

Determinación Experimental de la Influencia del Bulbo de Proa en una Embarcación Sardinera Ecuatoriana

J. R. Marín¹, J. Gómez², y, G. Hidalgo³

Facultad de Ingeniería Marítima, Ciencias Biológicas, Oceánicas y de Recursos Naturales
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral
Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador

jrmarin@espol.edu.ec¹, jlgomeh@espol.edu.ec², ghidalgo@espol.edu.ec³

Resumen

En este trabajo, se analizan en forma teórica y experimental los beneficios de instalar un Bulbo de Proa en la embarcación sardinera "B/P Don Fausto V", de 36.58 metros de eslora total, que alcanza una velocidad de 14 nudos. Para el dimensionamiento del bulbo se tomó como guía la formulación desarrollada por el Ing. Núñez, aunque se comprobó que en la embarcación no era aplicable; a pesar de ello, se la aplicó y se determinaron las dimensiones básicas del bulbo: protuberancia de 0.77 m, altura de 1.53 m, y área de la sección transversal de 1.58 m². Se modelaron dos bulbos, tipos Elíptico y Peonza, usando el programa FREE!ship. Para el cálculo de la resistencia al avance del modelo sin incluir la influencia del bulbo de Proa se utilizaron las formulaciones de Holtrop y la de García, siendo la segunda específicamente aplicable a buques pesqueros. Para la determinación experimental de la resistencia al avance, se construyó un modelo de 2.0 metros, en madera y fue remolcado desde el costado de un bote mediante un brazo mecánico. En condición Salida de Puerto, la máxima velocidad de prueba fue de 1.74 m/s y se determinó que la resistencia al avance con la colocación de los bulbos peonza y elíptico eran mayores que los resultados sin estos. En la condición Cargado, se registra una reducción en la resistencia del modelo con la colocación del bulbo peonza, mientras que con el bulbo elíptico se incrementa esta fuerza hasta la máxima velocidad de prueba de 1.59 m/s.

Palabras Claves: Barco pesquero, Bulbo de proa, Resistencia, Pruebas Experimentales, Holtrop, García.

Abstract

In this work, we analyzed theoretically and experimentally the benefits of installing a bulbous bow in sardine fishing vessel "B / P Don Fausto V", of 36.58 meters of length over all, who reaches a speed of 14 knots. For sizing the bulb it was taken as a guide the formulation developed by Eng. Núñez, even though it was found that for this boat was not applicable, nevertheless it was applied and the basic dimensions of the were determined: protuberance, 0.77 m, height, 1.53 m, and cross-sectional area, 1.58 m². Two bulbs were modeled, Elliptic and Peonza types, using the program FREE!ship. To calculate the Resistance of the model without bulbous bow Holtrop and García formulations were used, the second specifically applicable to fishing vessels. For the experimental determination of the drag, a wooden 2.0 meter long model was built and side-towed from a boat with a mechanical arm. In Port departure condition, the maximum test speed was 1.74 m/s and it was determined that the drag forces with both bulbs were larger than the results without them. In the Loaded condition, there was a reduction in resistance with the Peonza bulb, while with the Elliptical bulb this force increases up to the maximum test speed of 1.59 m/s.

Keywords: Fishing vessel, Bulbous bow, Resistance, Ship model test

1. Introducción

La crisis económica, el impacto medio ambiental y el alto consumo de los combustibles fósiles conducen a desarrollar ideas para un ahorro de energía. En la industria naval, uno de los intereses de los armadores ha sido siempre alcanzar un casco hidrodinámicamente eficiente para obtener las mayores utilidades posibles. Una de las maneras de reducir gastos de combustibles es la modificación de las formas en la etapa de diseño de la nave, pero ¿qué hay de las embarcaciones ya construidas?. Una de las

opciones sería la adaptación de un Bulbo de Proa, que busque reducir la resistencia al avance, a través de la interferencia entre los trenes de olas generados por la proa de la embarcación y el bulbo. Pero el problema a resolver es qué formas debe tener este y de qué manera se lo debe adaptar a la proa.

Para el cálculo de la resistencia al avance de un buque, se pueden aplicar tres métodos: Analítico, Numérico ó Experimental. Los dos primeros son muy complejos, por lo que la única alternativa actual para analizar este problema es el método Experimental.

Ante la ausencia de un canal de pruebas en el medio, se puede intentar halar un modelo desde una lancha en una zona de aguas tranquilas con un dispositivo portátil y la fuerza de tensión correspondería a la resistencia al avance.

Para darle aplicabilidad a un estudio sobre la influencia del bulbo, se puede analizar una embarcación sardinera de alguna de las empresas locales. Revisando la información de la flota pesquera Nacional se observó que la eslora de este tipo de embarcaciones de tipo Industrial, varía de 30 m a 39 m, por lo cual se seleccionó un buque de la empresa JUNSA, [1], el “B/P Don Fausto V”, que tiene una eslora total de 36.58 m. Esta embarcación no tiene bulbo y sería conveniente determinar los posibles beneficios de la adaptación de un bulbo de proa sobre la reducción de su resistencia al avance.

Las limitantes que podrían surgir en la realización de un experimento como el que fue descrito previamente son: los movimientos y la variación de la velocidad en la lancha de arrastre, la influencia del viento, los desperdicios en el sitio de prueba que obstruyan el medidor de velocidad de flujo y la estela provocada por otras embarcaciones ajenas al experimento. Sin embargo, vale la pena intentarlo dado que no se dispone en el medio de un canal de pruebas que ayude a determinar la influencia del bulbo de proa.

2. Descripción de la Embarcación Prototipo

Se tomó como objeto de este estudio, la embarcación sardinera “B/P Don Fausto V”, de la empresa JUNSA, cuya eslora total es de 36.58 metros con fondo en forma de V, doble china y un ángulo de astilla muerta de 10°. La embarcación analizada tiene su maquinaria principal en la proa, con una única línea de ejes, alcanzando según el armador una velocidad de 14 nudos.



Figura 1. Embarcación Prototipo

En la Tabla 1 se muestran las dimensiones y características principales de la embarcación mencionada:

Dimensiones y Características Principales de la Embarcación real.			
Eslora Total	L	[m]	36.58
Manga	B	[m]	8.50
Puntal	D	[m]	4.32
Calado Salida de Puerto	T	[m]	2.41
Calado Cargado	T	[m]	3.41
Desplazamiento Salida de Puerto	Δ	[ton]	396.13
Desplazamiento Cargado	Δ	[ton]	647.60
Coefficiente de Bloque Salida de Puerto (T=2,41)	Cb		0.55
Coefficiente de Bloque Cargado (T=3,41)	Cb		0.64

Tabla 1. Características Principales de la Embarcación Prototipo

3. Dimensionamiento del Bulbo de proa

Para dimensionar el bulbo de proa en este trabajo, se toma como guía las pruebas experimentales realizadas por el Ing. Núñez Basáñez, [3], en el canal de pruebas de “El Pardo” en Madrid, para tres tipos de embarcaciones pesqueras de esloras diferentes. El método determina para cada embarcación, los beneficios de la colocación de un bulbo de proa, haciendo pruebas con modelos a escala.

Las dimensiones principales que sirven para identificar el tamaño del bulbo son: la protuberancia (X), la altura (h), el área transversal (Sc20/2), la manga del bulbo (b) y la altura total del bulbo (Z).

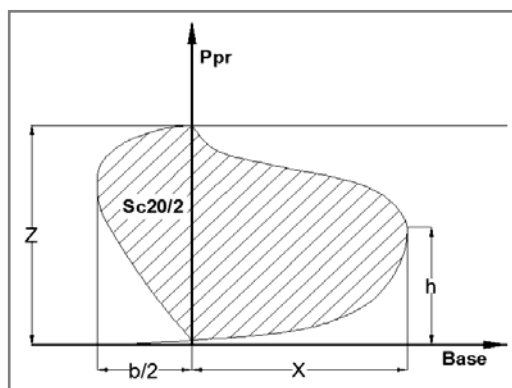


Figura 2. Dimensiones principales del Bulbo de Proa

Antes de aplicar el método para dimensionar el bulbo se debe comprobar que las características principales y coeficientes de formas del prototipo estén en el rango de aplicabilidad del método del profesor Núñez, usando los siguientes parámetros:

$$0.60 < C_B < 0.815$$

$$5.5 < \frac{L_{PP}}{B} < 7$$

$$\frac{C_B \cdot B}{L_{PP}} < 0.815$$

Una vez comprobados los parámetros, se dimensiona el bulbo de Proa de la embarcación prototipo, usando las expresiones expuestas a continuación:

$h = 45\%$ del Calado

$$100X' = 100X + K_1(C_B' - C_B) - K_2\left[\left(\frac{L'}{B}\right)' - \left(\frac{L}{B}\right)\right]$$

$$S_{c20} = S_{c10} \cdot S_b / 100$$

Z = Obtenido del Bosquejo del Bulbo

$$b = \frac{4 \cdot S_{c20}}{Z \cdot \pi}$$

Se aplica el factor de escala λ correspondiente de la relación modelo-prototipo, para definir las dimensiones de los bulbos que se adaptarán a la proa del modelo.

Se resume en la siguiente tabla los resultados obtenidos de las dimensiones del bulbo de proa.

Dimensiones Generales del Bulbo			
	UND	PROTOTIPO	MODELO
Área transversal del bulbo (S_{c20})	m ²	1.58	0.0045
Manga del bulbo (b)	m	1.13	0.061
Altura del bulbo (H)	m	1.53	0.082
Protuberancia del bulbo (X)	m	0.77	0.041
Altura máxima del bulbo (Z)	m	1.77	0.095

Tabla 2. Dimensiones Generales del Bulbo

Para dar forma al bulbo haciendo uso de los parámetros obtenidos, es necesario en primer lugar tener un modelo digital de la embarcación (modelo 3D), para luego unirlo al bulbo y formar un solo conjunto. El programa usado para este fin es FREE!ship.

FREE!ship es un programa de código abierto cuya característica es el modelado de superficies, destinadas para el diseño de buques. El programa es un software libre, puede ser redistribuido y/o modificado bajo los términos de la GNU, "General PublicLicense" publicada por la fundación de Software Gratuitos.

La representación del modelo comenzó usando el plano de líneas de formas digitalizado en AutoCad. De aquí se obtienen las coordenadas de los puntos que controlan la superficie con los cuales se empieza a dar forma al casco de la embarcación modelo.

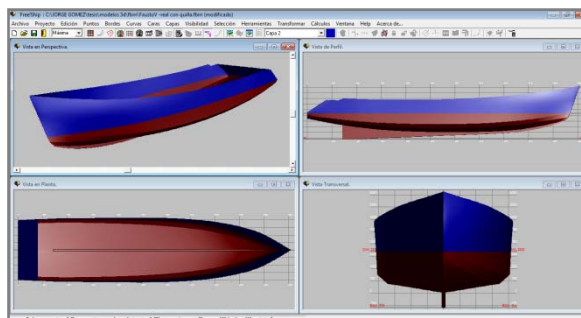


Figura 3. Modelo 3D de la embarcación prototipo

De una manera similar a la descrita anteriormente, se procede al diseño de los bulbos con los parámetros ya calculados y se los adapta al modelo de la embarcación prototipo, como se aprecia en la figura.

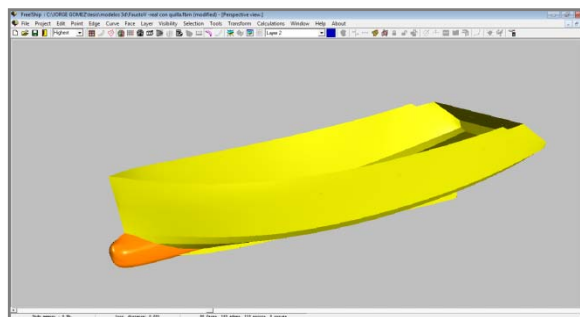


Figura 4. Bulbo tipo Elíptico adaptado al modelo de la embarcación Sardinera

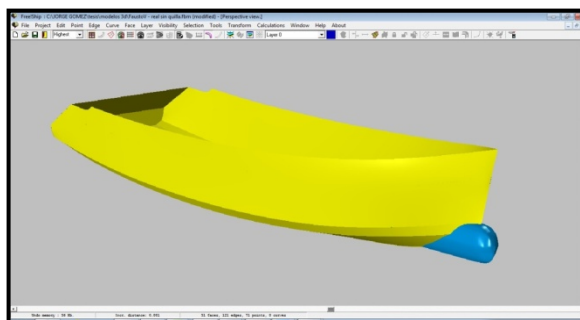


Figura 5. Bulbo tipo Peonza adaptado al modelo de la embarcación Sardinera

Para realizar las pruebas experimentales de arrastre se construyó un modelo de la embarcación sardinera prototipo y de los bulbos, con madera "Cedro de Castilla", cuya forma de construcción y características se detallan en la sección 6 de este trabajo.



Figura 6. Modelo Construido en Madera

A continuación, se muestran las dimensiones generales del modelo:

	Salida de Puerto	Cargado	Und
Eslora Total	2.00	2.00	[m]
Eslora entre Perpendiculares	1.79	1.79	[m]
Manga	0.47	0.47	[m]
Calado	0.13	0.18	[m]
Coefficiente Bloque	0.55	0.64	[-]
Peso	18.57	18.57	[Kg]
Desplazamiento	65.00	105.00	[Kg]

Tabla 3. Características Principales del Modelo

Las diferencias entre el factor de escala de las dimensiones principales y entre los ángulos de astilla muerta del prototipo y del modelo se deben a la poca experiencia local en la construcción de modelos. Sin embargo, esto no afectó los objetivos del presente estudio ya que se tomaron las formas y características geométricas del modelo final resultante para realizar los cálculos de Resistencia.

De las condiciones de operación de la embarcación prototipo se toman dos para el presente trabajo, Condición Salida de Puerto y Condición Cargado. Para los cálculos empíricos se consideran dos condiciones de carga de 64 y 105 kg, correspondientes a las de la embarcación prototipo de 396.13 y 647.60 toneladas, respectivamente.

4. Métodos Empíricos de Holtrop y de García

Método de Holtrop

Es el más usado para estimaciones preliminares de propulsión en nuestro medio. Este método presenta un grupo de ecuaciones de regresión elaboradas a partir de resultados de pruebas experimentales con modelos de buques de una muestra básica conformada por 1707 ensayos de remolque y 1287 ensayos de autopropulsión en donde su formulación incluye una estimación simplificada de la influencia del Bulbo de proa.

Las componentes de la Resistencia total que incluye la formulación de Holtrop son:

$$R_T = R_F(1 + k_1) + R_A + R_{Apend} + R_{EspSum} + R_{Olas} + R_B$$

siendo:

- R_T : Resistencia Total
- R_F : Resistencia Friccional (ITTC – 1957).
- $1+k_1$: El factor de forma que describe la Resistencia Viscosa de la forma del casco en relación a la R_F .
- R_A : Resistencia por Correlación Modelo-Prototipo.
- R_{Apend} : Resistencia por Apéndices.
- R_{EspSum} : Resistencia por la inmersión del espejo.
- R_{Olas} : Resistencia por Formación de Olas.
- R_B : Resistencia por del Bulbo de proa.

Sin embargo, debe recordarse que tratándose de una formulación de regresión es de mucha importancia que las variables estén dentro de los límites de aplicación del método. En el presente caso, se trata de analizar un barco pesquero con una velocidad de 14 nudos y se lo va a considerar cercano al tipo Costero.

Tipo de Buque	Max Fn	Cp	L/B	B/T
Granelero, Petrolero	0.24	0.73–0.85	5.1–7.1	2.4–3.2
Remolcador, Costero	0.38	0.55–0.65	3.9–6.3	2.1–3.0
P. Contenedor	0.45	0.55–0.67	6.0–9.5	3.0–4.0
CargueroRápido	0.30	0.56–0.75	5.3–8.0	2.4–4.0
Roll-on-Roll-off, Ferriers	0.35	0.55–0.67	5.3–8.0	3.2–4.0

Tabla 4. Rangos de aplicación de la formulación de Holtrop y Mennen

La embarcación a ser analizada, no satisfizo del todo los parámetros del método de Holtrop y Mennen, sin embargo para efectos de comparación se lo va a aplicar.

Característica	Rango de Aplicación	"B/P Don Fausto V"		
		Salida de Puerto	Cargado	
Max Fn	0.38	0.404 (3.29nudos)	0.402 (3.29nudos)	No cumple
Cp	0.55–0.65	0.68	0.72	No cumple
Lpp/B	3.90–6.30	3.80	3.80	No cumple
B/T	2.10–3.00	3.56	2.52	Cumple

Tabla 5. Comprobación de los rangos de aplicación del método de Holtrop y Mennen

Método de García

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 Total es:

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

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

$$R_R/R_T = 1.24 \frac{C_b B}{L_{pp}} + 0.256 F_n^2 + 2.151 F_n - 0.298$$

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 lb del bulbo. Debe recalarse que las relaciones desarrolladas por García, son aplicables en el siguiente rango:

	Rango de Aplicación	"B/P DON FAUSTO V"		
		Salida de puerto	Cargado	
Lpp	25 - 60 m	32.38	32.38	Cumple
Fn	0.25 - 0.40	0.404 (14 nudos)	0.402 (14 nudos)	Cumple
Cb * B/Lpp	0.095 - 0.165	0.142	0.166	Cumple

Tabla 6. Rangos de aplicación del Método de García

Debido a que la L_{pp} del modelo es de 1.79 m, lo cual no satisface el primer parámetro de aplicación del

método de García, se debe realizar los cálculos para el prototipo y mediante análisis dimensional llevar estos resultados para el modelo.

5. Resistencia al Avance del Modelo de la Embarcación Sardinera (Cálculo Empírico)

Método de Holtrop

El cálculo empírico de la Resistencia al Avance para el modelo de la Embarcación Sardinera, se desarrolla utilizando el programa implementado "Holtrop": i) Con Bulbo y ii) Sin Bulbo. Se consideraron dos condiciones de carga de la embarcación prototipo, 396.13 y 647.60 toneladas y una velocidad máxima de 14 nudos, que corresponden a 64 y 105 kg y a 3.8 nudos en el modelo.

Para efectos de resumen del presente trabajo, se presentan los resultados de las dos condiciones antes mencionadas con la influencia del bulbo de proa, en el cual no se hace distinción entre un bulbo elíptico o peonza, ya que el área transversal del bulbo es considerada igual. En la Tabla 7 se presentan los datos de ingreso al programa "Holtrop":

Dimensiones Principales	Unid.	Con Bulbo	
		Salida de Puerto	Cargado
Eslora entre perpendiculares	Lpp [m]	1.790	1.790
Eslora de la flotación	Lf [m]	1.945	1.894
Manga	B [m]	0.470	0.470
Calado en sección media	Tm [m]	0.132	0.186
Calado en Proa	Tpr [m]	0.132	0.186
Calado en Popa	Tpp [m]	0.132	0.186
Centro de boyantez longitudinal desde la sección media hacia popa	Lcb [m]	-0.115	-0.127
Coefficientes de Formas			
Bloque	Cb ----	0.55	0.64
Cuaderna maestra	Cm ----	0.84	0.87
Prismático	Cp ----	0.67	0.74
Plano de Flotación	Cf ----	0.82	0.84
Superficie Mojada			
Superficie Mojada	Sm [m ²]	1.10	1.37
Área sumergida de los apéndices	Sm _{ap} [m ²]	0.003	0.003
Área sumergida del espejo	Ae [m ²]	0.010	0.034
Bulbo de Proa			
Área transversal del bulbo	Atb [m ²]	0.0045	0.0045
Altura del bulbo	Hb [m]	0.0817	0.0817
Otros datos			
Semiángulo de entrada	ie [°]	28.77	29.15
Área en la cuaderna maestra	Am [m ²]	0.049	0.074
Desplazamiento	Δ [ton]	0.065	0.106
Características del Agua			
Densidad	[Kg/m ³]	1000.00	1000.00
Viscosidad Cinemática	[m ² /s]	9.43E-07	9.43E-07

Tabla 7. Datos para ingresar al programa para calcular la resistencia al avance con bulbo

Con los resultados obtenidos del programa "Holtrop" para las condiciones de carga y el caso con la influencia del bulbo, se prepara el siguiente gráfico comparativo: Resistencia vs Velocidad.

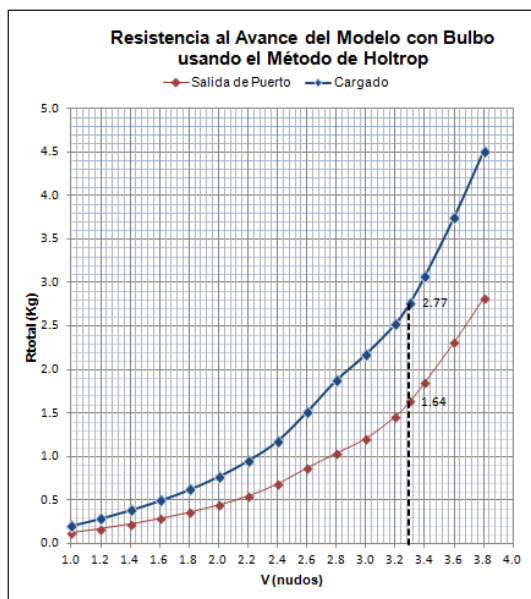


Figura 7. Resistencias al Avance en las dos condiciones de carga para el modelo con bulbo

Se observa en la Figura 7, que la resistencia al avance en la condición Cargado, es mayor que en la Salida de Puerto, teniendo un valor promedio del 42% entre las resistencias a la mayor velocidad de desplazamiento de 3.29 nudos. A dicha velocidad se obtienen valores de resistencia al avance de 2.77 Kg y 1.64 Kg en las dos condiciones respectivamente. También se observa que entre el rango de velocidad de 2.6 a 3.2 nudos existe un leve cambio en la tendencia de las dos curvas, probablemente debido a la interacción producida por la longitud de onda y la eslora del modelo aumentando y disminuyendo la resistencia; a medida que va aumentando la velocidad, esa tendencia se va perdiendo.

Método de García

Las formulaciones de García para el cálculo de la resistencia del prototipo se implementaron en una hoja de cálculo de Excel. En la Tabla VIII, se presenta los datos del modelo con bulbo, con los cuales se hace las relaciones prototipo-modelo, [12], para calcular las componentes que conforman la resistencia total en las dos condiciones de carga.

Dimensiones Principales		Unid.	Salida de Puerto	Cargado
Eslora entre perpendiculares	Lpp	[m]	1.79	1.79
Eslora de la flotación	Lf	[m]	1.89	1.92
Manga	B	[m]	0.47	0.47
Calado en sección media	Tm	[m]	0.132	0.186
Coefficiente de Bloque	Cb	----	0.55	0.64
Superficie Mojada	Sm	[m ²]	0.976	1.230
Protuberancia	le	[m]	0.044	0.044
Densidad	ρ	[Kg*s ² /m ⁴]	102.04	102.04
Viscosidad Cinemática	ν	[m ² /s]	8.93E-07	8.93E-07

Tabla 8. Datos para calcular la resistencia al avance en las dos condiciones del modelo con bulbo

Con los resultados obtenidos de la implementación de la hoja electrónica Excel con las formulaciones del método de “García” para las 2 condiciones de carga y el caso con la influencia del bulbo, se prepara el siguiente gráfico comparativo: Resistencia vs Velocidad.

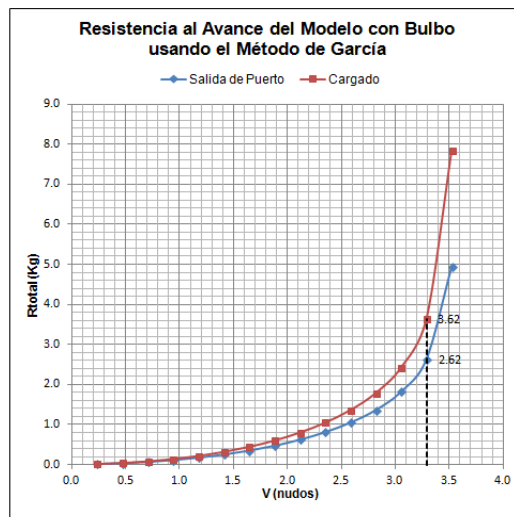


Figura 8. Resistencias al Avance en las dos condiciones de carga para el modelo con bulbo

Se observa en la Figura 8, que la resistencia al avance del modelo en la condición Cargado es mayor en promedio un 24% que en Salida de Puerto. A la velocidad equivalente de diseño del modelo 3.29 nudos se obtienen valores de resistencia al avance de 3.62 Kg y 2.62 Kg, en las dos condiciones respectivamente. También se aprecia que a medida que aumenta la velocidad, la resistencia tiene un crecimiento constante sin ningún cambio brusco en la tendencia de la curva.

6. Descripción de la Prueba Experimental

A falta de un canal de experiencias hidrodinámicas para la realización de esta prueba, fue necesario desarrollar una alternativa para suplir esta necesidad, por lo cual surgió la idea de utilizar el lago artificial de la Facultad de Ingeniería Marítima, Ciencias Biológicas, Oceánicas y Recursos naturales. Este lago cuenta con una longitud y ancho promedio de 483 m y 78.27 m respectivamente. Las pruebas experimentales que se realizan con el modelo, son desarrolladas usando una lancha de aluminio de 3.1 m de eslora propulsada con un motor fuera de borda de 6hp, la cual debe remolcar mediante un brazo mecánico de aluminio adaptado a su costado, al modelo a escala. Se consideró operar con una separación entre la lancha y el modelo a escala de 2.5 m por medio del brazo mecánico. Esto para evitar la influencia de la estela producida por la lancha mientras navega, sobre la propia estela que produce el modelo, lo que puede afectar la precisión de la prueba

La viga “C” del brazo de arrastre se fijó a la regala de la lancha de aluminio con unos tacos de madera y 2 pernos de 1” en cada lado. En el otro extremo del brazo tiene un vástago y con cabo se sujeta a la celda de carga colocada en el modelo, véase la Figura 9. Se instaló también un cable para graduar la inclinación del brazo y controlar la dirección de halado.

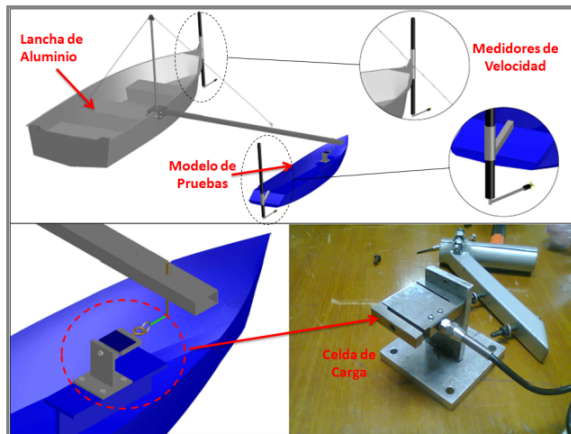


Figura 9. Conjunto de Brazo de Arrastre y Modelo para las Pruebas Experimentales

La celda de carga instalada en el modelo, transmite una señal en mv proporcional a la fuerza de halado, la cual es registrada con una tarjeta de adquisición de datos en un computador portátil. La velocidad de avance del modelo y la de estela del mismo, se registran a través de los medidores de velocidad de flujo; además la velocidad del viento, se registra a través de un medidor de velocidad de viento, ó anemómetro.

Los equipos utilizados en las pruebas experimentales son:

- i. una celda de carga
- ii. una tarjeta de adquisición de datos
- iii. un computador portátil
- iv. una fuente de poder
- v. un convertidor de poder
- vi. una batería de 12 V
- vii. dos medidores de velocidad de flujo
- viii. un anemómetro
- ix. un termómetro
- x. un winche manual
- xi. un motor fuera de borda de 6 hp

Se muestra en la figura 10 el montaje esquemático, de los equipos en el interior del bote de remolque, para el desarrollo de la prueba experimental:

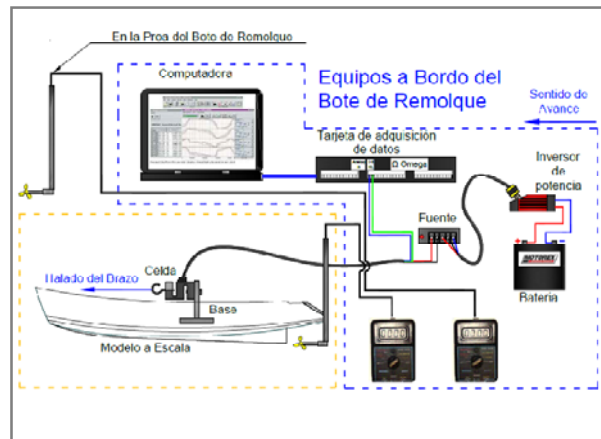


Figura 10. Esquema de Accesorios y Equipos

Una vez que el equipo está instalado en la lancha se inician las pruebas. La persona en la proa se encarga de anotar el tiempo de registro en cada prueba, y de verificar con el medidor de velocidad que ésta se mantenga constante por el tiempo de registro. La persona en la Sección Media del bote se encarga del computador y de los equipos de medición. Las personas en la popa se encargan de maniobrar el motor fuera de borda de 6 HP, manteniendo la velocidad constante por el tiempo necesario y en una ruta lo más recta posible y en registrar fotográficamente el ensayo como se ve en la figura 11.



Figura 11. Realización del ensayo de remolque

Para las pruebas experimentales, se configuró la tarjeta de adquisición de datos con el programa Daqview, para convertir y grabar 120 registros/seg de datos generados por la celda de carga. Las pruebas tenían una duración de un minuto por cada velocidad. Los valores en mv fueron convertidos a kilogramos, usando la siguiente expresión:

$$Resistencia(kg) = \frac{Resistencia(mV) * \frac{50lb}{2.9941 \frac{mV}{V} * 1V}}{2.204 \frac{lb}{kg}}$$

donde:

Resistencia(mv)= Valor generado por la celda de carga.

50= Máxima fuerza de tensión que puede resistir la celda expresado en lb.

2.9941=Factor dado por el fabricante de la celda, expresado en mv/v

11= Voltaje provisto por la fuente de poder

7. Análisis de los Resultados Experimentales

En la Figura 12, se muestra las curvas de tendencia de la resistencia al avance en condición Salida de puerto para el modelo sin bulbo y con la influencia de los bulbos Elíptico y Peonza, de los resultados obtenidos mediante la celda de carga y convertidos con la expresión anterior. Se usaron polinomios de segundo orden con sus respectivas ecuaciones para este fin.

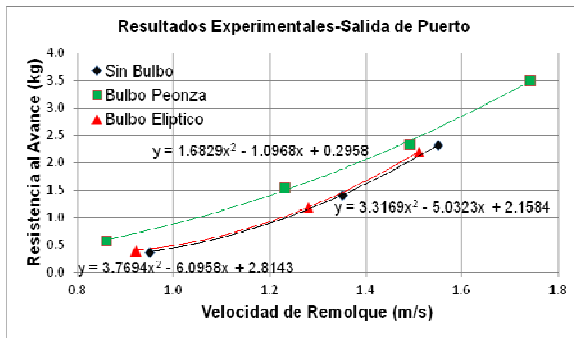


Figura 12. Curvas de Tendencia de Resultados Experimentales- Condición Salida de Puerto

En la Figura anterior se observa, que las curvas de resistencia al avance con el bulbo elíptico y peonza, se encuentran por encima de la curva sin ellos. Entonces para esta condición de carga, los bulbos causan un incremento de la resistencia al avance en todo el rango de velocidades, siendo el bulbo peonza, el que más incremento en resistencia produce. Para comprender mejor, la razón probable de la diferencia significativa entre el incremento de resistencia producido por el bulbo peonza frente al elíptico, a continuación, en la Figura 13, se grafican los resultados de las velocidades de avance del modelo frente a las del viento durante la prueba, usando líneas de tendencia con polinomios de primer orden.

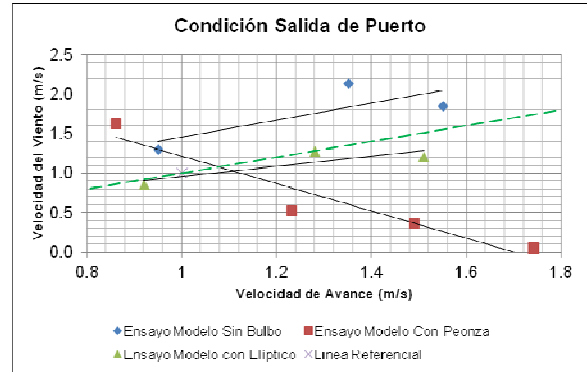


Figura 13. Tendencia de Velocidades del Viento frente a la velocidad de Avance-Salida de Puerto

Se puede observar, que en la Figura anterior, se incluye una línea intermitente llamada “línea referencial”, cuya pendiente es uno. Esta línea indica la condición más favorable de experimentación, en la que se tiene que la velocidad del viento es la misma que la velocidad de avance del modelo. Por lo tanto, se podría decir que el ensayo realizado con el modelo sin bulbo y con el bulbo elíptico, estuvo menos afectado por ráfagas de viento ya que sus líneas de tendencia de velocidades del viento, están más cercanas a la referencial con pendientes positivas. Sin embargo, la línea de tendencia de velocidad del viento para el ensayo del modelo con el bulbo peonza, tiene una tendencia opuesta a la línea referencial. Entonces se puede decir que existieron durante esa prueba corrientes de viento que probablemente afectaron de alguna forma los resultados registrados.

En la Figura 14, se muestra las curvas de tendencia de la resistencia al avance en condición Cargado para el modelo sin bulbo y con la influencia de los bulbos Elíptico y Peonza.

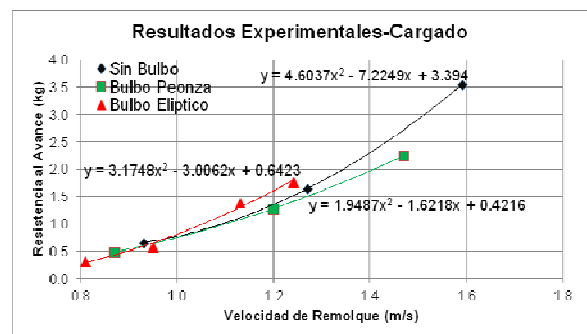


Figura 14. Curvas de Tendencia de Resultados Experimentales- Condición Cargado

En la figura anterior se observa, un ligero incremento de la resistencia por la influencia del bulbo Elíptico a partir de 0.95 m/s, respecto del caso sin bulbo. Sin embargo, la presencia del bulbo Peonza, produce una

reducción de la resistencia en todo el rango de velocidades de prueba.

8. Comparación de Resultados Empíricos vs. Experimentales

Se comparan los resultados teórico-experimentales de la resistencia al avance. En la Figura 15, se presentan estos resultados para la condición Salida de Puerto del modelo sin bulbo y con bulbo. Los teóricos fueron calculados con los métodos de Holtrop, y García, y los experimentales mediante ensayos de remolque del modelo incluyendo los bulbos peonza y elíptico.

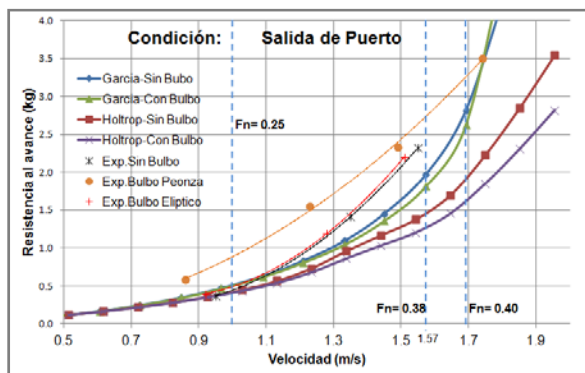


Figura 15. Resultados Teórico-Experimentales del modelo en la Condición Salida de Puerto

Como se puede apreciar en la Figura 15, los resultados experimentales están sobre los teóricos, manteniendo una curvatura similar para un Fn menor que 0.38. Se puede ver, que la curva experimental de resistencia del modelo sin bulbo, tienen una tendencia similar aunque con resultados superiores a los teóricos dentro del rango de números de Froude de aplicación del método de García, comprendido entre 0.25 a 0.40 y a los de Holtrop hasta 0.38.

Se observa que la curva experimental del modelo con el bulbo peonza, se aproxima únicamente con las curvas teóricas del método de García con y sin bulbo, en un valor de resistencia de 3.5 kg a la velocidad de 1.74 m/s. Sin embargo se puede ver que esta aproximación se da fuera del límite máximo del número de Froude indicado en el método de García.

Las curvas experimentales del modelo sin bulbo y con el bulbo elíptico, tienen una buena coincidencia con los resultados teóricos de Holtrop y García en el mismo caso, para un $Fn \leq 0.25$. Estos resultados, están dentro del rango de número de Froude de aplicación con el Método de Holtrop pero fuera del límite inferior del método de García.

En la Figura 16, al igual que la figura anterior, se presentan los resultados teóricos y experimentales de la resistencia al avance para la condición Cargado del modelo sin bulbo y con bulbo.

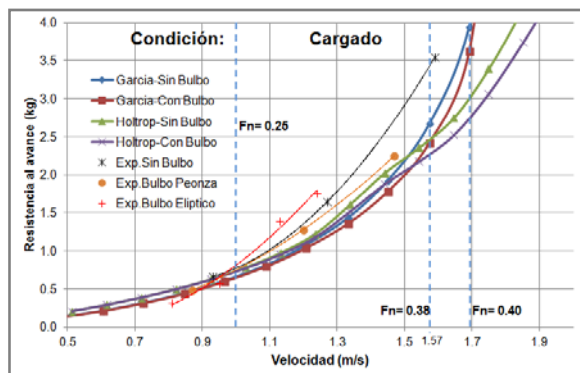


Figura 16. Resultados Teórico-Experimentales del modelo en la Condición Cargado

Como se puede apreciar en la Figura 16, los resultados experimentales al igual que en la condición Salida de puerto, están por encima de los resultados teóricos, pero con valores más cercanos a los teóricos y con tendencias de curvas similares por debajo de un número de Froude de 0.38.

Se observa también que la curva de resistencia experimental del modelo sin bulbo, tiene una tendencia similar a la teórica con el método de García en el rango de aplicación para números de Froude desde 0.25 hasta 0.40, pero con resultados más cercanos a los del método de Holtrop hasta su número de Froude máximo de aplicación de 0.38.

Se nota también que la curva de resistencia experimental del modelo con el bulbo peonza, tiene una buena aproximación y tendencia similar a la curva de resistencia teórica de los métodos de Holtrop y García, siendo la del método de Holtrop la más cercana hasta un máximo número de Froude (0.38) de aplicación del método.

La curva de resistencia experimental del modelo con el bulbo elíptico, para un Fn mayor que 0.25, pierde similitud en la tendencia con las curvas teóricas de los métodos de Holtrop y García para el mismo caso.

Las curvas de resistencia experimentales del modelo sin bulbo y con los bulbos elíptico y peonza, tienen una buena aproximación con los resultados teóricos de los métodos de Holtrop y García, para un Fn menor que 0.25. Estos resultados están dentro del rango de número de Froude de aplicación con el Método de Holtrop (0.38) pero fuera del límite inferior del método de García (0.25).

9. Conclusiones

Luego de realizados los cálculos de resistencia al avance, usando los métodos de Holtrop y García, y, compararlos con los resultados obtenidos en los ensayos de remolque para el modelo del buque pesquero “Don Fausto V”, con la influencia de los bulbos de proa en las dos condiciones, se puede concluir:

El proceso para definir la geometría del bulbo de proa, no es un proceso sencillo. Luego de la revisión bibliográfica que se estableció al comienzo de este trabajo, únicamente se pudo encontrar el método semi-empírico del profesor Núñez a nivel de aplicación ingenieril para dimensionar el bulbo. Sin embargo la embarcación analizada, no satisfizo todos los parámetros de aplicación descritos por el autor, aunque este método es de fácil aplicación.

Debido a la cantidad de puntos de control que se usaron para generar las superficies suavizadas para la definición de la geometría de los bulbos de proa y a la alta curvatura, es un proceso complicado de establecer. Además en este trabajo únicamente se trató la definición de la geometría, por lo que eventualmente se debería pensar no solo en generarla sino también en cómo construir los bulbos.

Los métodos de Holtrop y García, aunque son métodos de fácil y común aplicación en nuestro medio, el usuario debe estar consciente, que no pueden ser aplicados para estimar la resistencia de cualquier embarcación. Hay la necesidad inicial de comprobar si se puede usar estos métodos de acuerdo con su rango de aplicación. Durante la presente tesis, se usaron algunas formulaciones empíricas y se cuestionó la utilidad de las mismas, por lo que el usuario antes de usar cualquier formulación de tipo empírico, debe comprobar los parámetros en los cuales es aplicableútil.

El proceso experimental utilizado en este trabajo, es relativamente barato, pero tiene sus inconvenientes por la logística de transporte y montaje de los equipos a bordo. Una de las mayores dificultades que se enfrentó durante la prueba, fue la inestabilidad direccional del modelo del buque pesquero. El modelo tendía a avanzar con una inclinación respecto al bote y era necesario corregir este defecto con la posición de los pesos.

Las estimaciones de resistencia con el método de García y con el método de Holtrop, producen valores que están por debajo de los resultados experimentales. Sin embargo se han reportado localmente otros casos, en los cuales analizando experimentalmente contra los resultados teóricos, estas formulaciones entregan resultados por debajo de los reales.

En función de los resultados encontrados luego del desarrollo de las pruebas experimentales, los bulbos de proa en la condición de Salida de Puerto no funcionan, posiblemente porque estos no están completamente sumergidos. Esto es bastante conocido, de que en esa condición los bulbos incrementan la resistencia al avance. En la condición Cargado, se encontró que el bulbo que implica una reducción en la resistencia al avance en todo el rango de velocidad de pruebas es el tipo Peonza.

9. Referencias

- [1] www.junsa.com.ec
- [2] M. V. Engeland., “FREE!ship manual” Versión 2.6. 2006.
- [3] NUÑEZ BASAÑEZ., Primer Seminario Internacional Sobre Bulbo, Colegio de Ingenieros Navales del Ecuador. Guayaquil 2002.
- [4] VAN MANEN J.D and VAN OOSSANEN P., Resistance, Capítulo V en PNA volumen II editado por Lewis E. SNAME.1988.
- [5] www.globalsecurity.or
- [6] AUTODESK., “AutoCad” Versión 2011. 2011.
- [7] J. HOLTROP AND M. MENNEN., A Statistical Re-Analysis of Resistance and Propulsion Data. International Ship Building Progress, Vol. 31. Noviembre 1984.
- [8] GARCÍA GÓMEZ. A., Predicción de Potencia y Optimización del Bulbo de Proa de Buques Pesqueros. Revista Ingeniería Naval, No 670. España Abril 1991.
- [9] ITTC 8th International Towing Tank Conference; “Proceedings”; Madrid; Año 1957.
- [10] ALVARINO RICARDO, AZPIROZ JUAN y MEIZODO MANUEL., El Proyecto Básico del Buque Mercante. Colegio Oficial de Ingenieros Navales. Madrid 1997.
- [11] ARAUZ D. y VARGAS A. “Implementación del método de HOLTROP”. Programación Aplicada I, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Año 2010.
- [12] VACA B., Notas de clases para Resistencia y Propulsión, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Año 2006.
- [13] ITTC 23th International Towing Tank Conference; “Model Manufacture Ship Model”; USA; Año 2002.
- [14] ASTILLEROS NAVALES ECUATORIANOS, Proyecto de un Buque de Investigación Oceanográfica para la Armada del Ecuador, SIRIUS. 2011.