  $2^\circ$  respecto del eje Y, y a su vez varía nuevamente la distribución de la presión hidrostática (varía el calado a 35 cm), esto puede ser visualizado en las figuras No. 34 y 35, respectivamente. Las demás fuerzas a ser aplicadas son las de la condición 1.

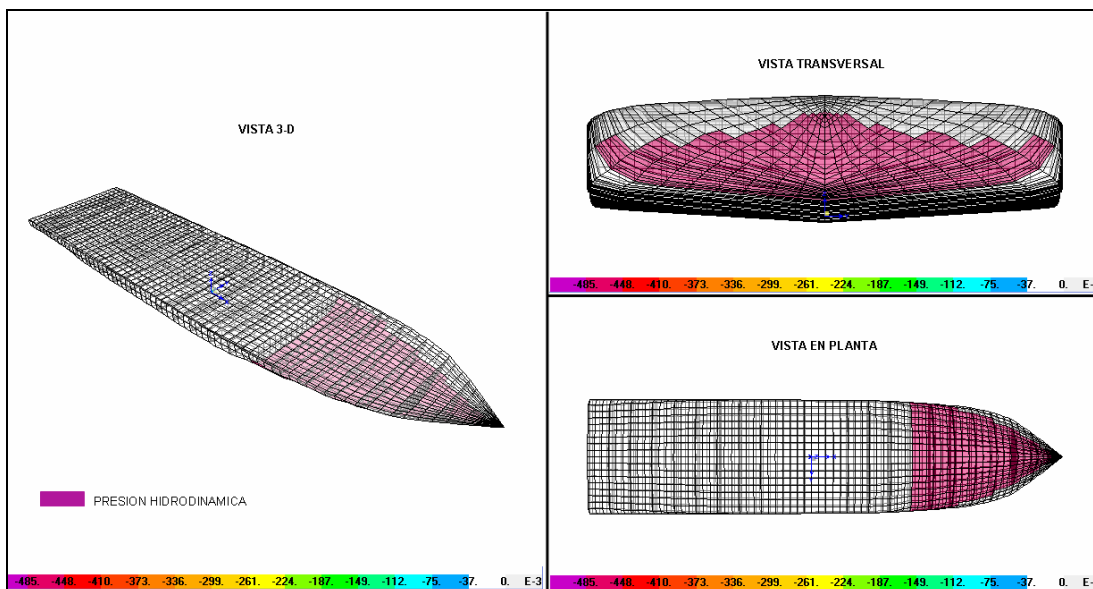


Figura No. 33 Aplicación de la presión hidrodinámica en Atrache Lateral

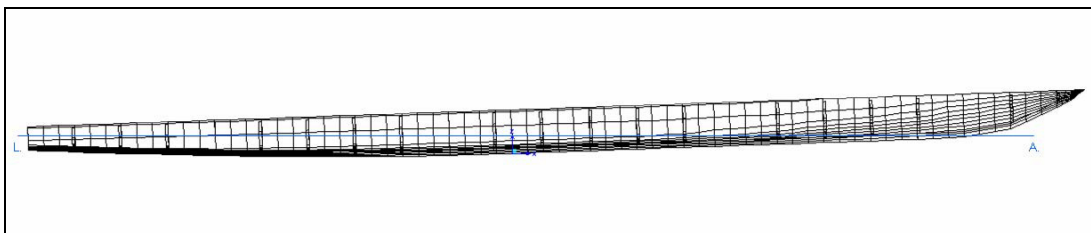


Figura No. 34 Vista de perfil de la embarcación rotada 2°

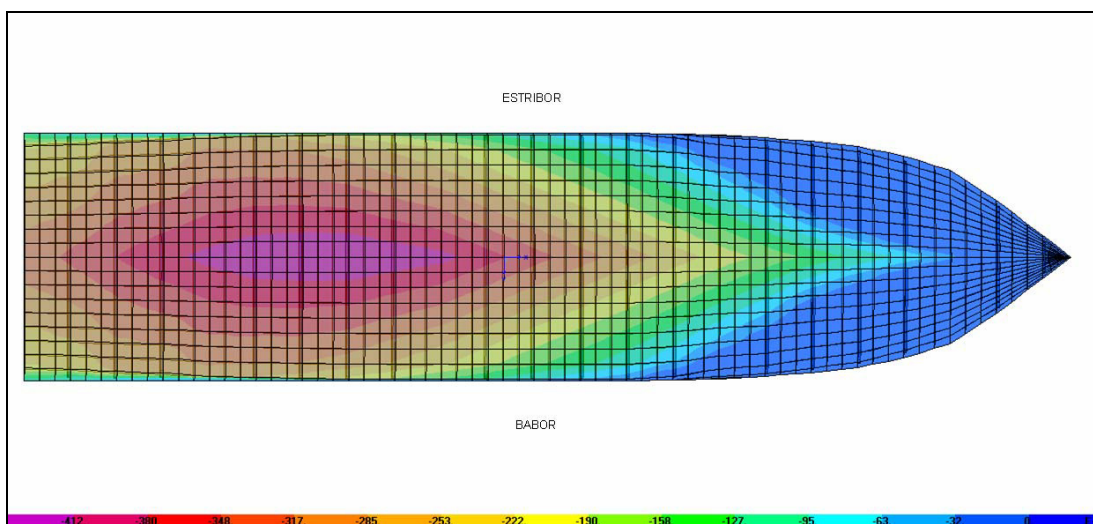


Figura No. 35 Distribución de la presión hidrostática en la condición de  
Atraque Lateral

En esta condición también se restringen dos nodos, localizados uno en proa (cuaderna 2), el cual representa el punto del pivote; y el segundo nodo en popa (cuaderna 18), el cual representa el segundo punto de contacto con el muelle. Así también para evitar el movimiento vertical y longitudinal se aplicaron seis resortes localizados en las mismas cuadernas donde actúan



las restricciones, situados en la línea de crujía, tres en proa y los tres restantes en popa, ver figura No. 36.

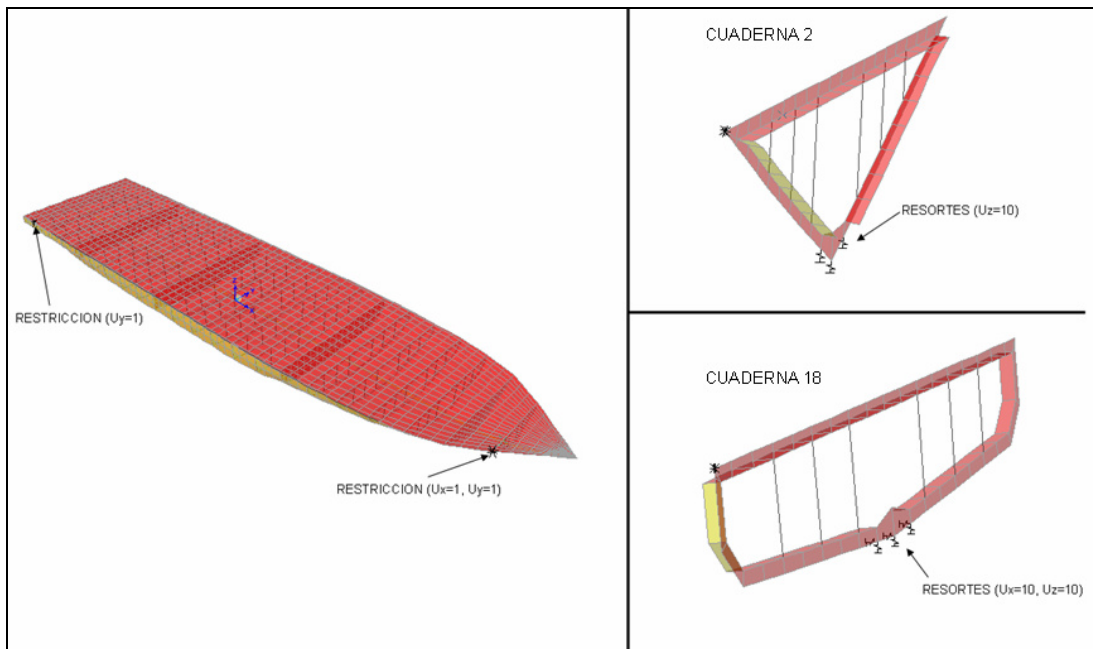


Figura No. 36 Posición de las restricciones en Atraque Lateral

Tal como en las condiciones anteriores, en la tabla No. 13 se describen los nodos, en los cuales fueron instalados resortes, verificándose que los valores de las reacciones en dichos puntos, debido a las cargas aplicadas, son despreciables, por lo tanto no incidirán los esfuerzos resultantes.

<b>PROA</b>			
Nodo	U1	U2	U3
Texto	Ton	Ton	Ton
2013	0	0	-0.0951
2289	0	0	-0.1235
2376	0	0	-0.152
<b>POPA</b>			
Nodo	U1	U2	U3
Texto	Ton	Ton	Ton
1890	-0.0075	0	0.1741
2066	-0.0053	0	0.1053
2504	-0.0026	0	0.0381

Tabla No. 13 Reacciones en los resortes en condición de Atrache Lateral

## **CAPITULO 4**

### **ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Luego de haber descrito las condiciones de cargas características que actúan sobre la estructura, se procede al análisis de resultados. Para esto se optó por escoger 4 zonas del casco, las cuales se consideran como representativas de la distribución de esfuerzos resultantes. Estas zonas son: cubierta, las zonas del fondo de la proa, sección media y popa. Finalmente se realiza un resumen del análisis de resultados, en donde se compararán las regiones de esfuerzos extremos. Vale decir que los esfuerzos son calculados directamente por el programa, ver referencia [22]. El esfuerzo provisto por el programa es el resultante, esto es, combinando el primario, secundario, terciario. Para comparar el esfuerzo primario, se tomaron los valores de esfuerzo en los nodos a la altura de la cuaderna, y se promedió el valor entre el tope y el fondo de la plancha, de manera que se pueda obtener el esfuerzo de membrana.

#### 4.1 Análisis de resultados, condición 1: Aguas tranquilas

Para el análisis del esfuerzo primario ( $\sigma_I$ ), se tomó la sección media de la estructura, de tal manera que la distribución de esfuerzos en dicha zona, se compare con los esfuerzos normales obtenidos con el MEF y los esfuerzos obtenidos aplicando el modelo de la viga buque, donde el momento flector máximo es de 8.6 ton-m, y el módulo seccional es 0.0108 m<sup>3</sup>. Los valores de dichos esfuerzos se los resume en las tablas No. 14 y No. 15, respectivamente.

Elemento	Nodo	Esfuerzo ( $\sigma_I$ ) Ton/m <sup>2</sup>	Ubicación
2013	2178	-1217.87	FONDO
2013	1791	-972.90	
1458	1526	-755.14	
1213	1271	-589.16	
985	1048	-442.23	
767	826	-300.59	
553	616	-144.69	
326	408	5.30	
117	159	306.74	COSTADO
65	99	414.61	
64	98	557.60	
116	97	571.83	CUBIERTA
303	142	555.45	
518	376	572.83	
731	585	618.44	
949	795	655.98	
1180	1012	679.23	
1422	1237	678.26	
1687	1487	664.69	
2014	1754	652.76	
2014	2176	643.70	

Tabla No. 14 Esfuerzos primarios (Condición 1) por el MEF

<b>Esfuerzo</b>	<b>z</b>	<b>Ubicación</b>
Ton/m <sup>2</sup>	(m)	
-796.27	-0.41	FONDO
-750.05	-0.38	
-703.84	-0.36	
-657.63	-0.34	
-611.41	-0.31	
-577.34	-0.29	
-518.98	-0.27	
-472.57	-0.24	
-341.96	-0.17	
211.24	0.11	
712.74	0.36	CUBIERTA
770.31	0.39	

Tabla No. 15 Esfuerzos primarios por la aplicación del modelo de la viga  
buque

En la figura No. 37 se comparan los esfuerzos primarios obtenidos por el MEF y los obtenidos aplicando el modelo de la viga buque, graficados con respecto a su posición extendida, partiendo desde el fondo, en crujía (s=0 metros) hasta llegar a la cubierta en crujía (s=5.17 metros).

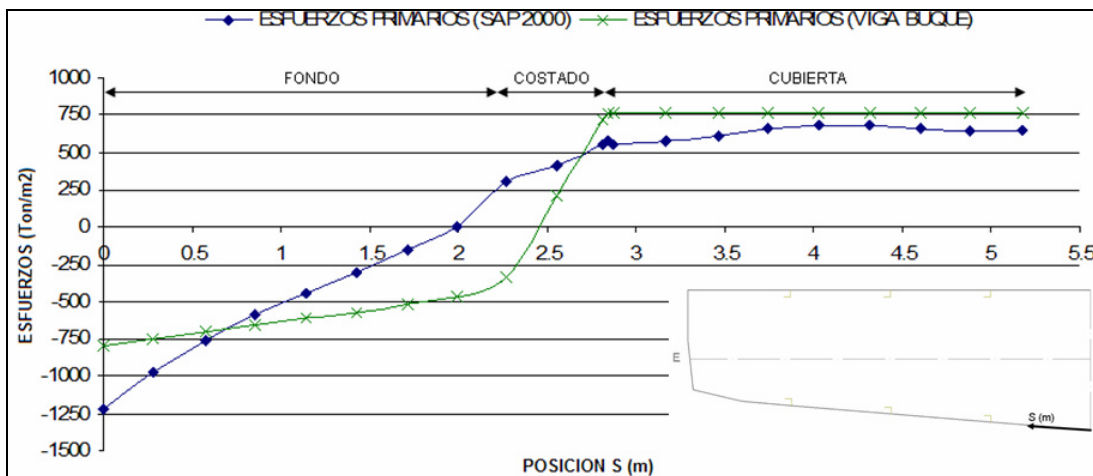


Figura No. 37 Comparación de los Esfuerzos primarios vs. Posición (Aguas tranquilas)

Para ilustrar mejor los resultados de los esfuerzos presentados en las tablas anteriores, se procedió a graficar dicho parámetro en la mitad de la Sección Media (debido a que en esta condición los esfuerzos son simétricos). Los dos esfuerzos resultantes son representados con colores diferentes y con escala 1 m : 1000 ton/m<sup>2</sup>, en la figura No. 38.

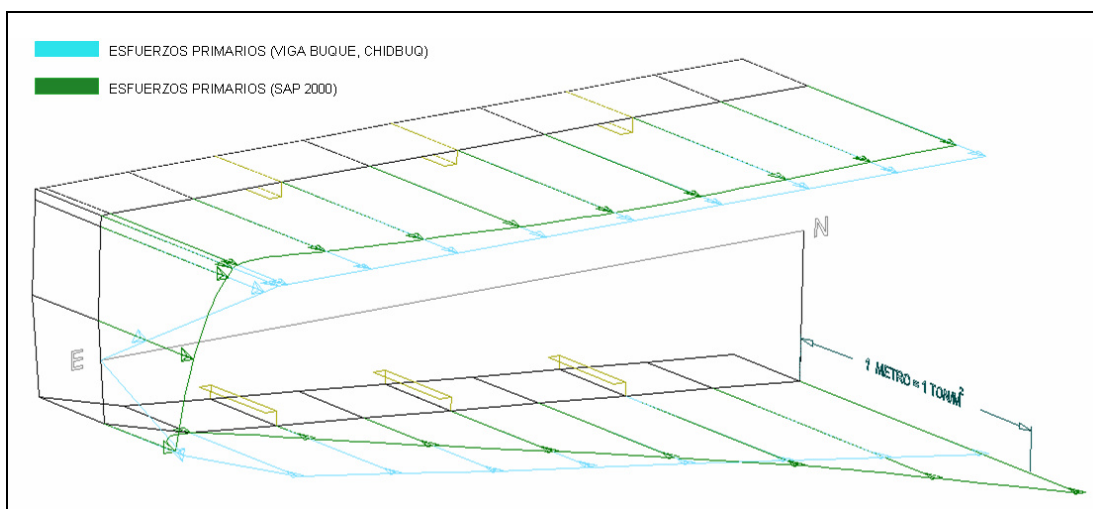


Figura No. 38 Comparación de los Esfuerzos primarios (Aguas tranquilas),  
en la Sección Media

Tal como se indicó en la introducción del subcapítulo, para realizar un mejor análisis de los esfuerzos locales se procedió analizar la cubierta y las secciones de Proa, Sección Media y Popa, de donde se toman las zonas con mayor nivel de esfuerzos. A continuación se presentan las zonas donde se desarrollan los máximos esfuerzos locales en las secciones anteriormente descritas, como se indica en la tabla No. 16. Se presentan los valores de los esfuerzos locales, de acuerdo a cada sección y su ubicación en la estructura del casco.

SECCIÓN	ESFUERZOS (TON/M <sup>2</sup> )				UBICACIÓN
	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_{xy}$	$\sigma_{VM}$	
Cubierta	1368.96	612.58	388.89	1764.28	En la sección media con la intersección del bao de la cuaderna 10.
	1187.71	3952	-588.3	5904.53	En la proximidad de la sección media en el alma del bao de la cuaderna 9.
Proa	-2384.66	-355.14	300.6	2312.18	En la parte superior de la quilla detrás del mamparo 2.
	-1073.17	-2412.78	-118.43	3516.08	En el alma de la cuaderna 5, ubicada en el fondo del casco cerca del costado.
Seccion Media	-3197.83	-432.28	-416.71	3112.48	En la parte superior de la quilla entre el mamparo 3 y la cuaderna 11.
	-2205.55	-3510.92	-564.38	5995.6	En el alma de la cuaderna 9, ubicada en el fondo del casco cerca del costado.
Popa	-1517.89	-1459.73	-263.06	1506.36	En el planchaje de fondo, en la cara negativa, entre la cuaderna 13 y 14.
	1050.14	2717.63	492.82	3024.84	En el alma de la cuaderna 18, ubicada entre el planchaje del fondo y del

Tabla No.16 Valores de esfuerzos locales en las secciones del casco en  
Aguas Tranquilas

De los valores calculados se tiene que los mayores esfuerzos locales ocurren en la Sección Media y en la Cubierta, resultando valores de esfuerzos  $\sigma_x$  y  $\sigma_y$ , de - 3197.83 ton/m<sup>2</sup> y - 3510.92 ton/m<sup>2</sup>, respectivamente; valores que están 7.5 y 6.8 veces, respectivamente, por debajo del esfuerzo de fluencia 24000 ton/m<sup>2</sup>.

Debido a que los puntales ayudan a soportar el peso sobre cubierta, éstos están expuestos a una carga de compresión. Se localizó el puntal con mayor carga compresiva, (P), que ocurre en la cuaderna 18, la cual está ubicada en la parte de Popa, antes del espejo. Dicho elemento está ubicado en la proximidad de la línea de crujía, y el valor de carga axial es de - 0.2049 ton, tal como se indica en la figura No. 39.



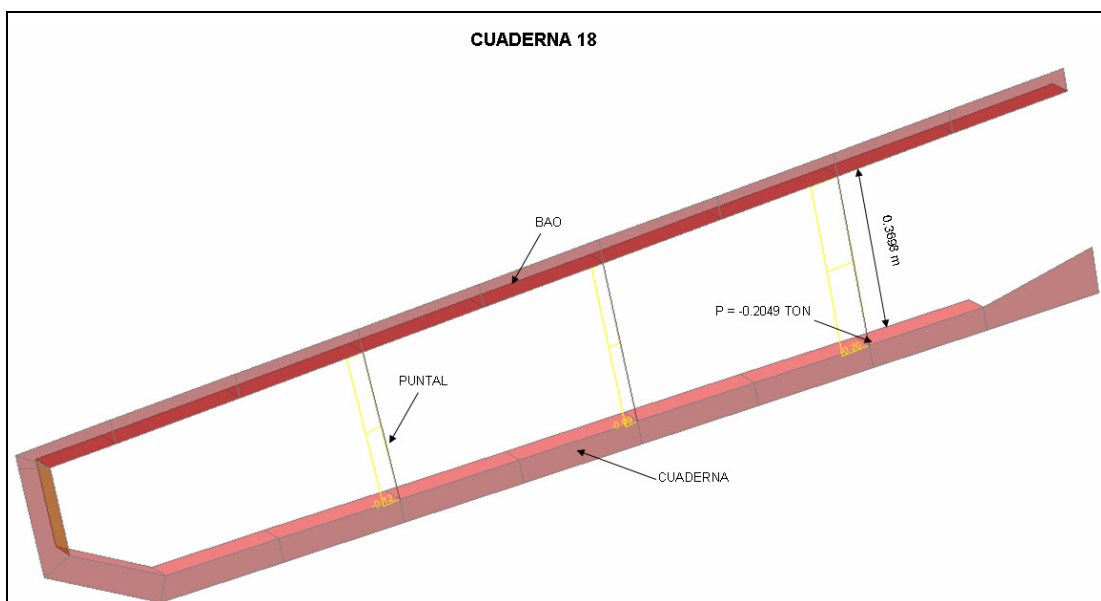


Figura No. 39 Detalle del puntal que soporta la máxima carga de aplastamiento (Aguas tranquilas)

Este valor se lo compara con la carga crítica, calculada en el Anexo 9, considerando que el puntal es un tubo de 1 ½" SCH40. La carga que soporta (-0.2049 Ton) es mucho más pequeña que la carga crítica que puede soportar (91.69 Ton), por lo que no hay la posibilidad de pandeo.

Así también se analizó la carga de compresión que experimentan los refuerzos longitudinales del fondo, ocurriendo la mayor en el refuerzo más cercano a la quilla, en Sección Media, entre la cuaderna 10 y 9, con un valor de -0.1536 ton, el cual está por debajo de la carga crítica (66.29 ton), ver Anexo 9.

En la figura No. 40 se presenta el perfil deformado del buque en aguas tranquilas. Por la curvatura se puede establecer que en la Sección Media la cubierta experimenta tensión en el planchaje, mientras que en el fondo, compresión.

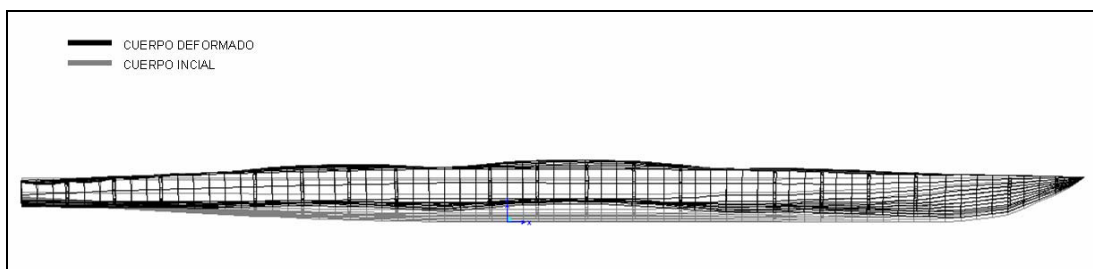


Figura No. 40 Vista de perfil del panel deformado en Aguas Tranquilas

Tal como se aprecia en la figura No. 41, el valor máximo de la deformación se encuentra en la Sección Media, en el planchaje de fondo, entre la cuaderna 9 y cuaderna 10, alcanzando un valor absoluto de 0.00503 m; el nodo de la quilla se deforma 0.00471 m, de manera que la deformación relativa es 0.00032 m.

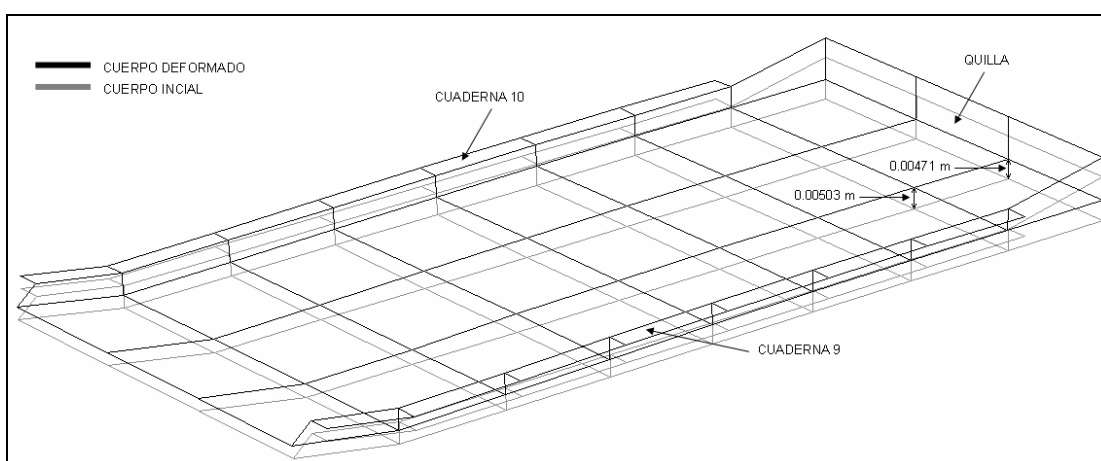


Figura No. 41 Máxima deformación en Aguas Tranquilas

En la figura No. 42 se presenta la deformación de la quilla, vista de perfil, y tiene la misma tendencia que la observada en la figura No. 40. En la zona del cuerpo paralelo medio se observa que la deformación es mayor debido a que en esa zona se ejerce el mayor valor de la presión hidrostática. Las deformaciones relativas de popa y proa con respecto a la Sección Media son 5.77 mm y 3.65 mm, respectivamente.

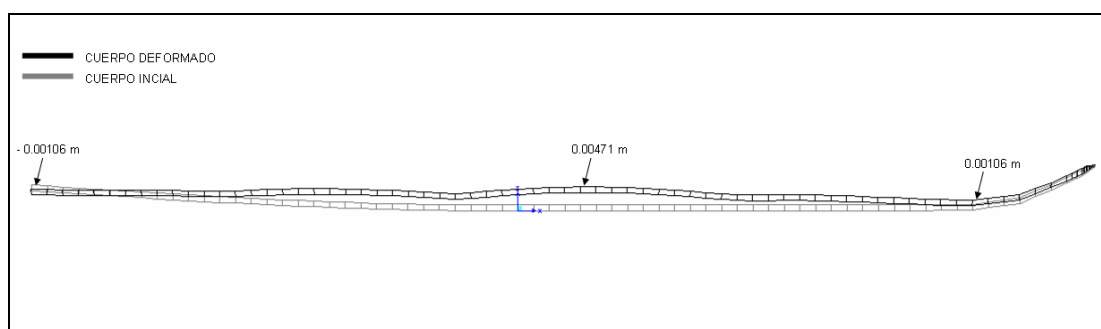


Figura No. 42 Vista de perfil de la quilla deformada en Aguas Tranquilas

En la figura No. 43 se puede observar la cuaderna deformada ubicada en la sección media, zona donde se producen las mayores deformaciones. Esta deformación absoluta (0.00487 m) ocurre en una zona donde no existe la presencia del puntal. Conociendo la deformación absoluta (0.00287 m) en el costado de la cuaderna se obtiene que la deformación relativa es 0.002 m.

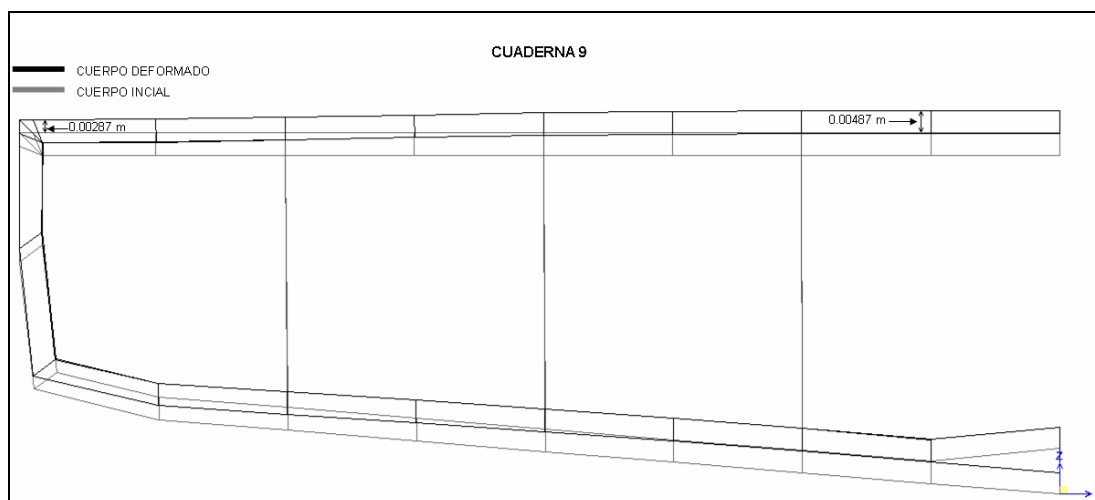


Figura No. 43 Vista transversal de la cuaderna deformada en Aguas Tranquilas

#### 4.2 Análisis de resultados, condición 2: Varamiento Proa

En forma similar al caso primero, se promedian los esfuerzos en el tope y fondo de las planchas para obtener el esfuerzo primario. En la tabla No. 17 se presentan los valores de esfuerzos primarios que se desarrollan en la Sección Media de la estructura, de manera que se puedan comparar posteriormente con la condición No. 1.

Elemento	Nodo	Esfuerzo ( $\sigma$ )	Ubicación
		Ton/m <sup>2</sup>	
2013	2178	-795.21	FONDO
2013	1791	-622.57	
1458	1526	-469.56	
1213	1271	-370.84	
985	1048	-267.00	
767	826	-178.93	
553	616	-52.49	
326	408	63.37	
117	159	275.30	
65	99	244.20	
64	98	249.24	
116	97	249.93	CUBIERTA
303	142	238.22	
518	376	274.52	
731	585	325.79	
949	795	367.71	
1180	1012	395.86	
1422	1237	404.74	
1687	1487	400.79	
2014	1754	392.18	
2014	2176	383.63	

Tabla No. 17 Esfuerzos primarios (Condición 2 – Varamiento en Proa)

En la figura No. 44 se presenta la variación de los esfuerzos primarios obtenidos por el MEF; en esta ocasión se compara la condición 2 (Varamiento en Proa) con la de Aguas Tranquilas, éstos esfuerzos son graficados con respecto a su posición extendida, partiendo desde el fondo, en crujía (s=0 metros) hasta llegar a la cubierta en crujía (s=5.17 metros).

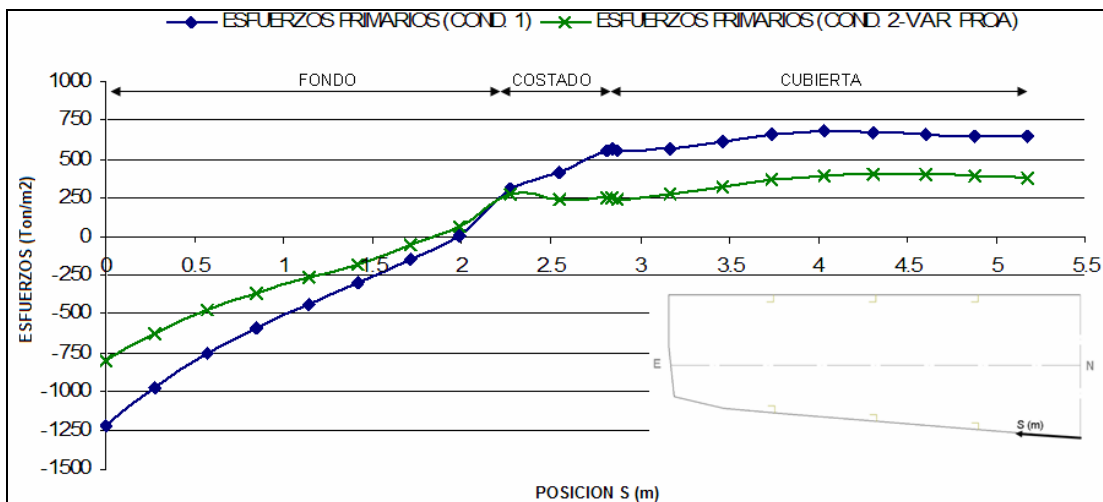


Figura No. 44 Comparación de los Esfuerzos primarios en Sección Media  
(Varamiento por Proa)

Así también, se procedió a graficar la distribución de esfuerzos en la mitad de la Sección Media (debido a que los esfuerzos son simétricos en esta condición de carga). Los esfuerzos primarios en cada condición son representados con colores diferentes y con escala 1 m : 1000 ton/m<sup>2</sup>, tal como se muestra en la figura No. 45.

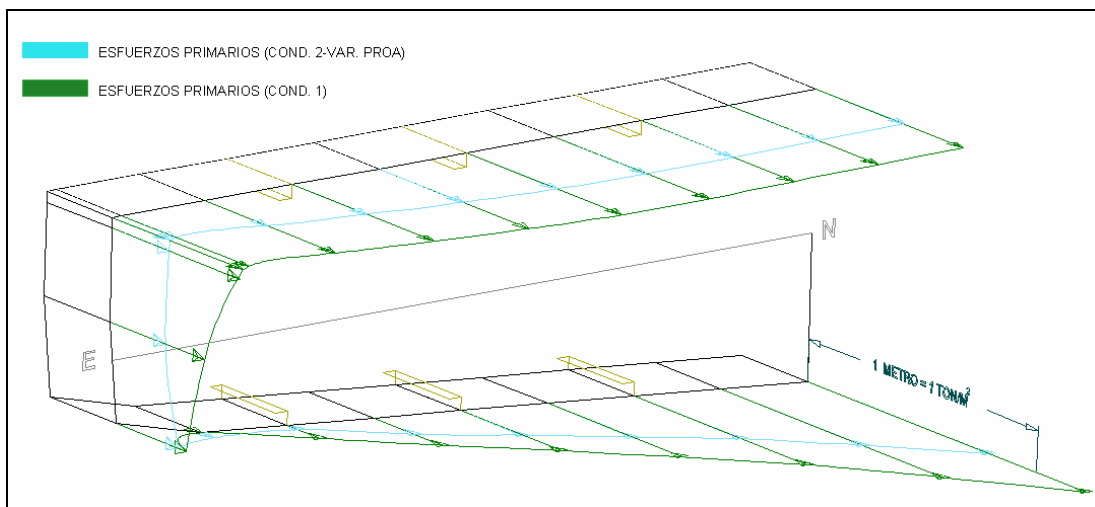


Figura No. 45 Comparación de los Esfuerzos primarios de la condición 1 y 2 (Varamiento por Proa), en la Sección Media

De la misma manera, para el análisis de los esfuerzos locales, se procede a analizar la cubierta y las secciones de proa, sección media y popa, de donde se toman las zonas con mayor nivel de esfuerzos. En la tabla No. 18, se presentan los valores de los esfuerzos locales máximos, de acuerdo a cada sección y su ubicación en la estructura del casco.

SECCIÓN	ESFUERZOS (TON/M <sup>2</sup> )				UBICACIÓN
	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_{xy}$	$\sigma_{VM}$	
Cubierta	1256.75	-440.38	216.17	1378.84	En la sección de proa, con la intersección del bao de la cuaderna 3.
	1147.31	3111.22	1039.86	4417.44	En la sección de proa, en el alma del bao de la cuaderna 3.
Proa	-2318.27	-405.68	331.7	2235.06	En la parte superior de la quilla detrás del mamparo 2.
	915.96	4174.09	-804.58	5517.91	En el alma de la cuaderna 4, ubicada en el fondo del casco cerca de la quilla.
Seccion Media	2785.27	-389.66	345.61	2699.3	En la parte superior de la quilla detrás del mamparo 3.
	-1715.24	-2683.6	-474.29	4597.69	En el alma de la cuaderna 9, ubicada en el fondo del casco cerca del costado.
Popa	-1791.46	-243.22	-262.24	1750.15	En la parte superior de la quilla delante del mamparo 3.
	740.47	1953.52	489.4	2196.59	En el alma de la cuaderna 18, ubicada entre el planchaje del fondo y del costado.

Tabla No.18 Valores de esfuerzos locales en las secciones del casco en Varamiento por Proa

De la tabla No. 18 se concluye que los mayores esfuerzos locales ocurren en la Sección Media y en la Sección de Proa, con valores de  $\sigma_x$  y  $\sigma_y$ , de -2785.27 ton/m<sup>2</sup> y 4174.09 ton/m<sup>2</sup>, respectivamente; dichos valores están 8.6 y 5.7 veces, respectivamente, por debajo del esfuerzo de fluencia del acero, 24000 ton/m<sup>2</sup>.

El puntal que soporta la mayor carga de aplastamiento (P) se encuentra, tal como en la condición anterior, en la cuaderna 18, su localización está en la proximidad de la línea de crujía y alcanza un valor de -0.2052 ton, tal como se indica en la figura No. 46. Esta carga también está muy por debajo de la carga crítica calculada en el Anexo 9.



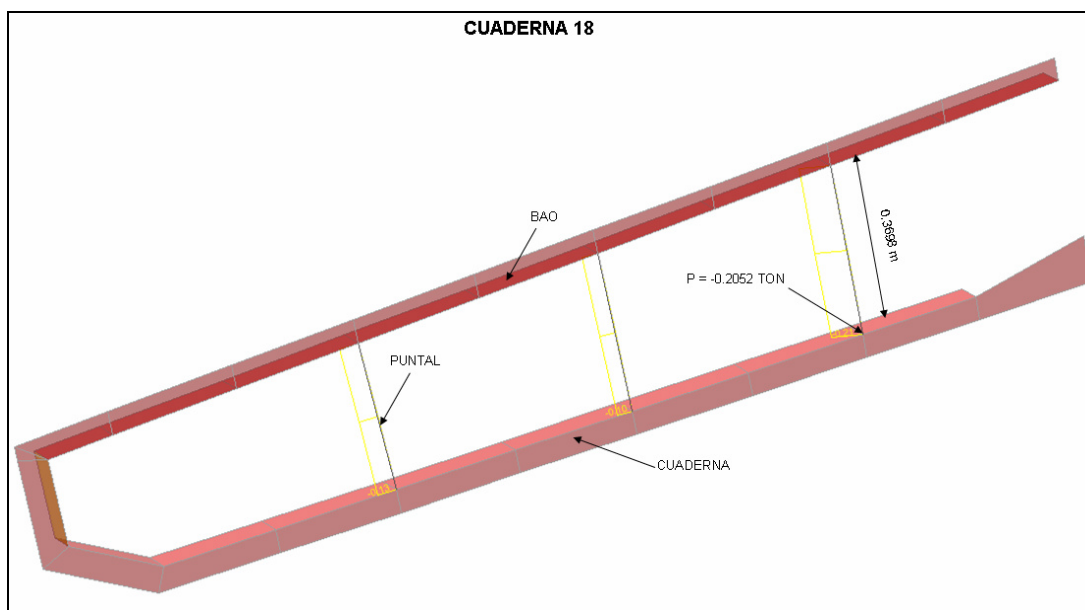


Figura No. 46 Detalle del puntal que soporta la máxima carga de aplastamiento (V. Proa)

Tal como en la condición anterior, se analizó la carga de compresión que experimentan los refuerzos longitudinales del fondo, ocurriendo la mayor en el refuerzo más cercano al costado, en la Sección de Proa, entre la cuaderna 3 y 4, con un valor de 0.1844 ton. Este valor, está por debajo de la carga crítica (66.29 ton), ver Anexo 9.

En la figura No. 47 se presenta el perfil deformado en la condición de varamiento por proa. Se puede apreciar que en la sección de popa se experimenta un elevado desplazamiento, causado por el movimiento como cuerpo rígido del buque.

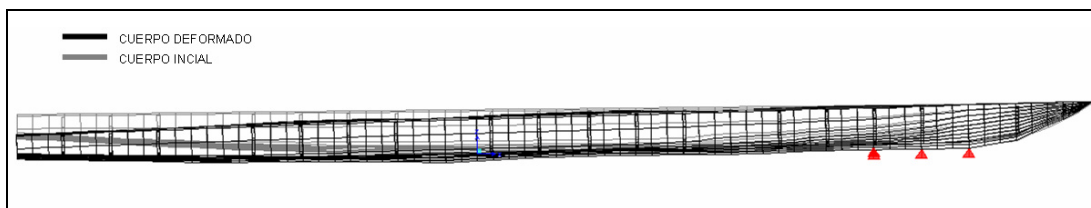


Figura No. 47 Vista de perfil del panel deformado en Varamiento por Proa

En la figura No. 48 se muestran los valores absolutos de los desplazamientos en la zona de popa. El valor máximo de deformación absoluta es de  $-0.01274$  m en cubierta a nivel de crujía, teniendo una deformación relativa de  $0.00092$  m, con respecto a la deformación del costado ( $-0.01182$  m).

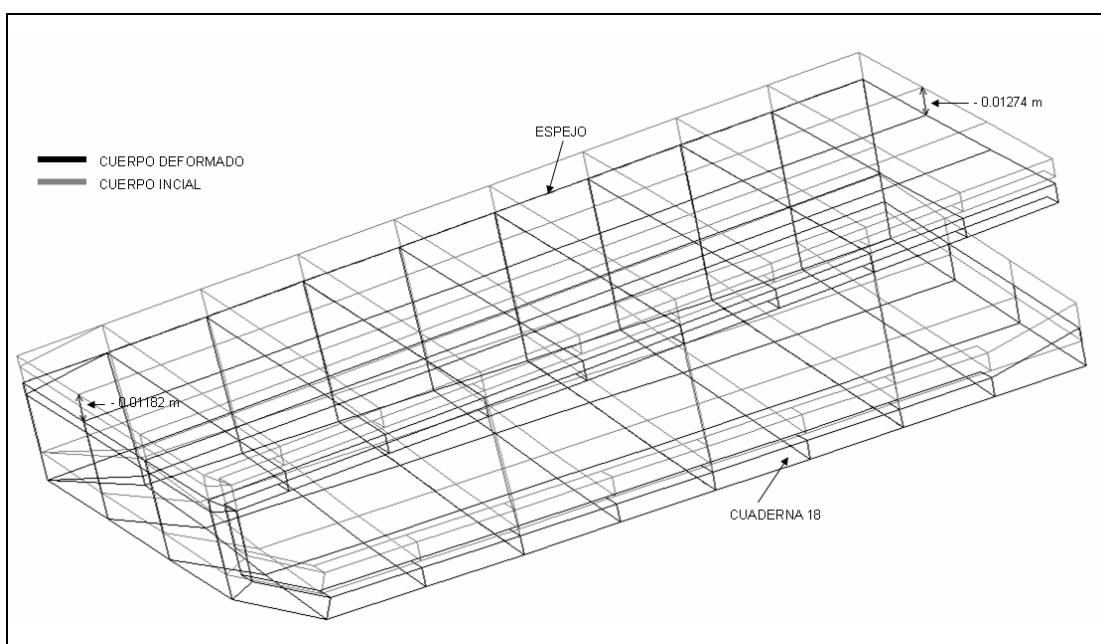


Figura No. 48 Máxima deformación en Varamiento en Proa

El desplazamiento de la quilla se lo puede apreciar en la figura No. 49. En la zona de popa se observa la mayor deformación absoluta. Las deformaciones relativas de popa y proa con respecto a la Sección Media son 9.78 mm y 2.7 mm, respectivamente.

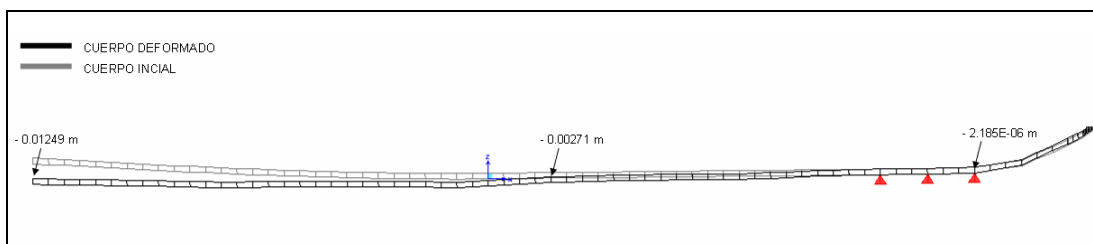


Figura No. 49 Vista de perfil de la quilla deformada en Varamiento por Proa

En la figura No. 50, se puede observar la deformación de la cuaderna 9 crítica, la cual se encuentra en Sección Media. Hacia el costado y cerca de crujía se presentan deformaciones absolutas de - 0.00356 m y - 0.00201 m, respectivamente; lo que provoca una deformación relativa de - 0.00155 m respecto del punto que posee la menor deformación absoluta (- 0.00201 m).

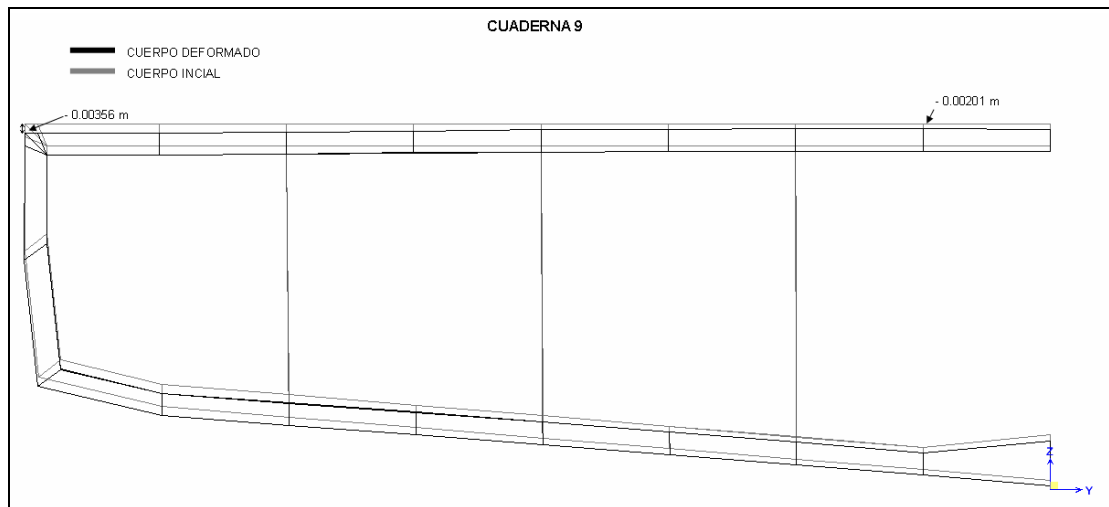


Figura No. 50 Vista transversal de la cuaderna deformada en Varamiento por Proa

De la misma manera se presenta una vista del espejo deformado, ver figura No. 51, debido a que en la zona de popa ocurren las mayores deformaciones. El máximo valor absoluto de desplazamiento es de  $-0.01249$  m, el cual se presenta en la línea de crujía, en la parte superior del espejo; en el costado se presenta una deformación absoluta de  $-0.01214$  m, lo que provoca una deformación relativa de  $-0.00035$  m.

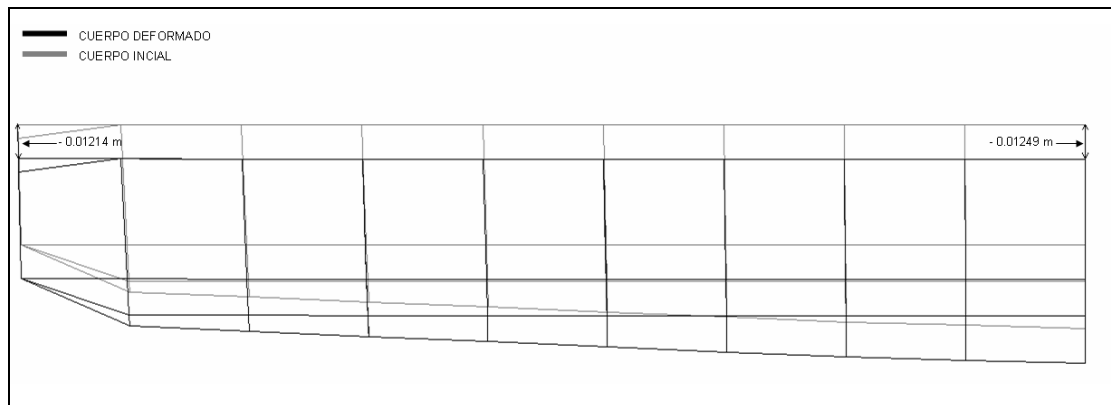


Figura No. 51 Vista transversal del espejo deformado en Varamiento por Proa

### Varamiento en popa

En la tabla No. 19 se presentan los valores de esfuerzos primarios que se desarrollan en la Sección Media de la estructura, de manera que se puedan comparar posteriormente con la condición No. 1.

Elemento	Nodo	Esfuerzo ( $\sigma_I$ ) Ton/m <sup>2</sup>	Ubicación
2013	2178	-1063.07	FONDO
2013	1791	-859.63	
1458	1526	-639.87	
1213	1271	-461.28	
985	1048	-323.56	
767	826	-173.34	
553	616	-39.65	
326	408	105.86	
117	159	371.48	
65	99	379.54	COSTADO
64	98	403.74	
116	97	406.87	
303	142	391.57	CUBIERTA
518	376	416.73	
731	585	467.02	
949	795	508.38	
1180	1012	536.40	
1422	1237	541.30	
1687	1487	532.28	
2014	1754	522.21	
2014	2176	513.62	

Tabla No. 19 Esfuerzos primarios (Condición 2 – Varamiento en Popa)

En la figura No. 52 se presentan los esfuerzos primarios, en esta ocasión se compara la condición 2 (Varamiento en Popa) con la de Aguas Tranquilas. Los esfuerzos son graficados con respecto a su posición extendida,

partiendo desde el fondo, en crujía ( $s=0$  metros) hasta llegar a la cubierta en crujía ( $s=5.17$  metros). Se nota que el varamiento reduce los esfuerzos primarios en Sección Media.

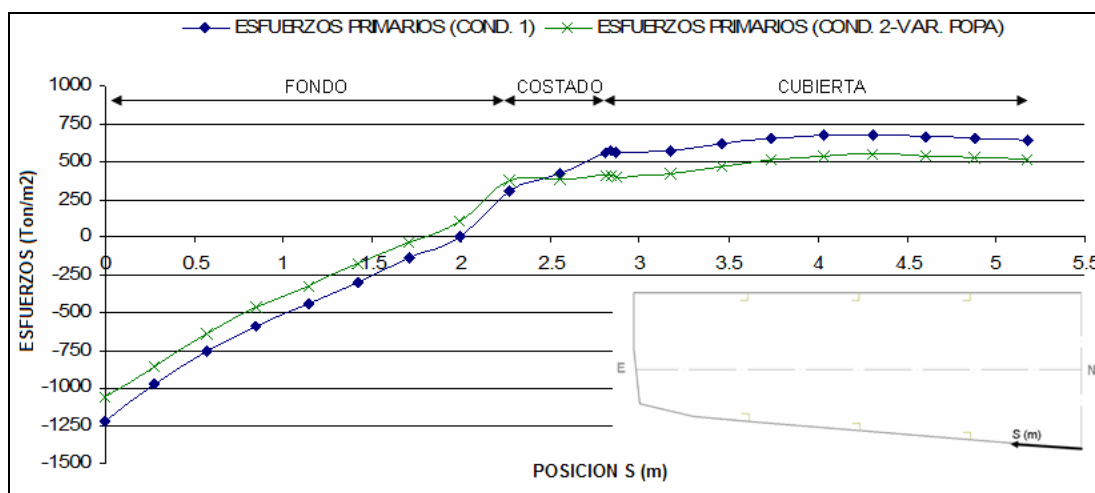


Figura No. 52 Comparación de los Esfuerzos primarios vs. Posición  
(Varamiento por Popa)

De la misma manera, se procedió a graficar la distribución de esfuerzos en la mitad de la Sección Media (debido a que los esfuerzos son simétricos en esta condición de carga). Los dos esfuerzos primarios de cada condición son representados con colores diferentes y a escala  $1 \text{ m} : 1000 \text{ ton/m}^2$ , tal como se muestra en la figura No. 53.

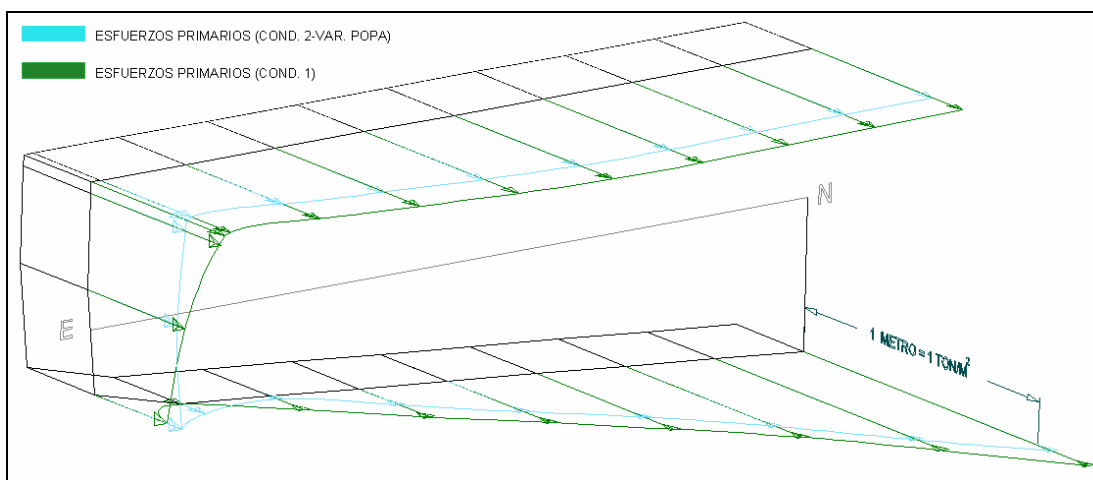


Figura No. 53 Comparación de los Esfuerzos primarios de la condición 1 y 2 (Varamiento por Popa), en la Sección Media

De la misma manera que el caso anterior, para el análisis de los esfuerzos locales, se procede a analizar la Cubierta y las secciones de Proa, Sección Media y Popa, de donde se toman las zonas con mayor nivel de esfuerzos. Tal como se indica en la tabla No. 20, en donde se presentan los valores de los esfuerzos locales, de acuerdo a cada sección y su ubicación en la estructura del casco.



SECCIÓN	ESFUERZOS (TON/M <sup>2</sup> )				UBICACIÓN
	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_{xy}$	$\sigma_{VM}$	
Cubierta	1271.7	612.53	610.43	1703.37	En la sección de popa, con la intersección del bao de la cuaderna 18.
	1148.79	3842.86	-565.23	5711.52	En la sección media, en el alma del bao de la cuaderna 9.
Proa	-2349.96	-356.62	284.61	2263.17	En la parte superior de la quilla detrás del mamparo 2.
	-1153.91	-2566.39	-544.69	3818.29	En el alma de la cuaderna 5, ubicada en el fondo del casco cerca del costado.
Seccion Media	-2739.35	-382.62	-384.83	2675.72	En la parte superior de la quilla delante del mamparo 3.
	-2098.71	3330.89	-505.09	5707.53	En el alma de la cuaderna 9, ubicada en el fondo del casco cerca del costado.
Popa	5350.51	1093.54	70.53	4901.86	En la parte superior de la quilla entre la cuaderna 16 y 17.
	326.13	3268.41	-572.12	6093.68	En el alma de la cuaderna 16, ubicada en el planchaje del fondo.

Tabla No.20 Valores de esfuerzos locales en las secciones del casco en Varamiento por Popa

De la tabla presentada, se concluye que los mayores esfuerzos locales ocurren en la Sección de Popa y en la Cubierta, resultando valores de esfuerzos,  $\sigma_x$  y  $\sigma_y$ , de 5350.51 ton/m<sup>2</sup> y 3842.86 ton/m<sup>2</sup>, respectivamente; estos valores están 4.48 y 6.2 veces, respectivamente, por debajo del esfuerzo de fluencia 24000 ton/m<sup>2</sup>.

El puntal que soporta la mayor carga de aplastamiento se encuentra también en la cuaderna 18, su localización está cerca de la línea de crujía y alcanza un valor de -0.2321 ton, tal como se indica en la figura No. 54. Esta carga también está muy por debajo de la carga crítica calculada en el Anexo 9.

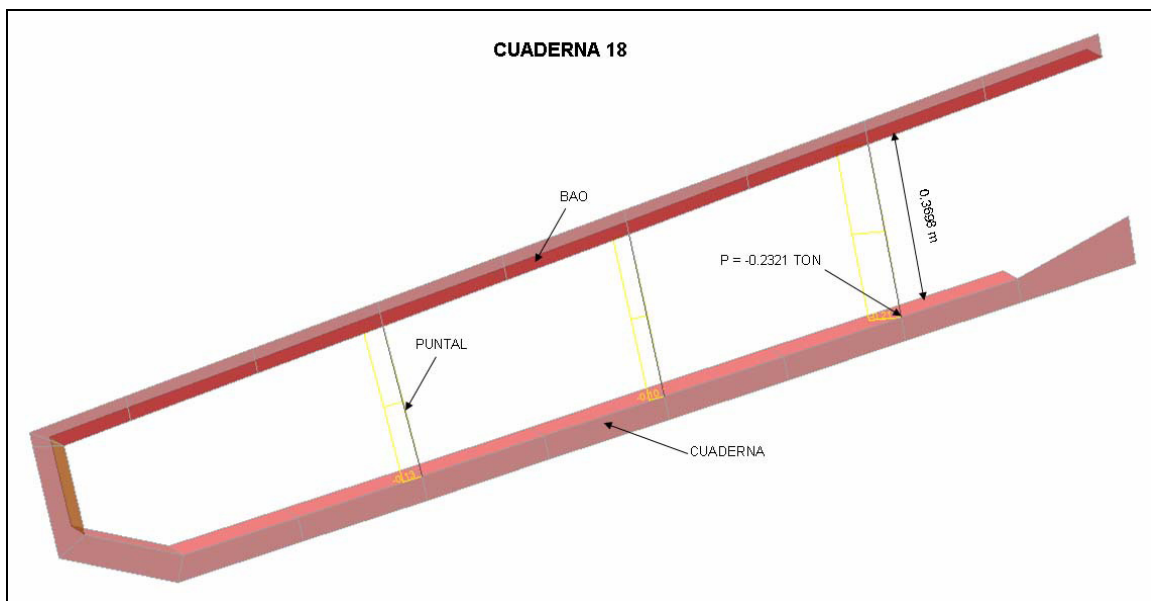


Figura No. 54 Puntal que soporta la máxima carga de aplastamiento  
(Varamiento por Popa)

Así como en la condición anterior, se analizó la carga de compresión que experimentan los refuerzos longitudinales del fondo, ocurriendo la mayor en el refuerzo más cercano a la quilla, en la Sección Media, entre la cuaderna 10 y 9, con un valor de -0.1316 ton. Este valor, está por debajo de la carga crítica (66.29 ton), ver Anexo 9.

En la figura No. 55 se presenta el panel deformado en la condición de varamiento por popa. Se puede apreciar que en la sección de proa se alcanza el máxima desplazamiento absoluto.

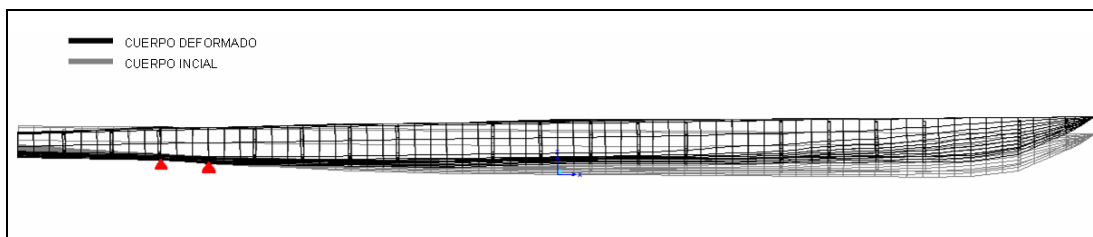


Figura No. 55 Vista de perfil del panel deformado en Varamiento por Popa

La deformación de la quilla se la puede apreciar en la figura No. 56. En la zona de proa se observa la mayor deformación absoluta. Las deformaciones relativas de popa y proa con respecto a la Sección Media, son 15.81mm y 4.35 mm, respectivamente.

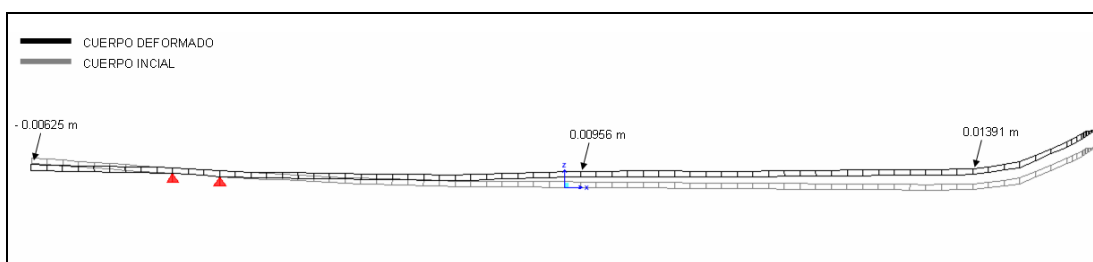


Figura No. 56 Vista de perfil de la quilla deformada en Varamiento por Popa

En la figura No. 57, se puede observar la deformación de la cuaderna de Sección Media; hacia el costado y cerca de crujía poseen deformaciones absolutas de 0.00805 m y 0.01 m, respectivamente; lo que provoca una deformación relativa de 0.00195 m.

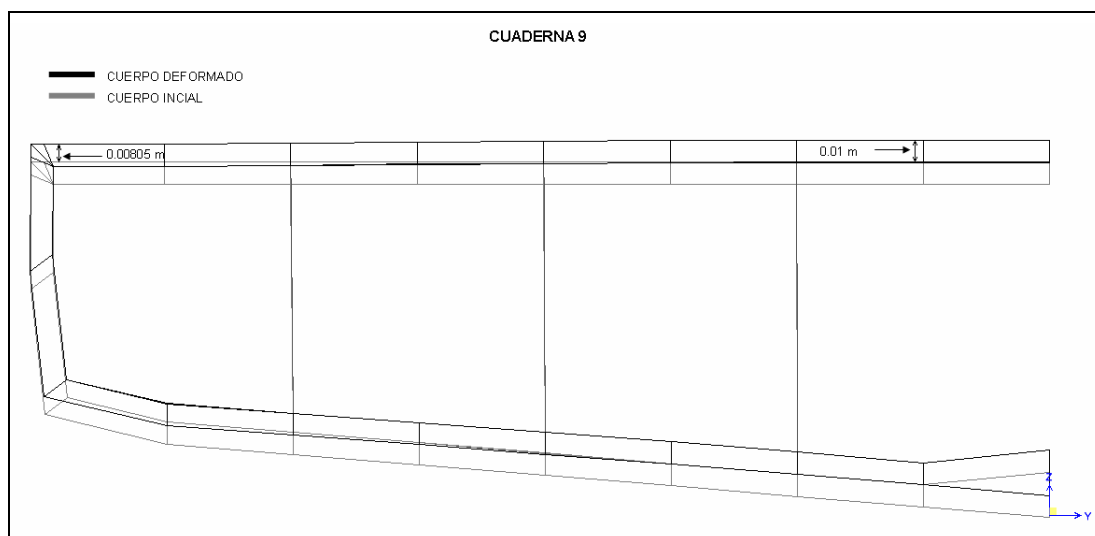


Figura No. 57 Vista transversal de la cuaderna deformada en Varamiento por Popa

Así también, se presenta una vista transversal del espejo deformado, ver figura No. 58, para efectos de comparación, debido a que en la zona de popa ocurren bajas deformaciones absolutas en comparación con la condición de varamiento en proa, ver figura No. 51. El máximo valor absoluto de la deformación es de  $-0.00624$  m, el cual ocurre en la línea de crujía, en la parte superior del espejo, en el costado se experimenta una deformación absoluta de  $-0.00569$  m, lo que provoca una deformación relativa de  $-0.00055$  m.

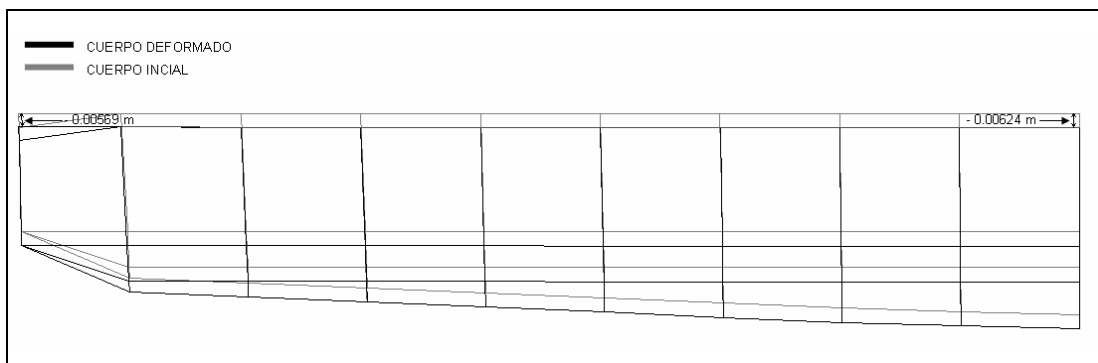


Figura No. 58 Vista transversal del espejo deformado en Varamiento por  
Popa

### 4.3 Análisis de resultados, condición 3: Tensionada por cables

En la tabla No. 21 se presentan los valores de esfuerzos primarios que se desarrollan en la Sección Media de la estructura, de manera que se puedan comparar posteriormente con la condición No. 1

Elemento	Nodo	ESTRIBOR		BABOR		Ubicación
		Esfuerzo ( $\sigma_1$ ) Ton/m <sup>2</sup>	Elemento	Nodo	Esfuerzo ( $\sigma_1$ ) Ton/m <sup>2</sup>	
2056	2285	-1187.11	2582	2285	-1187.11	FONDO
2056	1804	-972.72	2582	2643	-928.13	
1478	1532	-784.64	3139	2906	-694.76	
1221	1278	-648.96	3382	3156	-512.75	
997	1058	-530.47	3611	3383	-349.69	
770	831	-419.09	3821	3593	-191.00	
556	620	-291.90	4023	3801	-17.59	
334	413	-178.04	4257	3999	153.61	
129	165	92.44	4468	4250	457.37	COSTADO
69	109	88.68	4553	4384	499.96	
35	69	258.24	4519	4344	579.91	
101	68	279.20	4440	4343	588.32	CUBIERTA
303	142	264.78	4244	4233	571.70	
518	376	289.95	4042	4015	572.91	
731	585	352.44	3822	3802	598.43	
949	795	408.48	3589	3571	614.50	
1180	1012	452.61	3355	3355	617.17	
1421	1237	471.83	3107	3127	595.33	
1676	1486	478.59	2835	2866	560.62	
1992	1752	487.27	2533	2601	528.11	
1992	2104	498.53	2533	2104	498.53	

Tabla No. 21 Esfuerzos primarios (Condición 3 – Tensionada por cables)

En la figura No. 59 y 60 se presentan los valores de los esfuerzos primarios comparándolos con los resultados de Aguas Tranquilas, éstos esfuerzos son graficados con respecto a su posición extendida, partiendo desde el fondo, en crujía ( $s=0$  metros) hasta llegar a la cubierta en crujía ( $s=5.17$  metros). Vale indicar que en esta condición se grafica la distribución tanto en Estribor como en Babor, debido a que la condición de carga es asimétrica.

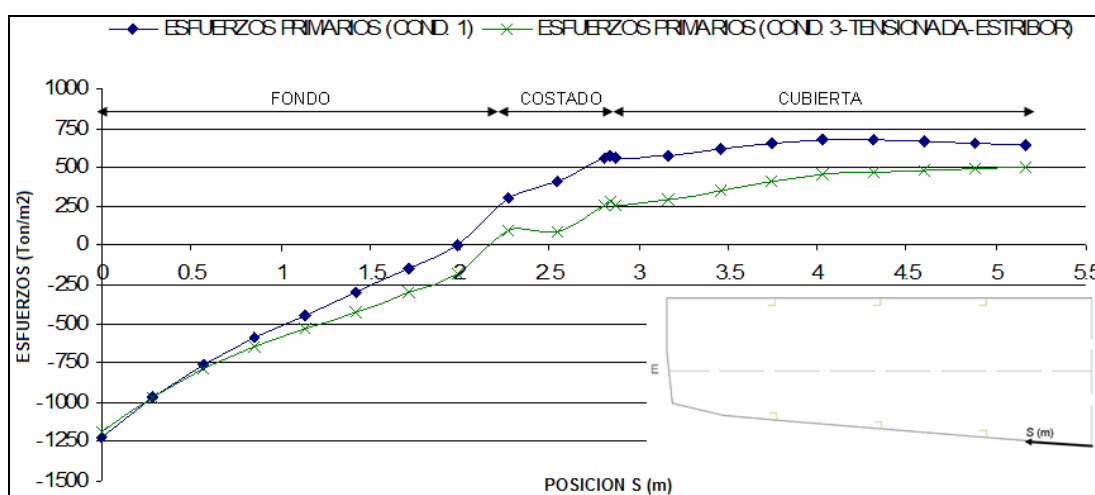


Figura No. 59 Esfuerzos primarios Estribor vs. Posición (Condición Tensionada por cables)

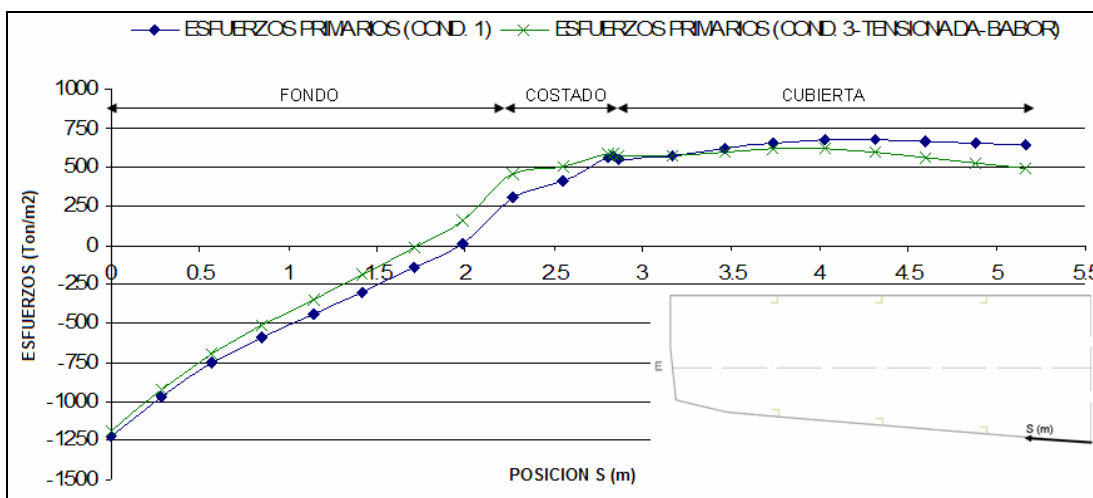


Figura No. 60 Esfuerzos primarios Babor vs. Posición (Condición Tensionada por cables)

Se procedió a graficar toda la sección media para presentar la distribución de esfuerzos sobre esta zona comparándolos con los de la condición 1. Los dos esfuerzos primarios en cada condición son representados a escala 1 m : 1000 ton/m<sup>2</sup>, tal como se muestra en la figura No. 61.

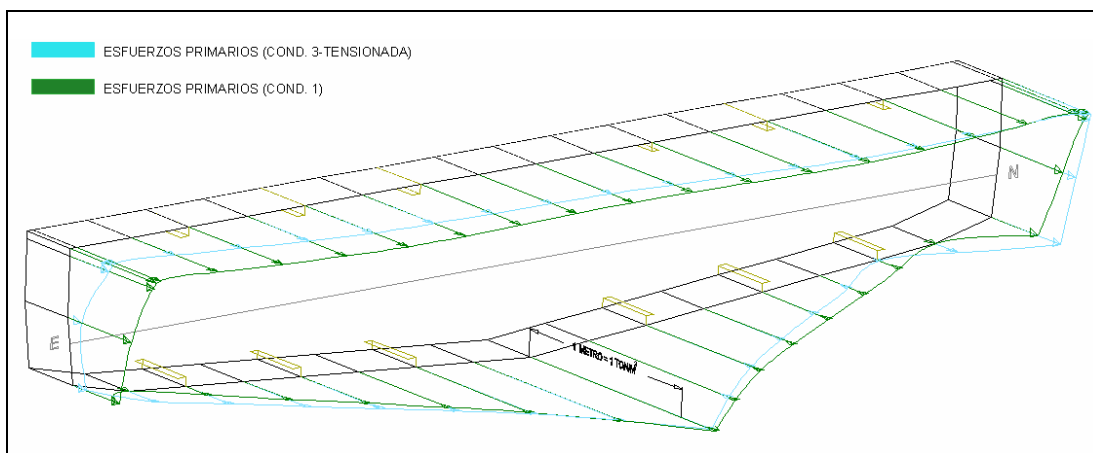


Figura No. 61 Comparación de los Esfuerzos primarios de la condición 1 y 3 (Tensionada por cables), en la Sección Media



De la misma manera, para el análisis de los esfuerzos locales, se procede a analizar la cubierta y las secciones de Proa, Sección Media y Popa, de donde se toman las zonas con mayor nivel de esfuerzos, tal como se indica en la tabla No. 22.

SECCIÓN	ESFUERZOS (TON/M <sup>2</sup> )				UBICACIÓN
	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_{xy}$	$\sigma_{VM}$	
Cubierta	-2005.53	-314.61	-153.34	2354.92	En la sección de popa, al costado de estribor delante de la cuaderna 18.
	1197.5	3970.33	-601.82	5937.48	En la sección media, en el alma del bao de la cuaderna 9, al costado de estribor.
Proa	-2376.76	-356.96	296.68	2291.95	En la parte superior de la quilla detrás del mamparo 2.
	-1104.72	-2444.38	-520.39	3491.61	En el alma de la cuaderna 5, ubicada en el fondo del casco, al costado de estribor.
Seccion Media	-3144.12	-426.64	-410.45	3059.73	En la parte superior de la quilla delante del mamparo 3.
	-3405.77	-3698.72	-447.94	5436.87	En el alma de la cuaderna 10, en el fondo del casco, al costado de babor.
Popa	-1653.35	-219.12	-244.15	1615.58	En la parte superior de la quilla delante del mamparo 4.
	543.78	2664.92	-16.38	2755.76	En el alma de la cuaderna 18, en la interseccion con la quilla.

Tabla No.22 Valores de esfuerzos locales en las secciones del casco en Tensionada por cables

De la tabla presentada se concluye que los mayores esfuerzos locales ocurren en la Sección Media y en la Cubierta, resultando valores de esfuerzos  $\sigma_x$  y  $\sigma_y$ , de -3405.77 ton/m<sup>2</sup> y 3970.33 ton/m<sup>2</sup>, respectivamente; estos valores están 7.04 y 6.04 veces, respectivamente, por debajo del esfuerzo de fluencia 24000 ton/m<sup>2</sup>.

El puntal que soporta la mayor carga de aplastamiento en esta condición se encuentra, igual que en las condiciones previas, en la cuaderna 18; su localización está en la zona de Estribor, cerca a la línea de crujía y alcanza

un valor de -0.2217 ton, tal como se indica en la figura No. 62. De la misma manera se concluye que éste valor está muy por debajo de la carga crítica que puede soportar el puntal, la cual es calculada en el Anexo 9.

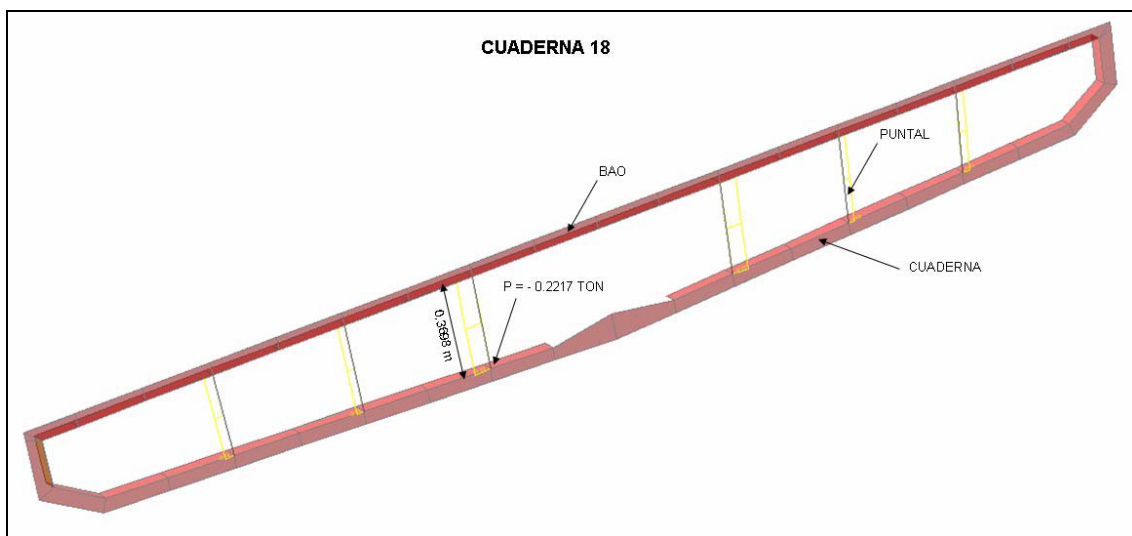


Figura No. 62 Detalle del puntal que soporta la máxima carga de aplastamiento (Tensionada por cables)

Tal como en la condición anterior, se analizó la carga de compresión que experimentan los refuerzos longitudinales del fondo, ocurriendo la mayor en el refuerzo más cercano a la quilla, en la banda de Estribor, en la Sección Media, entre la cuaderna 10 y 9, con un valor de - 0.1599 ton, el cual está por debajo de la carga crítica (66.29 ton), ver Anexo 9.

En la figura No. 63 se presenta el perfil deformado en la condición de tensionada en los extremos. Se puede apreciar que en la sección de popa

(al costado de babor) se alcanza la máxima deformación en dirección z, con un valor de  $-0.02957$  m.

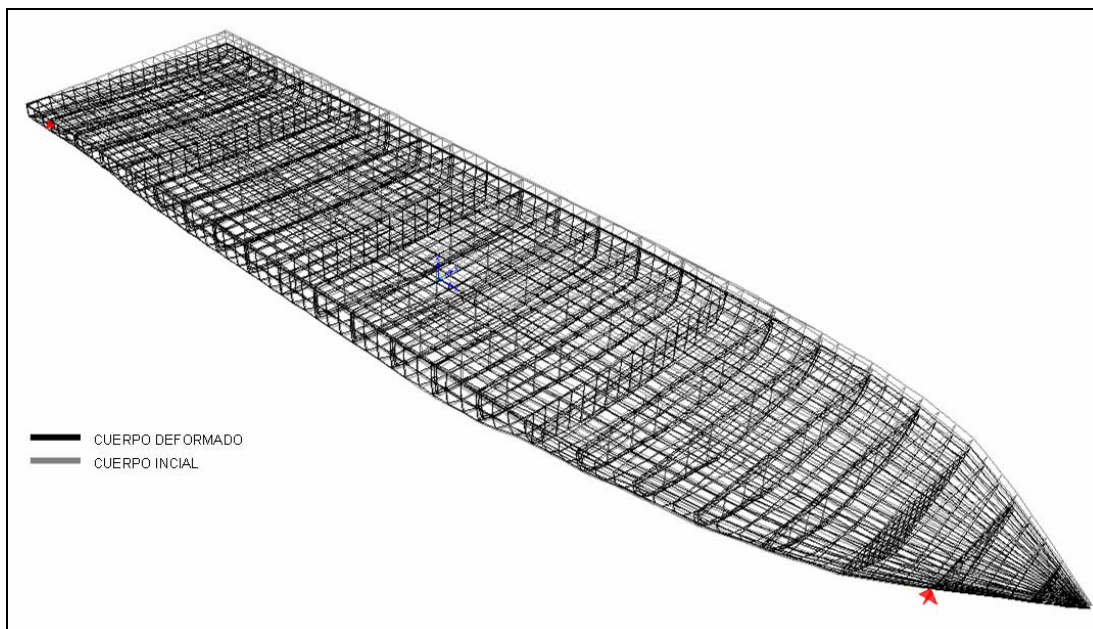


Figura No. 63 Vista de perfil del panel deformado en Tensionada por cables

En la figura No. 64 se observan los valores máximos absolutos de las deformaciones. El valor máximo de deformación absoluta es de  $-0.02957$  m, teniendo una deformación relativa de  $14.06$  mm, con respecto a la deformación absoluta de crujía ( $-0.01551$  m) en dirección z.

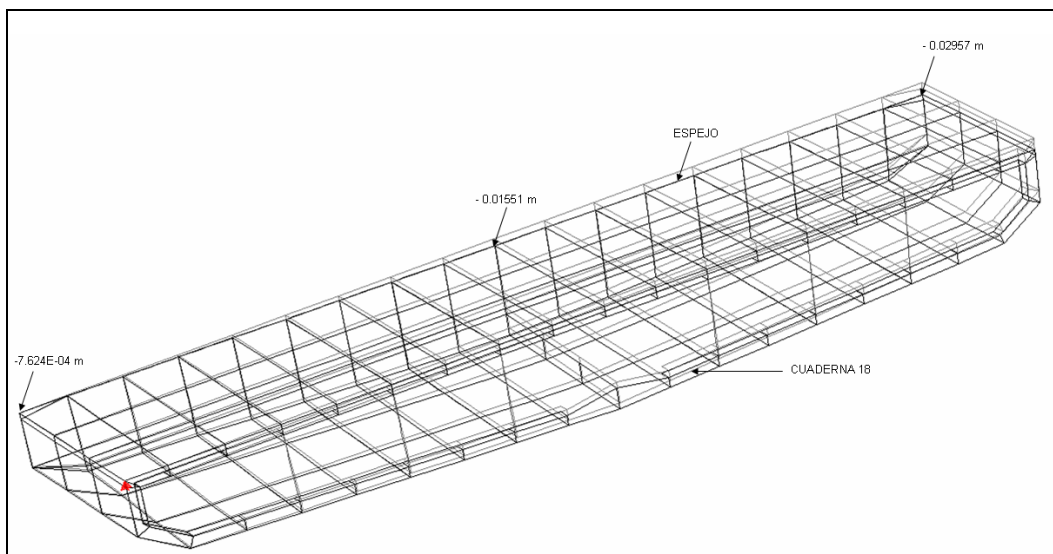


Figura No. 64 Máxima deformación en Tensionada por cables

La deformación de la quilla se la puede apreciar en la figura No. 65, la cual sigue la misma deformación que el panel deformado, presentado en la figura anterior. En la zona de popa se observa la mayor deformación absoluta. Las deformaciones relativas de popa y proa con respecto a la Sección Media, son 8.77mm y 0.03 mm, respectivamente.

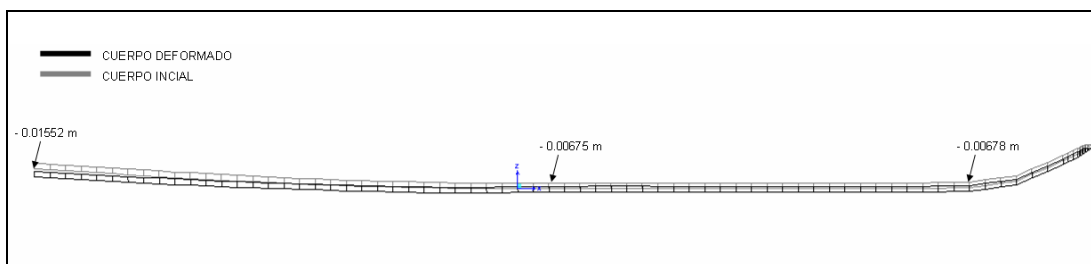


Figura No. 65 Vista de perfil de la quilla deformada en Tensionada por cables

La deformación de la quilla en dirección y (dirección donde actúa la fuerza hidrodinámica) se puede apreciar en la figura No. 66, en donde se presenta la quilla en una vista de planta y los valores de deformaciones de la quilla, en popa, sección media y proa.

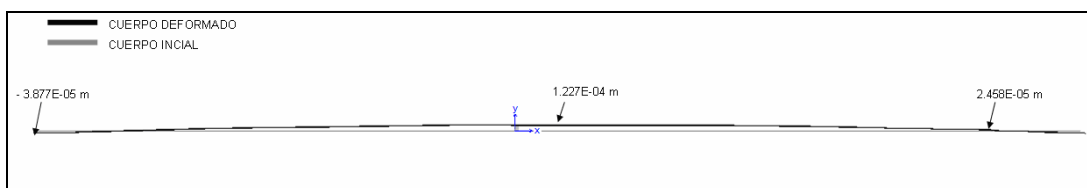


Figura No. 66 Vista en planta de la quilla deformada en Tensionada por cables

En la figura No. 67, se puede observar la deformación de la cuaderna crítica, para esta condición, la cual se encuentra en la sección de popa y ocurre en la banda de Babor, alcanzando una deformación relativa de 13.9 mm, con respecto a la crujía (-0.01484 m).

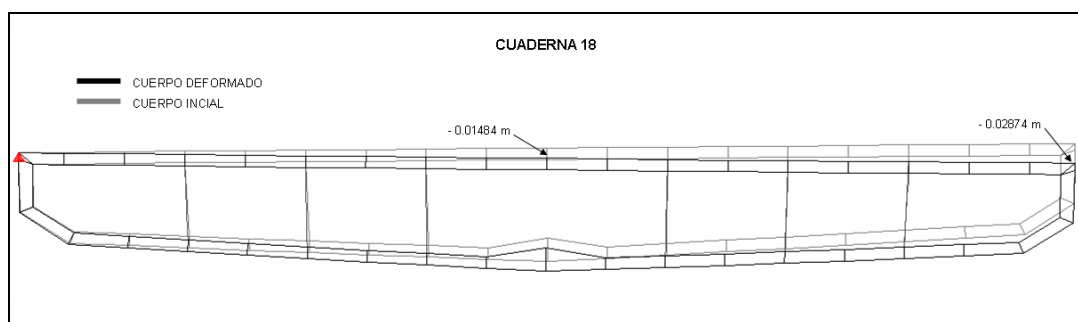


Figura No. 67 Vista transversal de la cuaderna deformada en Tensionada por cables

De la misma manera se presenta en una vista transversal el espejo deformado, ver figura No. 68. El máximo valor absoluto de la deformación es de  $-0.02957$  m, el cual ocurre en el costado babor, en la parte superior del espejo, en la crujía experimenta una deformación absoluta de  $-0.01551$  m, lo que provoca una deformación relativa de  $14.06$  mm.

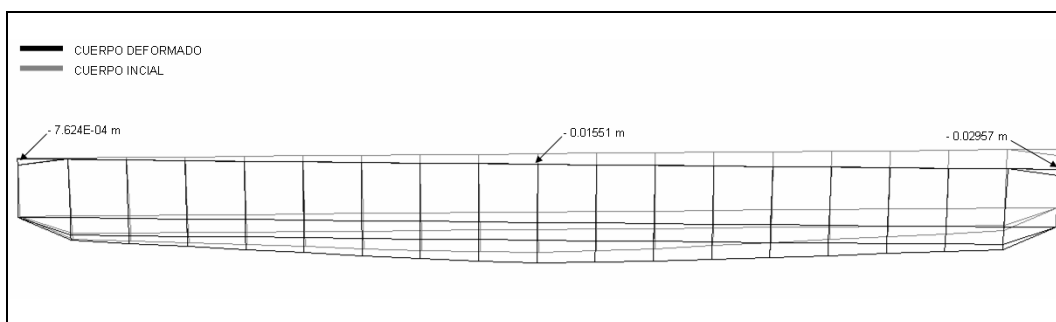


Figura No. 68 Vista transversal del espejo deformado en Tensionada por cables

#### 4.4 Análisis de resultados, condición 4: Atrache Lateral

En la tabla No. 23 se presentan los valores de esfuerzos primarios que se desarrollan en la sección media de la estructura, de manera que se puedan comparar posteriormente con la condición No. 1.

Elemento	Nodo	ESTRIBOR		BABOR		Ubicación
		Esfuerzo ( $\sigma_1$ )	Elemento	Nodo	Esfuerzo ( $\sigma_1$ )	
		Ton/m <sup>2</sup>		Ton/m <sup>2</sup>		
2014	2178	-81.36	2572	2178	-81.36	FONDO
2014	1791	-27.58	2572	2623	-29.99	
1458	1526	20.67	3110	2880	15.38	
1213	1271	35.61	3351	3130	27.49	
985	1048	72.28	3582	3352	61.47	
767	826	87.63	3800	3569	73.57	
553	616	147.26	4014	3779	130.83	
326	408	205.82	4241	3987	185.14	
117	159	243.01	4454	4236	218.54	COSTADO
65	99	-65.30	4549	4374	-90.43	
64	98	-349.25	4548	4373	-373.03	
116	97	-197.02	4453	4372	-210.01	CUBIERTA
303	142	-47.02	4257	4250	-47.12	
518	376	-61.39	4042	4015	-62.11	
731	585	-73.12	3829	3807	-73.57	
949	795	-90.13	3611	3597	-90.63	
1180	1012	-52.08	3379	3380	-52.20	
1422	1237	-9.45	3139	3156	-9.70	
1687	1487	-18.26	2880	2905	-18.56	
2013	1754	-15.17	2571	2643	-15.22	
2013	2176	-6.16	2571	2176	-6.16	

Tabla No. 23 Esfuerzos primarios (Condición Atrache lateral)

En la figura No. 69 y 70 se presentan los valores de los esfuerzos, comparando también los de la condición actual con los de Aguas Tranquilas. Estos esfuerzos son graficados con respecto a su posición extendida, partiendo desde el fondo, en crujía ( $s=0$  metros) hasta llegar a la cubierta en

crujía (s=5.17 metros). Vale indicar que en esta condición se grafica la distribución tanto en Estribor como en Babor, debido a que la condición de carga es asimétrica.

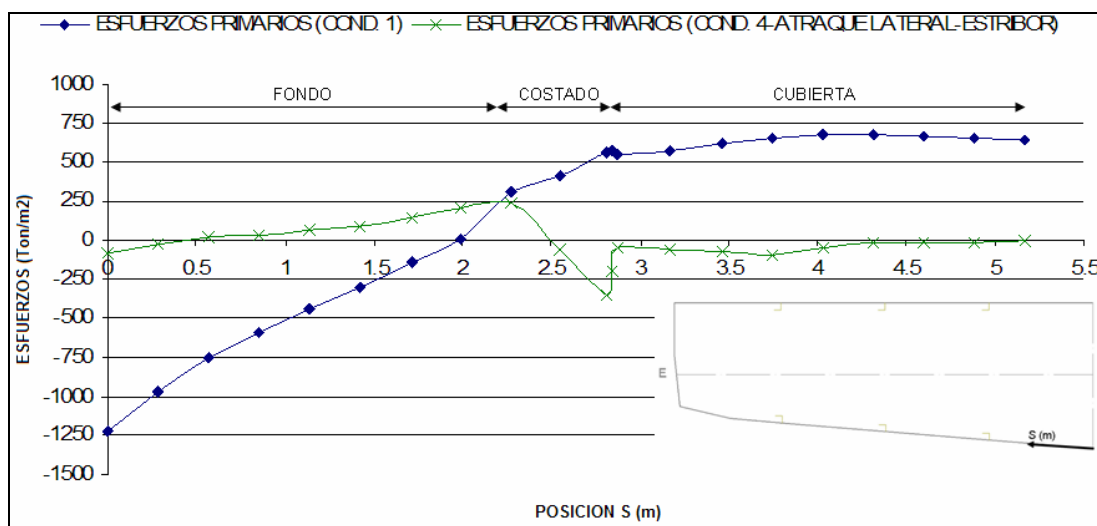


Figura No. 69 Esfuerzos primarios Estribor vs. Posición (Condición Atraque lateral)

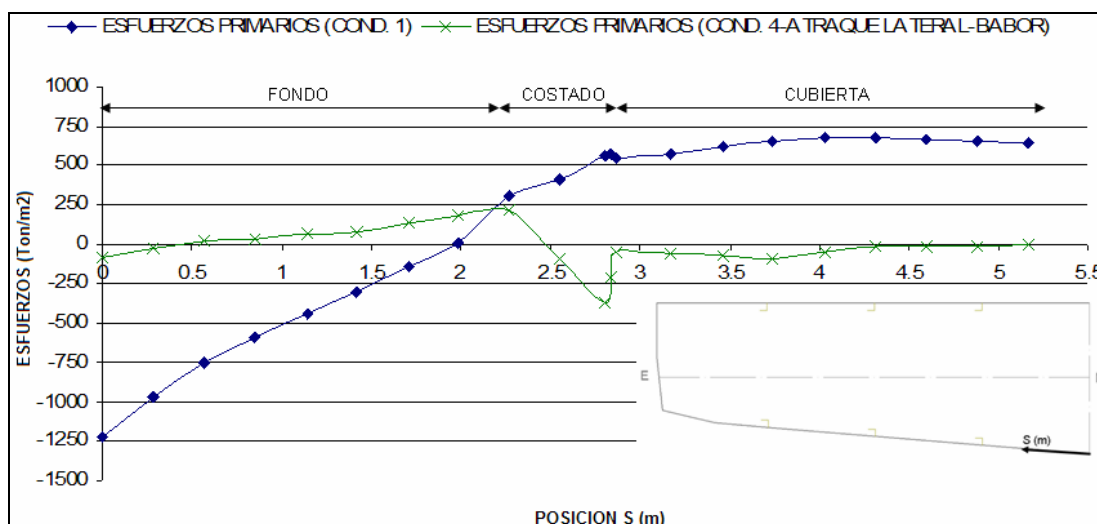


Figura No. 70 Esfuerzos primarios Babor vs. Posición (Condición Atraque lateral)



Se nota que en esta condición se desarrollan esfuerzos primarios sumamente bajos debido a que, por efectos de la presión hidrodinámica la embarcación rotó 2° con un calado de 0.35 m. Todo esto para a que se obtengan las condiciones de equilibrio requeridas.

De la misma manera, para el análisis de los esfuerzos locales, se procede analizar la Cubierta y las Secciones de Proa, Sección Media y Popa, de donde se toman las zonas con mayor nivel de esfuerzos, tal como se indica en la tabla No. 24, en donde se presentan los valores de los esfuerzos locales, de acuerdo a cada sección y su ubicación en la estructura del casco.

SECCIÓN	ESFUERZOS (TON/M <sup>2</sup> )				UBICACIÓN
	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_{xy}$	$\sigma_{VM}$	
Cubierta	1202.52	403.96	-221.63	1633.23	En la sección de proa, en la intersección con el bao de la cuaderna 5.
	2178.29	3097.85	-114.86	3543.84	En la sección de proa, en el alma del bao de la cuaderna 4, al costado de babor.
Proa	-1429.08	-730.34	-307.08	1448.47	En el planchaje de fondo, cerca de la quilla en la intersección con la cuaderna 5.
	-1513.85	-3175.48	-733.56	5192.98	En el alma de la cuaderna 5, ubicada en el fondo del casco, al costado de estribor.
Seccion Media	-1823.07	-325.07	292.16	1776.83	En la parte superior de la quilla delante del mamparo 3.
	-1125.35	-1449.31	-601.27	1921.75	En el alma de la cuaderna 10, en el fondo del casco, al costado de estribor.
Popa	-2491.94	-387.89	-330.06	2401.64	En la parte superior de la quilla delante del mamparo 4.
	747.61	2939.05	-1087.55	4746.37	En el alma de la cuaderna 18, en el fondo cerca de la quilla.

Tabla No.24 Valores de esfuerzos locales en las secciones del casco en  
Atraque lateral

De la tabla presentada se concluye que los mayores esfuerzos locales ocurren en la Sección de Popa y en la Sección de Proa, resultando valores de  $\sigma_x$  y  $\sigma_y$ , de -2491.94 ton/m<sup>2</sup> y -3175.48 ton/m<sup>2</sup>, respectivamente; valores

que están 9.63 y 7.56 veces, respectivamente, por debajo del esfuerzo de fluencia 24000 ton/m<sup>2</sup>.

De la misma manera se procede a analizar los esfuerzos locales en los puntos de soportes. En la figura No. 71 se aprecia la cuaderna 2, en donde se situó el punto de pivote, y en la figura No. 72 se aprecia la cuaderna 18, donde se ubicó el punto que está en contacto con el muelle.

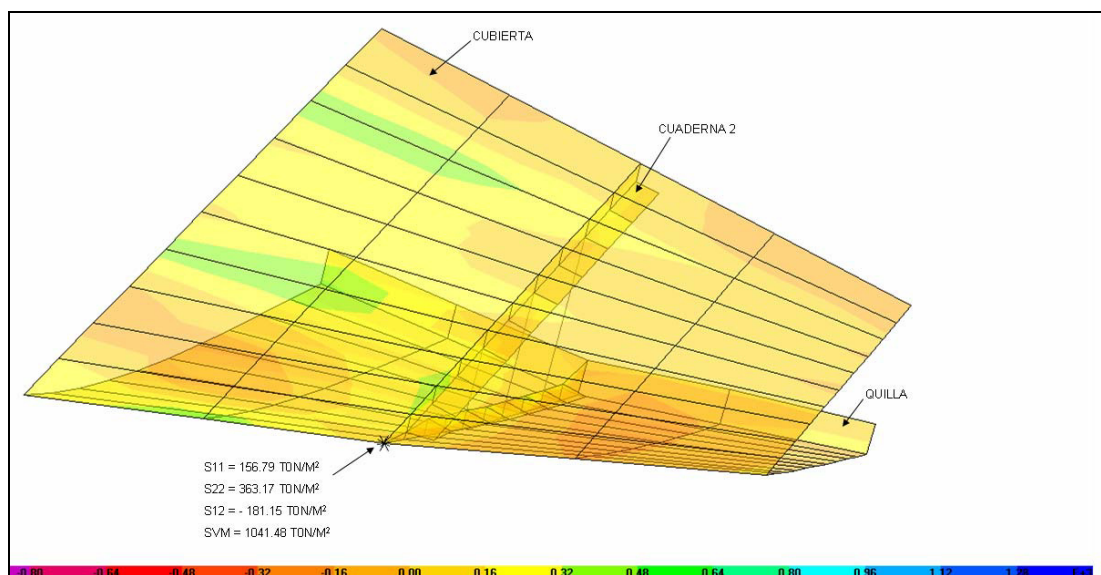


Figura No. 71 Esfuerzos locales en el punto de pivote

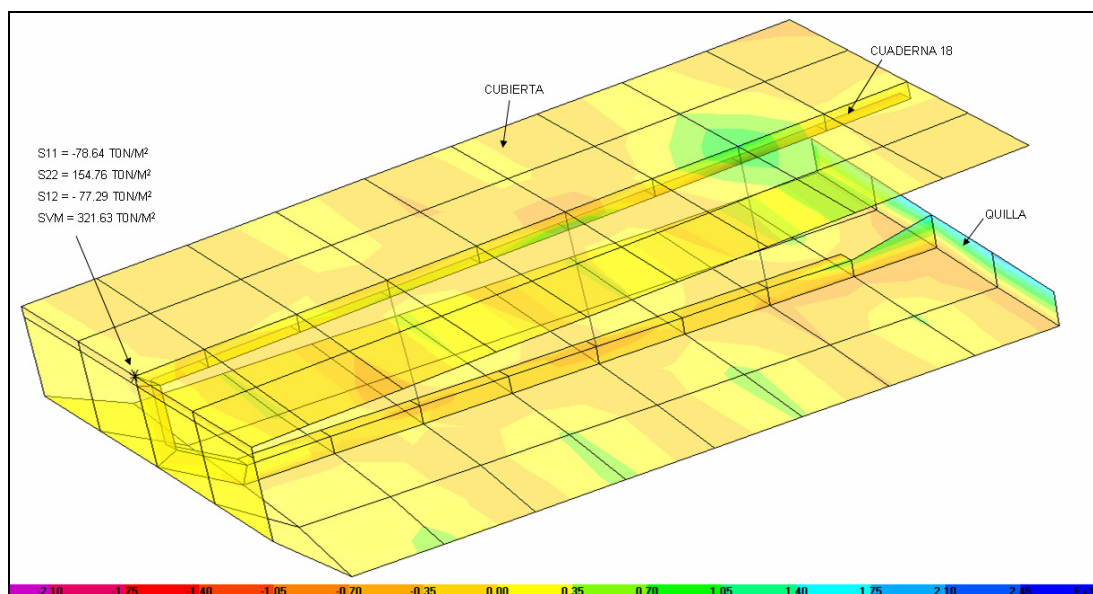


Figura No. 72 Esfuerzos locales en el punto de contacto al muelle

El puntal que soporta la mayor carga de aplastamiento en esta condición se encuentra también en la cuaderna 18, su localización está en la zona de estribor, en la proximidad de la línea de crujía y alcanza un valor de  $-0.2698$  ton, tal como se indica en la figura No. 73. De la misma manera se concluye que éste valor está por debajo de la carga crítica que puede soportar el puntal, la cual es calculada en el Anexo 9.

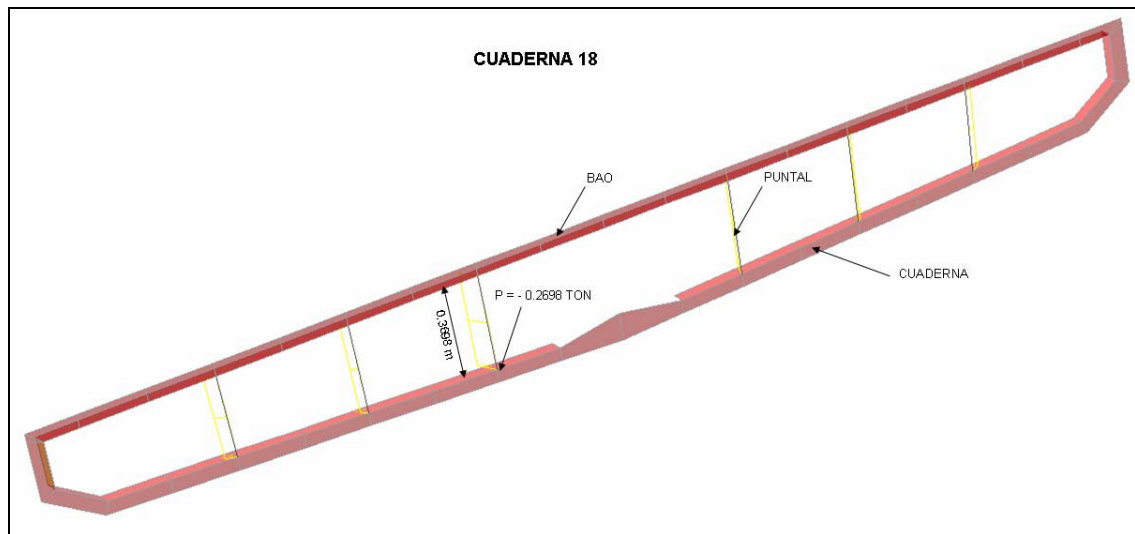


Figura No. 73 Detalle del puntal que soporta la máxima carga de aplastamiento (Atracada lateral)

Igual que en la condición anterior, se analizó la carga de compresión que experimentan los refuerzos longitudinales del fondo, ocurriendo la mayor en el refuerzo más cercano al costado, en la Sección de Proa, entre la cuaderna 3 y 4, con un valor de 0.0956 ton, el cual está por debajo de la carga crítica (66.29 ton), ver Anexo 9.

#### 4.5 Resumen del análisis de resultados

En la tabla No. 25 se presentan los valores de máximos esfuerzos encontrados en cada condición de carga analizada, además de su valor, se presenta la sección del barco en donde ocurren y su respectiva ubicación.

CONDICION	ESFUERZOS MAXIMOS (TON/M2)		SECCION	UBICACION
	DIRECCION	VALOR		
AGUAS TRANQUILAS	$\sigma_x$	-3197.83	Seccion Media	En la parte superior de la quilla entre el mamparo 3 y la cuaderna 11.
	$\sigma_y$	3952	Cubierta	En la proximidad de la sección media en el alma del bao de la cuaderna 9.
	$\sigma_{xy}$	-588.3	Cubierta	En la proximidad de la sección media en el alma del bao de la cuaderna 9.
	$\sigma_{VM}$	5995.6	Seccion Media	En el alma de la cuaderna 9, ubicada en el fondo del casco cerca del costado.
VARAMIENTO EN PROA	$\sigma_x$	2785.27	Seccion Media	En la parte superior de la quilla detrás del mamparo 3.
	$\sigma_y$	4174.09	Proa	En el alma de la cuaderna 4, ubicada en el fondo del casco cerca de la quilla.
	$\sigma_{xy}$	1039.86	Cubierta	En la sección de proa, en el alma del bao de la cuaderna 3.
	$\sigma_{VM}$	5517.91	Proa	En el alma de la cuaderna 4, ubicada en el fondo del casco cerca de la quilla.
VARAMIENTO EN POPA	$\sigma_x$	5350.51	Popa	En la parte superior de la quilla entre la cuaderna 16 y 17.
	$\sigma_y$	3842.86	Cubierta	En la sección media, en el alma del bao de la cuaderna 9.
	$\sigma_{xy}$	610.43	Cubierta	En la sección de popa, con la intersección del bao de la cuaderna 18.
	$\sigma_{VM}$	6093.68	Popa	En el alma de la cuaderna 16, ubicada en el planchaje del fondo.
TENSIONADA POR CABLES	$\sigma_x$	-3405.77	Seccion Media	En el alma de la cuaderna 10, en el fondo del casco, al costado de babor.
	$\sigma_y$	3970.33	Cubierta	En la sección media, en el alma del bao de la cuaderna 9, al costado de estribor.
	$\sigma_{xy}$	-601.82	Cubierta	En la sección media, en el alma del bao de la cuaderna 9, al costado de estribor.
	$\sigma_{VM}$	5937.48	Cubierta	En la sección media, en el alma del bao de la cuaderna 9, al costado de estribor.
ATRAQUE LATERAL	$\sigma_x$	-2491.94	Popa	En la parte superior de la quilla delante del mamparo 4.
	$\sigma_y$	-3175.48	Proa	En el alma de la cuaderna 5, ubicada en el fondo del casco, al costado de estribor.
	$\sigma_{xy}$	-1087.55	Popa	En el alma de la cuaderna 18, en el fondo cerca de la quilla.
	$\sigma_{VM}$	5192.98	Proa	En el alma de la cuaderna 5, ubicada en el fondo del casco, al costado de estribor.

Tabla No. 25 Valores máximos de esfuerzos en cada condición característica de carga

Observando la tabla se puede concluir que la máxima intensidad de esfuerzo está en la condición de Varamiento en Popa, cuyo valor corresponde a 6093.68 Ton/m<sup>2</sup>, sin embargo este valor se encuentra 3.94 veces por debajo del esfuerzo de fluencia permitido, el cual es 24000 Ton/m<sup>2</sup>.

De la misma manera se procedió a comparar la carga de aplastamiento que se produce en cada condición de carga, esto se puede visualizar en la tabla

No. 26. Todos estos valores de carga están por debajo de la carga crítica que puede soportar el puntal (91.67 Ton).

<b>CONDICIÓN</b>	<b>CARGA</b>	<b>VALOR (Ton)</b>	<b>UBICACIÓN</b>	<b>BANDA</b>
NAVEGACIÓN LIBRE	P	-0.2049	Cuaderna 18	Eb-Bb
VARAMIENTO EN PROA	P	-0.2052	Cuaderna 18	Eb-Bb
VARAMIENTO EN POPA	P	-0.2321	Cuaderna 18	Eb-Bb
TENSIONADA POR CABLES	P	-0.2217	Cuaderna 18	Eb
ATRAQUE LATERAL	P	-0.2698	Cuaderna 18	Eb

Tabla No. 26 Valores de carga de aplastamiento en cada condición característica de carga

La condición que experimenta la máxima carga de aplastamiento es la condición de Atraque Lateral. Debido a que el puntal de la embarcación es pequeño (0.80 m), los puntales que van en cada cuaderna también son cortos, lo cual hace que la carga crítica sea muy alta (91.67 Ton) en comparación con los valores de cargas de aplastamiento obtenidos en esta tesis.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el presente trabajo se desarrolló un modelo estructural completo, empleando el Método de Elementos Finitos, del casco de la L/H Samarina, sometiéndola a cuatro condiciones de cargas características del transporte fluvial. Los refuerzos estructurales primarios y secundarios fueron definidos con elementos "Plancha" y "Viga", respectivamente. Luego se procedió a simular cada condición de carga, teniendo gran cuidado en la forma de resolver la singularidad del problema, de manera que no influyan en los niveles de esfuerzos resultantes. Con todo esto se puede concluir que:

Se logró modelar completamente de forma adecuada la estructura del casco de la L/H Samarina, aplicándose un proceso combinado dibujando una parte en AUTOCAD e importándolo desde SAP2000. Los refuerzos estructurales primarios transversales fueron modelados con elementos planchas. Los elementos "plancha" del forro tienen una razón de aspecto de aproximadamente 1.0087, y, los elementos viga tienen en cada espaciamiento entre cuadernas dos nodos intermedios. Todo esto lleva a la conclusión de que la discretización que se realizó a la estructura fue adecuada.

Las condiciones de carga fueron seleccionadas porque se las consideró como representativas de la operación en el medio fluvial. Se usaron resortes para evitar la singularidad del problema en cada condición de carga. Las reacciones finales que generaron éstos resortes fueron muy bajas, de tal manera que se considera que no influyeron en los resultados.

En algunas condiciones de carga, tales como las de varamiento, tensionada y atraque lateral, se debió rotar y cambiar la altura de referencia, para el cálculo de la presión hidrostática sobre la estructura de la embarcación, para lograr el equilibrio estático del sistema. Esto se facilitó por la disponibilidad de ciertos módulos del programa de análisis utilizado. Al final, se comprobó que las reacciones que se desarrollaron en los resortes fueron muy pequeñas.

El máximo esfuerzo de membrana en dirección x (Primario) ocurre en la condición de Aguas Tranquilas, con un valor de  $-1217.87 \text{ ton/m}^2$ , en el fondo de la embarcación, en la Sección Media. En la condición de Varamiento por Proa los esfuerzos de membrana se reducen considerablemente ( $-795.21 \text{ ton/m}^2$ ), mientras que en la condición de Varamiento por Popa los esfuerzos de membrana son cercanos ( $-1063.07 \text{ ton/m}^2$ ) a los de la condición de Aguas Tranquilas. Esto se debe a que los varamientos tienden a flectar la viga con curvatura positiva (sonriente), es decir, tensionado en el fondo, l



que se contrapone con los esfuerzos de tipo compresivo que se presentan en condición de Navegación Libre. En cambio en la condición asimétrica, Tensionada por cables, en el fondo del casco los esfuerzos de membrana son muy cercanos a los de Navegación Libre ( $-1187.11 \text{ ton/m}^2$ ), pero en el costado de estribor los esfuerzos en cubierta se reducen; en cambio en el costado de babor los esfuerzos son muy cercanos a los de Navegación Libre. El Atraque Lateral, condición asimétrica también, desarrolla esfuerzos de membrana pequeños ( $-81.36 \text{ ton/m}^2$ ) en comparación con la condición 1.

En lo que se refiere a los esfuerzos locales, el máximo esfuerzo  $\sigma_x$  ( $5350.51 \text{ ton/m}^2$ ), ocurre en la condición de Varamiento por Popa, en la parte superior de la quilla entre la cuaderna 16 y 17. El máximo esfuerzo local  $\sigma_y$  ( $4174.09 \text{ ton/m}^2$ ), ocurre en la condición de Varamiento por Proa, ubicada en el alma de la cuaderna 4, localizada en el fondo del casco cerca de la quilla. Se considera que estos resultados son razonables porque se espera que en las zonas cercanas a los puntos de encallamiento se presenten los máximos esfuerzos.

Para juzgar una posible falla por combinación de esfuerzos, el programa usado calcula la intensidad de esfuerzos de acuerdo al criterio de von Mises. El máximo valor de dicho parámetro se desarrolla en la condición de Varamiento por Popa, con un valor de  $6093.68 \text{ ton/m}^2$ , en la Sección de

Popa y está localizada en el alma de la cuaderna 16, ubicada en el planchaje de fondo.

En lo que se refiere a la posibilidad de pandeo se calcularon las cargas críticas, las cuales están desarrolladas en el Anexo 9, tanto para los puntales como para los refuerzos longitudinales de fondo, resultando valores superiores a las 90 Toneladas. Este valor fue comparado con la máxima carga compresiva obtenida en el modelo estructural, la cual fue de -0.2698 Ton, desarrollada en la condición de Atraque Lateral, en la zona de Popa, en la cuaderna 18. Con esto se concluye que los puntales no pandean.

Finalmente de las 4 condiciones analizadas, la que tiene mayor intensidad de esfuerzo es la condición de Varamiento en Popa (6093.68 ton/m<sup>2</sup>), sin embargo es un valor 3.94 veces por debajo del esfuerzo de fluencia, lo que indica que los escantillones pueden reducirse. Por ejemplo, se pudo haber usado plancha de 3/16" (4.76 mm) en el fondo, y para lograr un mejor trabajo en conjunto entre las cuadernas, se podría incrementar un refuerzo longitudinal en el fondo a cada banda. Esto reducirá el peso del planchaje de fondo en 1010.3 Kg, e incrementaría el peso de los refuerzos en el fondo y cubierta en 130.96 Kg. Esto es, se tendrá un peso reducido de 879.34 Kg neto, lo cual es 3.99 % del desplazamiento total.

**Recomendaciones:**

La discretización de la estructura de un buque es un proceso bastante largo, de manera que se podría tratar de implementar alguna rutina específicamente para ayudar en la generación de la malla de este tipo de sistema. Podría combinarse, siguiendo la experiencia de esta tesis, el uso del programa AutoCAD e interpolando a partir de la tabla de puntos del Plano de Líneas de Formas.

De la experiencia al analizar esta embarcación en la que varía el espesor del planchaje, se recomienda considerar el modelar todos los elementos estructurales con elementos "Planchas", incluso los refuerzos secundarios. Esto evitaría usar varios anchos efectivos, porque complica el ingreso de información al sistema. Sin embargo, esto también incrementaría la complejidad del modelo estructural.

## ANEXO 1

### **Ambientes disponibles de la lancha hospital “Samarina”**

La embarcación de Servicio Hospitalario itinerante tiene los siguientes ambientes, [4]:

#### Ambiente de atención

1. Sala de espera.
2. Estación de enfermería y estadística.
3. Consultorio medico.
4. Consultorio Odontológico.
5. Sala de partos y cirugía de emergencia.
6. Sala de vacunas.
7. Sala de hidratación y observación con capacidad de 6 camas.
8. Farmacia.
9. Laboratorio básico.
10. Bodega.
11. Baños para pacientes.

#### Ambientes de vivienda del personal

1. Cocina – Comedor.
2. Camarotes de 2 camas para el personal.
3. Baños para el personal.

En cuanto a la tripulación de la embarcación se tiene el siguiente personal:

#### Personal médico y paramédico

1. Un médico general con experiencia en cirugía.
2. Un odontólogo.
3. Una licenciada en enfermería.
4. Un auxiliar de enfermería con conocimiento de quichua.
5. Un tecnólogo de laboratorio (no fijo).

#### Personal de navegación

1. Un capitán de la embarcación con conocimiento del río.
2. Un auxiliar de servicios para mantenimiento.

#### Radio comunicación

El barco esta provisto de una radio en UHF que le permite la comunicación constante con el Hospital de Coca y el de Nuevo Rocafuerte, en donde están instaladas radios, que funcionan en la frecuencia 9.285 USB.

#### Sistema propulsión y energético

La embarcación es propulsada con dos motores fuera de borda de 125 HP con un comando central para el encendido. El sistema energético de luces y otros servicios es fotovoltaico, además posee un pequeño generador para emergencias.

## **ANEXO 2**

### **Modelación e importación del casco estructural desde AUTOCAD**

Antes de comenzar a desarrollar el modelo, uno de los pasos más importantes es escoger el sistema de referencia adecuado, de manera que se tenga los ejes X, Y, Z orientados de acuerdo a cómo se trabaja en la Ingeniería Naval, es decir el eje X en sentido longitudinal, el eje Y en sentido transversal y el eje Z en sentido vertical.

Para generar el casco se utilizó el plano de Líneas de Formas donde a las estaciones se les proporcionó la respectiva posición. Lo primero en generar fue el planchaje del casco, para lo cual se utilizó el comando ("EDGESURF"), el cual divide el objeto seleccionado en tantas partes como lo quiera el dibujante. Se debe indicar, que con este comando al momento de exportarlo a SAP 2000, se generan automáticamente los elementos Planchas ("SHELL"). En la figura No. 2a, se puede apreciar el forro del casco generado con el programa AUTOCAD.

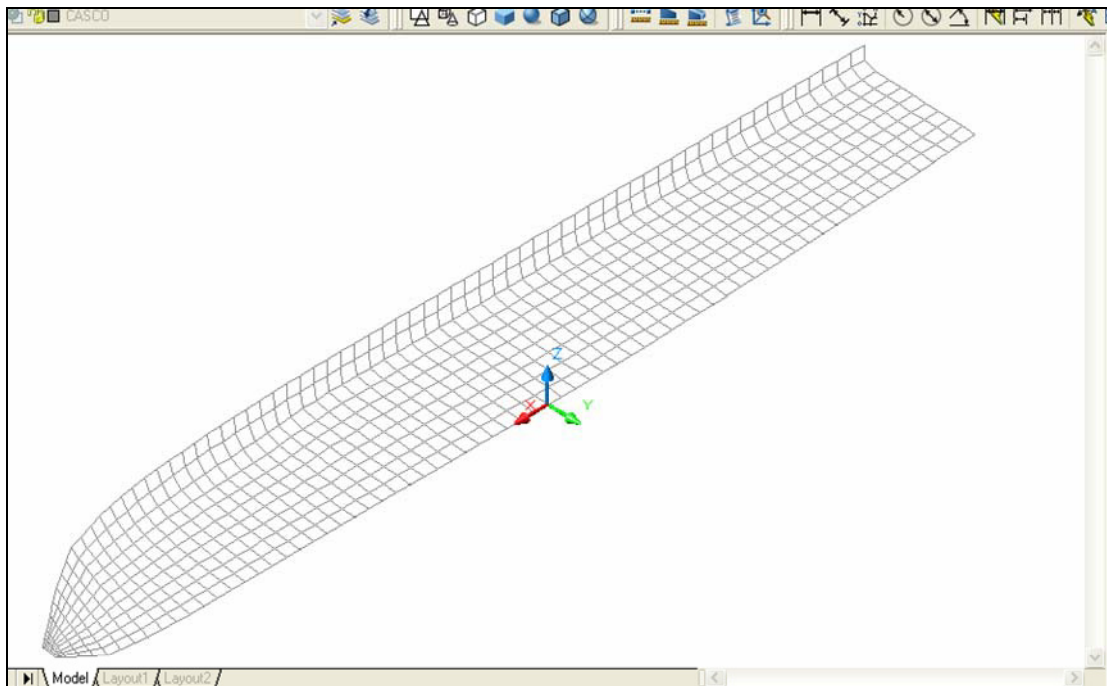


Figura No. 2a Forro del casco

Sabiendo la posición y las formas de los mamparos, cuadernas, quilla y cubierta, se procedió a dibujarlos con el comando ("LINE"). A cada elemento estructural se le proporcionó una capa ("LAYER") diferente para evitar confusiones durante la transferencia del modelo con el comando "Import". En la figura No. 2b se presenta el modelo con todos los elementos estructurales; en la parte superior izquierda se muestran las capas usadas con su color respectivo.

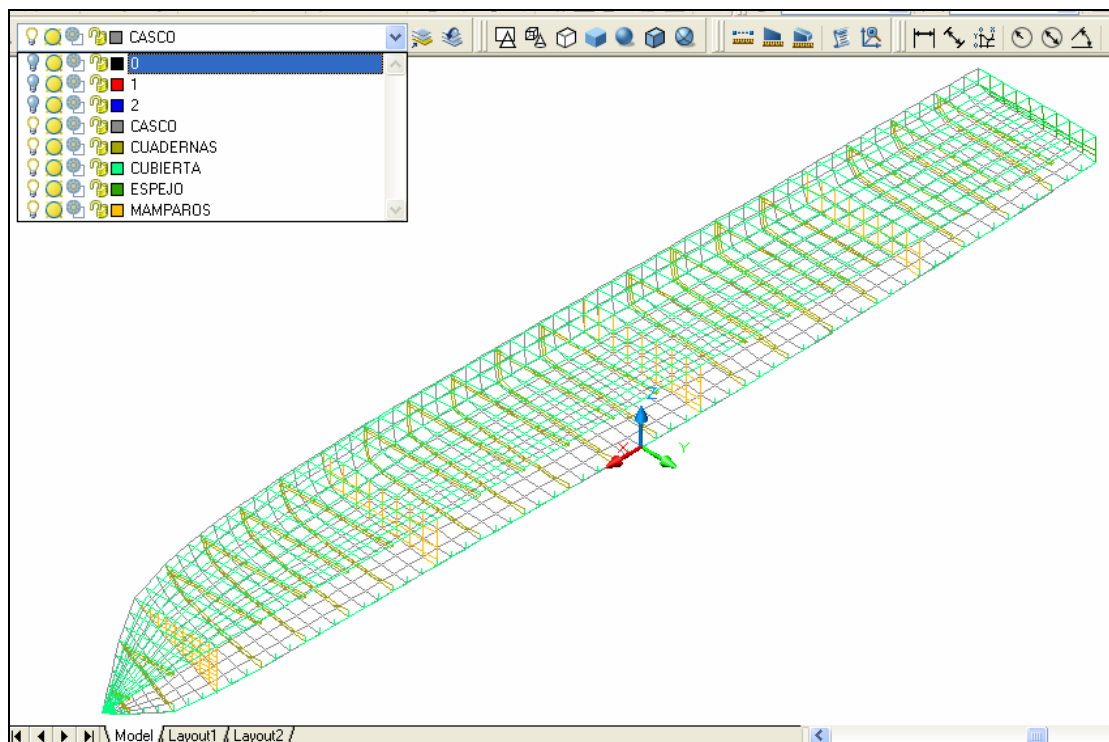


Figura No. 2b Modelo con todas las partes estructurales

Una vez terminado el modelo, el archivo debe ser guardado con extensión (.dxf) para poder ser transferido por SAP 2000; como se explicó al inicio del anexo, el forro del casco es modelado automáticamente con elementos Planchas cuando se lo transfiere. Esta transferencia se la realiza miembro a miembro, no todo en conjunto, véase la figura No. 2c.



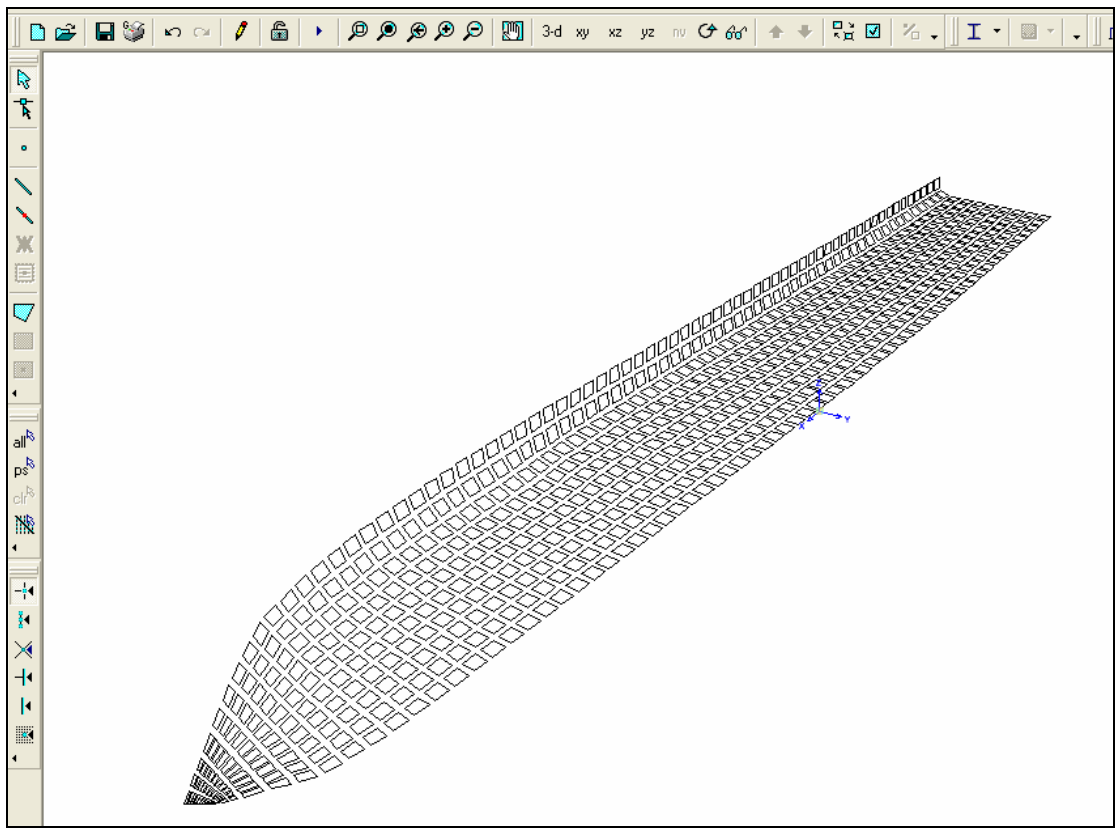


Figura No. 2c Forro del casco transferido en SAP 2000

Los demás elementos, dibujados con el comando "LINE" en AUTOCAD, se los transfiere como tales y el programa SAP 2000 los reconoce como elementos Vigas; véase la figura 2d, donde se muestra los mamparos transferidos (de color rojo) desde AUTOCAD.

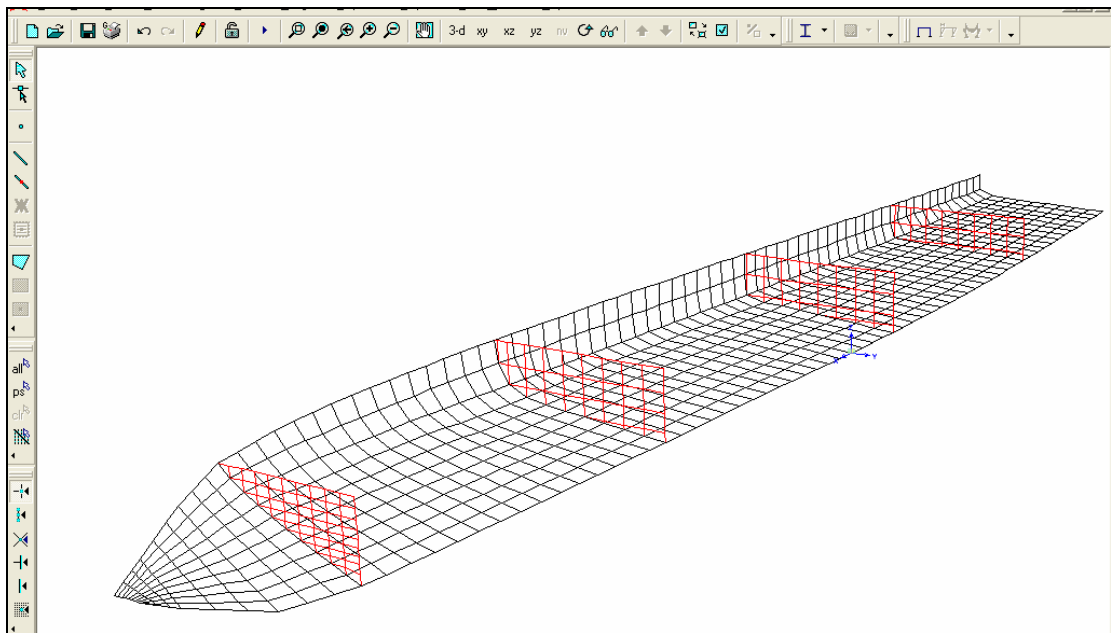


Figura No. 2d Mamparos transferidos desde AUTOCAD

De la misma manera como se transfirieron los mamparos, se transfieren: las cuadernas, cubierta, espejo y quilla; todos estos elementos estructurales como se describió en el subcapítulo 2.2 son modelados con elementos Planchas. La generación de planchas se las realiza en el programa SAP 2000, teniendo como ayuda los nodos de los elementos que se generan de cada parte estructural dibujada en AUTOCAD, véase la figura No. 2e.

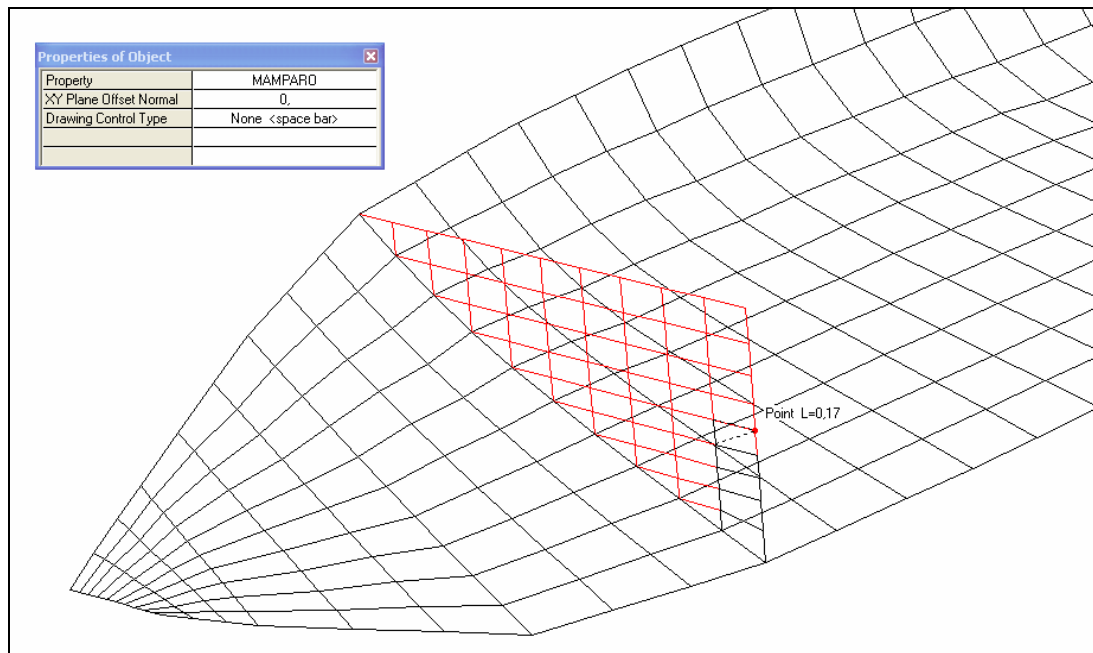


Figura No. 2e Generación de planchas en el mamparo

Finalmente, después de haber generado todo el planchaje, se generan los elementos Vigas ("FRAMES"), los cuales deben de estar debidamente conectados con el planchaje generado anteriormente. En la figura No. 2f se aprecia la generación de los elementos Vigas; y se puede observar como se generan los refuerzos longitudinales de cubierta.

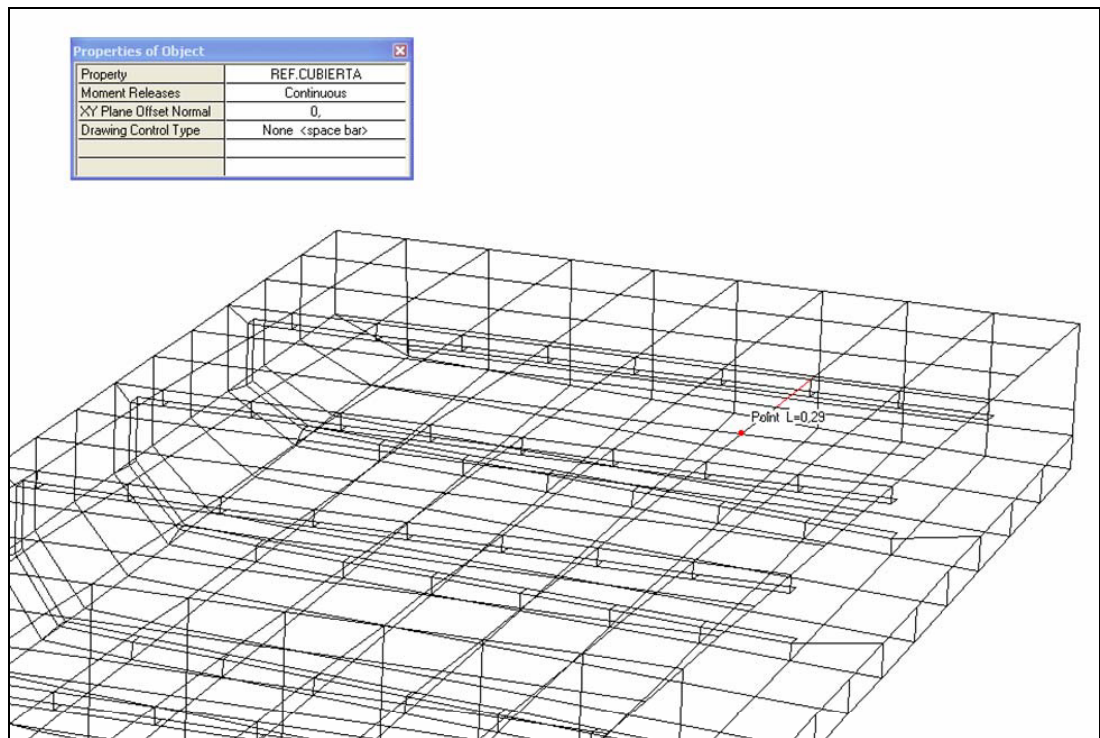


Figura 2f Generación de los refuerzos longitudinales de cubierta (Vigas)

## ANEXO 3

### Definición de los ejes locales (Elementos viga)

#### Eje longitudinal 1

El eje local 1 está siempre en la dirección del eje longitudinal del elemento; la dirección positiva está dirigida desde el nodo I hacia el nodo J.

#### Orientación por defecto ("Default Orientation")

La orientación por defecto de los ejes locales 2 y 3 está determinada por la relación entre el eje local 1 y el eje global Z:

- El eje local 2 es tomado para tener una dirección ascendente (+Z), a menos que el elemento sea vertical, en tal caso, el eje local 2 es tomado como horizontal a través del eje global +Y.
- El plano local 1-2 es tomado como vertical, esto es paralelo al eje Z.
- El eje local 3 es siempre horizontal, en el plano X-Y, cambiando de dirección si el elemento es vertical.

Gráficamente en las figuras No 3a y 3b, se pueden apreciar los ejes locales tanto para un elemento longitudinal como para un elemento vertical.

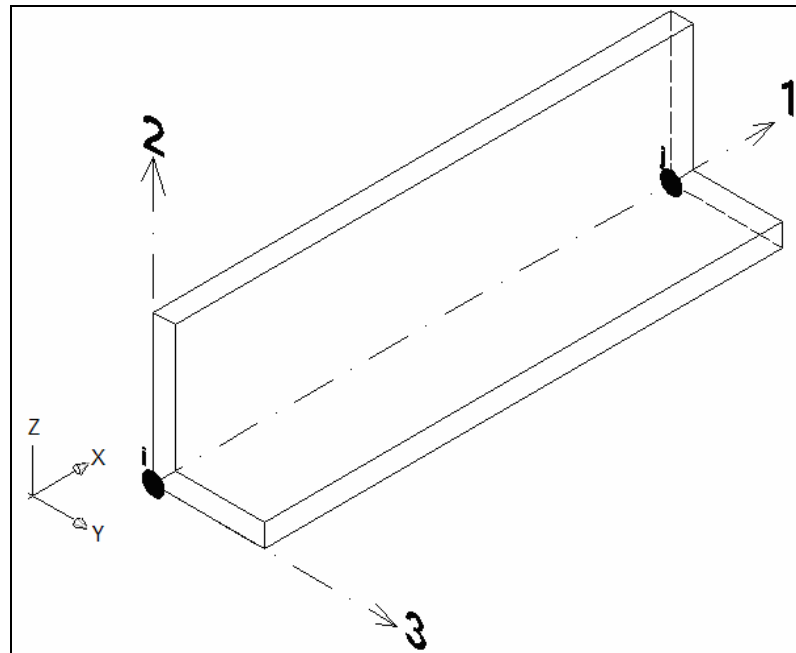


Figura No. 3a Ejes locales para un elemento (FRAME) longitudinal

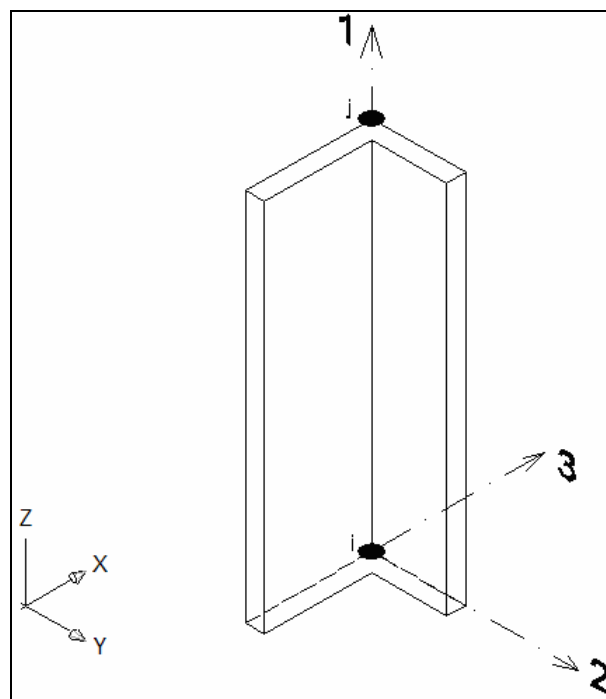


Figura No. 3b Ejes locales para un elemento (FRAME) vertical

## **Definición de los ejes locales (Elementos plancha)**

### **Eje normal 3**

El eje local 3 es siempre normal al plano del elemento plancha (SHELL).

### **Orientación por defecto**

La orientación por defecto de los ejes locales 1 y 2, es determinada por la relación entre el eje local 3 y el eje global Z:

- El plano local 3-2 es tomado como vertical, paralelo al eje Z.
- El eje local 2 es tomado para tener una dirección ascendente (+Z), a menos que el elemento sea horizontal, en tal caso el eje local 2 es tomado como horizontal a través de la dirección global +Y.
- El eje local 1 es siempre horizontal en el plano X-Y, así también cambia si el elemento es horizontal.

Gráficamente en las figuras No 3c y 3d, se pueden apreciar los ejes locales para un elemento vertical (costado de la embarcación) como para un elemento horizontal (fondo del buque).

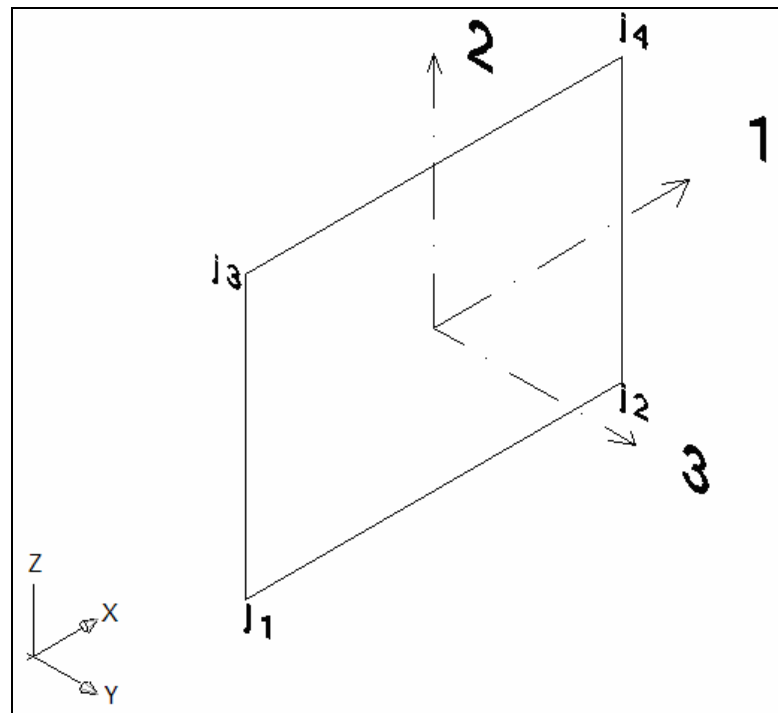


Figura No. 3c Ejes locales para un elemento (SHELL) vertical

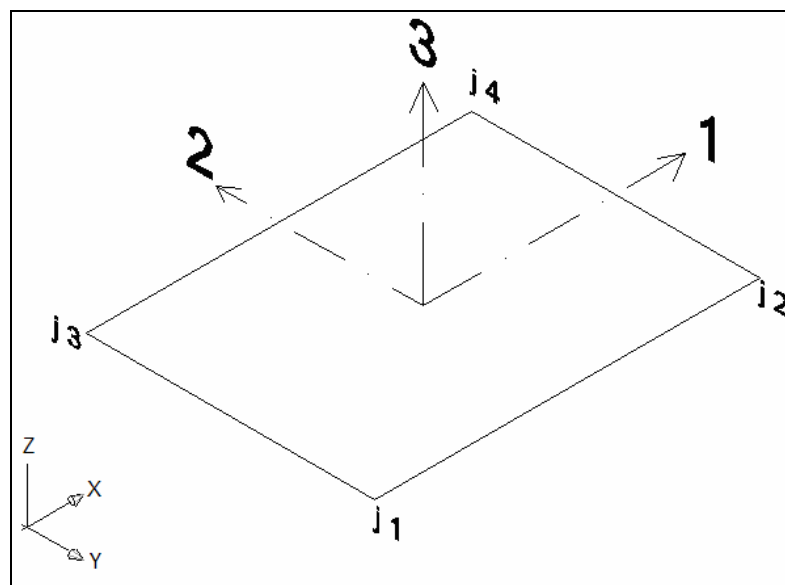


Figura No. 3d Ejes locales para un elemento (SHELL) horizontal



Tal como se indicó en el subcapítulo 2.3, los ejes locales en las planchas sirven también para conocer el sentido de los fuerzas, momentos y esfuerzos, mediante la aplicación de cargas; esto puede ser visualizado en la figura No. 3e, donde se presentan las direcciones de los esfuerzos y las fuerzas internas.

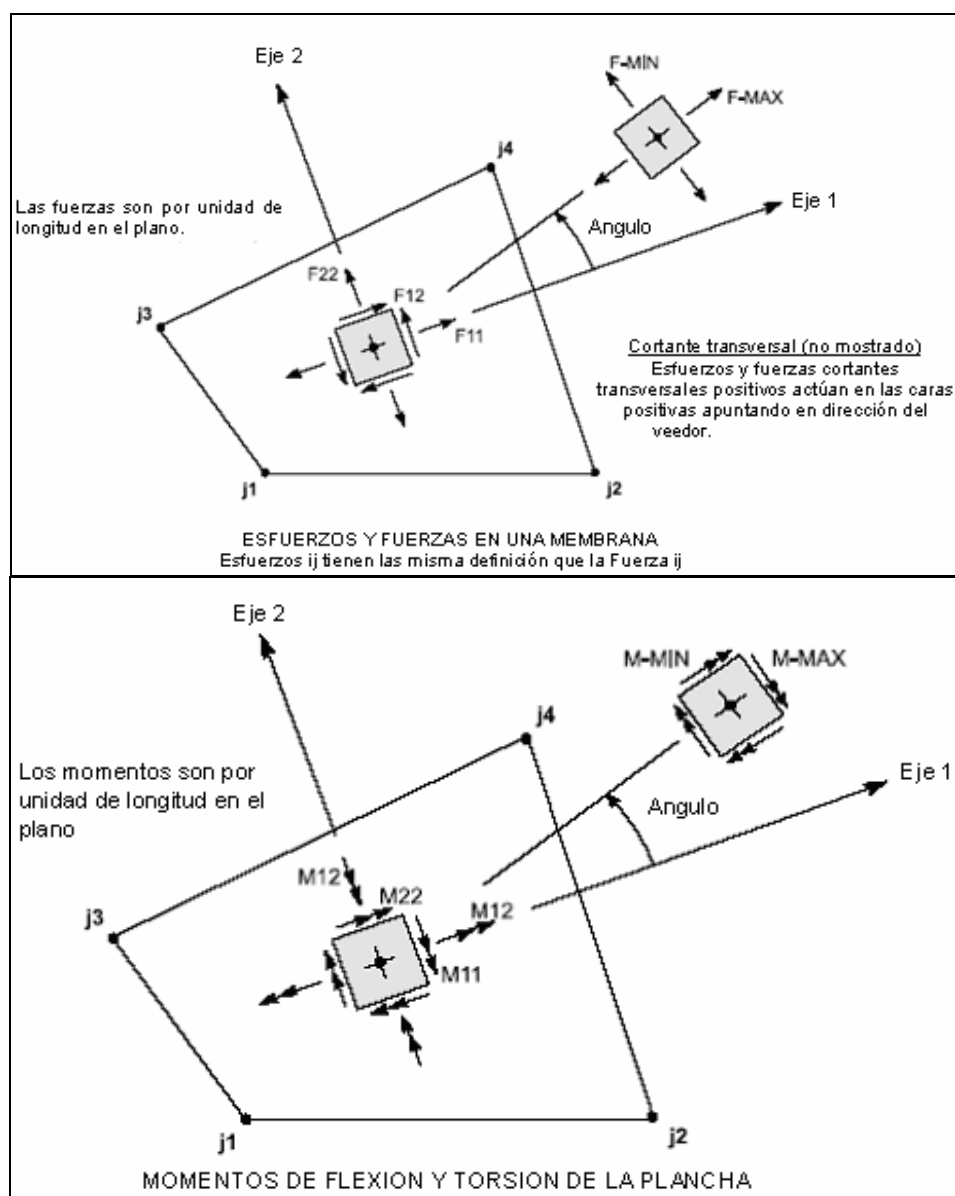


Figura No. 3e Fuerza internas y esfuerzos del elemento SHELL

## ANEXO 4

### Ancho efectivo tomando en consideración el espesor del planchaje de cubierta

Se aplican las formulaciones de la referencia [7], en forma similar a lo calculado en el subcapítulo 2.3, las formulaciones calculadas anteriormente, dadas por las reglas de clasificación de buques para embarcaciones menores DNV y ABS no se alteran. Las formulaciones descritas a continuación se alteran debido a que dependen del espesor ( $t$ ) de la cubierta, y éste es un parámetro que se modifica:

- $be = 60t$ , tomada del libro Cálculo de Estructuras de Buques, de Martín Domínguez, [8].

donde:

$t$  = espesor de la plancha de cubierta(m)

$$be = 60 \times 0.003175m = 0.19m$$

- De la referencia “Recent Advances and Future Trends in Ultimate Limit State Design of Steel Plated Structures”, [10], se procedió a usar las formulaciones 1 y 2, que se presentan a continuación para el cálculo del Ancho Efectivo:

$$\beta = \frac{b}{t} \sqrt{\frac{\sigma_Y}{E}} \quad (1)$$

donde:

$\beta$  = razón de esbeltez de la plancha.

$b$  = ancho de la plancha (m)

$t$  = espesor de la plancha (m)

$\sigma_y$  = Esfuerzo de Fluencia del acero ( $2.4E7 \text{ Kg/m}^2$ )

$E$  = Módulo de Young del acero ( $2.6E10 \text{ Kg/m}^2$ )

$$\beta = \frac{0.56\text{m}}{(0.125\text{pulg}) \times \left(\frac{0.0254\text{m}}{1\text{pulg}}\right)} \sqrt{\frac{2.4E7 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}}{2.6E10 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}}} = 5.36$$

$$\frac{b_e}{b} = \begin{cases} 1.0 & \text{for } \beta < 1 \\ \frac{2}{\beta} - \frac{1}{\beta^2} & \text{for } \beta \geq 1 \end{cases} \quad (2)$$

Debido a que el valor de  $\beta$  es mayor que 1, se toma la segunda fórmula para encontrar el porcentaje de ancho efectivo a usar.

$$\frac{b_e}{b} = \frac{2}{\beta} - \frac{1}{\beta^2} = \frac{2}{5.36} - \frac{1}{5.36^2} = 0.338\%; \quad b_e = 0.19\text{m}$$

## ANEXO 5

## Peso de la superestructura

		SUPERESTRUCTURA									
		Elemento	Cantidad	Base	Altura	Area	Longitud	Volumen	Material	Peso esp.	Peso total
				[m]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[m]	[m <sup>3</sup> ]		[Ton/m <sup>3</sup> ]	[Ton]
DESDE LA CUBIERTA SIMPLE HASTA LA CUBIERTA SUPERIOR	PLANCHAJE	Cubierta superior	1	4,48	0,00159	0,007112	16,52	0,117	acero	7,8	0,916
		Forro (babor-estribor)	2	0,00159	2,18	0,00346	16,69	0,116	acero	7,8	0,902
		Mamparos	3	4,46	2,18	9,7228	0,00318	0,093	acero	7,8	0,722
		Forro proa	1	4,54	1,76	7,998572	0,00159	0,013	acero	7,8	0,099
		Forro popa	1	4,90	1,90	9,31882	0,00159	0,015	acero	7,8	0,115
	REFUERZOS	Baos de cubierta superior	16			0,00023	4,48	0,017	acero	7,8	0,130
		Ref. long. de cubierta superior	6			0,00023	16,52	0,023	acero	7,8	0,179
		Ref. long. de caseta (superior Bb-Eb)	2			0,00023	16,34	0,008	acero	7,8	0,059
		Ref. long. de caseta (inferior Bb-Eb)	2			0,00023	16,69	0,008	acero	7,8	0,060
		Ref. vertical de caseta (Bb-Eb)	32			0,00031	2,13	0,021	acero	7,8	0,166
		Ref. vertical de mamparos (Bb-Eb)	18			0,00023	1,82	0,008	acero	7,8	0,059
		Ref. horizontal de mamparos (Bb-Eb)	6			0,00023	3,57	0,005	acero	7,8	0,039
		Escuadras (Bb-Eb)	32			0,0102	0,00318	0,001	acero	7,8	0,008
	<b>SUMATORIA</b>										<b>3,455</b>
DESDE LA CUBIERTA SUPERIOR HASTA LA CUBIERTA MAGISTRAL	PLANCHAJE	Cubierta magistral	1	4,25	0,00159	0,00675	11,94	0,081	acero	7,8	0,629
		Forro superior (babor-estribor)	2	0,00159	1,000	0,00159	11,85	0,038	acero	7,8	0,294
		Forro inferior (babor-estribor)	2	0,00159	0,920	0,00146	13,42	0,039	acero	7,8	0,306
		Mamparos	2	4,27	1,888	8,06	0,00318	0,051	acero	7,8	0,399
		Forro proa	1	4,37	1,862	8,13	0,00318	0,026	acero	7,8	0,201
	REFUERZOS	Forro popa							acero		
		Baos de cubierta superior	11			0,00023	4,25	0,011	acero	7,8	0,085
		Ref. long. de cubierta superior	6			0,00023	11,94	0,017	acero	7,8	0,130
		Ref. long. de caseta (superior Bb-Eb)	2			0,00023	11,70	0,005	acero	7,8	0,042
		Ref. long. de caseta (inferior Bb-Eb)	2			0,00023	12,92	0,006	acero	7,8	0,047
		Ref. vertical de caseta (Bb-Eb)	22			0,00031	1,84	0,013	acero	7,8	0,099
		Ref. vertical de caseta pen. (Bb-Eb)	2			0,00031	1,23	0,001	acero	7,8	0,006
		Ref. vertical de caseta ult. (Bb-Eb)	2			0,00031	1,00	0,001	acero	7,8	0,005
		Ref. vertical de mamparos (Bb-Eb)	12			0,00023	0,80	0,002	acero	7,8	0,017
Ref. horizontal de mamparos (Bb-Eb)	4			0,00023	3,42	0,003	acero	7,8	0,025		
Escuadras (Bb-Eb)	22			0,01	0,00318	0,001	acero	7,8	0,005		
<b>SUMATORIA</b>										<b>2,29</b>	
<b>SUB-TOTAL</b>										<b>5,74</b>	
<b>TOTAL (1,03 SUB-TOTAL)</b>										<b>5,92</b>	

Tabla 5a Estimación de pesos de la superestructura

## ANEXO 6

### Pesos de accesorios

En este anexo se procedió al cálculo del peso de los elementos que conforman los accesorios y los equipos que se utilizan para proporcionar el servicio de hospital en la lancha Samarina. Se añadió un 30% de incremento para suplir elementos como: equipos de laboratorios, elementos de quirófano, equipos de navegación, cuarto del generador, sala de bombas, etc., los cuales están localizados sobre la cubierta principal y la cubierta superior.

Descripción	Cantidad	Peso aprox./u (Kg)	Peso total (Kg)	Peso total (Ton)
Camas (dormitorios)	5	39,4	196,9	0,2
Camas (hospitalización)	3	63,0	189,0	0,2
Mesa de consultorios	9	51,2	460,6	0,5
Mesa (comedor)	1	59,1	59,1	0,1
Sillas (comedor)	8	15,7	126,0	0,1
Sillas	6	19,7	118,1	0,1
Refrigeradoras	2	90,6	181,1	0,2
Lavabo de baño	3	23,6	70,9	0,1
Lavabo de cocina	1	15,7	15,7	0,0
Lavabo restantes	6	23,6	141,7	0,1
Inodoros de baño	4	27,6	110,2	0,1
Cocineta	1	15,7	15,7	0,0
Puertas	18	27,6	496,1	0,5
Puerta corrediza (Camarotes)	3	20,5	61,4	0,1
Puerta corrediza (Cuarto del generador)	1	30,0	30,0	0,0
Escaleras	2	80,0	160,0	0,2
Tanque de gas	2	50,0	100,0	0,1
Tanque de agua (Diario)	1	200,0	0,2	0,2
				2,7
			+ 30%	3,6

Tabla 6a Estimación de pesos de los accesorios

## ANEXO 7

## Distribución de Pesos

Descripción	Volumen	Peso específico	Peso	Peso
Tanques	(m <sup>3</sup> )	(Kg/m <sup>3</sup> )	(Kg)	(Ton)
Gasolina	0,83	750	625,35	0,63
Combustible	1,30	750	976,21	0,98
Aguas negras	1,56	1300	2033,2	2,03
Agua	2,65	1000	2649,6	2,65
				<b>6,28</b>
Maquinaria				
Motor (2)			400	0,40
				<b>0,40</b>

Tabla 7a Pesos de los tanques y motores

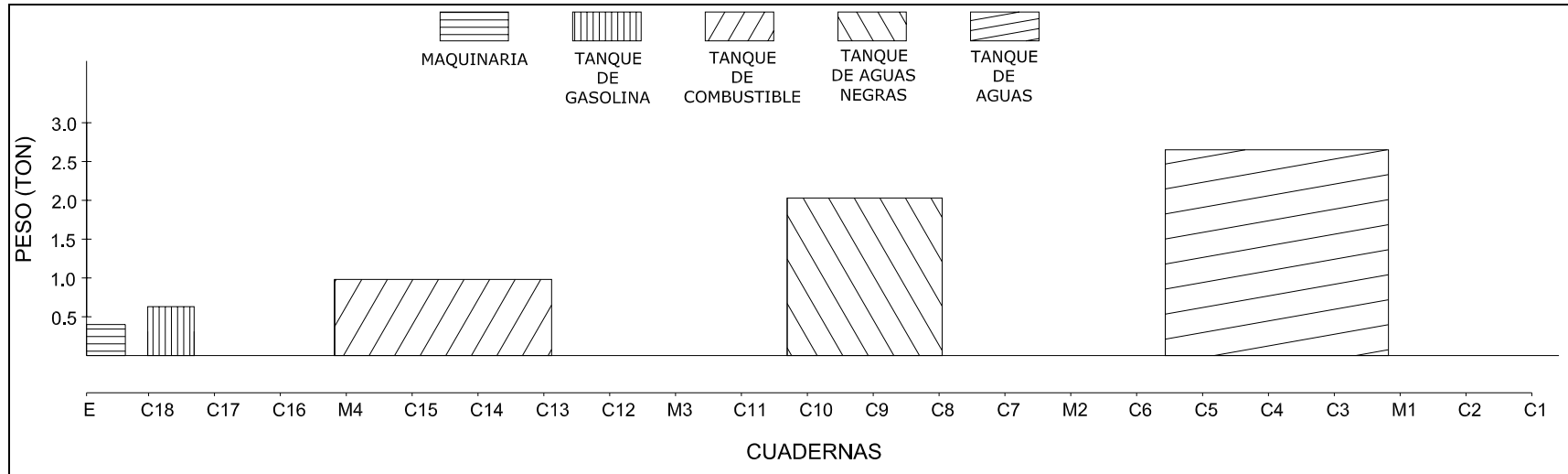


Figura 7a Distribución de pesos de los tanques y motores

## ANEXO 8

### Variación del LCG y del asiento para la condición de varamiento en la zona de popa

Primero se calcula la variación del LCG debido a la reacción externa que se desarrolla (P).

$$\delta\text{LCG} = \frac{P \times d}{\Delta_F}$$

Se asume que la reacción, P, será del 10% del desplazamiento total; la distancia d es tomada desde donde se aplica la reacción hasta el LCG, y finalmente  $\Delta_F$  es el desplazamiento final, luego de aplicar la reacción P. De tal manera que la variación del LCG es:

$$\delta\text{LCG} = \frac{0.10 \times 24.58\text{Ton} \times 5.87\text{m}}{(24.58 - 0.10 \times 24.58)\text{Ton}} = 0.6517\text{m}$$

Sabiendo que el antiguo LCG es -0.41 m, la nueva posición del centro de gravedad longitudinal (LCG') es:

$$\text{LCG}' = \text{LCG} - \delta\text{LCG}$$

$$\text{LCG}' = -0.41 + 0.6517 = 0.2284\text{m}$$

Con el nuevo desplazamiento y la variación del LCG se procede a calcular el asiento de la embarcación. De los cálculos hidrostáticos obtenidos en esta



condición resulta un asiento de -0.148 m, como el valor resultó negativo indica que el asiento se produce por proa, comprobando lo que ya se esperaba, es decir si la embarcación se vara en popa tiende asentarse por proa.

Usando la fórmula que relaciona el asiento con la eslora de la embarcación, [17], se tiene un ángulo de varamiento de:

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{t}{L}$$

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{0.148}{19.44} = 0.436^\circ$$

..

## ANEXO 9

### Carga crítica del puntal y del refuerzo longitudinal

De la referencia [20] se tiene la fórmula para el cálculo de la crítica que puede soportar un puntal, asumiéndolo en forma conservativa como simplemente soportado:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L_p^2}$$

donde:

E = módulo de Young (2.11 E+07 Ton/m<sup>2</sup>)

$$I = \text{Inercia seccional del puntal (m}^4\text{)} = \frac{\pi(D_i^4 - D_e^4)}{64}$$

L<sub>p</sub> = Longitud del puntal (m)

Para el cálculo de la inercia seccional, el diámetro interno y externo, son 1.5 in y 1.9 in, respectivamente, obteniéndose un valor de 1.63E-07 m<sup>4</sup>.

Aplicando la fórmula, la crítica del puntal es, tomando la mayor longitud para los puntales:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 (2.11 \text{ E} + 07) \left[ \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} \right] (1.63 \text{ E} - 07) \left[ \text{m}^4 \right]}{(0.3699)^2 \left[ \text{m}^2 \right]}$$

$$P_{Cr} = 91.67 \text{ Ton}$$

De la misma manera se calcula la carga crítica para los refuerzos longitudinales, cambian únicamente la inercia (1,5" x 1/8" (L)) y la longitud del refuerzo.

$$I = 2.30E-07 \text{ m}^4$$

$$L = 0.85 \text{ m}$$

$$P_{Cr} = \frac{\pi^2 (2.11 \text{ E} + 07) \left[ \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} \right] (2.30 \text{ E} - 07) \left[ \text{m}^4 \right]}{(0.85)^2 \left[ \text{m}^2 \right]}$$

$$P_{Cr} = 66.29 \text{ Ton}$$

## BIBLIOGRAFÍA

1. AMERICAN BUREAU OF SHIPPING, Rules for Building and Classing of Steel Vessels under 90 meters (295 feet) in Length, ABS, 2001.
2. AUTODESK, Programa AUTOCAD 2005, Autodesk, 2005.
3. BLOCH, Roberto, El Transporte Fluvial. Ad-Hoc, Buenos Aires – Argentina, 2001
4. CARBONELL, David, Algunas Consideraciones para la Implementación de la Unidad de Salud Flotante para el Río Napo. Director de Salud de Napo, 1995.
5. CARNICERO, A., Introducción al Método de los Elementos Finitos, Universidad Politécnica de Cataluña, 2000  
[http://www.profesores.frc.utn.edu.ar/industrial/sistemasinteligentes/FFIexible/Introduccion\\_al\\_MEF.pdf](http://www.profesores.frc.utn.edu.ar/industrial/sistemasinteligentes/FFIexible/Introduccion_al_MEF.pdf).
6. DET NORSKE VERITAS, Hull Structural Design Ships with Length less than 100 meters. DNV Norway, 1991
7. DOMINGUEZ, Johnny F., Notas de Clases de Construcción Metálica. FIMCM – ESPOL, Guayaquil – Ecuador, 2003.
8. DOMINGUEZ, Martín, Cálculo de Estructuras de Buques. ETSIN, 1969
9. FIMCM, Manejo de la Cuenca del Río Napo, FIMCM, 2003, [www.fimcm.espol.edu.ec/Webpages/help/seminario/docs/cuenca-rionapo.ppt](http://www.fimcm.espol.edu.ec/Webpages/help/seminario/docs/cuenca-rionapo.ppt)

10. KEE, Jeom P., Recent Advances and Future Trends in Ultimate Limit State Design of Steel-Plated Structures, Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Pusan National University 30 Jangjeon-Dong, Gumjeong-Gu, Busan 609-735, KOREA, 2003.
11. LARA, M. Rafael, Cálculo de estructuras mediante el empleo de modelos de elementos finitos, Báculos S.A., Madrid, 2000.
12. LOGSESA, Plano de Distribución General L/ Hospital SAMARINA. LOGSESA, Guayaquil, Octubre 1998.
13. LOGSESA, Plano Estructural L/ Hospital SAMARINA. LOGSESA, Guayaquil, Octubre 1998.
14. LOGSESA, Plano de Líneas de Formas L/ Hospital SAMARINA. LOGSESA, Guayaquil, Octubre 1998.
15. ESCENARIO PROVINCIAL, Casa de la Cultura Ecuatoriana Benjamín Carrión, [www.cce.org.ec](http://www.cce.org.ec), 2005.
16. MARIN, José R., Notas de Clases de Estructuras Navales II. FIMCM – ESPOL, Guayaquil – Ecuador, 2003.
17. MARIN, José R., Notas de Clases de Arquitectura Naval III. FIMCM – ESPOL, Guayaquil – Ecuador, 2002.
18. MARIN, José R., Notas de Clases de Hidrodinámica. FIMCM – ESPOL, Guayaquil – Ecuador, 2005.
19. MARIN, José R., Seminario, Elementos Finitos para el Análisis de Estructuras Planas. FIMCM – ESPOL, Guayaquil – Ecuador, 2003

20. POPOV, E., Mecánica de Sólidos, 2ª. Edición. Pearson Educación, 2000.
21. RODAS, Fernando, Anteproyecto para la Implantación de Terminales Portuarios Fluviales en la Provincia de Orellana como parte de la Integración del Transporte Multimodal para el Comercio Interoceánico, Junio 2003
22. SAP2000, Version 10, Basic Analysis Reference Manual, Computers and Structures, Berkeley, California, USA, 1995.
23. SINGER, Ferdinand L., Resistencia de Materiales, Tercera Edición. Editora Harla, 1982
24. TOWNSEND, Patrick, Análisis Preliminar de la Estructura de un Submarino de Servicio Turístico empleando el Método de Elementos Finitos. Tesis de Grado de Ingeniero Naval, Guayaquil – Ecuador, 1993.