

Análisis estructural de la embarcación fluvial Samarina utilizando el Método de Elementos Finitos.

Por: Francisco Macas Camacho¹ y José R. Marín López²

¹Ingeniero Naval, ²Ph.D. Ing.Naval, Profesor FIMCM, ESPOL

RESUMEN

Se ha analizado la estructura de la lancha de servicio fluvial hospitalario SAMARINA, empleando el Método de Elementos Finitos. Se ha modelado completamente 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 SAMARINA, se procedió a modelar los elementos estructurales como “plancha” y “viga”. En cuanto a las cargas por pesos, fueron aplicadas 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. Para las condiciones de carga se usaron resortes para evitar la singularidad el problema; en cuanto a las cargas por pesos, fueron aplicadas como fuerzas concentradas en los nodos donde se definieron los refuerzos estructurales.

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 Sección Media en la condición de Aguas Tranquilas con un valor de -1217.87 Ton/m^2 en el fondo; el esfuerzo local máximo se presentó en dirección x, en la zona de Popa, con un valor de 5350.51 Ton/m^2 , en la condición de Varamiento por popa, la intensidad de esfuerzo máxima (6093.68 Ton/m^2) ocurre en esta misma condición, en la zona de Popa.

Palabras claves: Análisis Estructural, elementos finitos, transporte fluvial

SUMMARY

The structure of a river vessel providing hospital service, the SAMARINA, has been analyzed, using the Finite Element method. The structure was completely modelled and it was subject to four load conditions considered typical of river vessels. For the development of the structural model the computer program SAP2000 was used. Knowing the framing system (longitudinal) used for the construction of the SAMARINA, we proceeded to model the structural elements as “Shell” and “Frame”. As for the weight loads, they were applied as concentrated forces in the nodes where the frames were defined. The hydrostatic pressure, was calculated by the program, specifying a draft as reference level. For the load conditions springs were used to avoid the singularity of the problem. Finally it was found that the primary stresses are of compressive type on the bottom and of tension on the deck. The maximum value appears at the Midship section in the condition of Still water with a value of -1217.87 Ton/m^2 on the bottom; the maximum local stress appeared in x-direction, on the aft region, with a value of 5350.51 Ton/m^2 , in the condition of Grounding by the stern; the maximum stress intensity (6093.68 Ton/m^2) occurs in the same condition, in the stern regions.

Keywords : Structural analysis, finite elements, river transport.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad no se tiene 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.

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.

2. GENERALIDADES

Entre las características de la zona de operación se puede decir que 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 km². 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].

La embarcación fluvial Samarina, que va hacer analizada, navega por la zona anteriormente descrita. De la referencia [14], se presentan las Líneas de Formas, descritas en el plano No. 1, 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 el plano No. 2.

Eslora total	20.00	m
Eslora en la L.A. 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
Coef. bloque (C_B)	0.53	
Coef. plano de agua (C_P)	0.78	
Coef. de sección media (C_X)	0.54	
Coef. pris. longitudinal (C_{PL})	0.97	

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

3. ANÁLISIS ESTRUCTURAL CON MEF

Los elementos que se usaron en la construcción de la estructura del casco se los detalla en la tabla No, 2

CASCO		
Item	Elemento	Dimensiones
1	Planchaje de fondo	1/4"
2	Planchaje de costado	1/8"
3	Cubierta principal	1/8"
4	Forro mamparo	1/8"
5	Ref. long. del casco	1,5" x 1/8" L
6	Cuaderna de costado	2" x 2" x 1/8" L
7	Baos	2" x 2" x 1/8" L
8	Ref. vert. de mamparo	1,5" x 1/8" L
9	Quilla	4" x 1/4" FB
10	Rudón	4" SCHD 40
11	Roda	4" x 1/4" FB
12	Escuadras	1/8"
13	Puntales	1 1/2" SCH40

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

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 considerado como elementos "PLANCHA" en el modelo global, a las siguientes partes 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.

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 importarlo desde el programa SAP 2000 y generar los elementos Viga y Plancha. En el Anexo 1 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. 1 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.

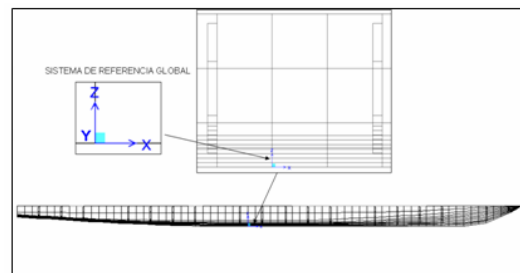


Figura No. 1 Vista de perfil del modelo, indicando el sistema de referencia global

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. 2, se representa un detalle del modelaje del arreglo estructural, donde se especifican los miembros estructurales y sus espaciamientos.

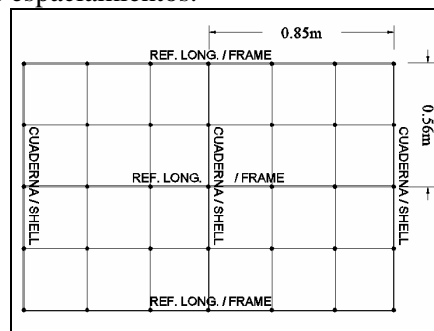


Figura No. 2 Esquematación de una parte del arreglo estructural de L/H Samarina

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. 3.

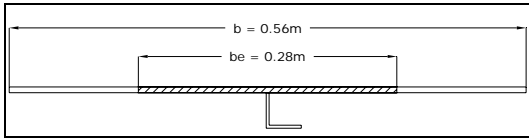


Figura No. 3 Ancho efectivo calculado para el refuerzo longitudinal de fondo

Descripción	I 22 (m4)	I 33 (m4)
Ref. long. de fondo	1.167E-05	2.301E-07
Ref. long. de cub.	5.856E-06	1.877E-07

Tabla No. 3 Momentos de inercias usadas para los refuerzos con anchos efectivos (fondo)

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. 4, 5 y 6. Con todo esto, en la tabla No. 4, se describen algunos valores representativos del modelo.

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

Tabla No. 4 Descripción de los elementos usados

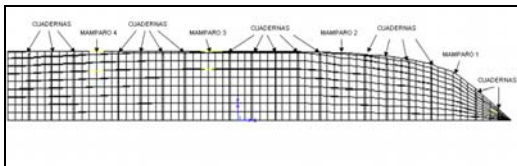


Figura No. 5 Vista en planta del modelo desarrollado

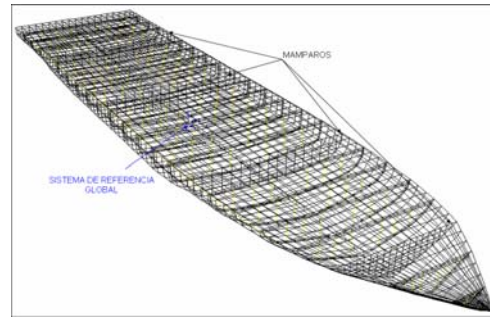


Figura No. 6 Vista en 3-D del modelo desarrollado

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. 7. 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.

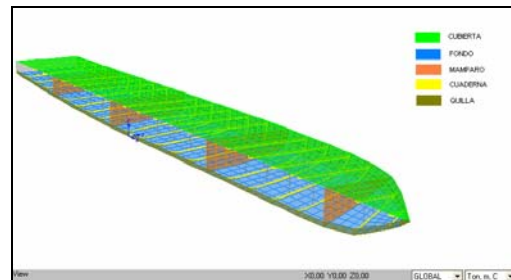


Figura No. 7 Secciones desarrolladas en el modelo estructural

4. CONDICIONES DE CARGAS CARACTERÍSTICAS

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:
- Peso de la superestructura
- Pesos de accesorios.
- Presión hidrostática.
- Peso de consumibles y maquinaria.

Para una mejor visualización de las cargas aplicadas a la estructura del buque, en la figura No. 8, 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. 5.

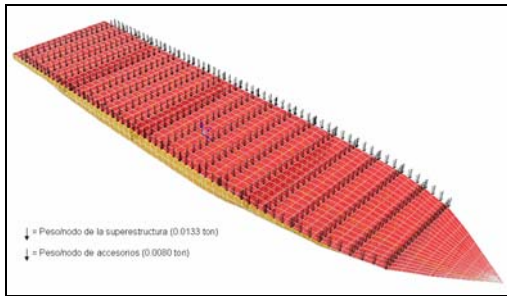


Figura No. 8 Aplicación del peso de la superestructura y de los equipos

La fuerza que generan los líquidos de los tanques en su respectiva ubicación, es detallada en la figura No. 9. 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.

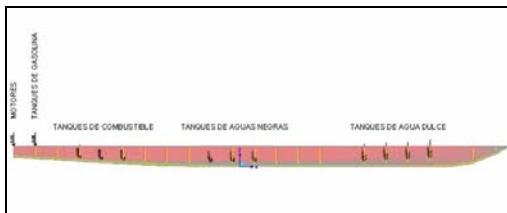


Figura No. 9 Aplicación del peso de tanques y del motor

La distribución de la presión hidrostática, se la presenta en la figura No. 10, 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

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. 11, 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.

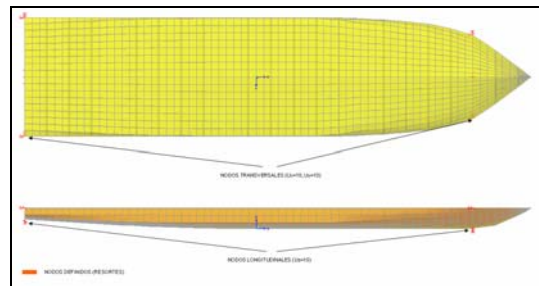


Figura No. 11 Posición de los nodos definidos como resortes en Navegación Libre

Para la condición de Varamiento en Proa, la distribución de presión se altera debido al ángulo de varamiento; en la figura No. 12 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. 10.

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. 13.

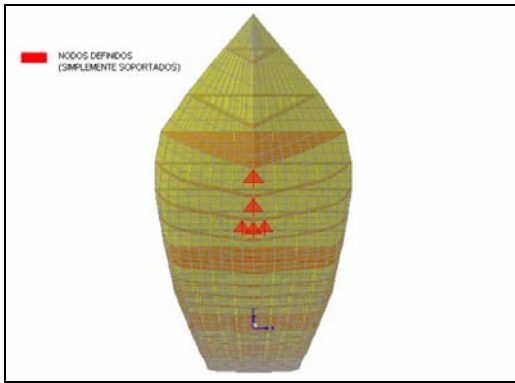


Figura No. 13 Posición de las restricciones en varamiento en Proa

Para la condición de Varamiento en Proa, distribución de presión hidrostática varía también. En la figura No. 14 se nota mayor presión en la parte de proa, como era de esperarse. Compárese ésta figura con las figuras No. 10 y No. 12, para notar la diferencia en las distintas distribuciones de la presión hidrostática.

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. 15. 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.

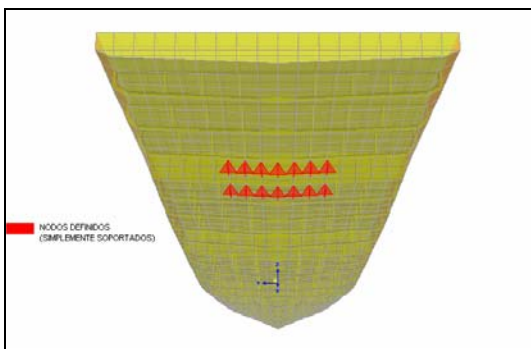


Figura No. 15 Posición de las restricciones en varamiento en Popa

Para la condición de Tensionada por cables, la fuerza hidrodinámica provoca que la embarcación rote respecto del eje X un ángulo de 0.5° , 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. 16. Así también la embarcación tendrá una nueva distribución de la presión hidrostática, debido a la rotación, tal como se aprecia en la figura No. 17.

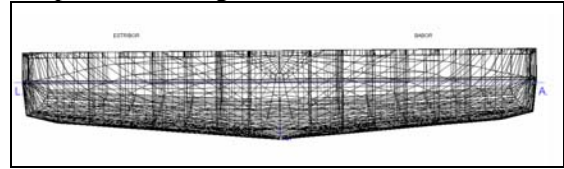


Figura No. 16 Vista transversal de la embarcación rotada 0.5°

Para la condición, Atraque Lateral, 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. 18.

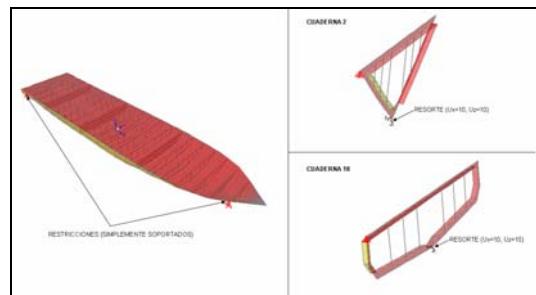


Figura No. 18 Posición de las restricciones en la condición tensionada por cables

El valor de presión hidrodinámica se la aplica en la parte de proa de la embarcación tal como se muestra en la figura No. 19. Esta presión hidrodinámica hace que la embarcación rote un ángulo de 2° 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. 20 y 21, respectivamente. Las demás fuerzas a ser aplicadas son las de la condición 1.

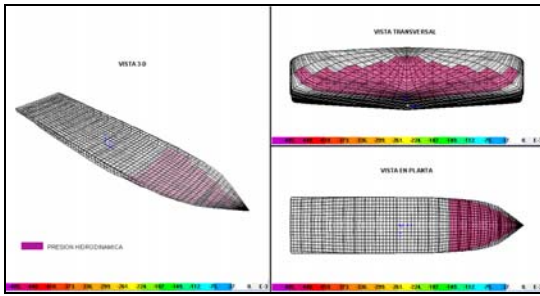


Figura No. 19 Aplicación de la presión hidrodinámica en Atraque Lateral

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. 22.

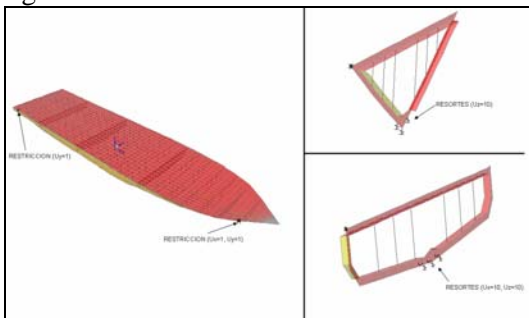


Figura No. 22 Posición de las restricciones en Atraque Lateral

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la figura No. 23 se comparan los esfuerzos primarios obtenidos por SAP 2000 y los obtenidos aplicando el modelo de la viga buque, graficados con respecto a su posición, partiendo desde la quilla (0 metros) hasta llegar a la crujía de la cubierta (5.17 metros).

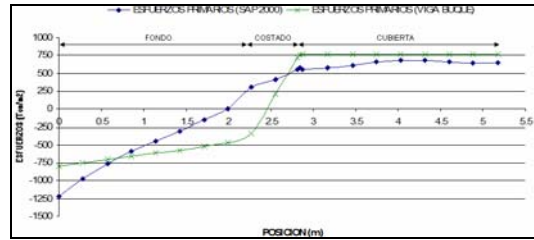


Figura No. 23 Comparación de los Esfuerzos primarios vs. Posición (Aguas tranquilas)

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. 14. 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 ²)				UBICACIÓN
	σ_x	σ_y	σ_{xy}	σ_{yz}	
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 8.
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.
Sección 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.6 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 σ_x y σ_y , de - 3197.83 ton/m² y -3510.92 ton/m², respectivamente; valores que están 7.5 y 6.8 veces, respectivamente, por debajo del esfuerzo de fluencia 24000 ton/m².

En la figura No. 24 se presenta la variación de los esfuerzos primarios obtenidos por SAP 2000; 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, partiendo desde la quilla (0 metros) hasta llegar a la cubierta en crujía (5.17 metros).

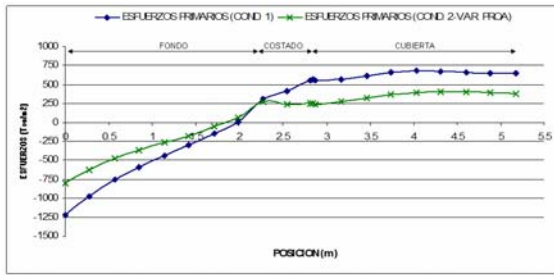


Figura No. 24 Comparación de los Esfuerzos primarios en Sección Media (Varamiento por proa)

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. En la tabla No. 7, 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 ²)				UBICACION
	σ_x	σ_y	σ_{xy}	σ_{xy}	
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.
Sección 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 16, ubicada entre el planchaje del fondo y del costado.

Tabla No.7 Valores de esfuerzos locales en las secciones del casco en Varamiento por Proa

De la tabla No. 16 se concluye que los mayores esfuerzos locales ocurren en la Sección Media y en la Sección de Proa, con valores de σ_x y σ_y , de -2785.27 ton/m² y 4174.09 ton/m², respectivamente; dichos valores están 8.6 y 5.7 veces, respectivamente, por debajo del esfuerzo de fluencia del acero, 24000 ton/m².

En la figura No. 25 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, partiendo desde la quilla (0 metros) hasta llegar a la crujía de la cubierta (5.17 metros). Se nota que el varamiento reduce los esfuerzos primarios en Sección Media.

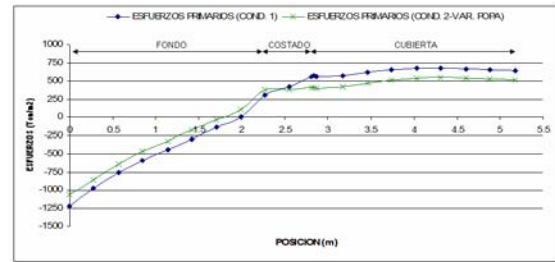


Figura No. 25 Comparación de los Esfuerzos primarios vs. Posición (Varamiento por popa)

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. 8, 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 ²)				UBICACION
	σ_x	σ_y	σ_{xy}	σ_{xy}	
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.
Sección 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. 8 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, σ_x y σ_y , de 5350.51 ton/m² y 3842.86 ton/m², respectivamente; estos valores están 4.48 y 6.2 veces, respectivamente, por debajo del esfuerzo de fluencia 24000 ton/m².

En la figura No. 26 y 27 se presentan los valores de los esfuerzos primarios comparándolos con los resultados de Aguas Tranquilas, éstos esfuerzos son graficados con respecto a su posición, partiendo desde la quilla (0 metros) hasta llegar a la crujía de la cubierta (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.

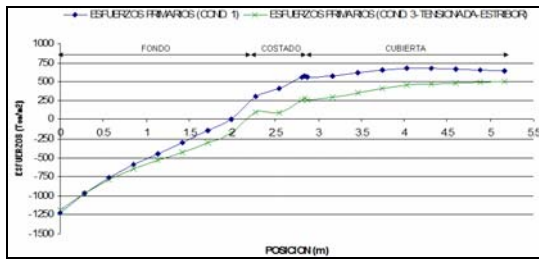


Figura No. 26 Esfuerzos primarios Estribor vs. Posición (Condición Tensionada)

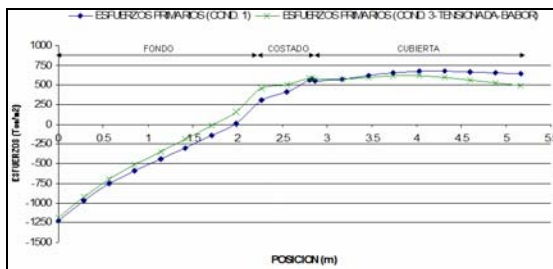


Figura No. 27 Esfuerzos primarios Babor vs. Posición (Condición Tensionada)

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. 9.

SECCION	ESFUERZOS (TON/M ²)				UBICACION
	σ_x	σ_y	σ_{xy}	σ_{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 intersección con la quilla.

Tabla No. 9 Valores de esfuerzos locales en las secciones del casco en Tensionada

De la tabla presentada se concluye que los mayores esfuerzos locales ocurren en la Sección Media y en la Cubierta, resultando valores de esfuerzos σ_x y σ_y , de -3405.77 ton/m² y 3970.33 ton/m², respectivamente; estos valores están 7.04 y 6.04 veces, respectivamente, por debajo del esfuerzo de fluencia 24000 ton/m².

En la figura No. 28 y 29 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, partiendo desde la quilla (0 metros) hasta llegar a la crujía de la cubierta (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.

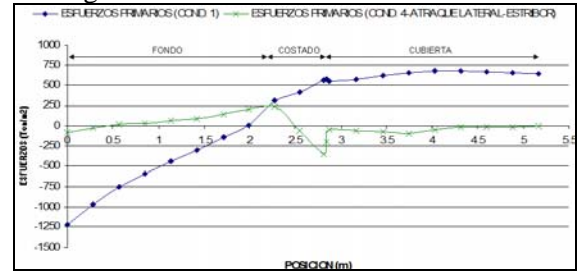


Figura No. 28 Esfuerzos primarios Estribor vs. Posición (Condición Atrache Lateral)

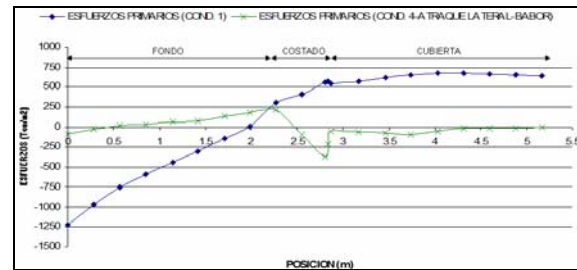


Figura No. 29 Esfuerzos primarios Babor vs. Posición (Condición Atrache Lateral)

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. 10, en donde se presentan los valores de los esfuerzos locales, de acuerdo a cada sección y su ubicación en la estructura del casco.

SECCION	ESFUERZOS (TON/M ²)				UBICACION
	σ_x	σ_y	σ_{xy}	σ_{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. 10 Valores de esfuerzos locales en las secciones del casco en Tensionada

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 σ_x y σ_y , de -2491.94 ton/m² y -3175.48 ton/m², respectivamente; valores que están 9.63 y 7.56 veces, respectivamente, por debajo del esfuerzo de fluencia 24000 ton/m².

En la tabla No. 11 se presentan los valores de máximos esfuerzos encontrados en cada condición, se presenta su valor, la sección del barco en donde ocurren y su respectiva ubicación.

CONDICIÓN	ESFUERZOS MÁXIMOS (TON/M ²)		SECCIÓN	UBICACIÓN
	DIRECCIÓN	VALOR		
AGUAS TRANQUILAS	σ_x	-3197.83	Sección Media	En la parte superior de la quilla entre el mamparo 3 y la cuaderna 11.
	σ_y	3952	Cubierta	En la proximidad de la sección media en el alma del bato de la cuaderna 9.
	σ_{xy}	498.3	Cubierta	En la proximidad de la sección media en el alma del bato de la cuaderna 9.
VARAMIENTO EN PROA	σ_x	6995.6	Sección Media	En el alma de la cuaderna 9, ubicada en el fondo del casco cerca del costado.
	σ_y	2785.27	Sección Media	En la parte superior de la quilla detrás del mamparo 3.
	σ_{xy}	4174.09	Proa	En el alma de la cuaderna 4, ubicada en el fondo del casco cerca de la quilla.
VARAMIENTO EN POPA	σ_x	1039.86	Cubierta	En la sección de proa, en el alma del bato de la cuaderna 9.
	σ_y	5517.91	Proa	En el alma de la cuaderna 4, ubicada en el fondo del casco cerca de la quilla.
	σ_{xy}	5350.51	Popa	En la parte superior de la quilla entre la cuaderna 16 y 17.
TENSIONADA POR CABLES	σ_x	3842.86	Cubierta	En la sección media, en el alma del bato de la cuaderna 9.
	σ_y	510.43	Cubierta	En la sección de popa, con la intersección del bato de la cuaderna 18.
	σ_{xy}	6093.68	Popa	En el alma de la cuaderna 16, ubicada en el planchaje del fondo.
ATRAQUE LATERAL	σ_x	-3405.77	Sección Media	En el alma de la cuaderna 10, en el fondo del casco, al costado de babor.
	σ_y	3970.33	Cubierta	En la sección media, en el alma del bato de la cuaderna 9, al costado de estribor.
	σ_{xy}	401.82	Cubierta	En la sección media, en el alma del bato de la cuaderna 9, al costado de estribor.
ATRAQUE LATERAL	σ_x	5937.48	Cubierta	En la sección media, en el alma del bato de la cuaderna 9, al costado de estribor.
	σ_y	-2491.94	Popa	En la parte superior de la quilla delante del mamparo 4.
	σ_{xy}	-3175.48	Proa	En el alma de la cuaderna 5, ubicada en el fondo del casco, al costado de estribor.
ATRAQUE LATERAL	σ_x	-1097.55	Popa	En el alma de la cuaderna 18, en el fondo cerca de la quilla.
	σ_{xy}	5192.98	Proa	En el alma de la cuaderna 5, ubicada en el fondo del casco, al costado de estribor.

Tabla No. 11 Valores máximos de esfuerzos en cada condición de carga

6. CONCLUSIONES

Se logró modelar completamente de una manera adecuada la estructura de la L/H Samarina, aplicándose un proceso combinado dibujando una parte en AUTOCAD y exportándolo desde SAP 2000. Los elementos del modelo "plancha" tienen una razón de aspecto de aproximadamente 1.0087 y en cada espaciado entre cuadernas se incluyó dos nodos intermedios. Todo esto lleva a la conclusión que la discretización que se realizó en el modelo fue adecuada.

Las distintas condiciones de carga fueron representadas, utilizando las herramientas del programa SAP 2000, se usaron resortes para evitar la singularidad del problema en cada condición de carga. Las restricciones que generaron éstos resortes fueron bajas de tal manera que no influyeron en el resultado de los esfuerzos.

En algunas condiciones de carga, tales como las de varamiento, tensionada y atraque lateral, se debió rotar la estructura

de la embarcación con respecto al eje longitudinal y transversal, esto se facilitó por medio de los módulos del programa, de igual manera se fue variando el calado y el ángulo de rotación de tal manera que las reacciones que se desarrollen en los resortes sean mínimas.

El esfuerzo normal de membrana máximo ocurre en la condición de Aguas Tranquilas, con un valor de -1217.87 ton/m², 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 ton/m²), mientras que en la condición de Varamiento por Popa los esfuerzos de membrana son cercanos (-1063.07 ton/m²) a los de la condición de Aguas Tranquilas. En cambio en la condición asimétrica, Tensionada por cables, en el fondo del casco los esfuerzos de membrana son casi iguales (-1187.11 ton/m²), pero en el costado de estribor los esfuerzos en cubierta son reducidos; en cambio en el costado de babor los esfuerzos son parecidos. El Atraque Lateral, condición asimétrica también, desarrolla esfuerzos de membrana despreciables (- 81.36 ton/m²) en comparación con la condición 1.

En lo que se refiere a los esfuerzos locales, el máximo esfuerzo σ_x (5350.51 ton/m²), 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 σ_y (4174.09 ton/m²), 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.

Para juzgar una posible falla por combinación de esfuerzos, el programa usado calcula la intensidad de esfuerzos. La máxima intensidad de esfuerzos se desarrolla en la condición de Varamiento por Popa, con un valor de 6093.68 ton/m², la cual se desarrolla en la Sección de Popa y está localizada en el alma de la cuaderna 16, ubicada en el planchaje de fondo.

Finalmente de las 4 condiciones analizadas, la que tiene mayor intensidad de esfuerzo es la condición de Varamiento en Popa (6093.68 ton/m²), sin embargo es un valor

3.94 veces por debajo del esfuerzo de fluencia, lo que bien indica que la estructura es confiable. Pero también se pudieron haber usado elementos estructurales de menor dimensión, ya que el número mágico de factor de seguridad es aproximadamente 2.5.

7. RECOMENDACIONES

En embarcaciones donde varía el espesor del planchaje, se recomienda modelar todos los elementos estructurales con elementos "Planchas", incluso los refuerzos secundarios, de manera que se evite usar varios anchos efectivos diferentes, lo cual a la larga podría encadenar en errores en los resultados que se quiera analizar.

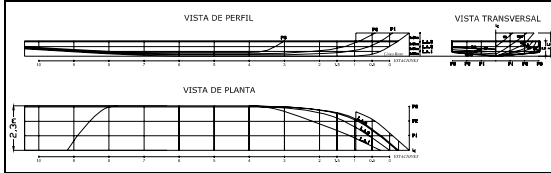
Para un posterior diseño, sería necesario modelar la embarcación que se tiene proyectada a construir, con la finalidad de aplicarle varias condiciones de carga que sean características de su operación, de manera que se puedan probar elementos estructurales de distintas dimensiones y que la estructura a construir no este sobredimensionada. Esta característica se puede obtener por medio del uso del programa SAP 2000.

BIBLIOGRAFÍA

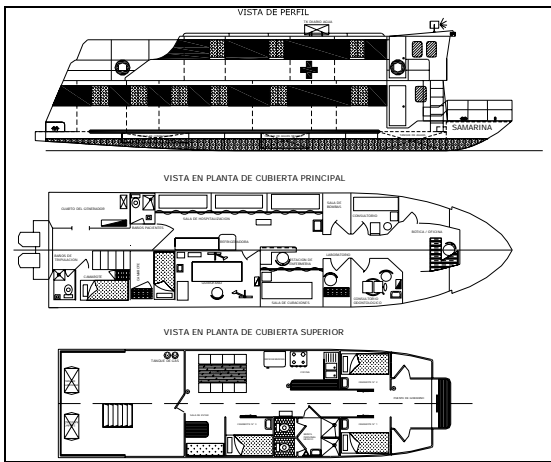
1. AMERICAN BUREAU OF SHIPPING, Rules for Building and Classing of Steel Vessels under 90 meters (295 feet) in Length, ABS, 2001.
2. AUTODESK, Programa AUTOCAD 2005, Autodesk, 2005.
3. BLOCH, Roberto, El Transporte Fluvial. Ad-Hoc, Buenos Aires – Argentina, 2001
4. CARBONELL, David, Algunas Consideraciones 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/FFlexible/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
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, 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



Plano No. 1 Líneas de Formas de la lancha
hospital Samarina, [14]



Plano No. 2 Distribución general de la
lancha hospital Samarina, [12]