

Influencia del Bulbo de Proa en una Lancha de Investigación Oceanográfica

Por: José R. Marín¹, Livinstong Miranda² y Diana Chauvin³

¹Facultad de Ingeniería Marítima, ESPOL, Km 30.5 Vía Perimetral,

²Departamento de Diseño, Astilleros Navales Ecuatorianos, Cañar y Vivero

³Departamento de Control de Calidad, Astilleros Navales Ecuatorianos, Cañar y Vivero

RESUMEN

Se describen las características de una embarcación diseñada para propósitos de investigación múltiples, de 30 metros de eslora, y cuyas formas incluyen un bulbo de Proa. Fue construida con acero naval, y tiene propulsión de dos motores diesel impulsando hélices de 4 palas a través de reductores. Durante las pruebas cuyas condiciones se reportan en este trabajo, se midió la velocidad del buque para varias razones de giro del motor. Finalmente se desarrollaron cálculos para a partir de los resultados de las pruebas de mar, corregir los resultados teóricos, utilizando algunas formulaciones para estimar la Resistencia al avance, incluyendo la influencia del Bulbo de Proa. Se emplearon tanto la formulación de Holtrop, [2] y la de García, [1]; siendo la primera de tipo general, y la segunda específicamente aplicable a buques pesqueros. La formulación de Holtrop para las proporciones del tipo de buque analizado, no es aplicable completamente, mientras que la de García sí lo es, aunque el área y altura del bulbo no lo son. Los resultados de Resistencia de Holtrop están alrededor de 46% por debajo de los de García. Considerando el porcentaje mencionado y asumiendo que las hélices son de tipo B-Wageningen, [5], se estimó la velocidad de rotación para alcanzar una velocidad del buque, mostrando correlación aceptable con los resultados de las pruebas. Finalmente la influencia del Bulbo se analizó comparando la Resistencia con y sin su presencia, aplicando el método de García, y se determinó que significa una reducción de alrededor del 7% para una velocidad de 13 nudos.

1. Introducción

Es muy bien reconocido el efecto favorable que puede tener un Bulbo de Proa sobre la Resistencia por Formación de Olas en un buque. Sin embargo, el punto no es únicamente dibujarlo en el Plano de Líneas de Formas, sino estimar su beneficio, en términos de Reducción de Potencia requerida al eje. Dadas las dificultades por mantenernos adecuadamente al día en las publicaciones técnicas que presentan desarrollos tecnológicos, típicamente para efectos de estas estimaciones únicamente disponemos del método de Holtrop, [2], que incluye dos características del Bulbo: Área y la posición vertical de su centroide.

Sin embargo, cómo saber si nuestras predicciones son suficientemente buenas?

Con pruebas de modelos, ó comparándolas con resultados de pruebas de las embarcaciones reales. Gracias a la actitud del grupo técnico de Astinave, en esta ocasión se pueden utilizar resultados de las pruebas de mar de una lancha de investigación multipropósito, de 30 metros, diseñada y construida localmente.

2. Descripción de la Embarcación

La embarcación analizada en este trabajo es de tipo oceánica, multipropósito destinada para operar en las Islas Galápagos proveyendo apoyo logístico entre islas.

La estructura fue diseñada bajo las reglas de clasificación de ABS, con casco de acero naval A131 y superestructura de

aluminio naval ASTM 5086. El tipo de construcción es mixta, asociada con cuadernas reforzadas en el fondo, costado y cubierta, lo cual garantiza la resistencia transversal, puesto que las cuadernas reforzadas forman anillos con los baos.

La embarcación tiene las siguientes dimensiones principales:

Eslora Máxima	32.93 m
Manga Máxima	8.00 m
Puntal Moldeado	3.5 m
Calado ligero	1.91 m.
Desplazamiento ligero	175.01 ton
Calado Total	2.40 m
Desplazamiento total	254.24 ton

Tabla 2.1.- Dimensiones principales

A continuación se presenta el cuadro de estaciones, y el Plano de Líneas de formas se presenta en el apéndice. Originalmente sus formas no incluían el Bulbo de Proa, pero para mejorar su comportamiento en olas, se lo adaptó.

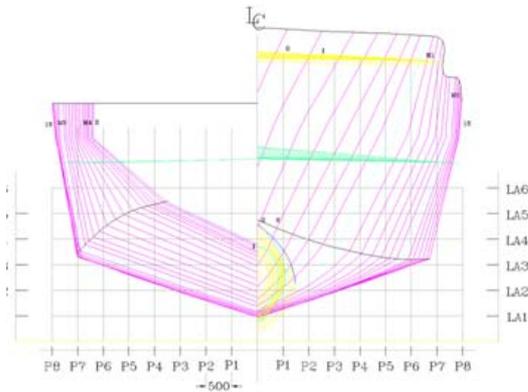


Figura 2.1.- Cuadro de estaciones

La maquinaria instalada a bordo tiene las siguientes características:

Propulsión	Dos motores Caterpillar C18 670 BHP/ 2100 RPM, Rating B.
Generadores	Un generador principal Caterpillar C4.4 de 99 KW
Eléctricos	Un generador de respeto Caterpillar C4.4 de 99 KW
	Un generador de emergencia Caterpillar C4.4 de 44 KW

Tabla 2.2.- Características principales de la maquinaria instalada

Además, los reductores marca ZF, tienen una razón de 4.3933:1, y las hélices propulsoras tienen las siguientes características:

Marca	Rice
# palas	4
Diámetro	1.37 m (54")
Paso	1.22 m (48")

Tabla 2.3.- Características de las hélices propulsoras

A continuación se presentan una cuaderna y un mamparo transversal típicos:

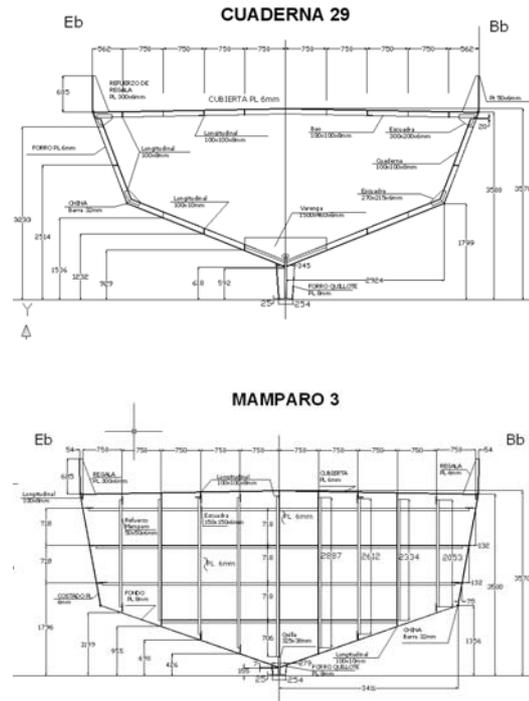


Figura 2.2.- Cuaderna y Mamparo Transversal típicos

3. Resultados de las Pruebas

Las pruebas de mar del buque Hidrográfico y Oceanográfico "Sirius", se llevaron a cabo bajo las siguientes condiciones:

ITEM	DESCRIPCIÓN	MEDIDA (m)
01	Calado en Proa	2.03 m
02	Calado en Popa	2.04 m
03	Calado Medio	2.00 m
04	Francobordo	1.16 m

Tabla 3.1.- Condiciones al inicio de las pruebas

A continuación se presentan las capacidades de los líquidos en los tanques durante las pruebas:

ITEM	DESCRIPCIÓN	Capacidad Ocupada	Capacidad Total
01	Combustible	7468	12560
02	Agua Dulce	8020	8020
03	Aguas Oleosas	0	420
04	Diesel Grúa	0	2495
05	Aguas Negras	100	389
06	Aguas Grises	100	389

Tabla 3.2.- Líquidos durante las pruebas



Figura 3.1.- Embarcación navegando durante las pruebas

La prueba consistió en desarrollar los protocolos correspondientes para los siguientes ítems:

- Prueba de Máquina Principal
- Prueba de Velocidad Progresiva
- Prueba de Resistencia
- Parada de Emergencia
- Maniobrabilidad
- Cálculo de Autonomía
- Diámetro Táctico
- Milla Medida

A continuación se reportan valores típicos registrados para los parámetros de funcionamiento del motor:

Tiempo (min)	Pres. Ac. Mtr (Bar)	Pres. Ac. Rdctr (Bar)	Temp. Agua, °F	RPM	Temp. Ac. Rdctr (°C)
20	35	2	178	700	18
40	50	2	178	1100	19
60	53	2	181	1500	20
80	57	2.5	185	1750	20
100	62	2.5	189	2000	20
120	63	2.5	189	2100	20

Tabla 3.3.- Parámetros de operación de los motores principales

Pruebas de Velocidad Progresiva: Se realizaron en la ruta ASTINAVE-Puerto Roma, con un desplazamiento estimado es de 235 toneladas, con los siguientes resultados:

A FAVOR DE LA CORRIENTE:

HORA (am)	RPM Mq.Eb	Tiempo (MIN)	Temp. (°F)	Presión (Bar)	Veloc. (Kn)
11h00	600	15	178	30	6.0
11h15	1100	15	178	50	10.8
11h30	1500	15	181	57	15.0
11h45	2100	15	181	62	15.8

EN CONTRA DE LA CORRIENTE:

HORA (am)	RPM Mq.Eb	Tiempo (MIN)	Temp. (°F)	Presión (Bar)	Veloc. (Kn)
12h00	600	15	178	30	3.9
12h15	1100	15	180	50	4.7
12h30	1500	15	181	57	6.4
12h45	2100	15	189	60	9.6

Tabla 3.4.- Resultados de la prueba de velocidad progresiva

Prueba de Resistencia: se ejecuta durante 4 horas seguidas, a la velocidad de crucero, hasta llegar al sector de Puerto Roma, los resultados son los siguientes:

HORA	RPM			Velocidad	
	MAQ. EB	MAQ. BB	TIEMPO (min)	GPS (Kn)	
13h00	600	600	25	6.0	
13h25	1100	1100	25	10.8	
13h50	1500	1500	25	15.0	
14h15	1750	1750	25	15.6	
14h40	2100	2100	25	15.8	

Tabla 3.5.- Resultados de la prueba de resistencia

Prueba de Parada de Emergencia: Con el buque avante al 100% de las RPM (2100 rpm) se detienen las máquinas y se registra lo siguiente:

RPM	2100
VELOCIDAD	15.8 NUDOS
TIEMPO PARADA	2.75 minutos
DISTANCIA RECORRIDA	0.25 millas náuticas
LUGAR	Ruta Astinave-Pto. Roma

Tabla 3.6.- Resultados de la prueba de Parada de Emergencia

Prueba de Maniobrabilidad: en la condición de avante, y marchando a 1500 RPM, se realizaron las siguientes maniobras, con los resultados que se presentan en la siguiente tabla:

- Tiempo para llevar la caña desde 0° a 22° Estribor.
- Tiempo para llevar la caña desde 0° a 22° Babor.

CONDICIÓN	DISTANCIA	TIEMPO	RPM
AVANTE EB	0.74 MN	1.1 minuto	1500
AVANTE BB	0.80 MN	1.4 minuto	1500

Tabla 3.7.- Resultados de la prueba de Maniobrabilidad

Prueba de Autonomía: Consiste en registrar los consumos de combustible mediante sondeos sucesivos en los tanques de la unidad, a una velocidad de máquinas de 1800 RPM por 4 horas consecutivas.

Consumo Total	300 Galones
Consumo por Máquinas	150 Galones
Tiempo	5.5 horas
Consumo de Combustible por hora	54.5 Galones/hora
Capacidad de Combustible Total	12560 Galones
Velocidad de Crucero	10.5 nudos
AUTONOMÍA: (Capacidad x Velocidad) / Consumo	2420 Millas Náuticas

Tabla 3.8.- Resultados de la prueba de autonomía

Prueba de Medida del Diámetro Táctico: se realizó con la ayuda del Radar; se efectuaron 2 corridas a 1500 RPM:

CAÑA 22° BABOR	
RPM	DIAMETRO TÁCTICO (MN)
1500	0.74

CAÑA 22° ESTRIBOR	
RPM	DIAMETRO TÁCTICO (MN)
1500	0.80

Tabla 3.9.- Resultados de la prueba del Diámetro Táctico

Prueba de Milla Medida: Esta prueba se realizó con corriente a favor y en contra. La velocidad se midió con GPS y radar, con los siguientes resultados:

HORA	RPM	Tiempo (min)	Velocidad (Kn)	Veloc. Prom. (Kn)
11h30	1100	5.6	10.8	7.4
13h40	1100	15.6	4.0	
11h40	1500	4.2	15.0	10.5
13h50	1500	8.8	5.9	
11h50	1750	3.7	15.8	12.0
14h00	1750	7.0	8.2	
12h00	2100	3.8	15.8	12.8
14h10	2100	6.3	9.8	

Tabla 3.10.- Resultados de la prueba de la Milla Medida

4. Análisis Propulsivo

Estimación de Resistencia

El método más comúnmente usado para estimaciones preliminares de propulsión en nuestro medio es el de Holtrop, [2]. Se trata de un grupo de ecuaciones de regresión a partir de resultados de pruebas experimentales con modelos de buques; en su formulación se incluye una estimación simplificada de la influencia del Bulbo de proa. Las componentes de la Resistencia

total que incluye la formulación mencionada son (Friccional, por Correlación, por los Apéndices, por Inmersión del espejo, por Olas, y, por el Bulbo):

$$R_T = R_f(1 + k_1) + R_A + R_{Apénd} + R_{EspSum} + R_{Olas} + R_{Bulbo}$$

Sin embargo, debe recordarse que es de muchísima importancia el comprobar que se las aplica en el rango de validez en que dichas ecuaciones de Regresión. De acuerdo con lo mencionado en [5], la base de datos a partir de la cual se desarrollaron las ecuaciones incluyen:

Tipo buque	Max Fn	Cp	L/B	B/T
Tankers, bulk carriers	0.24	0.73-0.85	5.1-7.1	2.4-3.2
Trawlers, coasters, tugs	0.38	0.55-0.65	3.9-6.3	2.1-3.0
Containerships, destroyer types	0.45	0.55-0.67	6.0-9.5	3.0-4.0
Cargoliners	0.3	0.56-0.75	5.3-8.0	2.4-4.0
Roll-on-Roll-off ships, car-ferries	0.35	0.55-0.67	5.3-8.0	3.2-4.0

Tabla 4.1.- Aplicabilidad de la formulación de Holtrop

En el presente caso, se trata de una embarcación cercana al segundo tipo, con $C_p=0.59$, y relaciones $L/B=4.26$ y $B/T=3.34$, de manera que por esta última razón, no es aplicable completamente. Sin embargo, para efectos de comparación se lo va a aplicar.

En el Canal de Experiencias de "El Pardo" de Madrid, han desarrollado formulaciones sencillas para estimar la Resistencia al avance específicamente de buques pesqueros, [1]. La Resistencia total es considerada como la suma de tres componentes, Friccional, debida a la Rugosidad, y, Residual:

$$R_T = R_f + R_A + R_R$$

La fórmula para evaluar el Coeficiente de Resistencia Total¹ es:

$$C_T = (C_f + C_A)/(1 - R_R/R_T)$$

¹ Definido como: $C_T = \frac{R_T}{1/2 \rho S v^2}$

Y en base a la base de datos que disponen, establecieron la siguiente relación para el cociente R_R/R_T :

$$R_R / R_T = 1.24 \frac{C_b B}{L_{pp}} + 0.265 F_n^2 + 2.151 F_n - 0.298$$

donde F_n es el número de Froude, según la eslora entre perpendiculares.

Resistencia sin Bulbo

Se realizaron tres cálculos: con la formulación de Holtrop, [2], utilizando los resultados de pruebas de modelos publicados por SNAME, [4], y, aplicando la formulación de García para pesqueros, [1]. En el apéndice se presentan algunas características del modelo usado para la segunda estimación. Los datos hidrostáticos empleados son²:

L_{WL}	31.29	m
L_{pp}	30	m
B	7.34	m
T	2.20	m
T (asiento)	0	m
Volumen Desplazamiento	214.02	m ³
S_{moj}	227.0	m ²
$S_{apénd}$	22.7	m ²
$S_{Espejo\ sumergido}$	1.50	m ²
Icb (%L, Sec.Med.+Pr)	-5.0	%
i_E (Semiáng. Flot. entrada)	32	°
C_b	0.41	
C_{SM}	0.70	
C_p	0.59	
C_{PF}	0.72	

Tabla 4.2.- Características hidrostáticas para el cálculo de la Resistencia

A continuación se ha graficado la Resistencia total al avance empleando los tres métodos. Se nota que debajo de los 11 nudos, hay muy buena coincidencia entre ellos, mientras que por encima de dicho valor, las estimaciones de Holtrop están por debajo de las otras dos, que coinciden bastante bien entre ellas.

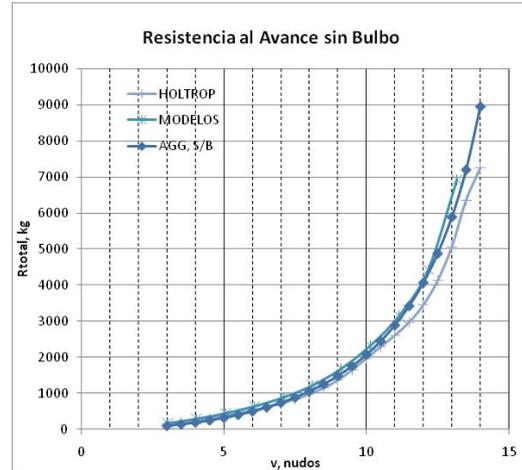


Figura 4.1.- Resistencia total al avance, casco sin bulbo

Influencia del Bulbo de Proa

En el Canal de Experiencias de “El Pardo” de Madrid, también han preparado formulaciones empíricas para estimar la influencia del Bulbo de Proa sobre la Resistencia al avance, específicamente para buques pesqueros, [1]. La influencia del bulbo sobre la componente Residual, la estiman en base a la siguiente relación, considerando la Resistencia del buque sin bulbo (denotadas por los subíndices C/B y S/B , respectivamente):

$$\left(\frac{R_R}{R_T} \right)_{C/B} = \left(\frac{R_R}{R_T} \right)_{S/B} / (1 + \%DES / 100)$$

En función de la base de datos que ellos disponen, establecen la siguiente ecuación para el parámetro denominado %DES:

$$\%DES = a(L_{pp} / B) + b$$

donde los coeficientes a y b se evalúan así:

$$a = -47.3(F_{nBb})^3 + 292.7(F_{nBb})^2 - 579.7(F_{nBb}) + 351.7$$

$$b = 166.7(F_{nBb})^3 - 1037.6(F_{nBb})^2 + 2062.8(F_{nBb}) - 1244.8$$

Donde F_{nBb} es el número de Froude usando la protuberancia l_b del bulbo, esto es la longitud desde la cuaderna 20, que en este trabajo se ha considerado como la Perpendicular de Proa. En el presente

² Las propiedades Hidrostáticas se tomaron para el casco incluyendo el bulbo.

caso la protuberancia del bulbo es de 0.86 metros.

Debe recalarse que las relaciones desarrolladas por García, [1], son aplicables en el siguiente rango:

	Rango de aplicación	Presente
L_{pp}	25-60 m	30
F_n	0.25-0.40	0.39 (13 nudos)
$C_b B/L_{pp}$	0.095-0.165	0.101-0.106

Tabla 4.3.- Rango de aplicación del método de García, [1]

Es decir el método mencionado es aplicable al caso analizado.

Para aplicar el método de Holtrop se estimó el área del Bulbo, 2.0 m², y la posición vertical del centroide, 1.41 m.

Sin embargo debe mencionarse que en el método de García, el área y la altura del bulbo están asumidos con valores considerados promedios en su base de datos, dejándose libertad al diseñador para la selección de la longitud del bulbo. Considerando un rango para el coeficiente Bloque entre 0.60-0.76, el área del bulbo respecto de la Sección Media, A_{20}/A_{10} varía entre 0.041-0.061, mientras que en la presente embarcación es de 0.17. También, en función del parámetro $C_b B/L_{pp}$, (en un rango 0.13-0.18), se establece la altura del bulbo respecto del calado de Proa (0.48-0.29). En la presente embarcación, dicha razón es de 0.90. Es decir, las características del Bulbo de la embarcación aquí analizada difieren sustancialmente de aquellas usadas en el trabajo de García.

Luego se aplicaron los dos métodos, obteniéndose valores con el método de García bastante encima de los de Holtrop. Para efectos del siguiente cálculo, dado que ya se tenía implementado el método de Holtrop, se multiplicó por diferentes factores hasta que los resultados coincidieran razonablemente bien. Dicha razón resultó 1.46, y los resultados se muestran a continuación:

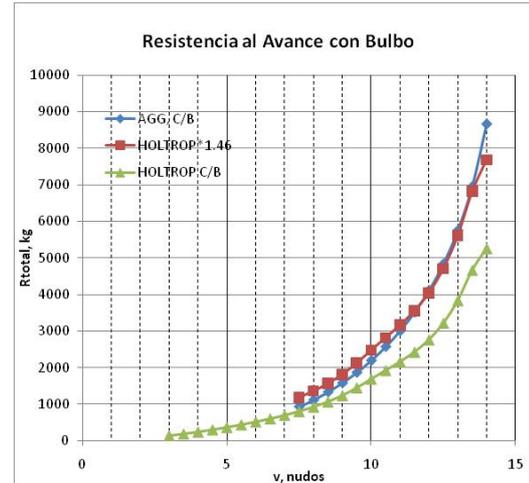


Figura 4.2.- Resistencia total al avance, casco sin bulbo

Estimación de Potencia al Eje

El parámetro que podría usarse para confirmar parcialmente nuestros resultados es la velocidad de rotación de la hélice. Se va a utilizar el programa desarrollado en [3], que asume hélices de tipo B Wageningen, cuyos coeficientes polinomiales están publicados en [5]. En este proceso, en forma iterativa se busca el coeficiente de avance, J , que permite que la hélice produzca un Empuje suficiente para vencer la Resistencia, considerando el respectivo Coeficiente de Deducción de Empuje. Conocido $J = v_A/(ND)$, se puede calcular el Torque requerido y la Eficiencia en Agua Abierta de la hélice, y, finalmente la Eficiencia Propulsiva.

Entonces, utilizando el método de Holtrop y multiplicando los resultados por 1.46, se estimó la velocidad de rotación que se requiere para alcanzar diferentes velocidades de avance de la embarcación. En la siguiente figura se incluyen los resultados registrados durante las pruebas de Velocidad Progresiva, mencionados en el punto 3 de este trabajo. Se observa que para velocidades menores a 10.5 nudos, la concordancia es bastante buena, mientras que en el rango superior de velocidades, la los calculados están por debajo de los valores registrados, en alrededor de 0.75 nudos.

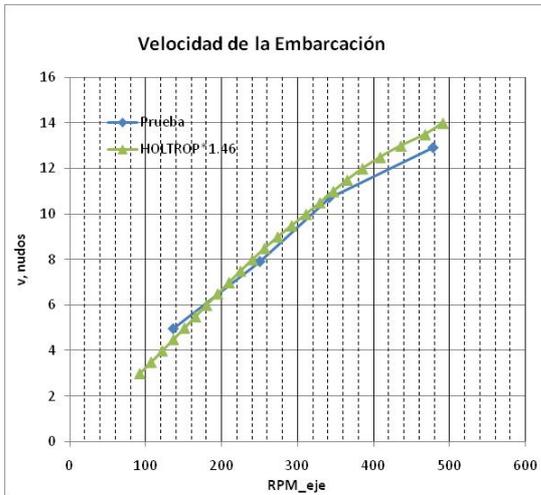


Figura 4.3.- Velocidad de rotación vs velocidad de avance del buque

En el trabajo de Holtrop también se disponen de formulaciones para los parámetros propulsivos, que permitieron estimar la eficiencia Propulsiva:

Fac. Deducc. de Empuje	0.07224
Fac. de Estela	0.066-0.064
Efic. Relativa-Rotativa	0.9965

Tabla 4.4.- Parámetros propulsivos estimados a partir de [2]

Luego, se pudo estimar la eficiencia propulsiva y la potencia requerida al eje, por cada máquina, que se grafican a continuación. Considerando que los motores principales pueden desarrollar 670 bhp, se determina que las hélices los hacen operar, en la condición de carga analizada de la embarcación, en forma Ligera.

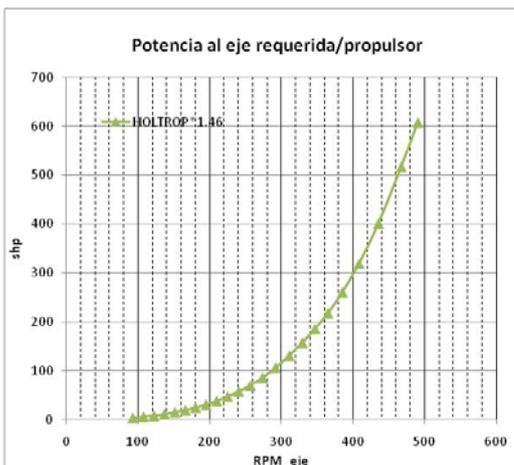


Figura 4.4.- Potencia requerida al eje

La eficiencia Propulsiva total, que se grafica a continuación fue estimada asumiendo una eficiencia por Pérdidas en la línea de ejes de 0.95:

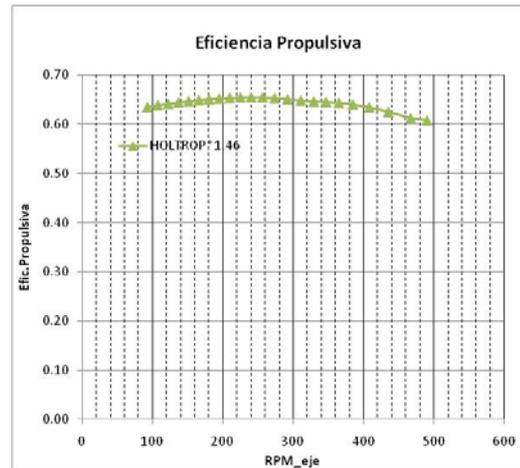


Figura 4.5.- Eficiencia Propulsiva

Finalmente, luego de comparar las estimaciones propulsivas con los registros de las pruebas de mar, y aceptando las estimaciones, se preparó un gráfico con el porcentaje de la Reducción de la Resistencia por efecto del bulbo, empleando el método de García. Se nota que existen zonas de velocidad en las que la Resistencia se incrementa (Reducción negativa). Para una velocidad de 13 nudos, la reducción es de alrededor del 7%.

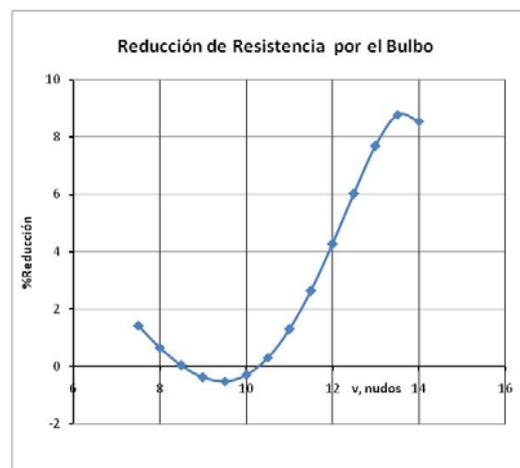


Figura 4.6.- Reducción de Resistencia al avance por efecto del bulbo

5. Comentarios Finales

Se analizó la eficiencia propulsiva de una embarcación de 30 metros diseñada para efectos de investigación multipropósito bihélice. Para estimar la Resistencia al avance se aplicaron formulaciones empíricas tipo regresión, de Holtrop, [2], y de García, [1], específicamente a partir de información de buques pesqueros. La razón B/T de la embarcación analizada sale del rango de aplicación de la base de datos de Holtrop. Además, aún cuando la razón $C_b B/L_{pp}$ para el buque analizado está en el rango de aplicación del método de García, la información presentada sobre el área del bulbo estándar hace pensar que el rango de C_b de aplicación no incluye al presente caso.

Aún con las limitaciones mencionadas en el párrafo anterior, se procedió a estimar la Resistencia con ambos métodos, encontrándose que los resultados con Holtrop deben incrementarse en 46% para igualarse con los de García. Incluyendo este factor, y asumiendo que las hélices son de tipo B-Wageningen, se estimó la velocidad de rotación de la hélice para diferentes velocidades del buque. Se encontró que la estimación es bastante buena por debajo de los 10.5 nudos, pero sobrepredice la velocidad en 0.75 para 13 nudos de velocidad. Esto indica probablemente que la Resistencia en realidad es mayor que la aquí estimada con ambos métodos.

Se concluyó finalmente, empleando el método de García, que la inclusión del bulbo de proa redujo en 7% aproximadamente la Resistencia total al avance a una velocidad de 13 nudos.

La eficiencia propulsiva estimada, superior al 60%, está por encima de los valores típicos alcanzados en nuestros sistemas propulsores. De manera que los diseñadores deben recibir una felicitación.

Debe mencionarse que entre las conclusiones del trabajo de García, [1], se menciona que el bulbo de Proa no es aplicable en el caso de embarcaciones pesqueras con razones L_{pp}/B mayores a

4.5. Simplemente sería conveniente difundir este comentario entre nuestra comunidad técnica.

Finalmente, debe insistirse en que las formulaciones empleadas son de tipo de Regresión, y es necesario que se compruebe que el caso analizado está en el rango de aplicación, antes de confiar en los resultados.

Recomendaciones

No se alcanzó a desarrollar análisis de Cavitación de las hélices, aunque en el reporte de pruebas de mar, no se menciona inconveniente alguno sobre este tema.

Agradecimiento

En nuestro medio, pocas oportunidades se tienen en que las universidades trabajan en conjunto con la industria. Afortunadamente este trabajo rompe esa proposición. La actitud del Gerente General de Astinave, y de los Jefes de Diseño y Control de Calidad son admirables, y deben recibir reconocimiento.

Referencias Bibliográficas

- [1] García Gómez, A., Predicción de Potencia y Optimización del Bulbo de Proa en Buques Pesqueros. Revista Ingeniería Naval, España, N° 670, Abril 1991
- [2] Holtrop, J., y Mennen, G.G.J., An approximate power prediction method. International Shipbuilding Progress, Vol. 29, Julio 1982.
- [3] Marín, J., Eficprop: Programa para calcular la Eficiencia Propulsiva de Sistemas Marinos.
- [4] SNAME, Model Resistance Data Sheets, Set of 9 Trawlers. SNAME, 1966
- [5] Van Manen, J.D., y Van Oossanen, P., Resistance, capítulo 5 en PNA vol. II, editado por Lewis, E. SNAME, 1988.

Apéndices

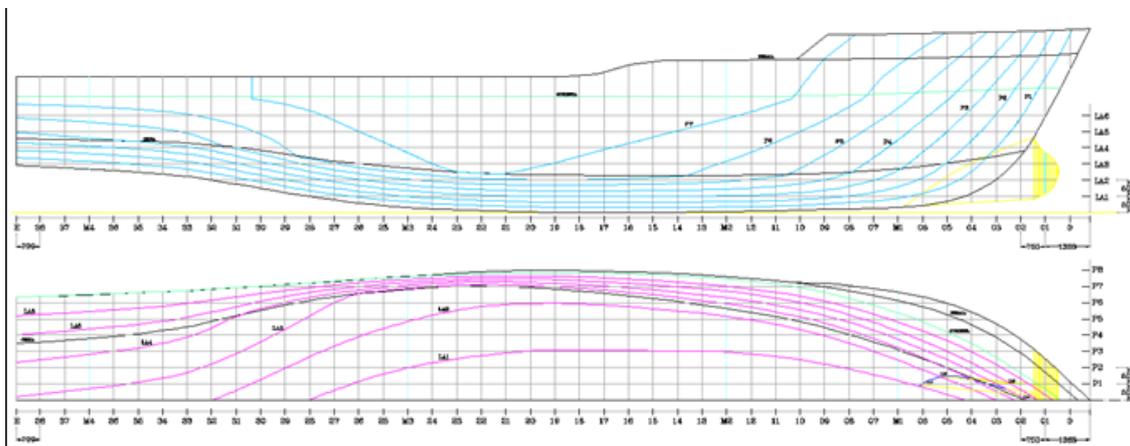


Figura A.1.- Líneas de formas

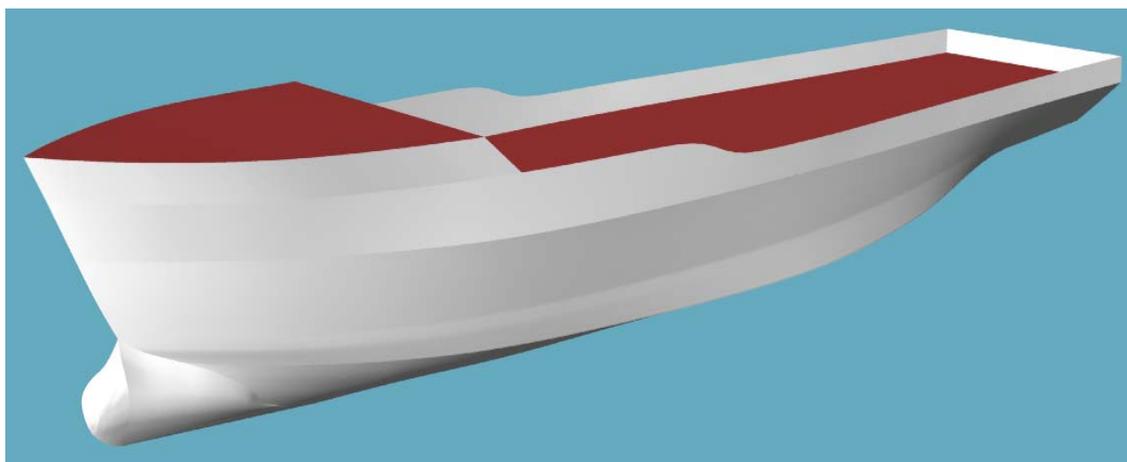


Figura A.2.- Formas de la embarcación

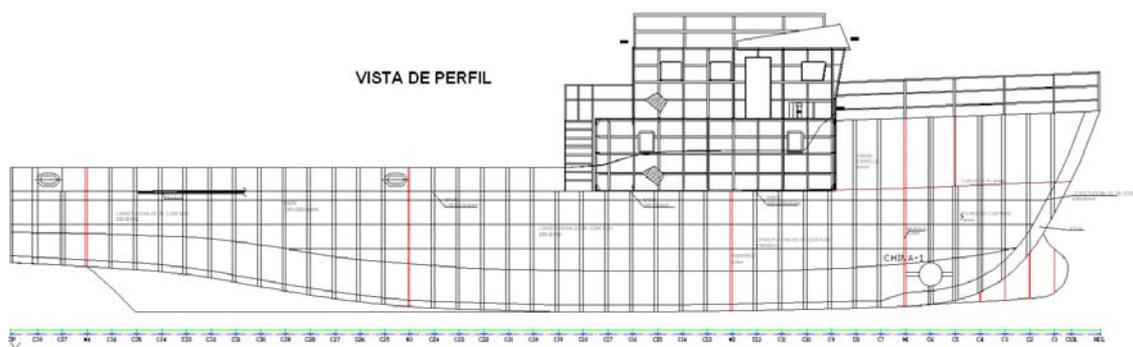


Figura A.3.- Estructura principal

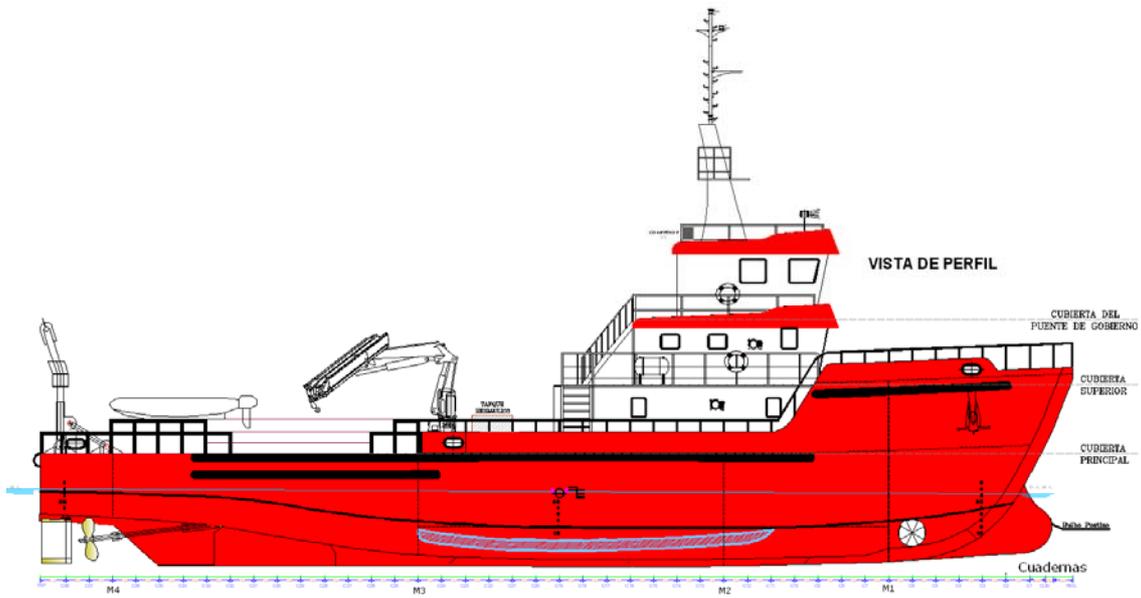


Figura A.4.- Distribución general de la embarcación

	Harbor tug SNAME #93	Lancha Invest. Hidrográfica
L/B	3.9	4.26
B/T	2.91	3.34
C_b	0.51	0.41
C_p	0.59	0.59
C_{sm}	0.87	0.7

Tabla A.1.- Características del modelo, [4]

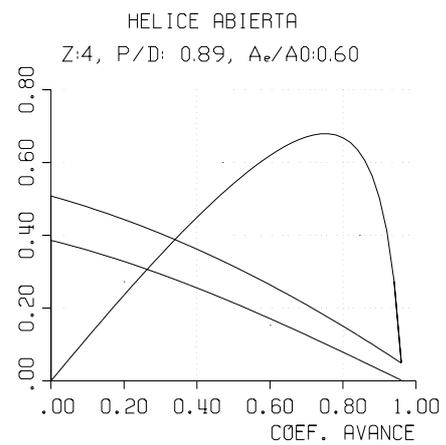


Figura A.5.- Características de los propulsores