

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE CASCOS DE ACERO Y ALUMINIO EN LA CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE UN CREW BOAT

Ing. Fernando Rodas C. (hfrodas@yahoo.com)
Mentor Coloma A.

ABSTRACT:

El uso de las embarcaciones tipo crew boat, es cada día más usual, principalmente en los terminales petroleros donde el muelle no es en punto de llegada de las naves y requieren de una embarcación pequeña que servirá como soporte logístico hacia y desde tierra, en transporte de personal, víveres, práctico, etc. Es común que estas embarcaciones sean construidas en aluminio marino típico, con planchas 5086H116; pero la dificultad de conseguir este material en el mercado local, ha llevado a buscar el análisis comparativo de construir en acero, con su mayor peso y cualidades menores al aluminio, pero sin duda con mayores facilidades en su construcción y sobre todo a costos más accesible para el operador portuario. Para este trabajo se ha escogido una embarcación típica de 20 metros de eslora, 5 de manga, velocidad 20 nudos y capacidad para 33 pasajeros, a la cual se la proyectará en casco de aluminio y acero, considerando las diferencias principales: peso, necesidad de potencia, costos de producción, operación y mantenimiento, para finalmente realizar un análisis comparativo y determinar los beneficios en cada caso, que servirán al usuario, para tomar la decisión de invertir en la construcción local en acero o aluminio, versus la adquisición de esta embarcación en el mercado internacional

1. INTRODUCCIÓN:

La necesidad de energía en el mundo es cada día mas requerida, científicos de muchas áreas están en la constante búsqueda de nuevas fuentes, sin embargo el uso de la energía basado en el petróleo sigue siendo la más importante, por lo que países como Ecuador tendrán como fortaleza, el contar con yacimientos hidrocarburíficos que provean de fuente de energía propia y de ingresos fiscales importantes para su estado.

El Ecuador cuenta con el Terminal petrolero de Balao, de La Libertad y ahora la plataforma de gas en las cercanías de la Isla Santa Clara; para estos terminales se requieren de embarcaciones tipo crew boat como el soporte logístico necesario para sus requerimientos de transporte de personal, víveres, etc, debido a que los buques tanques no pueden llegar al muelle, sino operan desde las tomas ubicadas a algunas millas costa afuera;



para este trabajo se hace necesario iniciar definiendo las características de la embarcación a ser analizada, cuyas dimensiones varían entre 15 y 35 metros de eslora; y se ha tomado la embarcación MISS DEBBY de 20 metros de eslora en casco de aluminio, que es usada en el mercado local, su propietario es SEMALOG cuyas características técnicas serán definidas más adelante. Sumado a esto la dificultad de adquirir en el mercado local la materia prima para construir este tipo de embarcaciones.

En la tabla siguiente se presenta las características físicas y mecánicas de los materiales que serán usados para este análisis, por un lado el acero naval ASTM 131 y para el caso del aluminio el EN AW 5086H116:

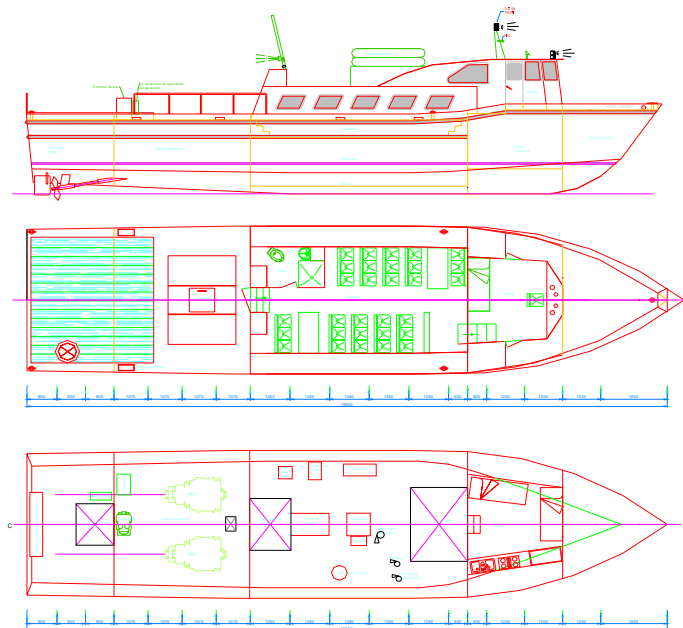
CARACTERÍSTICAS	ASTM 131	AW 5086H116:	Razón
Densidad gr/cm ³	7,8	2,67	2,92
Esfuerzo máximo PSI	70,000	47,000	1,49
Resistencia a la cizalladura N/mm ²	315	245	1,29
Resistencia a la tracción N/mm ²	265	195	1,36

2. CARACTERÍSTICAS DE EMBARCACIÓN TIPO CREW BOAT

La embarcación MISS DEBBY que se tomará como base para el análisis, tiene las siguientes características técnicas principales:

Eslora total	20,30 m.
Manga total	5,00 m.
Puntal	2,40 m.
Calado de diseño	1,00 m.
Desplazamiento de diseño	38,31 Ton
Coficiente block	0,485
Capacidad de pasajeros	30
Capacidad de agua dulce	800 gal
Capacidad de combustible	1200 gal

A continuación la lancha en las vistas de planta con sus dos cubiertas y la de perfil, donde se define un puente, cabina para 33 personas sentadas y área de carga sobre cubierta principal en popa, servo, sala de maquinas, sala de bombas y tanques, y camarote para 2 tripulantes.



Tablas hidrostáticas: a continuación una tabla donde se presenta las características hidrostáticas del casco, entre 0,5 y 1,5 m. de calado

Draft (m)	Volume m ³	Displ (MT)	Cb	VCB (m)	KMT (m)	Ws Area m ²
0.500	8.12	8.320	0.304	0.349	2.856	40.94
0.550	10.16	10.409	0.313	0.385	3.180	46.37
0.600	12.45	12.759	0.320	0.420	3.513	51.79
0.650	14.99	15.370	0.328	0.455	3.855	57.22
0.700	17.80	18.242	0.334	0.490	4.203	62.65
0.750	20.83	21.356	0.358	0.524	4.303	67.21
0.800	24.03	24.629	0.384	0.557	4.148	70.54
0.850	27.31	27.994	0.408	0.590	3.875	72.87
0.900	30.63	31.401	0.429	0.621	3.605	74.81
0.950	33.99	34.839	0.448	0.651	3.391	76.71
1.000	37.37	38.306	0.465	0.680	3.217	78.63
1.050	40.78	41.802	0.480	0.709	3.076	80.56
1.100	44.22	45.326	0.493	0.738	2.960	82.50
1.150	47.69	48.880	0.505	0.766	2.864	84.43
1.200	51.18	52.463	0.516	0.794	2.784	86.37
1.250	54.71	56.075	0.526	0.822	2.717	88.30
1.300	58.26	59.717	0.535	0.849	2.661	90.24
1.350	61.84	63.389	0.543	0.877	2.614	92.17
1.400	65.45	67.091	0.550	0.904	2.575	94.11
1.450	69.10	70.823	0.557	0.932	2.543	96.04
1.500	72.77	74.586	0.563	0.959	2.516	97.98

Equipos y maquinarias: con 2 motores principales 12V de 450 HP cada uno, 2 reductores de 3:1, ejes de acero inoxidable de 2 ½ “y hélices de 4 X 32”X 30”; un generador de 20 Kw, 2 tanques de combustible con un total de 1150 gal, un tanque de agua de 950 gal, circuitos con bombas acorde con las exigencias internacionales y una planta de aire acondicionado de 13,500 BTU, cabina con acomodación para 33 pasajeros, puente con accesorios correspondientes, casco con 4 mamparos estancos todo de aluminio con procesos de soldadura apropiados con un calado real de 1,05 m, con tanques llenos, es decir un desplazamiento de 40,78 Ton. con 7,10 ton en agua y diesel, dando un desplazamiento ligero de 33,68 Ton.

3. ANÁLISIS COMPARATIVO

Características físicas de los metales: El análisis comparativo entre el acero y el aluminio naval, se lo presenta en 4 aspectos o características, los cuales son descritos a continuación:

- **Peso:** La característica más importante o de mayor evidencia esta en la diferencia de pesos mientras que el acero tiene una densidad específica de 7,8, el del aluminio es de 2,67 es decir una razón de 2,92 veces mas favorable para el aluminio, cuya incidencia se vera no solo en la necesidad de menos potencia para conseguir iguales eficiencias sino iguales versatilidades para el diseño, la influencia de esta característica será presentada mas adelante.
- **Resistencia al esfuerzo:** La embarcaciones pueden ser consideradas como buque viga expuestos a esfuerzos en sus condiciones mas adversas como son en arrufo y quebranto, mientras que para el acero esta en promedios de 70,000 psi, la del aluminio esta en 47,000

psi , es decir una razón de 1,49 a favor del acero, lo que se debe compensar con el aumento del escantillonado

- **Mantenimiento:** Este aspecto es de suma importancia y la característica principal del aluminio 5086, es la soportar la corrección marina de manera que si se colocase 2 planchas limpias una de acero y otra de aluminio naval en ambiente marino, la primera genera corrosión de manera evidente no así el aluminio que produce una fina capa blanquinosa que mas bien ayuda a proteger el metal, haciendo las veces de pintura, por lo que se puede concluir que el aluminio con un adecuado plan de pintura y de protección galvánica puede tener fácilmente el doble de la vida útil que la del acero en ámbitos de construcción naval, con lo que los costos de mantenimiento serian menores con cascos de aluminio.
- **Depreciación:** basados en lo indicado en el párrafo anterior, y por experiencias de peritos evaluadores de casco marítimo, los cascos de acero pueden ser depreciados en 20 años y los de aluminio en 25 años

Escantillonado: Para realizar una comparación real, se debe partir de las normas de construcción, para este trabajo se baso en las normas de una clasificadora reconocida, dando como resultado los espesores de plancha presentados en la tabla siguiente:

	Acero naval A131 mm	Aluminio 5086H116 mm	Razón
Fondo	5	10	2,00
Costados	4	8	2,00
Cbta Principal	4	6	1,50
Mamparos	4	6	1,50
Espejo	5	8	1,60

Pesos: De la tabla anterior y con las áreas aproximadas de los sectores, se obtuvo el siguiente cuadro, donde se puede apreciar una diferencia de peso cercana al 80%:

	Acero naval A131 Tons	Aluminio 5086H116 Tons	Razón
Fondo	4.10	2.30	1,78
Costados	2.75	1.50	1,83
Cbta Principal	2.30	1.25	1,84
Mamparos	1.00	0.60	1,66
Espejo	0.55	0.30	1,83
Estructurales	2.10	1.20	1,75
Super estructura	1.70	0.95	1,79
Estibas y Otros	2.15	1.20	1,79
Total	16.65	9.30	1,79

Considerando que el desplazamiento ligero de la nave es 33,68 ton, en el cuadro siguiente, la deducción de los pesos comparativos entre cascos de acero y aluminio respectivamente:

Item		Aluminio 5086H116	Acero naval A131	Unids.	Razón
1	Desplazamiento ligero	33,68	41,03	Tons	1,22
2	Casco	9,30	16,65	Tons	1,79
3	Maquinaria, equipos, accesorios y habitabilidad	24,38	24,38	Tons	
4	Peso de líquidos	7,10	7,10	Tons	
5	Peso de 35 personas	2,63	2,63	Tons	
6	Otras cargas	1,00	1,00	Tons	
7	Desplazamiento full	44,41	51,76	Tons	1,17
8	Calado full	1,09	1,18	m	1,08
	Desplazamiento promedio	39,05	46,40	Tons	1,19
	Calado promedio	1,02	1,12	m	1,10

La diferencia de pesos será de 7,350 Kg, que considerando una diferencia de desplazamiento promedio del 19% adicional, para el casco de acero.

Costos: El acero naval para construcción se puede adquirir en el mercado local a costos promedios de 1.00 USD/Kg. y la soldadura a 0,90 USD/Kg; en cambio el aluminio naval no se vende en el mercado local, se debe importar a promedios de 8,50 USD/Kg internados y la soldadura a 10,0 USD/Kg, existe en el país una ley llamada LEFORTAC, “*ley de fortalecimiento al transporte acuaviario y asuntos conexos*” y su reglamento, publicada en el registro oficial, pero que hasta la fecha no es aceptada en la Corporación Aduanera Ecuatoriano, privando al sector de la construcción naval, de la disminución y eliminación de los aranceles correspondientes; en el cuadro siguiente una descripción de los costos de acero y aluminio trabajados, se debe considerar que para el caso de aluminio hay que agregar los costos de insumos como gas del proceso MIG, equipos, talleres y mano de obra:

	Aluminio naval	Acero naval
Costo materia prima USD/Kg	8,50	1,00
Mano de obra e insumos USD/Kg	10,00	4,00
Total	18,50	5,00

Del cuadro anterior se puede deducir que, el casco solo de la nave tendrá costos diferentes descritos en el cuadro siguiente:

	Peso de casco Kg	Costo de metal Trabajado USD/Kg	Total casco USD
Casco de acero	16,650.00	5.00	83,250.00
Casco de aluminio	9,300.00	18.50	172,050.00
Razon	1,79	0,27	0,48

Ahora conociendo los costos del casco metálico, a continuación un listado con precios referenciales de equipos, maquinaria, accesorios y demás ítems de la embarcación ya instalados.

	Costo USD
Motores principales	175,000.00
Sistema de propulsión	40,000.00
Sistema de gobierno	25,000.00
Generador y sistema eléctrico	75,000.00
Sistema de achique y conraincendios	35,000.00
Auxiliares y circuitos	25,000.00
Sistema de amarre y fondeo	15,000.00
Sistema salvataje	15,000.00
Equipos electrónicos y de navegación	25,000.00
Equipos de seguridad	20,000.00
Habitabilidad	75,000.00
Sistema de aire acondicionado	15,000.00
Otros	15,000.00
Subtotal	555,000.00

Además se puede agregar un adicional de un 5% de costos, (27,7500 USD) por instalar sobre aluminio como bases para motores, auxiliares, equipos, accesorios, etc. Es decir los costos finales de las embarcaciones de iguales características serán los presentados en le cuadro resumen siguiente:

	Casco USD	Maq, equipos y accesorios	Total USD
Embarcación de acero	83,250.00	555,000.00	638,250.00
Embarcación de aluminio	172,050.00	582,750.00	754,800.00
Razón	0,38	0,95	0,85
Diferencia	88,800.00	27,750.00	116,550.00

Los valores anteriores corresponden a la inversión inicial de las embarcaciones en las dos alternativas, se puede que mientras en la construcción del casco, el de acero es tan solo el 38%, en su costo final corresponde al 85%, lo que evidencia que el ahorro con el acero es tan solo el 15%.

Para finalizar este análisis se debe presentar 3 aspectos más: los costos de mantenimiento, operación y depreciación, enfocados de manera directa al casco como elemento primario de este trabajo; basados en un crew boat típico, trabajando con promedios de 4 horas diarias, que dan un total de 1460 hm/año.

- **Operación:** Para tabular los costos correspondientes a operación de las embarcaciones se debe considerar: consumo de combustible y suministros, salarios de tripulación, administración, gastos logísticos, etc. Considerando como principal el primero y con una pequeña variación por diferencia en peso final que necesitara de un poco mas de potencia para cubrir las distancias en iguales tiempos que podría ser un promedio del 5% de aumento, es decir:

Para casco de aluminio: costo anual de combustible

$1460 \text{ hm/año} \times 17,5 \text{ gal/hm} \times 2 \text{ motores} \times 1 \text{ USD/gal} = \mathbf{43,800 \text{ USD/año}}$
--

Para casco de acero: costo anual de combustible

$$43,800 \text{ USD/año} \times 0,05 = \mathbf{2,190 \text{ USD}} + 43,800 \text{ USD} = \mathbf{45,990 \text{ USD/año}}$$

- **Mantenimiento:** La diferencia de costos de mantenimiento entre las embarcaciones de aluminio y de acero, es un poco más complicado, sin embargo se intentará incluir como aspectos mas importantes el cambio de planchaje o renovación de metal y la protección de pintura con mano de obra, tanto en los diques como en trabajos diarios: para el caso del casco de acero; para el primer caso a partir del año 10, cambiar el 5% del peso del casco cada 2 años que coincide con el carenamiento; e igual para el aluminio pero a partir del año 15 y con el 2%, con costos promedios de 5 USD/Kg para el primero y 18,5 USD/Kg para el aluminio:

Para el acero

$$16,650 \text{ Kg} \times 5\% \times 5 \text{ USD/kg} = \mathbf{4162.50 \text{ USD}}$$

Para el aluminio

$$9,300 \text{ Kg} \times 2,\% \times 18.5 \text{ USD/Kg} = \mathbf{3441.00 \text{ USD}}$$

Con los valores anteriores en la tabla siguiente se presenta su resumen y resultados:

Año	Acero A131 Kg	Aluminio 5086H116 Kg
1	<i>16650 Kg</i>	<i>9300 Kg</i>
10	4162.50 USD	
12	4162.50 USD	
14	4162.50 USD	
15		3441.00 USD
16	4162.50 USD	
17		3441.00 USD
18	4162.50 USD	
19		3441.00 USD
20	4162.50 USD	
	24,975.00 USD	10,323.00 USD

Con una diferencia de **14,652.00 USD**.

Para definir costos de aplicación de pintura como mantenimiento semanal sobre las superficies metálicas, se considerara 4 horas hombre por semana (h-h/sem) y 4 litros de pintura para el acero y 2 h-h/sem y 2 litro para el aluminio, además hay que considerar que la pintura para aluminio tiene un costo mayor en un 25%:

Para el acero:

Pintura y accesorios: 4 lts./sem x 52 sem/año x 10 USD/lit = **2,080.00 USD/año**

Mano de obra: 4 h-h/sem x 52 sem/año x 4 USD/h.h = **832.00 USD/año**.

Total anual de 2,912.00 USD

Para el aluminio:

Pintura y accesorios: 2 lts./sem x 52 sem/año x 12.5 USD/lit = **1,300.00 USD/año**

Mano de obra: 2 h-h/sem x 52 sem/año x 4 USD/h.h = **416.00 USD/año**

Total anual de 848.00 USD

Con una diferencia anual de 1,196.00 USD

- **Depreciación:** Basados en la doctrina de los peritos evaluadores la depreciación para embarcaciones de acero es de 20 años y de aluminio de 25 años, con esto, en la tabla siguiente se presenta el calculo correspondiente:

Año	Acero A131 USD	Aluminio 5086H116 USD
-----	----------------------	-----------------------------

1	83250,00	172050,00
2	79087,50	165168,00
3	75133,13	158561,28
4	71376,47	152218,83
5	67807,65	146130,08
6	64417,26	140284,87
7	61196,40	134673,48
8	58136,58	129286,54
9	55229,75	124115,08
10	52468,26	119150,47
11	49844,85	114384,46
12	47352,61	109809,08
13	44984,98	105416,71

Año	Acero A131 USD	Aluminio 5086H116 USD
-----	----------------------	-----------------------------

14	42735,73	101200,05
15	40598,94	97152,04
16	38568,99	93265,96
17	36640,55	89535,32
18	34808,52	85953,91
19	33068,09	82515,75
20	31414,69	79215,12
21		76046,52
22		73004,66
23		70084,47
24		67281,09
25		64589,85

Para el año 20 el casco de acero tendrá un valor residual de 31,414.69 USD y el de aluminio un valor de 79,215.12 USD. con una diferencia de **48,100.43 USD**.

4. RESUMEN FINAL

Para la presentación del resumen final se tomará como argumentos los costos iniciales de construcción del casco, de operación, de mantenimiento y finalmente los valores de depreciación, los cuales serán presentados en la tabla siguiente proyectados a 20 años, como valores de la diferencia entre los dos tipos de cascos:

En 20 años se encuentra que la diferencia relativa entre las dos embarcaciones, en costos sería 13,922.43, que considerando el valor de inversión inicial para el acero de 638,250.00 USD y de la embarcación de aluminio 754,800.00 USD, no es sustancial, sin embargo existe otros argumentos un tanto mas difíciles de expresar en números y costos, como son:

- Mayor tiempo en dique por requerimientos de mayor aplicación de pintura y por ende genera lucro cesante, para el caso de los cascos de acero.

- Otro aspecto es que con cascos de aluminio puede existir menor preocupación en el mantenimiento del metal, por ende, más confiabilidad en la nave.
- Sin embargo los aspectos más importantes dentro de este análisis serán: mejor valor de reventa y más larga vida útil.

Año	Inversión inicial	Operación USD	Mantenimiento 1 pintura USD	Mantenimiento 2 cambio de planchaje USD	Depreciación Valor residual USD
0	-116,550.00				
1		2,190.00	1,196.00		
2		2,190.00	1,196.00		
3		2,190.00	1,196.00		
4		2,190.00	1,196.00		
5		2,190.00	1,196.00		
6		2,190.00	1,196.00		
7		2,190.00	1,196.00		
8		2,190.00	1,196.00		
9		2,190.00	1,196.00		
10		2,190.00	1,196.00	4162.50	
11		2,190.00	1,196.00		
12		2,190.00	1,196.00	4162.50	
13		2,190.00	1,196.00		
14		2,190.00	1,196.00	4162.50	
15		2,190.00	1,196.00	-3441.00	
16		2,190.00	1,196.00	4162.50	
17		2,190.00	1,196.00	-3441.00	
18		2,190.00	1,196.00	4162.50	
19		2,190.00	1,196.00	-3441.00	
20		2,190.00	1,196.00	4162.50	48,100.43
	-116,550.00	43,800.00	23,920.00	14,652.00	48,100.43

5. CONCLUSIONES :

- La existencia de terminales petroleros en el país y la región generara demanda de embarcaciones tipo crew boat, lo que contribuirá a crear expectativa para este tipo de naves en el sector local de la construcción naval.
- La ley de fortalecimiento al transporte acuaviario y asuntos conexos y su reglamento, que fue creada para apoyar a la construcción naval, fue ya publicada en el registro oficial, pero hasta la fecha no es aceptada en la Corporación Aduanera Ecuatoriano, lo que ha impedido la eliminación de los aranceles que permiten el fomento al desarrollo de la industria naval nacional.
- La diferencia de pesos en los casco básicos es 0,38:1, sin embargo en el desplazamiento final o full es de 0,85:1, lo indica que la influencia real en pesos es del 15%, lo que generara mayores gastos por requerimientos de potencia y menos capacidades de carga.
- Los costos más significativos de este análisis, están en la diferencia de inversión inicial entre cascos, que alcanza un valor de 116,550 USD y sumado a esto la falta de disponibilidad de materia prima en el mercado local, lo que dificulta la generación de proyectos de este tipo.