



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería Marítima, Ciencias Biológicas, Oceánicas y
Recursos Naturales**

**DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE LA INFLUENCIA DEL BULBO DE
PROA EN UNA EMBARCACIÓN SARDINERA ECUATORIANA.**

TESIS DE GRADO

Previa la obtención del Título de

INGENIERO NAVAL

Presentado por:

JORGE LENIN GÓMEZ HOLGUÍN

GERARDO PATRICIO HIDALGO VICUÑA

Guayaquil-Ecuador

2012

AGRADECIMIENTO

A Dios, por cuidar cada uno de mis pasos y llevarme a ser quien soy; a mis amigos y profesores por su apoyo y enseñanzas, en especial al Ph.D. José R. Marín López por su paciencia y orientación en el desarrollo de este trabajo.

Jorge Gómez

AGRADECIMIENTO

A Dios, por guiarme en todo el camino de mi vida; a mi familia, amigos y profesores por sus enseñanzas y constante apoyo, especialmente al Ph.D. José R. Marín López por su paciencia y orientación en el desarrollo de este trabajo.

Gerardo Hidalgo

DEDICATORIA

A mi madre Sandra, nunca me alcanzara la vida para devolverte todo lo bueno que me has dado. A mi padre Jorge, a mi hermano Carlos y a todos mis seres queridos que esperaban con ansias este momento.

Jorge Gómez

DEDICATORIA

A Dios y a mi madre Yanín por ser mi fuente de inspiración. A mi padre Gerardo, hermanos Diego y María Fernanda, sobrinas Dayna y Dallyanna por su apoyo incondicional y por la constante motivación que me han brindado. A toda mi familia por ser partícipes de este logro.

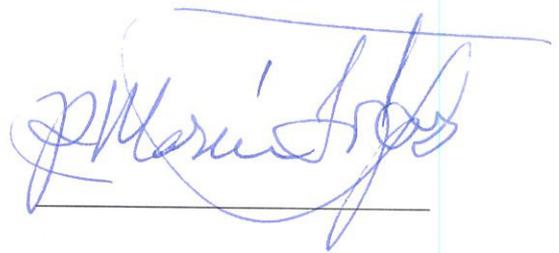
Gerardo Hidalgo

TRIBUNAL DE GRADO



Cristóbal Mariscal Díaz, M.Sc.

Presidente del Tribunal



José R. Marín López, Ph. D.

Director de Tesis



Bolívar Vaca Romo, M.Sc.

Miembro Principal

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestas en esta tesis, corresponden exclusivamente a su autor, y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado corresponderá a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”.

(Reglamento de Exámenes y Títulos Profesionales de la ESPOL)



Jorge Lenin Gómez Holguín



Gerardo Patricio Hidalgo Vicuña

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. La embarcación alcanza según el Armador, una velocidad máxima de 14 nudos. Para el dimensionamiento del bulbo se tomó como guía la formulación desarrollada por el Ing. Núñez, donde se comprobó que en la embarcación no era aplicable dicha adaptación. A pesar de ello, 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 tipo 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 dos formulaciones: la de Holtrop, y la de García, siendo la segunda específicamente aplicable a buques pesqueros. La embarcación cumple con una de las cuatro restricciones, del método de Holtrop y en todas las restricciones de García. Holtrop, requiere para el cálculo de la influencia del bulbo como características, el área transversal y la posición vertical del centroide. Mientras que García, estima la influencia del bulbo en base a formulaciones empíricas obtenidas con el buque sin bulbo. Se determinó teóricamente que los métodos mencionados, predicen una

reducción en la resistencia al avance al incluir un bulbo de proa en las dos condiciones de carga analizadas.

Para la determinación experimental de la resistencia al avance, se construyó un modelo de 2.0 metros en madera y fue remolcado desde 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 las fuerzas de resistencia al avance con la colocación de los bulbos peonza y elíptico eran superiores a 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.

Finalmente se compararon los resultados teóricos y experimentales. Se determina que para la condición de Salida de Puerto, las curvas de resistencia experimental del modelo sin bulbo y con los bulbos Peonza y Elíptico están por encima de las curvas teóricas de los dos métodos. Para la condición Cargado, las curvas de resistencia experimental, se mantienen por encima de las curvas teóricas, pero con valores mucho más cercanos.

INDICE GENERAL

	PÁG.
RESUMEN	VII
ÍNDICE GENERAL.....	IX
ÍNDICE DE TABLAS	XI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIV
ÍNDICE DE APENDICES.....	XVIII
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1	
Adaptación del bulbo en la proa de una embarcación sardinera típica Nacional.....	4
1.1 Descripción de la embarcación a ser analizada.....	4
1.2 Cálculo de las dimensiones de los dos tipos de bulbos.....	12
1.3 Modelización de los bulbos mediante el programa FREE!ship.....	19
1.4 Adaptación de los diferentes bulbos de proa en el casco de la embarcación modelada.	23
CAPÍTULO 2	
Análisis Preliminar sobre la Influencia de Dos tipos de Bulbo empleando los métodos de Holtrop y de García.....	30

2.1 Cálculo de la Resistencia al Avance del Modelo de la Embarcación Sin Bulbo.	30
2.2 Cálculo de la Resistencia al Avance del Modelo de la Embarcación con Bulbo.	45
2.3 Análisis de la Influencia de los Bulbos.	58
Capítulo 3	
Determinación del tipo de bulbo con mejor comportamiento hidrodinámico..	67
3.1 Descripción y Construcción de los Modelos.	67
3.2 Resultados experimentales en aguas tranquilas con y sin bulbo.	79
3.3 Análisis de los resultados experimentales.	94
3.4 Comparación de los resultados teóricos y experimentales.	107
CONCLUSIONES.	114
RECOMENDACIONES.	118
APÉNDICES.	120

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla No. I Características Generales del “B/P: Don Fausto V”	8
Tabla No. II Características Principales del Modelo y Prototipo	11
Tabla No. III Aplicabilidad del Método de Núñez a la embarcación analizada.	15
Tabla No. IV Dimensiones del Bulbo para el Modelo	18
Tabla No. V-A Características hidrostáticas de las distintas condiciones de estudio.	27
Tabla No. V-B Características hidrostáticas de las distintas condiciones de estudio.	28
Tabla No. VI Rangos de aplicación de la formulación de Holtrop y Mennen, [10].	33
Tabla No. VII Comprobación de los rangos de aplicación del método de Holtrop y Mennen, [10].	34
Tabla No. VIII Datos de entrada para calcular la resistencia al avance del modelo en las dos condiciones de carga.	35
Tabla No. IX Resistencia Total del modelo y sus componentes en la condición Salida de Puerto.	36
Tabla No. X Resistencia Total del modelo y sus componentes en la condición Cargado.	37
Tabla No. XI Rangos de aplicación del Método de García, [8].	40
Tabla No. XII Datos de entrada para calcular la Resistencia al Avance del barco real en las dos condiciones de carga.	41
Tabla No. XIII Datos de entrada para calcular la Resistencia al Avance del modelo en las dos condiciones de carga.	42
Tabla No. XIV Resistencia Total al Avance del modelo sin Bulbo y sus componentes en la condición Salida de Puerto.	42

Tabla No. XV Resistencia Total al Avance del modelo sin Bulbo y sus componentes en la condición Cargado.....	43
Tabla No. XVI Datos para ingresar al programa para calcular la resistencia al avance con bulbo en las dos condiciones de carga.....	47
Tabla No. XVII Resistencia Total al Avance del modelo con Bulbo y sus componentes en la condición Salida de Puerto.	48
Tabla No. XVIII Resistencia Total al Avance del modelo con Bulbo y sus componentes en la condición Cargado.....	49
Tabla No. XIX Datos de entrada para calcular la Resistencia al Avance del barco real con bulbo en las dos condiciones de carga	53
Tabla No. XX Datos de entrada para calcular la resistencia al avance en las dos condiciones del modelo con bulbo.	54
Tabla No. XXI Resistencia Total al Avance del modelo con bulbo y sus componentes en la condición Salida de Puerto	55
Tabla No. XXII Resistencia Total al Avance del modelo con bulbo y sus componentes en la condición Cargado.....	56
Tabla No. XXIII Diferencias en Resistencia Total para la velocidad de diseño del modelo (3.29 nudos).	62
Tabla No. XXIV Listado de equipos usados en el desarrollo de la prueba experimental	75
Tabla No. XXV Datos de prueba - Modelo Sin Bulbo – Con Bulbo Peonza – Con Bulbo Elíptico.	80
Tabla No. XXVI Resultado de Ensayo en Condición de Salida de Puerto - Modelo Sin Bulbo – Con Bulbo Peonza – Con Bulbo Elíptico.....	83
Tabla No. XXVII Datos de prueba - Modelo Sin Bulbo – Con Bulbo Peonza – Con Bulbo Elíptico.	86
Tabla No. XXVIII Resultado de Ensayo en Condición Cargado - Modelo Sin Bulbo – Con Bulbo Peonza – Con Bulbo Elíptico.....	89
Tabla No. XXIX Desviación Estándar de las Fuerzas Promedio Medidas por la Celda de Carga en las dos Condiciones de Desplazamiento	92

Tabla No. XXX Resistencia Total del barco real con sus componentes en la condición Salida de Puerto	147
Tabla No. XXXI Resistencia Total del barco real con sus componentes en la condición Cargado	148
Tabla No. XXXII Resistencia Total del barco real con bulbo y sus componentes en la condición Salida de Puerto	150
Tabla No. XXXIII Resistencia Total del barco real con bulbo y sus componentes en la condición Cargado.....	151

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura No. 1 Vistas Generales de la Embarcación Prototipo.	6
Figura No. 2a Distribución General de la Embarcación Prototipo	7
Figura No. 2b Distribución General de la Embarcación Prototipo	8
Figura No. 3 Modelo a Escala de la Embarcación Prototipo.	10
Figura No. 4 Forma de los diferentes tipos de Olas de Proa, [5].	13
Figura No. 5 Dimensiones Principales del Bulbo de Proa	14
Figura No. 6 Parámetros de Aplicación del Método de Núñez para dimensionar el Bulbo de Proa.	15
Figura No. 7 Diagrama para Dimensionar el Bulbo de Proa [3]	17
Figura No. 8 Diseño de Bulbos en FREE!ship [2]	20
Figura No. 9 Sección Transversal de los Bulbos.	21
Figura No. 10 Esquema General para Modelar Superficies en FREE!ship... ..	22
Figura No. 11 Ventana para exportar a formato “*.part”	24
Figura No. 12 Ventana para importar el archivo “Peonza.part” en el programa FREE!ship.....	25
Figura No. 13 Bulbo tipo Elíptico adaptado al modelo de la embarcación Sardinera	26
Figura No. 14 Bulbo tipo Peonza adaptado al modelo de la embarcación Sardinera	26
Figura No. 15 Comparación de las resistencias en las dos condiciones de carga para el modelo sin bulbo con el método de Holtrop.	38
Figura No. 16 Comparación de las Resistencia al Avance del modelo sin bulbo en las dos condiciones de carga.	44
Figura No. 17 Comparación de las Resistencias al Avance en las dos condiciones de carga para el modelo con bulbo	50
Figura No. 18 Protuberancia del Bulbo (IB) medida desde la cuaderna 20 [4]	52

Figura No. 19 Comparación de las Resistencias al Avance del modelo con bulbo en las dos condiciones de carga.....	57
Figura No. 20 Comparación de los dos métodos de la influencia del Bulbo de Proa en la condición Salida de Puerto.....	59
Figura No. 21 Comparación de los dos métodos de la influencia del Bulbo de Proa en la condición Cargado.....	61
Figura No. 22 Comparación entre las Diferencias de la Resistencia al Avance utilizando los dos métodos en la condición Salida de Puerto con y sin bulbo del modelo.....	63
Figura No. 23 Comparación entre las Diferencias de la Resistencia al Avance utilizando los dos métodos en la condición Cargado con y sin bulbo del modelo.....	66
Figura No. 24 Proceso de construcción del modelo de buque pesquero a escala	69
Figura No. 25 Construcción de los Bulbos de Elíptico y Peonza Para el modelo a escala.....	70
Figura No. 26 Mecanismo de sujeción de los Bulbos al Modelo a Escala	71
Figura No. 27 Generadores de turbulencia.....	72
Figura No. 28 Conexión entre Lancha y Modelo de pruebas.....	73
Figura No. 29 Esquema de Remolque con la Celda de Carga y medidores de Velocidad	74
Figura No. 30a Esquema de Montaje de equipos de Medición.....	76
Figura No. 30b Arreglo general previo al ensayo de remolque.....	77
Figura No. 31a Grafico de resultados de resistencia al avance en la condición salida de puerto-Modelo Sin Bulbo	81
Figura No. 31b Gráfico de resultados de resistencia al avance en la condición salida de puerto-Modelo con Bulbo Peonza.....	82
Figura No. 31c Gráfico de resultados de resistencia al avance en la condición salida de puerto-Modelo con Bulbo Elíptico.....	82
Figura No. 32a Ensayo Salida de Puerto – Sin Bulbo de proa	84
Figura No. 32b Ensayo Salida de Puerto – Con Bulbo Peonza	85

Figura No. 32c Ensayo Salida de Puerto – Con Bulbo Elíptico.....	85
Figura No. 33a Gráfico de resultados de resistencia al avance en la condición Cargado-Modelo Sin Bulbo.....	87
Figura No. 33b Gráfico de resultados de resistencia al avance en la condición Cargado-Modelo con Bulbo Peonza	88
Figura No. 33c Gráfico de resultados de resistencia al avance en la condición Cargado-Modelo con Bulbo Elíptico.....	88
Figura No. 34a Ensayo Cargado – Sin Bulbo de Proa.....	90
Figura No. 34b Ensayo Cargado – Con Bulbo Peonza.....	91
Figura No. 34c Ensayo Cargado – Con Bulbo Elíptico	91
Figura No. 35 Curvas de Tendencia de Resultados Experimentales-Condición Salida de Puerto	95
Figura No. 36 Tendencia de Velocidades del Viento frente a la velocidad de Avance–Salida de Puerto	96
Figura No. 37 Factor de Estela - Condición Salida de Puerto.....	99
Figura No. 38 Diámetro de la Hélice del Medidor de Velocidad de Flujo	100
Figura No. 39 Curvas de Tendencia de Resultados Experimentales-Condición Cargado	101
Figura No. 40 Tendencia de Velocidades del Viento frente a la velocidad de Avance–Cargado	103
Figura No. 41Factor de Estela-Condición Cargado	105
Figura No. 42 Comparación de los Resultados Teórico-Experimentales del modelo en la Condición Salida de Puerto	108
Figura No. 43 Comparación de los Resultados Teórico-Experimentales del modelo en la Condición Cargado.....	111
Figura No. 44 Forma General del Bulbo Integrado	121
Figura No. 45 Forma General del Bulbo Postizo.....	122
Figura No. 46 Clasificación de los bulbos según el aspecto de las secciones	122
Figura No. 47Factor de corrección del área de la cuaderna maestra	128

Figura No. 48 Área de una Elipse	129
Figura No. 49 Imagen de Inicio del programa FREE!ship.....	132

INDICE DE APENDICES

APÉNDICE A.

Clasificación, parametros básicos que definen la geometria y cálculos de las dimensiones del bulbo de proa. 121

APÉNDICE B.

Terminos legales del uso del programa y tecnica de modelado de la superficies con FREE!ship. 131

APÉNDICE C.

Formulaciones para el cálculo de la resistencia al avance con el método de García. 142

APÉNDICE D.

Calculo de la resistencia al avance con el metodo de García para la embarcacion real sin bulbo en las dos condiciones de carga. 146

APÉNDICE E.

Calculo de la resistencia al avance con el metodo de García para la embarcacion real con bulbo en las dos condiciones de carga. 149

APÉNDICE F.

Descripción de los equipos mecánicos y electronicos usados en el ensayo de las pruebas experimentales de remolque 152

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 y el Bulbo. Pero el problema a resolver es qué formas debe tener el bulbo 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, [4]. Ante la ausencia de un canal de pruebas en el medio, se puede intentar halar un modelo desde una lancha con un dispositivo apropiado 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.

Objetivo General.

Determinar experimentalmente la influencia de la adaptación de dos tipos de bulbos de proa sobre la resistencia al avance de una embarcación sardinera típica Ecuatoriana.

Objetivos Específicos.

- Dimensionar el bulbo adecuado para la embarcación sardinera seleccionada usando el método de Núñez Basáñez, [3], el cual será ensamblado usando el programa FREE!ship, [2].
- Desarrollar un análisis preliminar sobre la influencia de dos tipos de bulbos con las mismas áreas seccionales sobre la resistencia al avance en una embarcación sardinera modelada empleando los métodos de Holtrop, [7] y García, [8].
- Comparar los resultados experimentales con los obtenidos empleando los métodos de Holtrop y García para el cálculo de la resistencia al avance.

Beneficios

Es conocido el efecto beneficioso que el bulbo de proa de un buque puede tener no solo sobre la resistencia al avance sino también en su comportamiento en el mar. Esta tesis presenta resultados experimentales obtenidos mediante un método alternativo, debido a la falta de un canal de pruebas en nuestro medio, que podrá beneficiar a la industria pesquera sardinera. Además se determina su influencia sobre la amortiguación del tren de olas generadas por el casco para reducir la resistencia al avance.

CAPÍTULO 1

ADAPTACIÓN DEL BULBO EN LA PROA DE UNA EMBARCACIÓN SARDINERA TÍPICA NACIONAL

1.1 Descripción de la embarcación a ser analizada.

Se describe la embarcación sardinera “B/P Don Fausto V” 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 alcanza según el Armador, una velocidad de 14 nudos y tiene su maquinaria principal hacia proa, con una sola línea de ejes. El modelo que sirve para estudiar la influencia del bulbo de proa en la embarcación mencionada, tiene una eslora total de 2 metros y un desplazamiento de 105 kg en condición Cargado. Finalmente se comparan algunas características hidrostáticas del prototipo y del modelo.

Se tomó como objeto de este estudio, la embarcación sardinera “B/P Don Fausto V”, de la empresa JUNSA, [1], cuya eslora total es de 36.58 metros con fondo en forma de V, doble china y un ángulo de astilla muerta de 10° como se puede apreciar en la Figura 1.

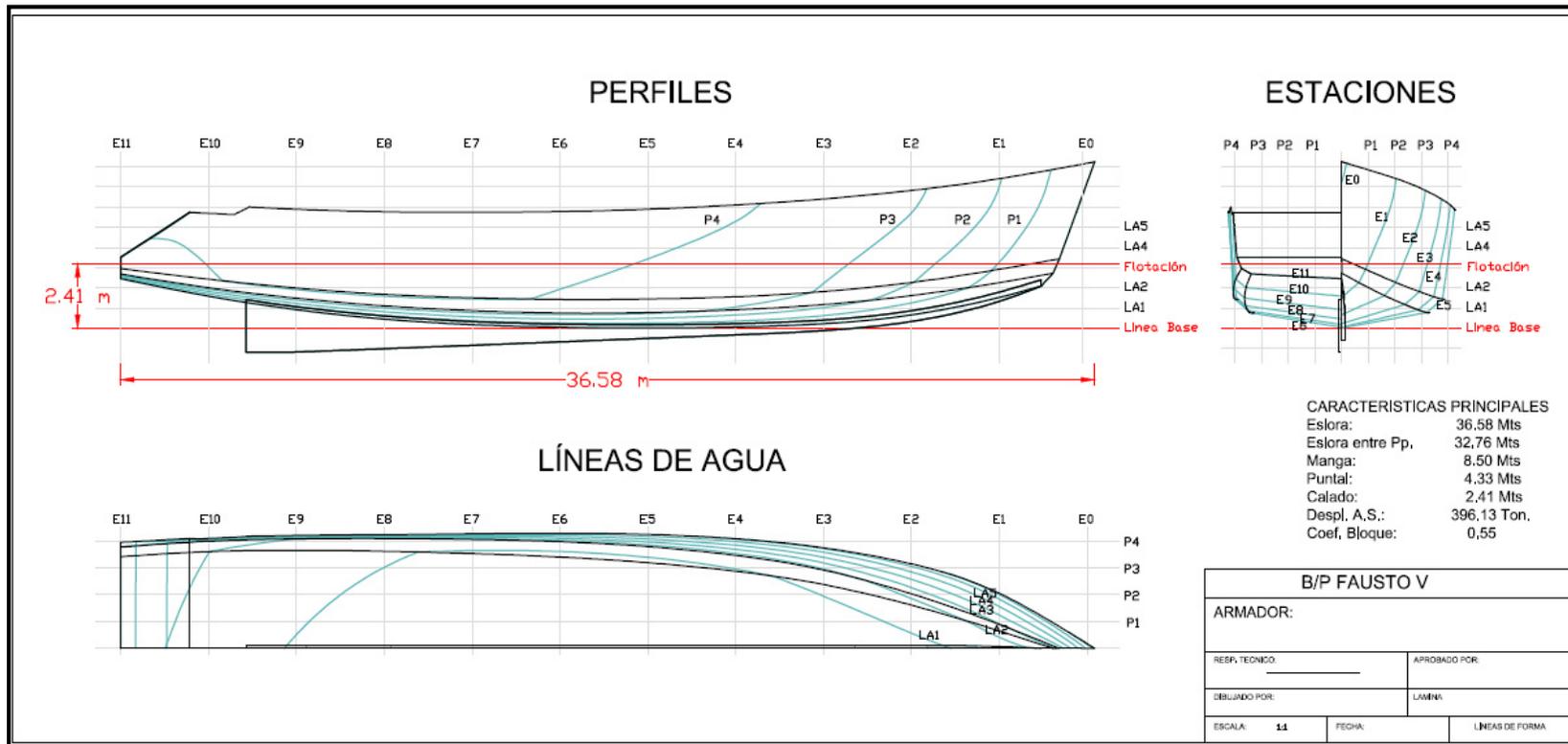


Figura No. 1 Vistas Generales de la Embarcación Prototipo.
Planos de Líneas de forma - JUNSA, [1]

Se observa en la Figura anterior, que las formas de la embarcación presentan un casco con fondo en "V" y con doble china. Esta forma del fondo es muy popular en este tipo de barcos debido a su bajo costo de construcción en comparación con aquellas embarcaciones cuyo casco posee un pantoque redondo.

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. La distribución general del buque se aprecia en las Figuras 2a y 2b, que incluye cuatro bodegas en la zona central, con un túnel entre ellas.

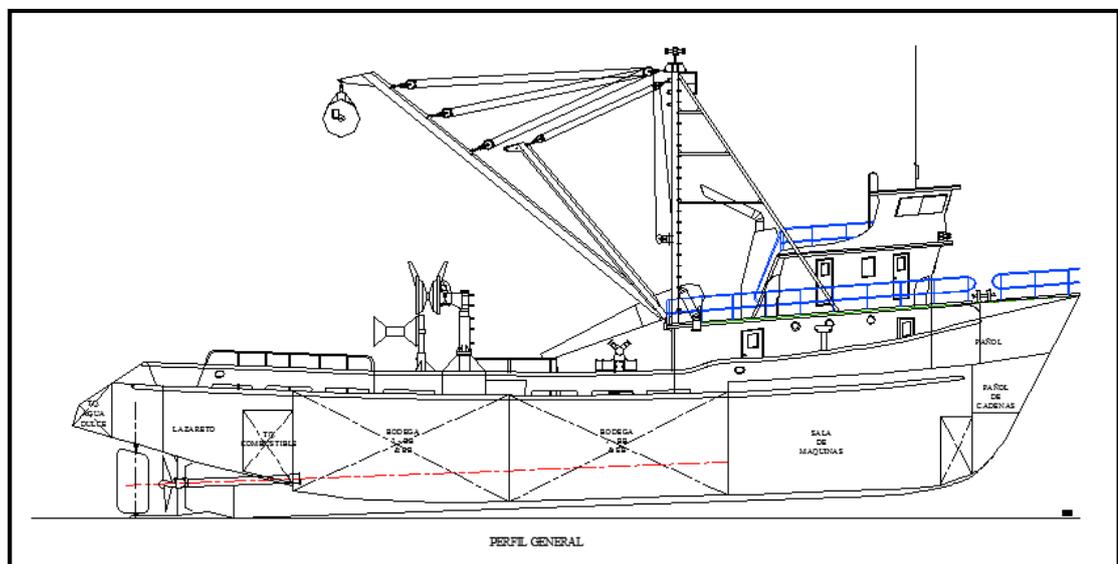


Figura No. 2a Distribución General de la Embarcación Prototipo
Planos de Distribución General - JUNSA, [1].

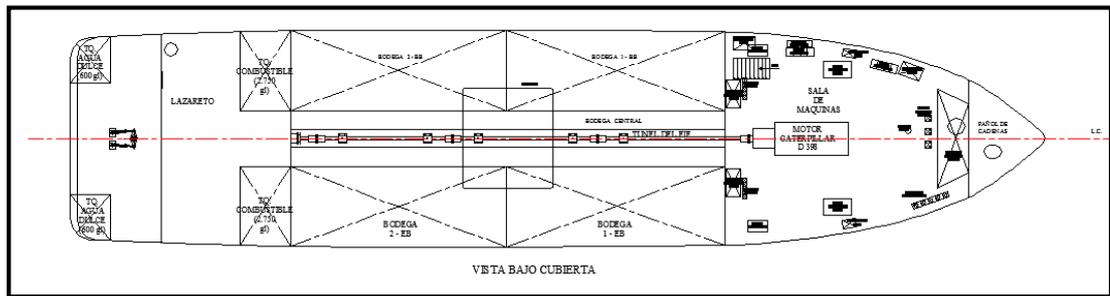


Figura No. 2b Distribución General de la Embarcación Prototipo
Planos de Distribución General - JUNSA, [1].

Se resume las dimensiones principales y características generales del buque prototipo en la Tabla I:

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
Coficiente de Bloque Salida de Puerto (T=2,41)	Cb		0.55
Coficiente de Bloque Cargado (T=3,41)	Cb		0.64

Tabla No. I Características Generales del "B/P: Don Fausto V"

La resistencia al avance de este buque pesquero será analizada con un modelo a escala de 2.00 metros de eslora total. Esta longitud se determinó

mediante la siguiente relación, que se obtiene igualando los números de Froude del Prototipo y Modelo:

$$L_M = \left(\frac{V_M}{V_S}\right)^2 * L_S \quad (1)$$

donde:

L_M = Eslora del modelo

V_M (Velocidad del bote para pruebas) = 1.77 m/s.

V_S (Velocidad del prototipo) = 14 Nudos (7.19 m/s)

L_S (Eslora del prototipo) = 36.58 m.

Para la obtención de las demás dimensiones del modelo, se aplica el factor de escala λ de 0.054, obtenido de la relación entre la eslora del modelo (L_M) y del prototipo (L_S). Las dimensiones finales del modelo se presentan en la Tabla II y fue construido en madera (Cedro de Castilla), con un peso ligero de 18.57 kg como se aprecia en la Figura 3.



Figura No. 3 Modelo a Escala de la Embarcación Prototipo.

Empleando el programa de Diseño Naval “FREE!ship”, [2], se obtienen algunas características hidrostáticas como los coeficientes de formas, que son de interés para el desarrollo de los métodos de resistencia, que se usarán en el capítulo siguiente. Estos resultados hidrostáticos se presentan junto con las dimensiones finales del modelo en la Tabla II.

<u>Dimensiones Principales</u>		Und.	PROTOTIPO		MODELO	
			Sin Bulbo		Sin Bulbo	
			Salida de Puerto	Cargado	Salida de Puerto	Cargado
Eslora entre perpendiculares	Lpp	[m]	32.380	32.740	1.790	1.790
Eslora de la flotación	Lf	[m]	35.180	34.620	1.890	1.920
Manga	B	[m]	8.500	8.500	0.470	0.470
Calado en sección media	Tm	[m]	2.410	3.410	0.132	0.186
Calado en Proa	Tpr	[m]	2.410	3.410	0.132	0.186
Calado en Popa	Tpp	[m]	2.410	3.410	0.132	0.186
Centro de boyantez longitudinal desde la sección media hacia popa	Lcb	[m]	-3.340	-3.530	-0.136	-0.147
<u>Coefficientes de Formas</u>						
Bloque	Cb	----	0.550	0.640	0.550	0.640
Sección Media	Cm	----	0.810	0.840	0.810	0.840
Prismático longitudinal	Cp	----	0.670	0.720	0.670	0.720
Plano de Flotación	Cf	----	0.820	0.800	0.820	0.800

Tabla No. II Características Principales del Modelo y Prototipo

Se puede notar que se mantienen constantes los coeficientes de formas para las diferentes condiciones de carga entre el prototipo y el modelo, dado que el factor de escala λ altera las dimensiones generales pero no sus formas.

1.2 Cálculo de las dimensiones de los dos tipos de bulbos.

Se describe la operación del bulbo que pretende la atenuación del sistema de olas de proa y la reducción consecuente de la resistencia generada por estas. Para el dimensionamiento del bulbo del prototipo se toma como guía la formulación desarrollada por el Ing. Núñez, [3]. Se determina que la protuberancia (X), la cual representa la distancia desde la perpendicular de proa (P_{Pr}) al punto más prominente del bulbo es de 0.77 m; la altura (h), que representa la ordenada desde la línea base en la perpendicular de proa (P_{Pr}) al punto más sobresaliente del bulbo es de 1.53 m; y el área (S_{c20}), que representa el área de la sección por la perpendicular de proa (P_{Pr}) del bulbo es de 1.58 m². Finalmente se resume el proceso detallado para el dimensionamiento de bulbos de proa en buques, usando un sencillo diagrama de flujo describiendo las fórmulas dadas por, [4].

En un buque, la instalación del bulbo tiene como objeto la atenuación del sistema de olas de Proa y como consecuencia la reducción de la resistencia por formación de estas. En la Figura 4, [5], se pueden observar tres trenes de olas generadas, la curva verde representa la ola natural generada por el casco de la embarcación, la azul representa la ola creada por el bulbo de proa y la roja es la resultante de la interacción de las dos olas mencionadas.

Se nota el beneficio que presenta la adaptación de un bulbo de proa a una nave al reducir la formación de olas.

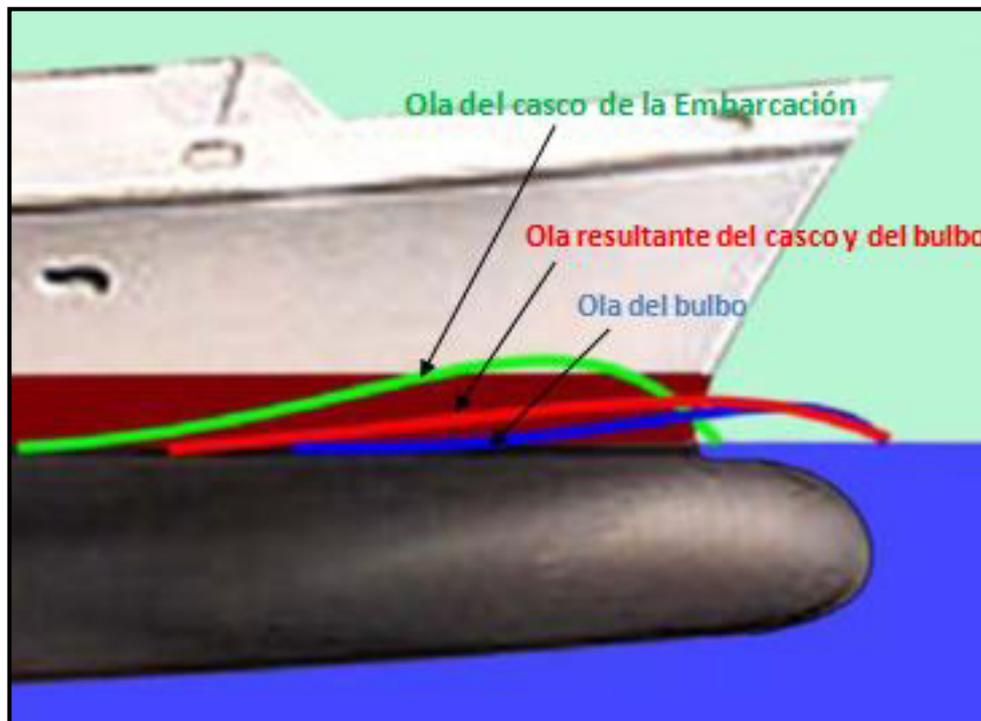


Figura No. 4 Forma de los diferentes tipos de Olas de Proa, [5].

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 cual representa la distancia horizontal desde la perpendicular de proa (P_{Pr}) al punto más sobresaliente del bulbo. La altura (h), representa la ordenada desde la línea base en la perpendicular de proa (P_{Pr}) al punto más predominante del bulbo y el área transversal (S_{c20}) representa el área de la sección por la perpendicular de proa (P_{Pr}) del bulbo. Ver Figura 5.

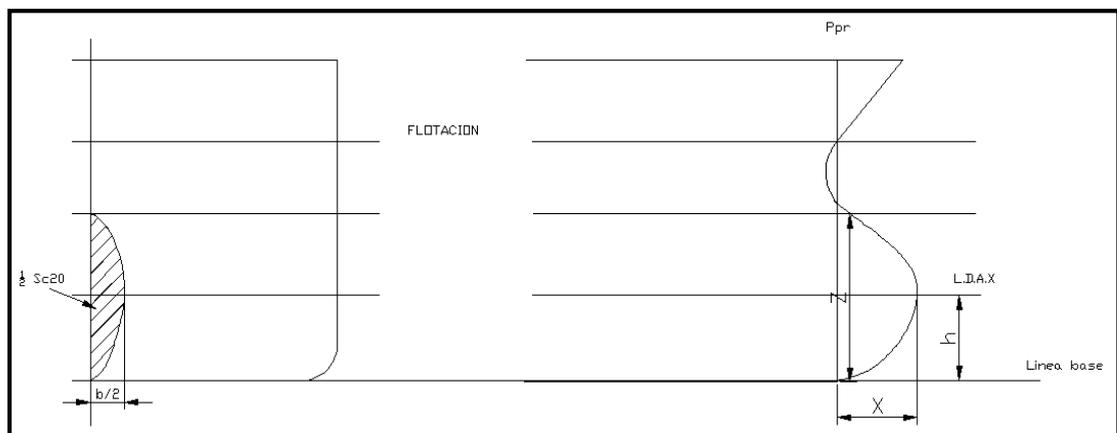


Figura No. 5 Dimensiones Principales del Bulbo de Proa

Existen también otras dimensiones que sirven para bosquejarlo como la manga del bulbo (b), que aunque no hay una formulación directa para deducirla, es calculada mediante una relación geométrica. (Ver Apéndice A).

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 mismo, Figura 6. Para esto se necesita cierta información del barco como es el coeficiente bloque (C_B), la eslora entre perpendiculares (L_{PP}) y la manga (B).

$0.60 < C_B < 0.815$	$5.5 < L_{PP}/B < 7$	$\frac{C_B * B}{L_{PP}} < 0.135$
----------------------	----------------------	----------------------------------

Figura No. 6 Parámetros de Aplicación del Método de Núñez para dimensionar el Bulbo de Proa.

Se resumen los cálculos realizados a continuación en la Tabla III, donde se observa para qué márgenes, aplica la formulación del profesor Núñez, [3], en la definición del bulbo de proa en las condiciones de carga analizadas.

Aplicabilidad del Bulbo respecto a los Parámetros		
	Condición Salida de Puerto	Condición Cargado
Parámetro 1	No aplica	Si aplica
Parámetro 2	No aplica	No aplica
Parámetro 3	No aplica	No aplica

Tabla No. III Aplicabilidad del Método de Núñez a la embarcación analizada.

Como se puede observar en la Tabla III, los parámetros dos y tres del buque analizado no están en el rango para aplicar el método de Núñez, y únicamente es aplicable para el primer parámetro en la condición Cargado. Sin embargo vale la pena seguir adelante en el desarrollo del mismo en base

a la formulación del profesor Núñez, [3], para finalmente en forma experimental comprobar su utilidad.

Para comprender mejor los pasos a seguir y los cálculos realizados para dimensionar el bulbo de Proa de un buque, se realiza un diagrama de flujo como se aprecia en la Figura 7. Se detalla también la formulación utilizada en cada paso.

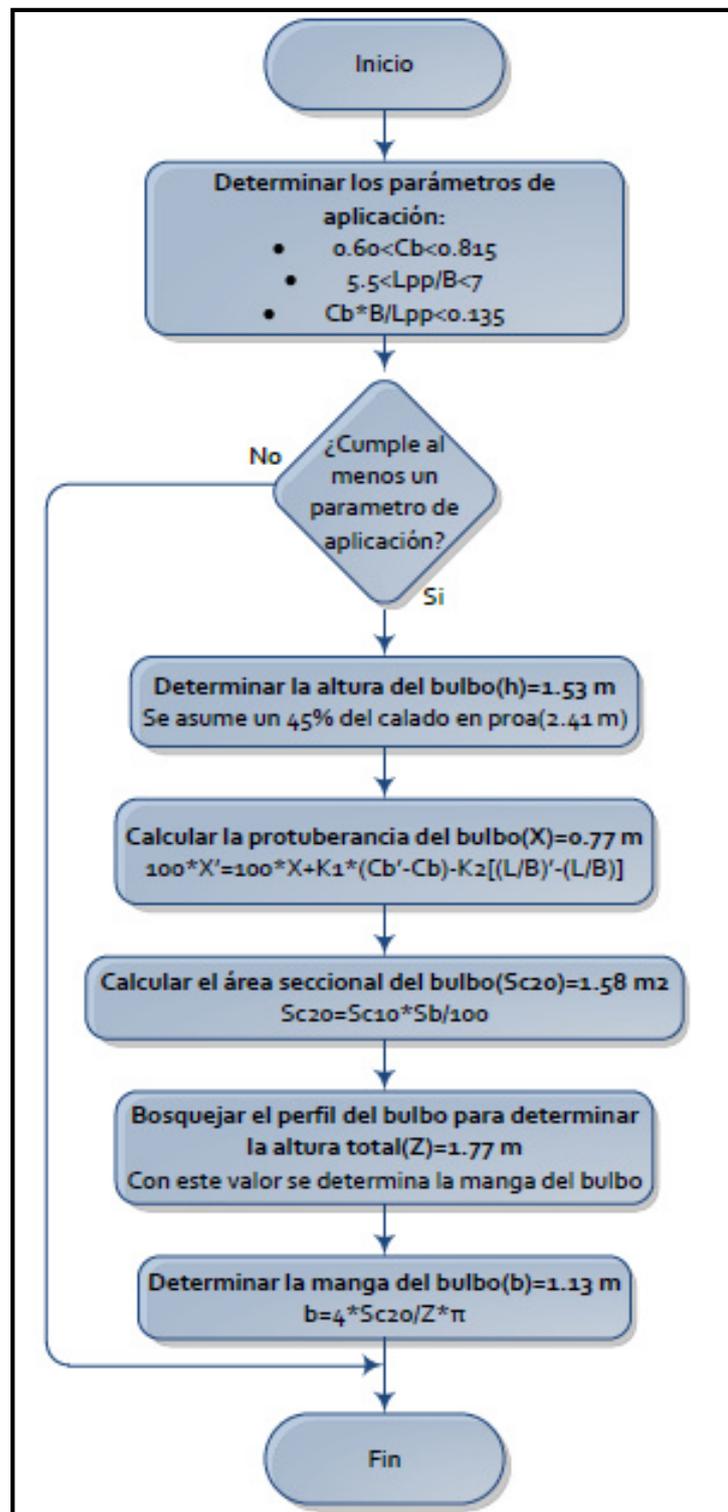


Figura No. 7 Diagrama para Dimensionar el Bulbo de Proa [3].

Una vez dimensionado el bulbo de Proa de la embarcación prototipo se aplica el factor de escala λ calculado previamente, para definir las dimensiones de los bulbos que se adaptarán a la proa del modelo, como se aprecia en la Tabla IV.

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 No. IV Dimensiones del Bulbo para el Modelo

1.3 Modelización de los bulbos mediante el programa FREE!ship.

Se describe ligeramente el programa FREE!ship, [2], usado en este trabajo para el modelado de los bulbos de proa. Se presentan las formas generadas del bulbo elíptico y peonza para el pesquero analizado, incluyendo un corte transversal en la perpendicular de proa (P_{Pr}) para comparar la diferencia en sus formas. Finalmente se resume el proceso detallado para el modelado futuro de cualquier superficie con el programa FREE!ship, [2], usando un diagrama de flujo en el cual se detallan los comandos principales del programa.

Para realizar el modelado de la embarcación analizada y los dos tipos de bulbos de proa que se van a estudiar experimentalmente, se utiliza el programa FREE!ship, [2]. Este es un programa de código abierto desarrollado por M. V. Engeland en el año 2005 y es destinado para el diseño de buques, en que el modelado se caracteriza de superficies controladas con puntos, las cuales están subdivididas en mallas.

La representación del modelo comenzó usando el plano de líneas de formas digitalizado en AutoCad, [6]. 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, (Ver apéndice B).

De una manera similar a la descrita en el párrafo anterior, se procede al diseño de los bulbos con los parámetros calculados previamente, véase la Tabla IV. Sin embargo en este caso, por ser un diseño nuevo, no se tiene un plano de líneas de formas del bulbo del cual sacar las coordenadas. Por lo que se insertan superficies cuyos puntos son movidos libremente, para definir la forma deseada de los bulbos, (ver apéndice B).

Se puede ver en la Figura 8, la forma que tienen los bulbos resultantes, los cuales se formaron utilizando 160 puntos cada uno, y pueden ser acoplados al modelo de la embarcación.

MODELO ELIPTICO

MODELO PEONZA

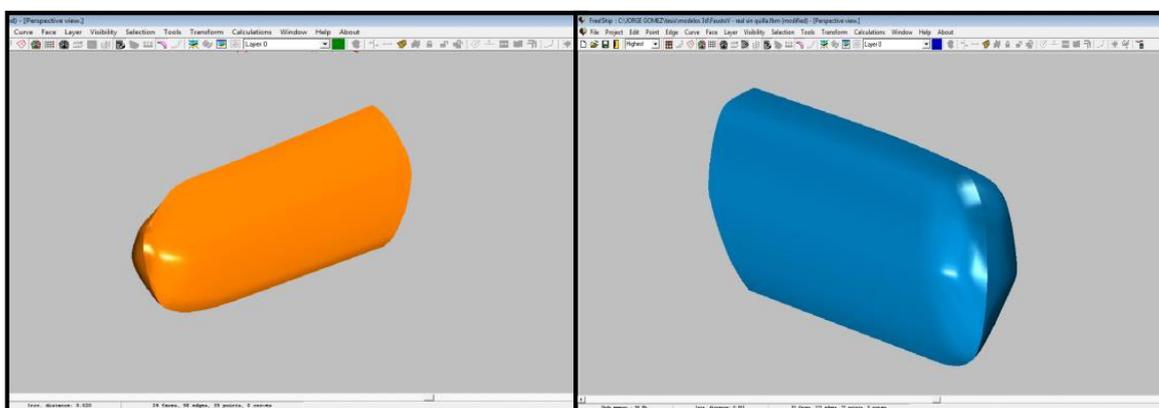


Figura No. 8 Diseño de Bulbos en FREE!ship [2]

La forma de la sección transversal de ambos bulbos que pasa a la altura de la perpendicular de proa, (P_{Pr}), se exporta al programa AutoCad [6], Figura 9.

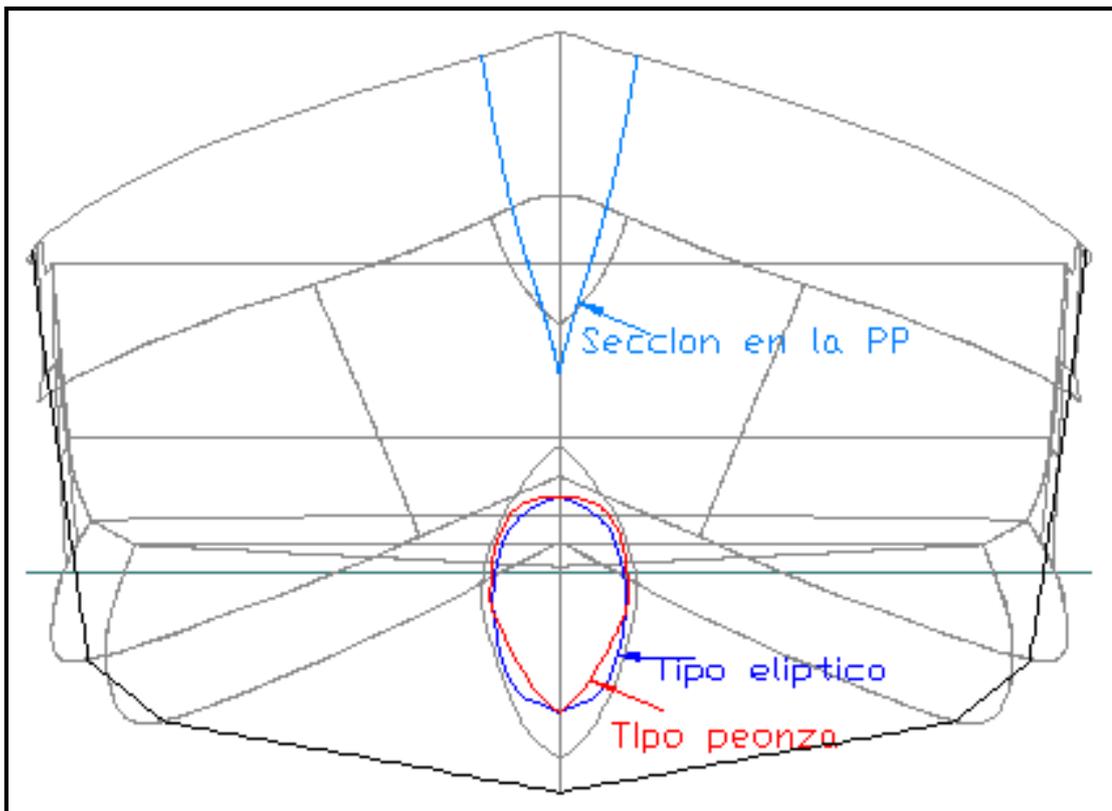


Figura No. 9 Sección Transversal de los Bulbos.

El proceso detallado de modelado de los bulbos de proa se muestra en el apéndice B. Sin embargo el esquema resumido que se presenta en la Figura 10, da una idea general del proceso a seguir, no solo para bulbos, sino para cualquier tipo de superficie que se necesite generar.

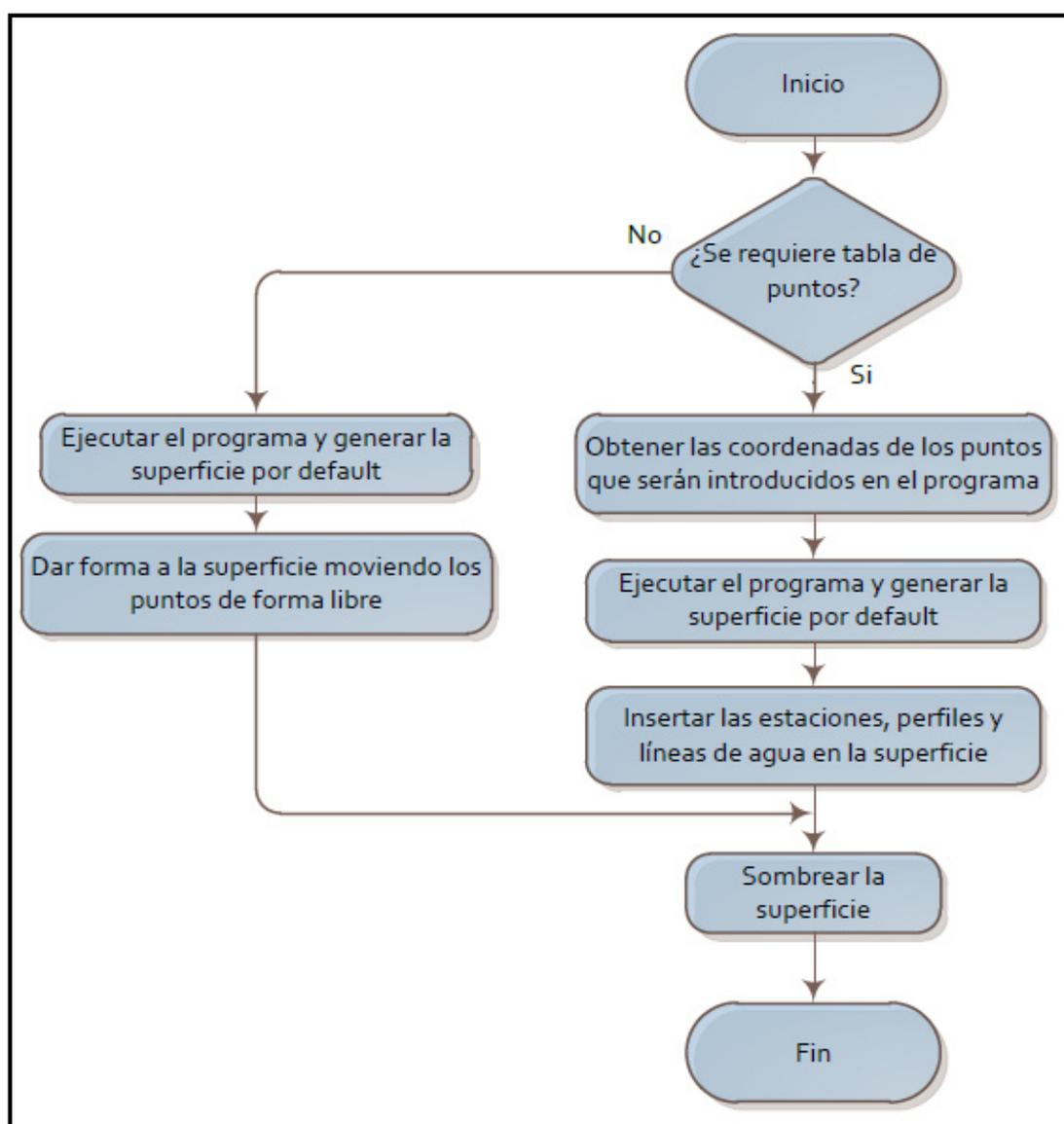


Figura No. 10 Esquema General para Modelar Superficies en FREE!ship

1.4 Adaptación de los diferentes bulbos de proa en el casco de la embarcación modelada.

Se describe el proceso de exportación de las superficies de los bulbos a un formato de ensamble que es reconocido por el programa FREE!ship, [2]. Se calculan y comparan las características hidrostáticas de los dos bulbos acoplados a la embarcación modelada para las diferentes condiciones de carga. Finalmente se resume en una Tabla las características hidrostáticas del modelo en mención, en las condiciones de Salida de Puerto (Ligera) y retorno (Cargado) con efecto del bulbo de proa con desplazamientos de 66 Kg y 106 Kg respectivamente.

Una vez desarrolladas las superficies de los bulbos de proa y del modelo de la embarcación, se adaptan mediante un proceso en el cual se exporta las superficies de los bulbos desde el programa FREE!ship, [2], a un formato de parte para ensamble (*.part) reconocido por el programa mencionado. Esta parte, será importada luego desde el archivo del modelo de la embarcación, cuyo formato es "*.fbm" para acoplarse a la proa.

Para el desarrollo de lo descrito en el párrafo anterior, las superficies de los bulbos se guardan en el computador en archivos con la extensión "*.part". En este caso los bulbos se guardaron con nombres "Peonza.part" y "Elíptico.part", como se aprecia en la Figura 11.

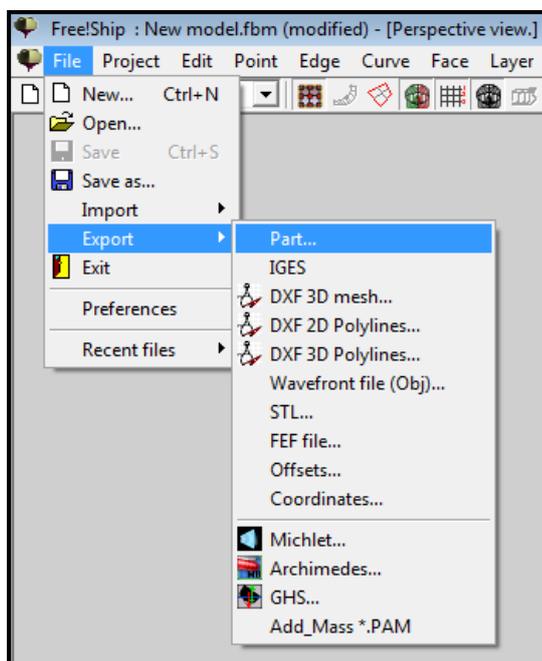


Figura No. 11 Ventana para exportar a formato “*.part”

Una vez guardados los bulbos con el formato mencionado, podrán ser importados desde el programa FREE!ship, [2]. Esto se logra una vez abierto el archivo del modelo y se ubica el apéndice en la posición de trabajo, determinada por la perpendicular de proa (P_{Pr}) y las demás referencias obtenidas del bosquejo del bulbo hecho en AutoCad, [6], Figura 12.

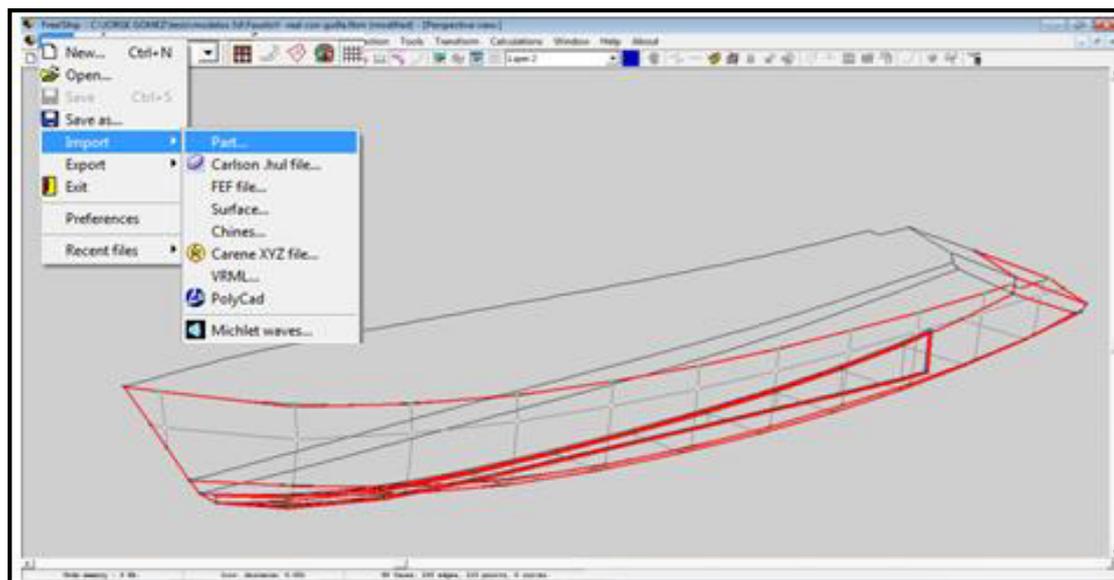


Figura No. 12 Ventana para importar el archivo “Peonza.part” en el programa FREE!ship.

Una vez que se ha importado el bulbo y ubicado en la posición geométrica del modelo obtenido en AutoCad, [6], se pueden sombrear las superficies y observar los resultados como se aprecia en las Figuras 13 y 14.

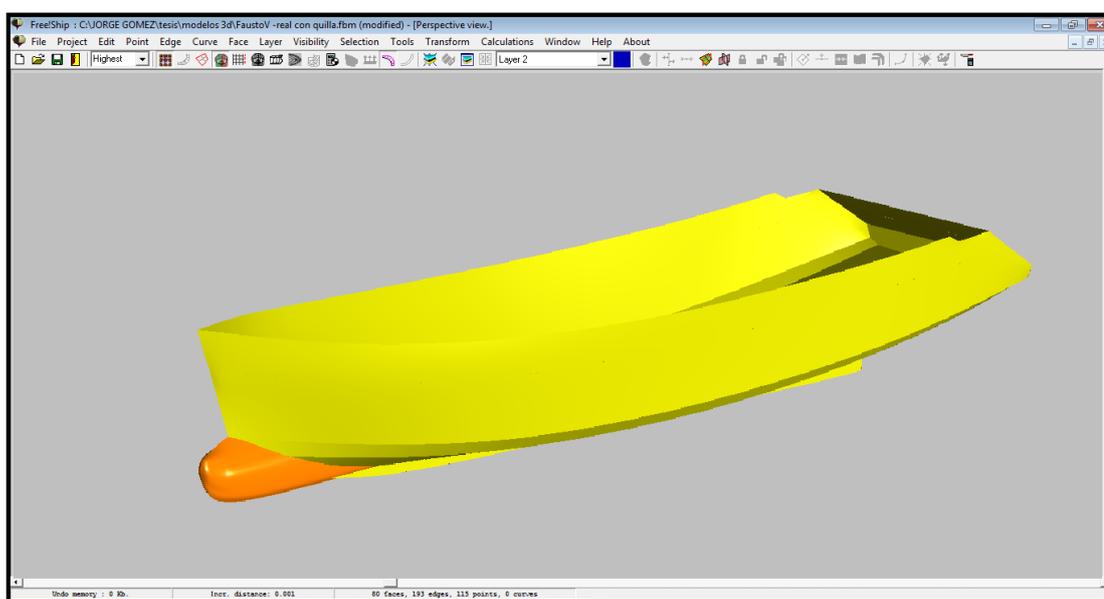


Figura No. 13 Bulbo tipo Elíptico adaptado al modelo de la embarcación Sardinera

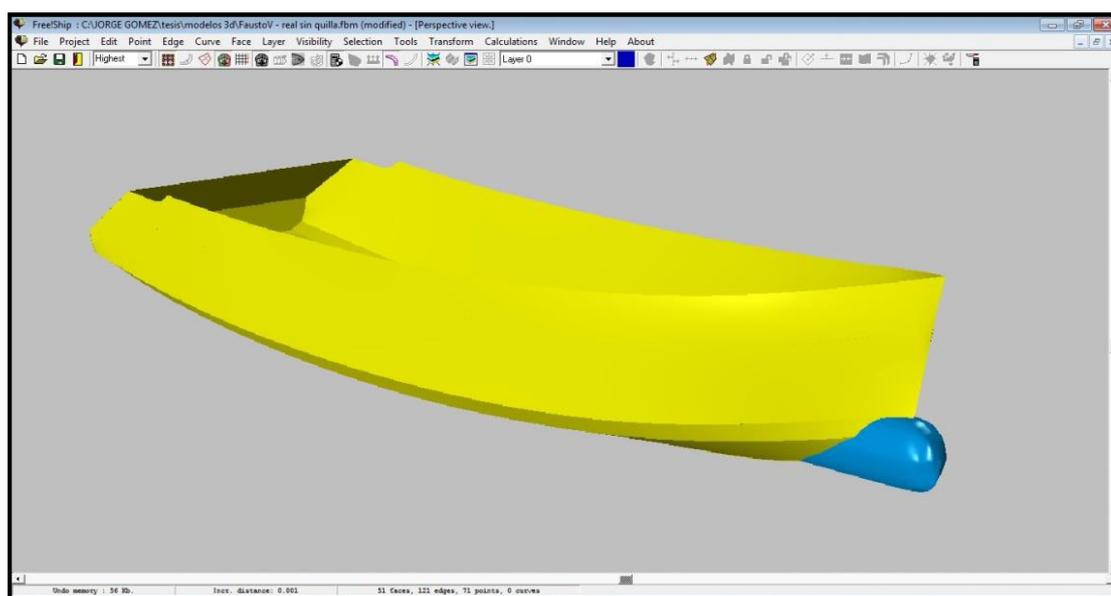


Figura No. 14 Bulbo tipo Peonza adaptado al modelo de la embarcación Sardinera

Con los bulbos acoplados finalmente al modelo, se obtienen algunas características hidrostáticas, las cuales se presentan en la Tabla V-A y V-B. Estos resultados se obtienen seleccionando la opción “Design Hydrostatics”, de la barra de herramientas de FREE!ship, [2].

			Sin Bulbo		Bulbo Elíptico y Peonza	
<u>Dimensiones Principales</u>		Und.	Salida de Puerto	Cargado	Salida de Puerto	Cargado
Eslora entre perpendiculares	Lpp	[m]	1.790	1.790	1.790	1.790
Eslora de la flotación	Lf	[m]	1.890	1.920	1.890	1.920
Manga	B	[m]	0.470	0.470	0.470	0.470
Calado en sección media	Tm	[m]	0.132	0.186	0.132	0.186
Calado en Proa	Tpr	[m]	0.132	0.186	0.132	0.186
Calado en Popa	Tpp	[m]	0.132	0.186	0.132	0.186
Centro de boyantez longitudinal desde la sección media hacia popa	Lcb	[m]	-0.136	-0.147	-0.115	-0.127
<u>Coeficientes de Formas</u>						
Bloque.	Cb	----	0.55	0.64	0.55	0.64
Sección Media.	Cm	----	0.81	0.84	0.81	0.84
Prismático Longitudinal	Cp	----	0.67	0.72	0.67	0.72
Plano de Flotación	Cf	----	0.82	0.80	0.82	0.84

Tabla No. V-A Características hidrostáticas de las distintas condiciones de estudio.

			Sin Bulbo		Bulbo Elíptico y Peonza	
<u>Superficie Mojada</u>		Und.	Salida de Puerto	Cargado	Salida de Puerto	Cargado
Superficie Mojada	Sm	[m ²]	0.962	1.210	1.066	1.340
Área mojada de los apéndices	Smap	[m ²]	0.003	0.003	0.003	0.003
Área mojada del espejo	Ae	[m ²]	0.010	0.034	0.010	0.034
Bulbo de Proa						
Área transversal del bulbo	Atb	[m ²]	0.000	0.000	0.0045	0.0045
Altura del bulbo	Hb	[m]	0.000	0.000	0.0817	0.0817
Otros datos						
Semiángulo de entrada	Le	[°]	28.77	29.15	28.77	29.15
Área en la cuaderna maestra	Am	[m ²]	0.049	0.074	0.049	0.074
Desplazamiento	V	[ton]	0.065	0.105	0.066	0.106
Características del Agua						
Densidad		[Kg/m ³]	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00
Viscosidad Cinemática		[m ² /s]	8.93E-07	8.93E-07	8.929E-07	8.929E-07

Tabla No. V-B Características hidrostáticas de las distintas condiciones de estudio.

Como se nota en la Tabla V-B, los resultados hidrostáticos muestran un incremento en el volumen de desplazamiento del modelo con los bulbos para las dos condiciones de carga. Se han presentado los resultados en una misma columna para los dos bulbos en las condiciones mencionadas, ya que la diferencia frente a los resultados del modelo sin bulbo es muy pequeña; y se observa a partir del cuarto y quinto decimal. Estos resultados

Hidrostáticos, se utilizarán en los cálculos de resistencia al avance con los distintos métodos los cuales se presentan en el capítulo siguiente.

CAPÍTULO 2

ANÁLISIS PRELIMINAR SOBRE LA INFLUENCIA DE DOS TIPOS DE BULBO EMPLEANDO LOS MÉTODOS DE HOLTROP Y DE GARCÍA.

2.1 Cálculo de la Resistencia al Avance del Modelo de la Embarcación Sin Bulbo.

Para desarrollar el cálculo de la resistencia al avance del modelo sin incluir la influencia del bulbo de Proa se utilizaron dos formulaciones, Holtrop, [7], y García, [8], siendo la primera de tipo general, y la segunda específicamente aplicable a buques pesqueros. Se encontró que la formulación de Holtrop, [7], para las proporciones del modelo analizado, que se ha considerado como de tipo costero, cumple con una de las cuatro restricciones, el número de

Froude y la relación B/T. Mientras que el método de García, [8], es aplicable en sus tres restricciones: eslora entre perpendiculares, número de Froude y la relación $C_b \times B/L_{pp}$. Considerando estas limitaciones se compararon los resultados de los dos métodos por separado, en condiciones de Salida de puerto y Cargado. A la velocidad máxima de 3.29 nudos del modelo, la condición Cargada tiene un incremento en la resistencia respecto de la Salida de Puerto del 40% empleando Holtrop, y 29% con el de García.

Se puede decir que existen tres métodos que pueden servir para el cálculo de la resistencia al avance de un buque. El método experimental que incluye ensayos con modelos, resultando un proceso costoso y lento. Luego el numérico que tiene diferentes herramientas de simulación por medio del computador que permiten estudiar sus formas hidrodinámicas, y el estadístico que utiliza análisis de regresión de resultados de ensayos con modelos, proveyendo fórmulas muy sencillas de aplicar; el riesgo de usar estas fórmulas está en que son aplicables únicamente en el rango de parámetros de los modelos de la base de datos.

En este trabajo se utilizan dos de los tres métodos mencionados para calcular la resistencia de un modelo de buque pesquero, el experimental que se lo desarrolla y explica con mayor detalle en el capítulo III y los estadísticos de Holtrop, [7], y García, [8], para comparar resultados.

Resistencia con el Método de Holtrop.

Es el más usado para estimaciones preliminares de propulsión en nuestro medio. En Febrero de 1977, la revista "International Ship Building Progress" publicó un artículo escrito por J. Holtrop, [7], que presentaba un procedimiento estadístico de predicción de potencia para buques. Luego en 1982, [7], y en colaboración con G.G.J. Mennen, J. Holtrop publicó en la misma revista algunas versiones mejoradas del procedimiento original. En estos trabajos se incluyeron diversas ventajas en la predicción de la resistencia dependiendo de las formas finas o gruesas de los buques y de alta o baja velocidad. 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.

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

$$R_T = R_F(1+k_1) + R_A + R_{Apend} + R_{EspSum} + R_{Olas} \quad (2)$$

siendo:

R_T ; Resistencia Total

- RF: Resistencia Friccional (ITTC – 1957), [9].
- $1 + k_1$: El factor de forma que describe la Resistencia Viscosa de la forma del casco en relación a la RF.
- RA: 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.

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 la Tabla VI, se presenta los rangos de las variables empleadas en la regresión de Holtrop para los diferentes tipos de barcos, [10]:

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
Carguero Rápido	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 No. VI Rangos de aplicación de la formulación de Holtrop y Mennen, [10].

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. A continuación se presenta la Tabla VII, donde se indica para qué rango de valores el método de Holtrop es aplicable.

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 No. VII Comprobación de los rangos de aplicación del método de Holtrop y Mennen, [10].

Como se puede observar en la Tabla anterior, el buque analizado solo satisface el último rango de aplicación. Sin embargo para efectos de comparación se lo va a aplicar.

En la Tabla VIII, se presenta la información hidrostática necesaria del modelo para aplicar el método de Holtrop, en las dos condiciones de carga mencionadas anteriormente:

<u>Dimensiones Principales</u>		Und.	Salida de Puerto	Cargado
Eslora entre perpendiculares	Lpp	[m]	1.790	1.790
Eslora de la flotación	Lf	[m]	1.890	1.920
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]	-0.136	-0.147
<u>Coefficientes de Formas</u>				
Bloque	Cb	----	0.55	0.64
Cuaderna maestra	Cm	----	0.81	0.84
Prismático	Cp	----	0.67	0.72
Plano de Flotación	Cf	----	0.82	0.82
<u>Superficie Mojada</u>				
Superficie Mojada	Sm	[m ²]	0.962	1.21
Área sumergida de los apéndices	Sm _{ap}	[m ²]	0.003	0.003
Área sumergida del espejo	Ae	[m ²]	0.010	0.034
<u>Otros datos</u>				
Semiángulo de entrada	ie	[°]	28.77	29.15
Área en la cuaderna maestra	Am	[m ²]	0.049	0.074
Desplazamiento	Δ	[ton]	0.064	0.105
<u>Características del Agua</u>				
Densidad		[Kg/m ³]	1000.00	1000.00
Viscosidad Cinemática		[m ² /s]	9.43E-07	9.43E-07

Tabla No. VIII Datos de entrada para calcular la resistencia al avance del modelo en las dos condiciones de carga.

Los datos de la Tabla anterior, son ingresados en un programa que ejecuta el método de Holtrop, el cual fue implementado en un proyecto de la materia Programación Aplicada I de la Facultad de Ingeniería Marítima, Ciencias

Biológicas, Oceánicas y Recursos Naturales, [11]. Los resultados de las componentes que conforman la resistencia total, para las dos condiciones de carga del modelo, se presentan a continuación en las Tablas IX y X.

Vel. (Nudos)	R. Fricc. (Kg)	R. Apend. (Kg)	R. Olas (Kg)	R. Trans. (Kg)	R. Correl. (Kg)	R. Total (Kg)
1.00	0.086	0.001	0.000	0.022	0.012	0.121
1.20	0.120	0.001	0.000	0.030	0.018	0.168
1.40	0.158	0.001	0.001	0.038	0.024	0.222
1.60	0.201	0.001	0.004	0.046	0.031	0.284
1.80	0.248	0.002	0.014	0.055	0.039	0.358
2.00	0.299	0.002	0.038	0.063	0.049	0.451
2.20	0.355	0.002	0.079	0.070	0.059	0.566
2.40	0.416	0.003	0.168	0.077	0.070	0.734
2.60	0.480	0.003	0.314	0.082	0.082	0.962
2.80	0.549	0.004	0.435	0.086	0.096	1.169
3.00	0.622	0.004	0.554	0.088	0.110	1.378
3.20	0.699	0.005	0.783	0.088	0.125	1.699
3.40	0.780	0.005	1.217	0.086	0.141	2.229
3.60	0.864	0.006	1.746	0.081	0.158	2.855
3.80	0.953	0.006	2.334	0.073	0.176	3.543

Tabla No. IX Resistencia Total del modelo y sus componentes en la condición Salida de Puerto.

Vel. (Nudos)	R. Fricc. (Kg)	R. Apend. (Kg)	R. Olas (Kg)	R. Trans. (Kg)	R. Correl. (Kg)	R. Total (Kg)
1.00	0.111	0.001	0.000	0.083	0.015	0.209
1.20	0.153	0.001	0.000	0.116	0.022	0.292
1.40	0.202	0.001	0.001	0.154	0.030	0.388
1.60	0.257	0.001	0.006	0.195	0.039	0.498
1.80	0.317	0.002	0.019	0.240	0.049	0.627
2.00	0.383	0.002	0.050	0.287	0.061	0.784
2.20	0.455	0.002	0.109	0.337	0.073	0.977
2.40	0.532	0.003	0.213	0.389	0.087	1.224
2.60	0.615	0.003	0.446	0.441	0.102	1.607
2.80	0.703	0.004	0.706	0.494	0.119	2.026
3.00	0.796	0.004	0.875	0.548	0.136	2.359
3.20	0.895	0.005	1.096	0.601	0.155	2.752
3.40	0.999	0.005	1.561	0.653	0.175	3.393
3.60	1.107	0.006	2.192	0.703	0.196	4.205
3.80	1.221	0.006	2.912	0.752	0.219	5.110

Tabla No. X Resistencia Total del modelo y sus componentes en la condición Cargado.

Como se observa en la Figura 15 y como era de esperarse, la resistencia al avance en la condición Cargada es mayor que a la Salida de Puerto, con un valor promedio del 40%. A la velocidad equivalente de diseño del modelo 3.29 nudos se obtiene valores de resistencia al avance de 3.01 Kg y 1.91 Kg en las dos condiciones respectivamente. Se observa además una alteración en la curvatura entre 2.6 y 3.4 nudos de velocidad, probablemente debido a la interacción producida por la longitud de onda y la eslora del modelo aumentando y disminuyendo la resistencia.

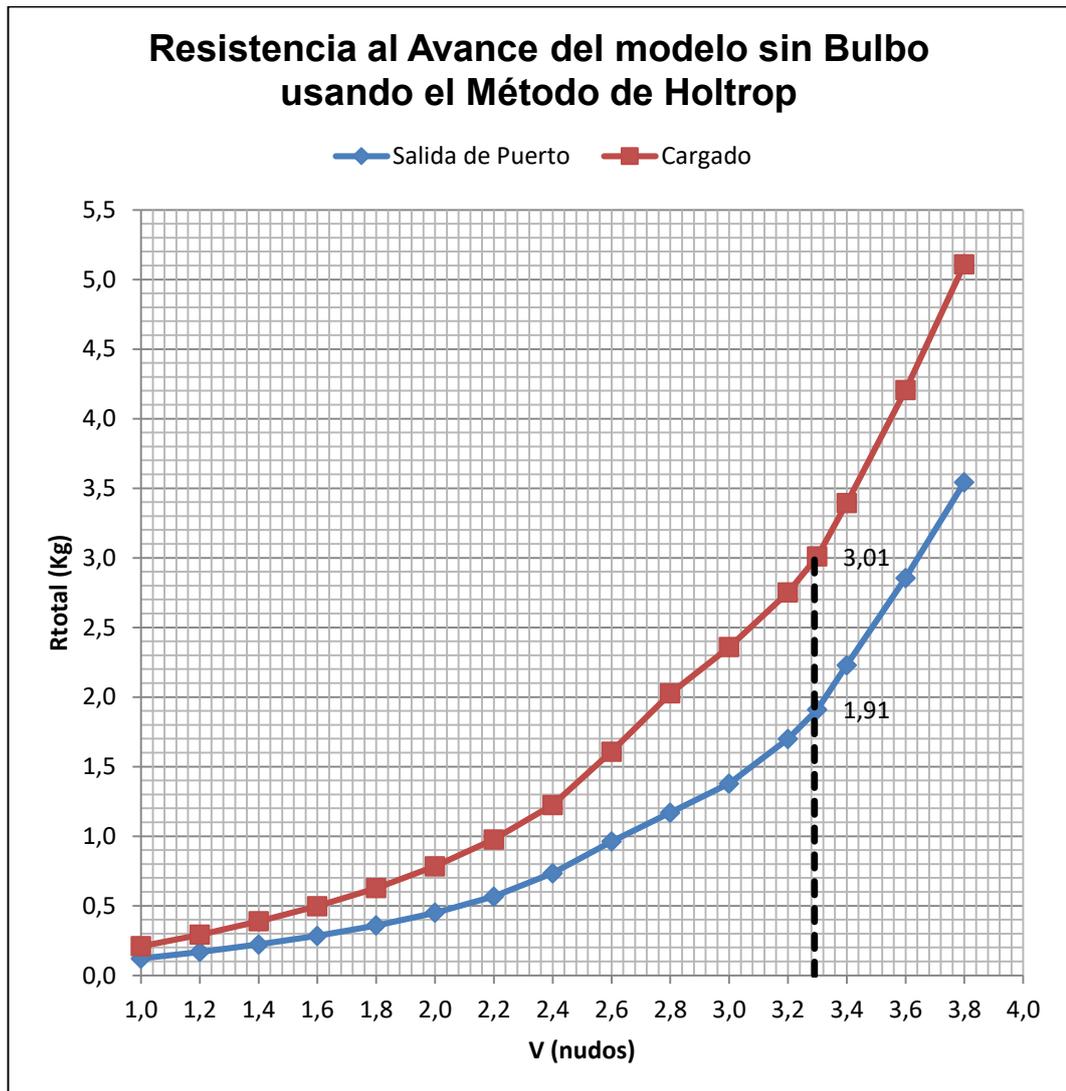


Figura No.15 Comparación de las resistencias en las dos condiciones de carga para el modelo sin bulbo con el método de Holtrop.

Resistencia con el Método de García.

En base a los resultados de un gran número de ensayos realizados en el canal de experiencias de “El Pardo” en Madrid, el Dr. García, desarrolló formulaciones sencillas para estimar la Resistencia al Avance específicamente de buques pesqueros, [8]. El método es aplicable para embarcaciones reales en un rango de eslora entre perpendiculares (L_{PP}) de 25 a 60 m.

Para el presente caso de estudio, el método de García, [8], no es directamente aplicable al modelo ya que fue desarrollado para embarcaciones reales. Por lo que la única manera de calcular la resistencia del modelo mediante este método, es obteniendo primero la de la embarcación prototipo y luego usando análisis dimensional, llevar estos resultados al modelo.

Antes que todo, dado que se trata de un método de regresión se debe comprobar si el prototipo satisface los rangos de aplicación enunciados por el autor. En la Tabla XI, se presentan los rangos de aplicación del método junto a las características de la embarcación prototipo (Véase Tabla II), cumpliendo cada uno de los requisitos.

Característica	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 (14nudos)	0.402 (14nudos)	Cumple
Cb * B/Lpp	0.095 – 0.165	0.142	0.166	Cumple

Tabla No. XI Rangos de aplicación del Método de García, [8].

La Resistencia Total al Avance de un buque con el método de García, [8], se la descompone de la siguiente forma:

$$R_{\text{Total}} = R_{\text{Friccional}} + R_{\text{Rugosidad}} + R_{\text{Residual}} \quad (3)$$

Las componentes detalladas en la fórmula (3) son calculadas usando las formulaciones presentadas por García, [8], y que se describen en el Apéndice C.

Entonces para estimar la Resistencia del modelo, se aplicó primero el método de García al prototipo, luego se empleó análisis dimensional, [12], y se calculó la Resistencia del modelo. En la Tabla XII se presenta los datos necesarios del barco prototipo, para realizar los cálculos utilizando el método de García, en las dos condiciones de carga.

<u>Dimensiones Principales</u>		Unid.	Salida de Puerto	Cargado
Eslora entre perpendiculares	Lpp	[m]	32.38	32.38
Eslora de la flotación	Lf	[m]	35.18	34.62
Manga	B	[m]	8.50	8.50
Calado en sección media	Tm	[m]	2.41	3.41
Coeficiente de Block	Cb	----	0.55	0.64
Superficie Mojada	Sm	[m ²]	322.54	407.92
Volumen de Desplazamiento	V	[m ³]	386.47	631.80
Viscosidad Cinemática	ν	[m ² /s]	9.43E-07	9.43E-07
Gravedad	g	[m/s ²]	9.8	9.8
Densidad Agua de Mar	ρ	[Kg*s ² /m ⁴]	104.59	104.59

Tabla No. XII Datos de entrada para calcular la Resistencia al Avance del barco real en las dos condiciones de carga.

Las formulaciones de García para el cálculo de la resistencia del prototipo se implementaron en una hoja de cálculo de Excel. Los resultados se presentan en el Apéndice D.

A continuación se presentan en la Tabla XIII, los datos del modelo que se usan para obtener los resultados de las componentes que forman la resistencia total en el método de García (Véase Tabla XIV y XV) después de haber aplicado las relaciones prototipo-modelo, [12].

<u>Dimensiones Principales</u>		Unid.	Salida de Puerto	Cargado
Eslora entre perpendiculares	Lpp	[m]	1.79	1.79
Eslora de la flotación	Lf	[m]	1.92	1.87
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
Densidad Agua Dulce	ρ	[Kg*s ² /m ⁴]	102.04	102.04
Viscosidad Cinemática	ν	[m ² /s]	8.929E-07	8.929E-07

Tabla No. XIII Datos de entrada para calcular la Resistencia al Avance del modelo en las dos condiciones de carga.

Fn	CR	Vel. (nudos)	Re	CF	CA	C. Total	R. Total (Kg)
0.029	0.0002	0.235	2.56E+05	0.006	0.004	0.010	0.007
0.058	0.0000	0.470	5.12E+05	0.005	0.004	0.009	0.028
0.087	0.0003	0.705	7.68E+05	0.005	0.004	0.009	0.061
0.116	0.0005	0.940	1.02E+06	0.005	0.004	0.009	0.107
0.144	0.0008	1.176	1.28E+06	0.004	0.004	0.009	0.169
0.173	0.0012	1.411	1.54E+06	0.004	0.004	0.009	0.248
0.202	0.0016	1.646	1.79E+06	0.004	0.004	0.010	0.348
0.231	0.0021	1.881	2.05E+06	0.004	0.004	0.010	0.473
0.260	0.0028	2.116	2.30E+06	0.004	0.004	0.011	0.631
0.289	0.0036	2.351	2.56E+06	0.004	0.004	0.011	0.831
0.318	0.0046	2.586	2.82E+06	0.004	0.004	0.012	1.094
0.347	0.0061	2.821	3.07E+06	0.004	0.004	0.014	1.452
0.375	0.0084	3.057	3.33E+06	0.004	0.004	0.016	1.973
0.404	0.0121	3.292	3.58E+06	0.004	0.004	0.020	2.815
0.433	0.0196	3.527	3.84E+06	0.004	0.004	0.027	4.450
0.462	0.0422	3.762	4.10E+06	0.004	0.004	0.050	9.274

Tabla No. XIV Resistencia Total al Avance del modelo sin Bulbo y sus componentes en la condición Salida de Puerto.

Fn	CR	Vel (nudos)	Re	CF	CA	C. Total	R. Total (Kg)
0.029	-0.0001	0.235	2.53E+05	0.006	0.004	0.010	0.010
0.058	0.0001	0.470	5.07E+05	0.005	0.004	0.010	0.035
0.087	0.0004	0.705	7.60E+05	0.005	0.004	0.009	0.077
0.116	0.0007	0.940	1.01E+06	0.005	0.004	0.009	0.137
0.144	0.0010	1.176	1.27E+06	0.004	0.004	0.009	0.217
0.173	0.0014	1.411	1.52E+06	0.004	0.004	0.010	0.319
0.202	0.0018	1.646	1.77E+06	0.004	0.004	0.010	0.448
0.231	0.0024	1.881	2.03E+06	0.004	0.004	0.010	0.610
0.260	0.0030	2.116	2.28E+06	0.004	0.004	0.011	0.817
0.289	0.0039	2.351	2.53E+06	0.004	0.004	0.012	1.082
0.318	0.0051	2.586	2.79E+06	0.004	0.004	0.013	1.435
0.347	0.0069	2.821	3.04E+06	0.004	0.004	0.015	1.928
0.375	0.0096	3.057	3.29E+06	0.004	0.004	0.017	2.672
0.404	0.0143	3.292	3.55E+06	0.004	0.004	0.022	3.950
0.433	0.0252	3.527	3.80E+06	0.004	0.004	0.033	6.773
0.462	0.0745	3.762	4.05E+06	0.004	0.004	0.082	19.274

Tabla No. XV Resistencia Total al Avance del modelo sin Bulbo y sus componentes en la condición Cargado.

Como se observa en la Figura 16, la Resistencia al Avance al igual que en el otro método, en la condición Cargada es mayor que a la Salida de Puerto, con una diferencia promedio del 24%. A la velocidad equivalente de diseño del modelo, 3.29 nudos, se obtiene una resistencia al avance de 3.95 Kg y 2.81 Kg en las dos condiciones respectivamente. Se observa además que a medida que aumenta la velocidad, las dos curvas presentan un constante incremento en su resistencia, sin ningún cambio en la curvatura.

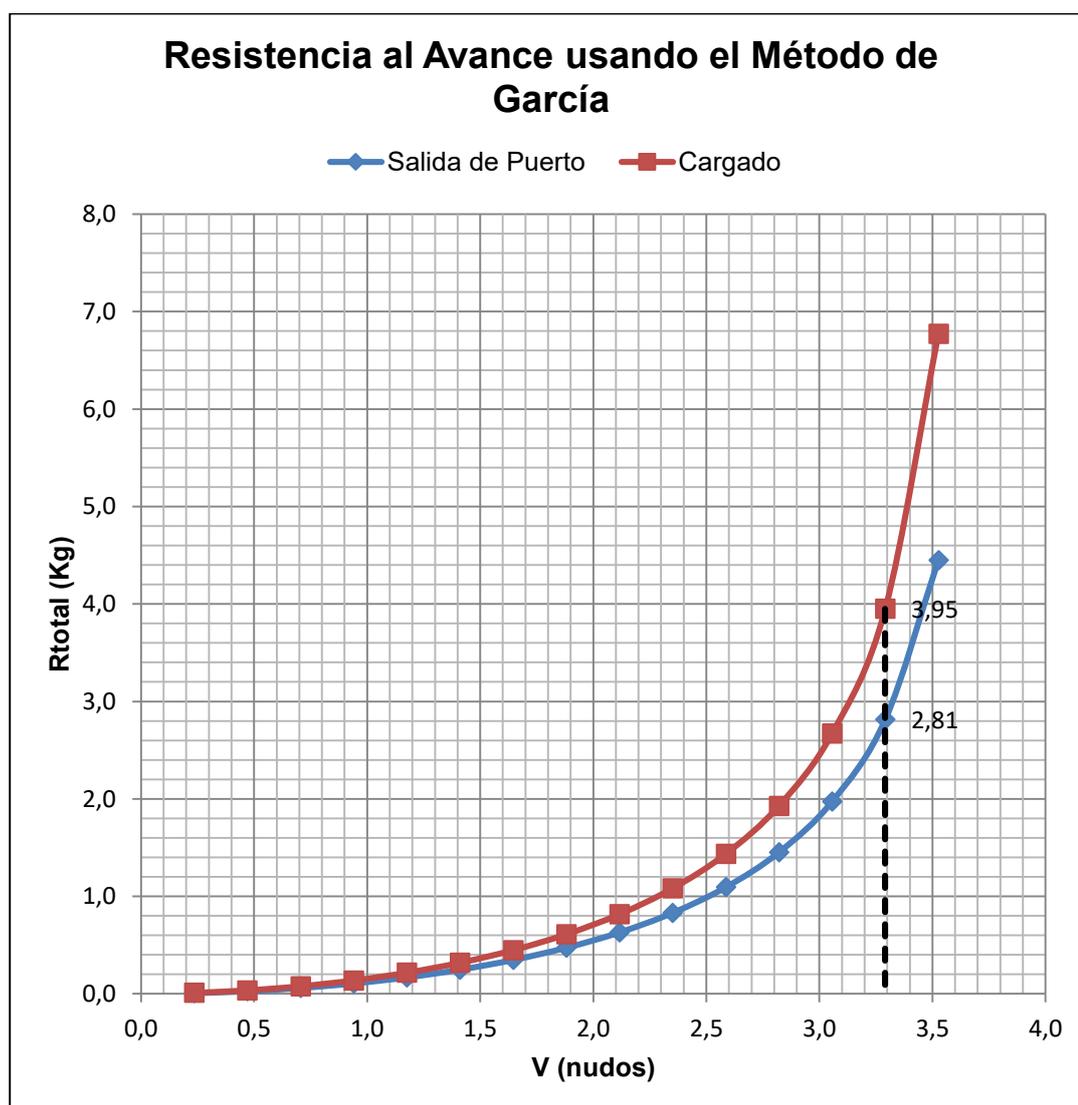


Figura No. 16 Comparación de las Resistencia al Avance del modelo sin bulbo en las dos condiciones de carga.

2.2 Cálculo de la Resistencia al Avance del Modelo de la Embarcación con Bulbo.

De la misma manera se empleó para el cálculo de la influencia del bulbo de proa sobre la resistencia al avance, las dos formulaciones de Holtrop, [7], y García, [8]. Holtrop, requiere como únicas características principales, el área transversal del bulbo y la posición vertical del centroide. Se obtiene una resistencia en la condición de Salida de Puerto, 1.64 kg y Cargado, 2.77 kg para la velocidad de 3.29 nudos del modelo. García, estima la influencia del bulbo en base a formulaciones empíricas y a relaciones obtenidas de la resistencia al avance del buque sin bulbo. Se obtiene como resultado una resistencia en condición Salida de Puerto, 2.62 Kg y Cargado, 3.62 Kg para la misma velocidad de 3.29 nudos; estos valores son bastante mayores a los resultados obtenidos con el método de Holtrop.

Resistencia del Modelo con Bulbo empleando el Método de Holtrop.

Para el cálculo de la resistencia al avance del modelo con el bulbo en las dos condiciones analizadas, Holtrop considera dos parámetros: el área transversal del bulbo y la posición vertical del centroide. Debido a que estos dos datos no fueron alterados para el diseño de los dos tipos de bulbo (elíptico y peonza) los resultados de resistencia son los mismos. Debe recordarse que lo único que se cambió para diferenciar los bulbos fueron sus

formas como se presentó en la Figura 9 del Capítulo I, manteniendo el área de la sección (S_{c20}), posición vertical de centroide y protuberancia (X).

Los datos de entrada para utilizar el programa de Holtrop, incluyendo el bulbo, se detallan en la Tabla XVI.

<u>Dimensiones Principales</u>		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
<u>Coefficientes de Formas</u>				
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
<u>Superficie Mojada</u>				
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
<u>Bulbo de Proa</u>				
Área transversal del bulbo	Atb	[m ²]	0.0045	0.0045
Altura del bulbo	Hb	[m]	0.0817	0.0817
<u>Otros datos</u>				
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
<u>Características del Agua</u>				
Densidad		[Kg/m ³]	1000.00	1000.00
Viscosidad Cinemática		[m ² /s]	9.43E-07	9.43E-07

Tabla No. XVI Datos para ingresar al programa para calcular la resistencia al avance con bulbo en las dos condiciones de carga.

Nuevamente se ingresan los datos de la Tabla anterior en el mismo programa que ejecuta el método de Holtrop con la implementación de las variables del bulbo de proa, [11]. Se obtienen los resultados que se presentan en las Tablas XVII y XVIII, en las cuales se presentan las componentes de la resistencia del modelo sin bulbo al igual que en el subcapítulo anterior, incluyendo la resistencia generada por la adaptación del bulbo de proa.

Vel. (Nudos)	R. Fricc. (Kg)	R. Apend. (Kg)	R. Olas. (Kg)	R. Trans. (Kg)	R. Bulbo. (Kg)	R. Correl. (Kg)	R. Total. (Kg)
1.00	0.086	0.001	0.000	0.022	2.57E-10	0.012	0.121
1.20	0.120	0.001	0.000	0.030	3.58E-10	0.018	0.168
1.40	0.158	0.001	0.001	0.038	4.59E-10	0.024	0.221
1.60	0.201	0.001	0.003	0.046	5.56E-10	0.031	0.282
1.80	0.248	0.002	0.010	0.055	6.47E-10	0.039	0.354
2.00	0.299	0.002	0.026	0.063	7.32E-10	0.049	0.439
2.20	0.355	0.002	0.054	0.070	8.08E-10	0.059	0.541
2.40	0.416	0.003	0.116	0.077	8.78E-10	0.070	0.682
2.60	0.480	0.003	0.217	0.082	9.41E-10	0.082	0.865
2.80	0.549	0.004	0.300	0.086	9.98E-10	0.096	1.035
3.00	0.622	0.004	0.383	0.088	1.05E-09	0.110	1.206
3.20	0.699	0.005	0.541	0.088	1.10E-09	0.125	1.457
3.40	0.780	0.005	0.841	0.086	1.14E-09	0.141	1.852
3.60	0.864	0.006	1.206	0.081	1.17E-09	0.158	2.315
3.80	0.953	0.006	1.612	0.073	1.21E-09	0.176	2.821

Tabla No. XVII Resistencia Total al Avance del modelo con Bulbo y sus componentes en la condición Salida de Puerto.

Vel. (Nudos)	R. Fricc. (Kg)	R. Apend. (Kg)	R. Olas. (Kg)	R. Trans. (Kg)	R. Bulbo. (Kg)	R. Correl. (Kg)	R. Total. (Kg)
1.00	0.111	0.001	0.000	0.083	1.484E-22	0.015	0.209
1.20	0.153	0.001	0.000	0.116	2.277E-22	0.022	0.292
1.40	0.202	0.001	0.001	0.154	3.187E-22	0.030	0.388
1.60	0.257	0.001	0.004	0.195	4.174E-22	0.039	0.497
1.80	0.317	0.002	0.015	0.240	5.204E-22	0.049	0.623
2.00	0.383	0.002	0.040	0.287	6.249E-22	0.061	0.773
2.20	0.455	0.002	0.086	0.337	7.287E-22	0.073	0.954
2.40	0.532	0.003	0.169	0.389	8.303E-22	0.087	1.180
2.60	0.615	0.003	0.352	0.441	9.287E-22	0.102	1.514
2.80	0.703	0.004	0.559	0.494	1.023E-21	0.119	1.878
3.00	0.796	0.004	0.692	0.548	1.113E-21	0.136	2.176
3.20	0.895	0.005	0.867	0.601	1.199E-21	0.155	2.522
3.40	0.999	0.005	1.234	0.653	1.280E-21	0.175	3.066
3.60	1.107	0.006	1.733	0.703	1.356E-21	0.196	3.746
3.80	1.221	0.006	2.302	0.752	1.428E-21	0.219	4.501

Tabla No. XVIII Resistencia Total al Avance del modelo con Bulbo y sus componentes en la condición Cargado.

Se observa en la Figura 17, 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, causado por el mismo efecto mencionado en el subcapítulo 2.1; a medida que va aumentando la velocidad, esa tendencia se va perdiendo.

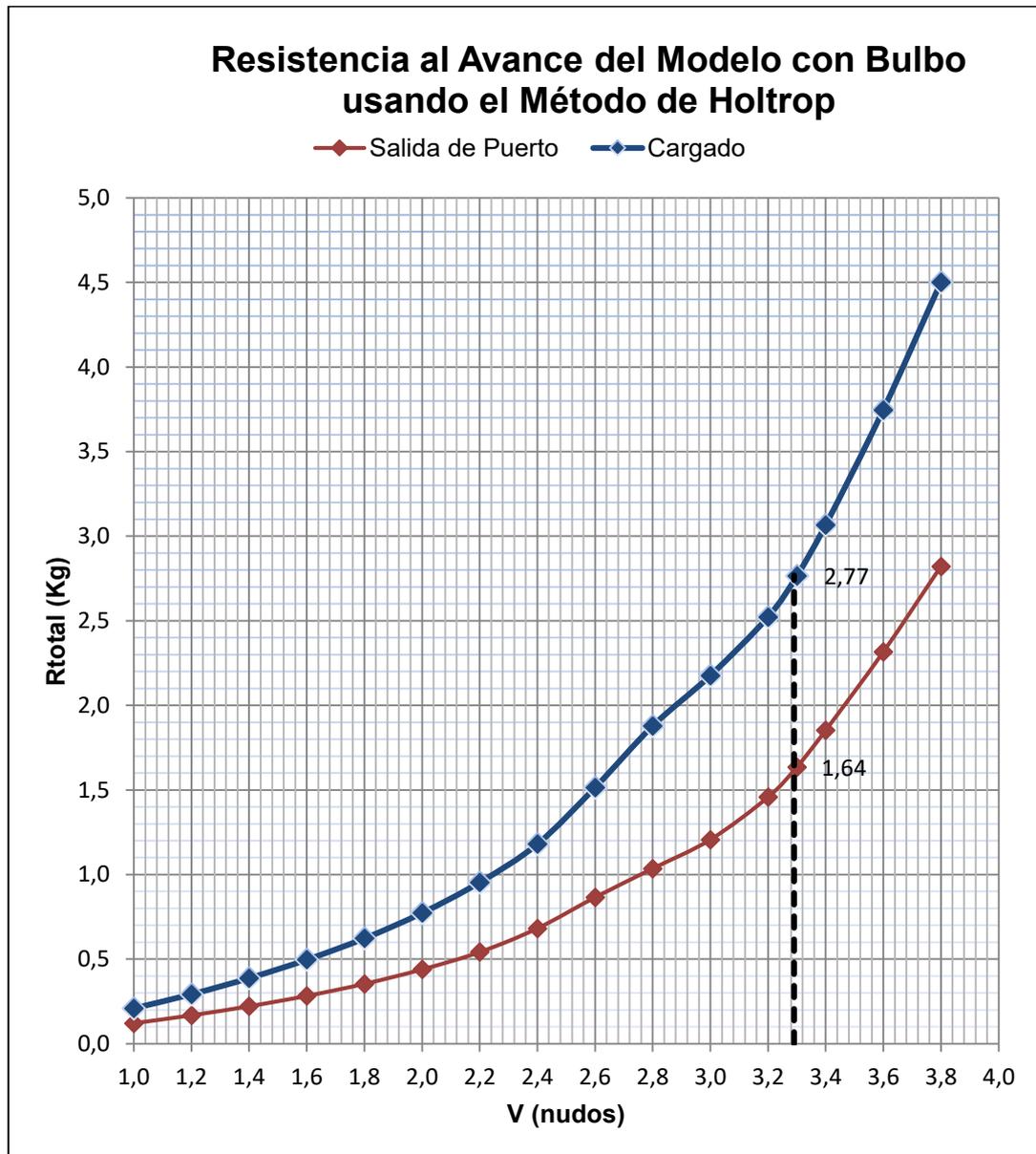


Figura No. 17 Comparación de las Resistencias al Avance en las dos condiciones de carga para el modelo con bulbo

Resistencia del Modelo con Bulbo empleando el Método de García.

García, [8], estima la resistencia al avance con la influencia del bulbo, considerando la Resistencia del buque sin bulbo, $RT_{S/Bulbo}$, la cual se calculó en el subcapítulo anterior.

$$\left(\frac{RR}{RT}\right)_{C/Bulbo} = \left(\frac{RR}{RT}\right)_{S/Bulbo} / (1 + \%DES/100) \quad (4)$$

En función de la base de datos sobre pruebas de modelos, García establece la siguiente ecuación para el parámetro %DES:

$$\%DES = a + (L_{pp}/B) + b \quad (5)$$

donde los coeficientes a y b son funciones del número de Froude correspondiente a la protuberancia del bulbo (l_B) como se explica en la Figura No. 18.

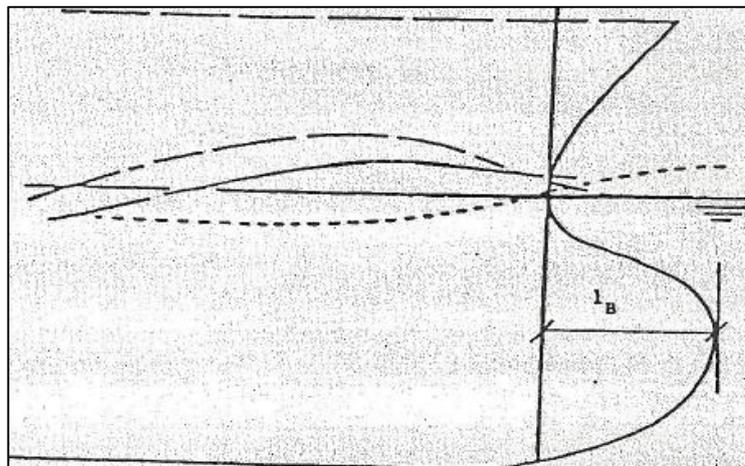


Figura No. 18 Protuberancia del Bulbo (l_B) medida desde la cuaderna 20 [4]

García, [8], presenta las siguientes expresiones para los coeficientes a y b con el cual se calcula el %DES:

$$a = 47.3(F_{nBb})^3 + 292.7(F_{nBb})^2 - 579.7(F_{nBb}) + 351.7 \quad (6)$$

$$b = 166.7(F_{nBb})^3 - 1037.6(F_{nBb})^2 + 2062.8(F_{nBb}) - 1244.8 \quad (7)$$

Donde F_{nBb} es el número de Froude usando la protuberancia (l_B) del bulbo, esto es, la longitud desde la cuaderna 20, que se considera como la Perpendicular de Proa.

$$F_{nBb} = \frac{V}{(g \cdot l_B)^{1/2}} \quad (8)$$

En el presente caso la protuberancia del bulbo es de 0.77 m en el prototipo y el correspondiente número de Froude a 14 nudos de velocidad es de 2.622.

Con estas fórmulas y los datos necesarios que se presentan en la Tabla XIX correspondientes al buque prototipo con bulbo, se ingresan en la misma hoja de proceso de Excel implementada anteriormente para el cálculo de la resistencia sin bulbo del prototipo. De esta forma se puede determinar la nueva resistencia al avance del prototipo, ahora con la adaptación del bulbo de proa; para mayor detalle ver el Apéndice E.

<u>Dimensiones Principales</u>		Unid.	Salida de Puerto	Cargado
Eslora entre perpendiculares	Lpp	[m]	32.38	32.38
Eslora de la flotación	Lf	[m]	35.54	34.62
Manga	B	[m]	8.50	8.50
Calado en sección media	Tm	[m]	2.41	3.41
Coefficiente de Bloque	Cb	----	0.55	0.64
Superficie Mojada	Sm	[m ²]	322.54	460.65
Volumen de Desplazamiento	V	[m ³]	391.45	652.72
Protuberancia	IB	[m]	0.77	0.77
Densidad	ρ	[Kg*s ² /m ⁴]	104.59	104.59
Viscosidad Cinemática	ν	[m ² /s]	9.43E-07	9.43E-07
Gravedad	g	[m/s ²]	9.8	9.8

Tabla No. XIX Datos de entrada para calcular la Resistencia al Avance del barco real con bulbo en las dos condiciones de carga

En la Tabla XX, 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. (Véase Tabla XXI y XXII).

<u>Dimensiones Principales</u>		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	IB	[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 No. XX Datos de entrada para calcular la resistencia al avance en las dos condiciones del modelo con bulbo.

Fn	CR	Vel. (nudos)	Re	CF	CA	C. Total	R. Total (Kg)
0.029	-0.0001	0.235	2.56E+05	0.006	0.004	0.010	0.008
0.058	0.0000	0.470	5.12E+05	0.005	0.004	0.009	0.028

0.087	0.0002	0.705	7.68E+05	0.005	0.004	0.009	0.060
0.116	0.0004	0.940	1.02E+06	0.005	0.004	0.009	0.106
0.144	0.0007	1.176	1.28E+06	0.004	0.004	0.009	0.167
0.173	0.0011	1.411	1.54E+06	0.004	0.004	0.009	0.245
0.202	0.0015	1.646	1.79E+06	0.004	0.004	0.010	0.343
0.231	0.0020	1.881	2.05E+06	0.004	0.004	0.010	0.465
0.260	0.0025	2.116	2.30E+06	0.004	0.004	0.010	0.617
0.289	0.0032	2.351	2.56E+06	0.004	0.004	0.011	0.805
0.318	0.0040	2.586	2.82E+06	0.004	0.004	0.012	1.043
0.347	0.0052	2.821	3.07E+06	0.004	0.004	0.013	1.358
0.375	0.0071	3.057	3.33E+06	0.004	0.004	0.015	1.815
0.404	0.0107	3.292	3.58E+06	0.004	0.004	0.018	2.622
0.433	0.0226	3.527	3.84E+06	0.004	0.004	0.030	4.940

Tabla No. XXI Resistencia Total al Avance del modelo con bulbo y sus componentes en la condición Salida de Puerto

Fn	CR	Vel. (nudos)	Re	CF	CA	C. Total	R. Total (Kg)
0.029	-0.0001	0.235	2.60E+05	0.006	0.004	0.010	0.010
0.058	0.0001	0.470	5.20E+05	0.005	0.004	0.010	0.035

0.087	0.0003	0.705	7.80E+05	0.005	0.004	0.009	0.076
0.116	0.0005	0.940	1.04E+06	0.005	0.004	0.009	0.135
0.144	0.0008	1.176	1.30E+06	0.004	0.004	0.009	0.212
0.173	0.0012	1.411	1.56E+06	0.004	0.004	0.009	0.312
0.202	0.0016	1.646	1.82E+06	0.004	0.004	0.010	0.439
0.231	0.0022	1.881	2.08E+06	0.004	0.004	0.010	0.598
0.260	0.0028	2.116	2.34E+06	0.004	0.004	0.011	0.795
0.289	0.0035	2.351	2.60E+06	0.004	0.004	0.011	1.042
0.318	0.0045	2.586	2.86E+06	0.004	0.004	0.012	1.358
0.347	0.0058	2.821	3.12E+06	0.004	0.004	0.013	1.783
0.375	0.0080	3.057	3.38E+06	0.004	0.004	0.016	2.420
0.404	0.0125	3.292	3.64E+06	0.004	0.004	0.020	3.621
0.433	0.0304	3.527	3.90E+06	0.004	0.004	0.038	7.834

Tabla No. XXII Resistencia Total al Avance del modelo con bulbo y sus componentes en la condición Cargado.

Se observa en la Figura 19, 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.

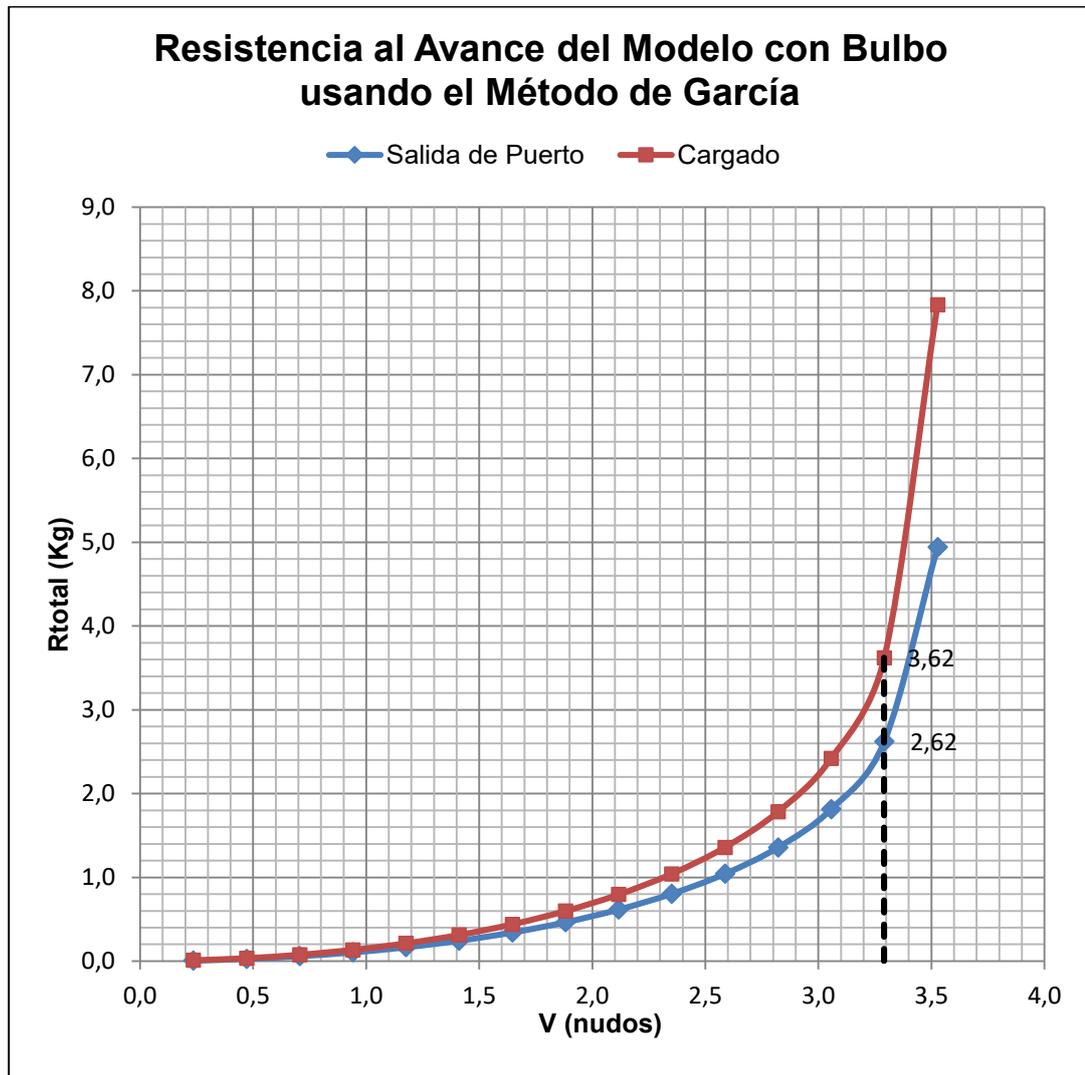


Figura No. 19 Comparación de las Resistencias al Avance del modelo con bulbo en las dos condiciones de carga.

2.3 Análisis de la Influencia de los Bulbos.

A partir de los resultados de los dos métodos utilizados en este estudio, Holtrop y García, se establece que la adaptación del bulbo es eficiente para las dos condiciones de carga. Al comparar los resultados de la resistencia con bulbo en la condición Salida de Puerto y Cargado, el método de García tiene una diferencia del 37% y 24% con respecto a Holtrop. Mediante el método de Holtrop se determinó que el bulbo es efectivo en un 14% en Salida de Puerto y 8% Cargado a la velocidad de 3.29 nudos; con el método de García las reducciones en resistencia calculadas fueron 6% y 8% respectivamente.

Comparación de los resultados con los dos métodos.

En la Figura 20 se presentan los resultados de los cálculos de la resistencia al avance utilizando los dos métodos con la adaptación del bulbo de proa para el modelo en la condición de Salida de Puerto. Observando que los dos métodos para el rango de velocidades entre 0 y 1.9 nudos, las curvas tienen la misma curvatura y las diferencia entre ellas son pequeñas. Sin embargo para velocidades por encima de los 2.0 nudos las curvas empiezan a separarse y la resistencia con el método García tiene un aumento considerable, cambiando su curvatura con respecto a Holtrop.

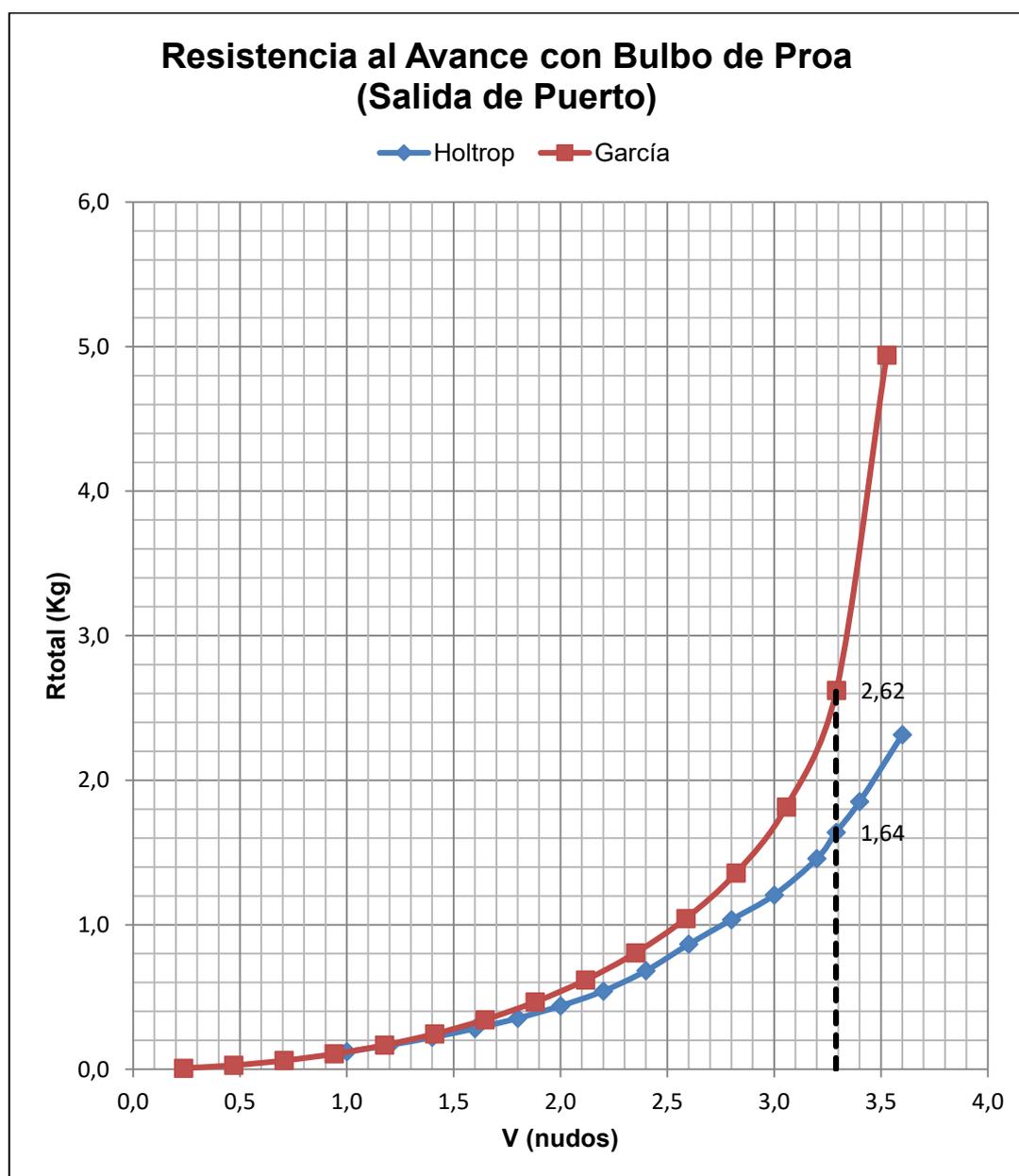


Figura No. 20 Comparación de los dos métodos de la influencia del Bulbo de Proa en la condición Salida de Puerto.

En la Figura 21 se presentan los resultados de la resistencia con los dos métodos para la condición Cargado, observando para velocidades menores a

los 2.4 nudos una diferencia pequeña constante entre las dos curvas predominando el método de Holtrop. Pero a la velocidad de 3.0 nudos se produce un cruce entre las curvas pasando a tener valores muy altos de la resistencia el método de García. Además se puede observar que la curva de Holtrop presenta para velocidades entre 2.4 y 3.2 nudos un pequeño cambio en la suavidad de su curvatura.

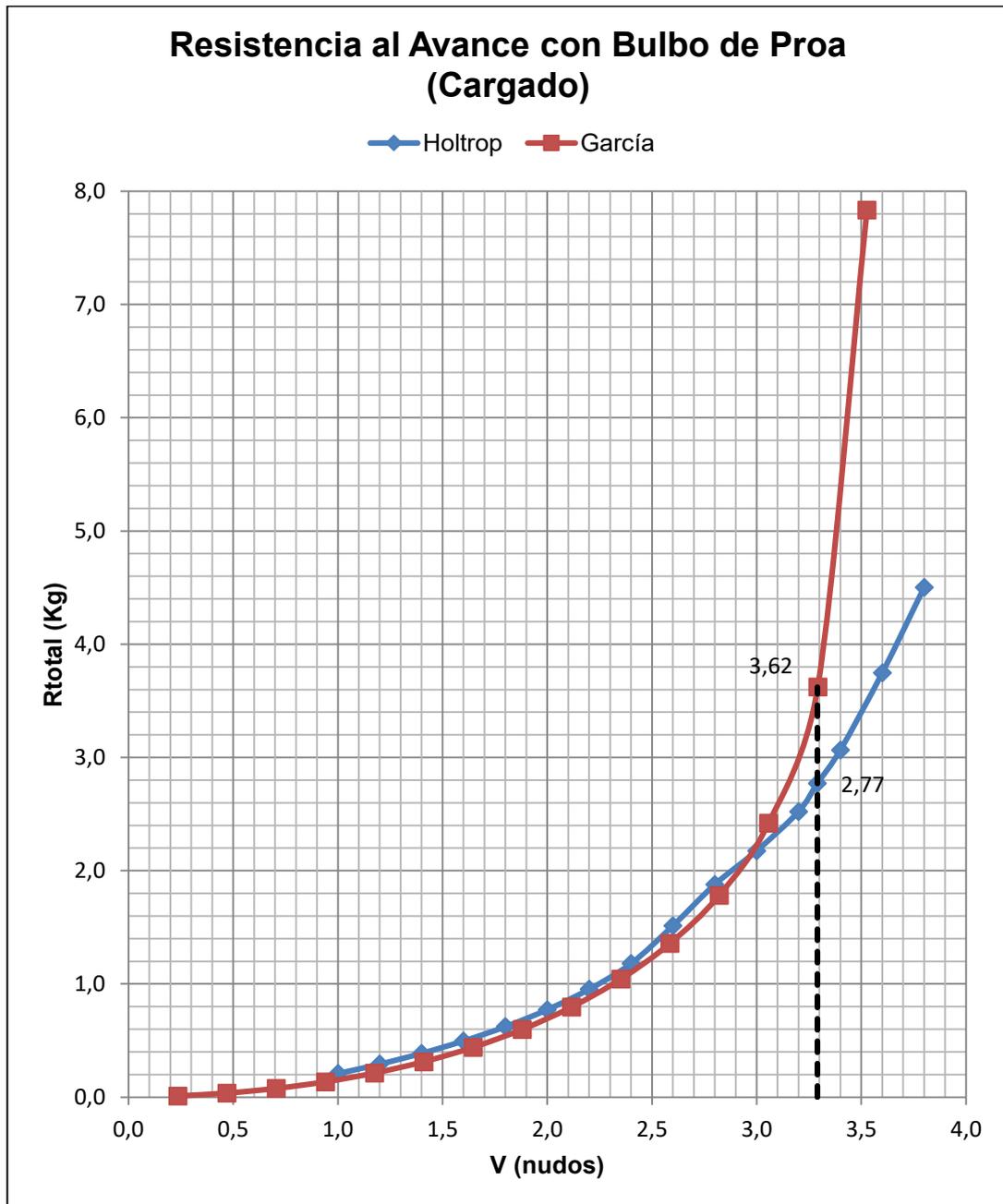


Figura No. 21 Comparación de los dos métodos de la influencia del Bulbo de Proa en la condición Cargado.

En la Tabla XXIII se presenta en resumen los valores de la resistencia del modelo para la velocidad de diseño de 3.29 nudos (equivalente a 14 nudos en el barco real). Se observa una diferencia del 37% y 24% entre los dos métodos en cada condición de carga.

	Salida de Puerto		Cargado	
Vel. (nudos)	Rt. Holtrop (Kg)	Rt. García (Kg)	Rt. Holtrop (Kg)	Rt. García (Kg)
3.29	1.64	2.62	2.77	3.62

Tabla No. XXIII Diferencias en Resistencia Total para la velocidad de diseño del modelo con Bulbo (3.29 nudos).

Influencia del bulbo.

Después de haber realizado los cálculos mediante los dos métodos de los subcapítulos anteriores, se puede ahora comparar la eficiencia teórica del bulbo de proa. Hay que tener en cuenta que los dos métodos no son completamente aceptables para el presente caso de estudio, debido a que no cumplen con todos sus rangos de aplicabilidad. Sin embargo se los ha utilizado para una comparación con el método experimental. Para llegar a la comparación que se presenta en las gráficas siguientes, se debe recordar que el método de Holtrop determinó que la adaptación del bulbo es efectivo en un 14% y para García del 6% para la condición de Salida de Puerto, a la velocidad de 3.29 nudos.

En la Figura 22 se puede observar que la eficiencia del bulbo de proa para velocidades menores a los 1.6 nudos con los dos métodos es muy baja, aunque si cumple con su función. A medida que aumentan las velocidades a partir de los 2.0 nudos, se comienza a observar su beneficio. Para la velocidad de 3.29 nudos se obtiene una diferencia porcentual entre las curvas del 29% en las diferencias de la resistencia con y sin bulbo entre los dos métodos

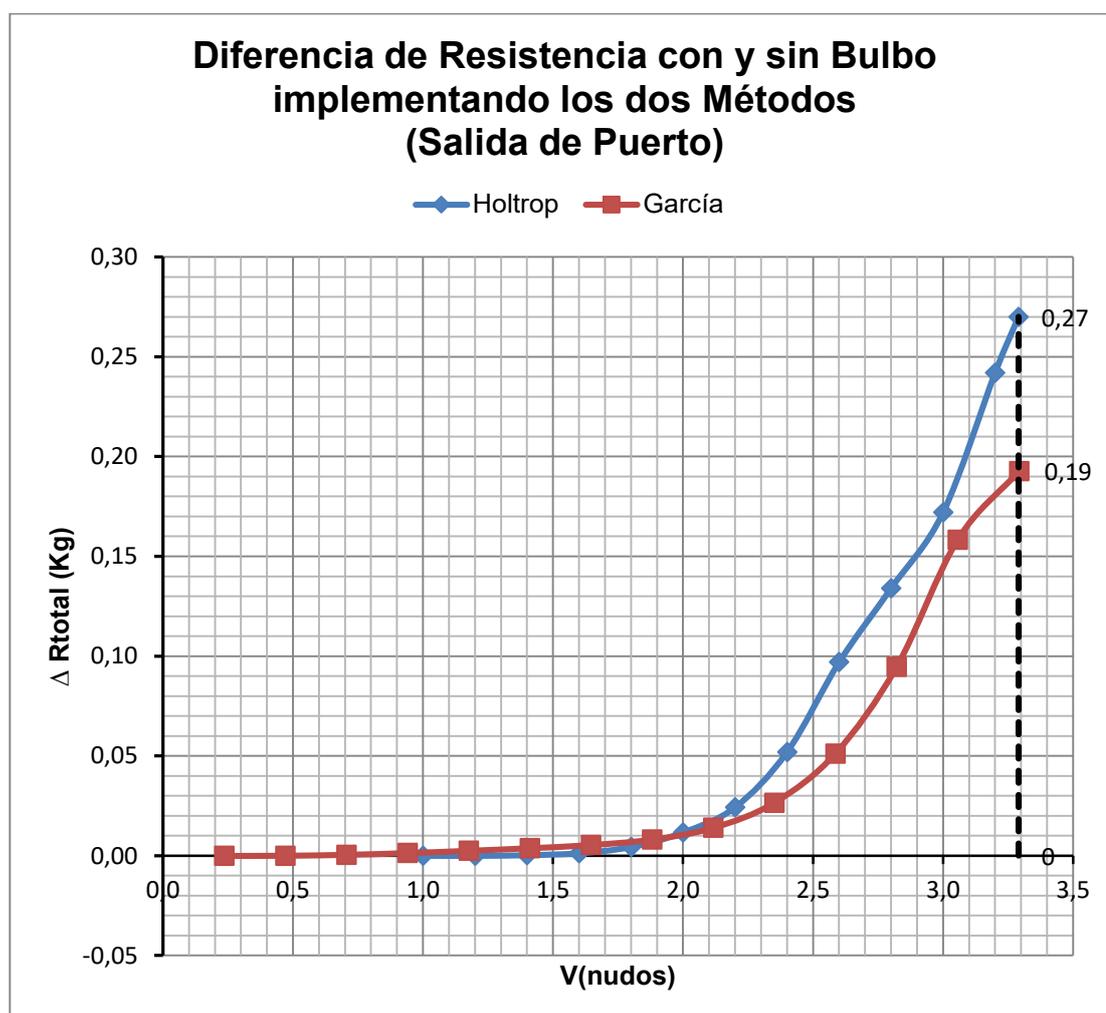


Figura No. 22 Comparación entre las Diferencias de la Resistencia al Avance utilizando los dos métodos en la condición Salida de Puerto con y sin bulbo del modelo.

De la misma forma recordamos la diferencia de la resistencia entre los métodos Holtrop y García que se determinó en los subcapítulos anteriores, que el bulbo es efectivo en un 8% para ambos métodos en la condición Cargado a la velocidad de 3.29 nudos.

En esta condición Cargado, se observa en la Figura 23, las curvas de la diferencia de resistencia con y sin bulbo según Holtrop y García, por debajo de los 2.0 nudos tienen muy buena coincidencia. Lo cual indica que el bulbo no es muy eficiente para bajas velocidades pero cumple con su función. Además para la velocidad de 3.29 nudos se obtiene una diferencia del 1% entre las diferencias de la resistencia con y sin bulbo entre los dos métodos. Podemos tomar en consideración que la velocidad máxima del barco real es de 14 nudos y 3.29 en el modelo en condición Salida de Puerto lo que en la condición Cargada nunca llegaría a esa máxima velocidad.

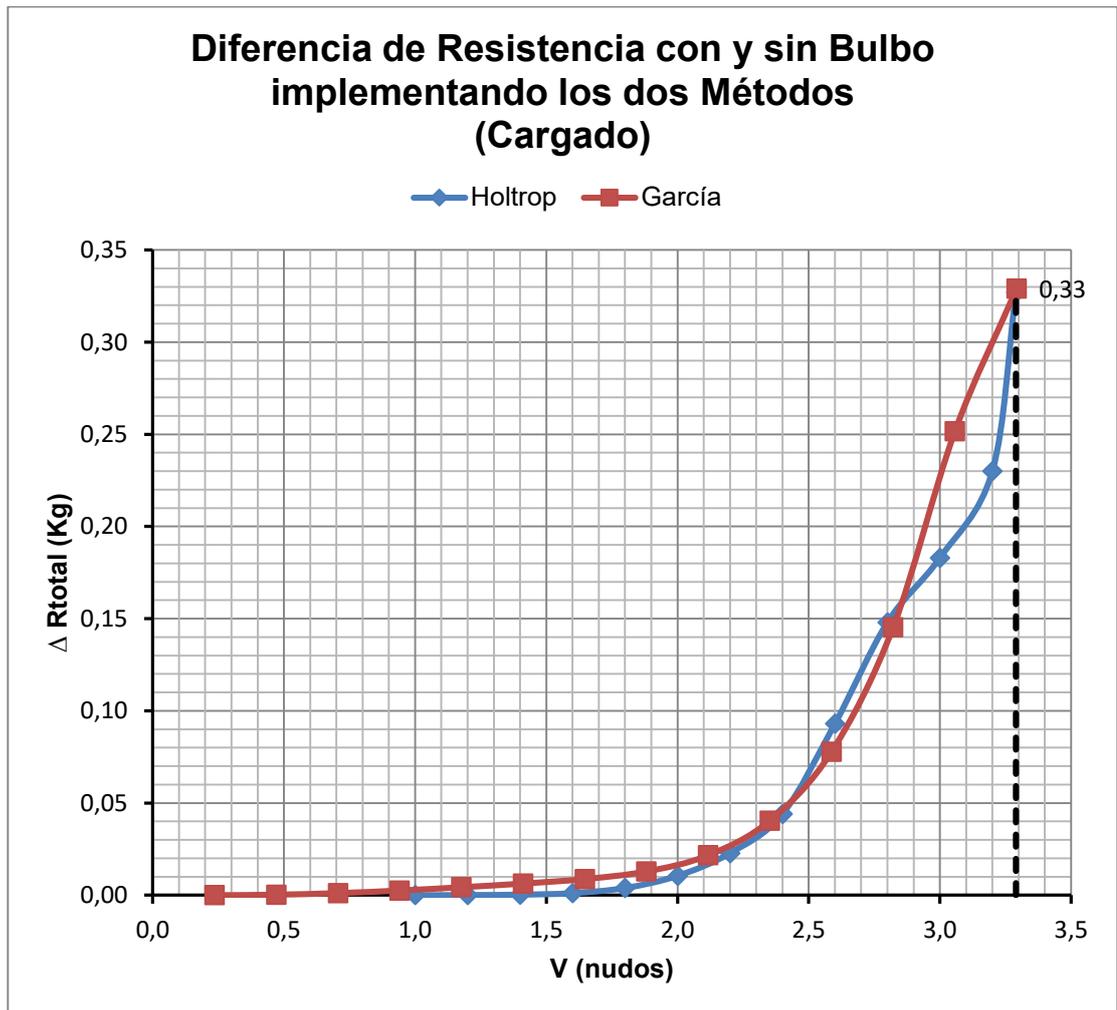


Figura No. 23 Comparación entre las Diferencias de la Resistencia al Avance utilizando los dos métodos en la condición Cargado con y sin bulbo del modelo.

CAPÍTULO 3

DETERMINACIÓN DEL TIPO DE BULBO CON MEJOR COMPORTAMIENTO HIDRODINÁMICO

3.1 Descripción y Construcción de los Modelos.

Se describe el proceso de construcción del modelo a escala de la embarcación prototipo así como de los bulbos de proa a partir de los modelos 3D, elaborados con el programa FREE!ship (Véase apéndice B.2); ellos fueron construidos en madera (cedro de castilla) y cuyo peso combinado (Modelo a escala y Bulbos) es de 18.57 kg. El equipo para las pruebas de arrastre del modelo incluye una celda de carga, una tarjeta de adquisición de datos y dos medidores de velocidad de flujo. También se usaron otros

equipos, como un brazo mecánico construido en aluminio, el cual mediante un mecanismo de agarre compuesto por cuatro pernos, se sujeta al costado de una lancha y desde el otro extremo de este brazo, hala al modelo a escala.

Para la construcción del modelo físico que es usado para el desarrollo de las pruebas experimentales, se usan las estaciones y el perfil del modelo a escala en 3D, elaborado en el programa FREE!ship, [2]. Las líneas de corte de la geometría de la embarcación modelada, fueron impresas en hojas de formato A0 (en 3 hojas para abarcar la longitud del perfil) y en A3 (en 2 hojas para abarcar la manga de las estaciones). Ellas fueron las plantillas de corte de la madera (cedro de castilla) y de esta forma, armar el esqueleto del modelo. El modelo, fue construido en madera debido a la resistencia, flexibilidad y versatilidad de formas que se pueden generar. En la siguiente Figura 24, se muestra el proceso de fabricación del modelo a escala.

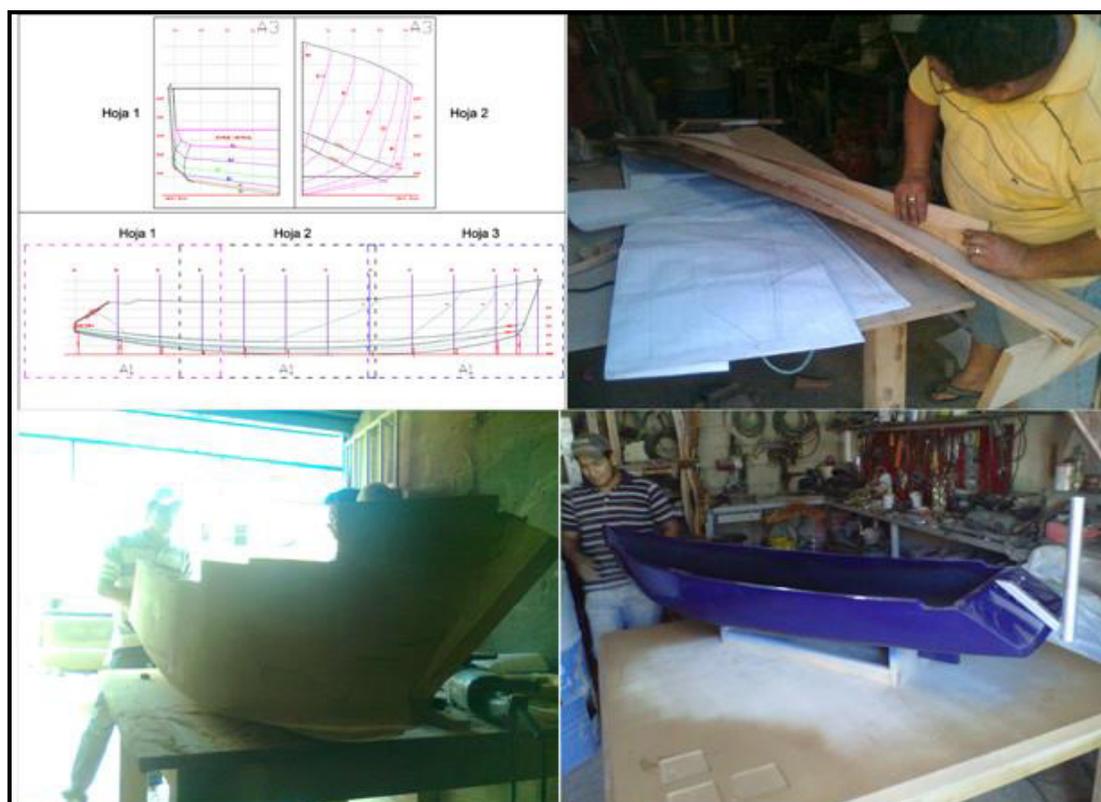


Figura No. 24 Proceso de construcción del modelo de buque pesquero a escala

Aplicando el mismo proceso de construcción que para el casco, se construyen los bulbos de tipo peonza y elíptico, a partir de las estaciones de los modelos 3D elaborado con el programa FREE!ship. Estas secciones son impresas en una hoja de formato A1 (ambos bulbos), para usarse como plantillas de corte de la madera y de esta forma, armar los cuerpos de los bulbos a ser analizados. Ver Figura 25.

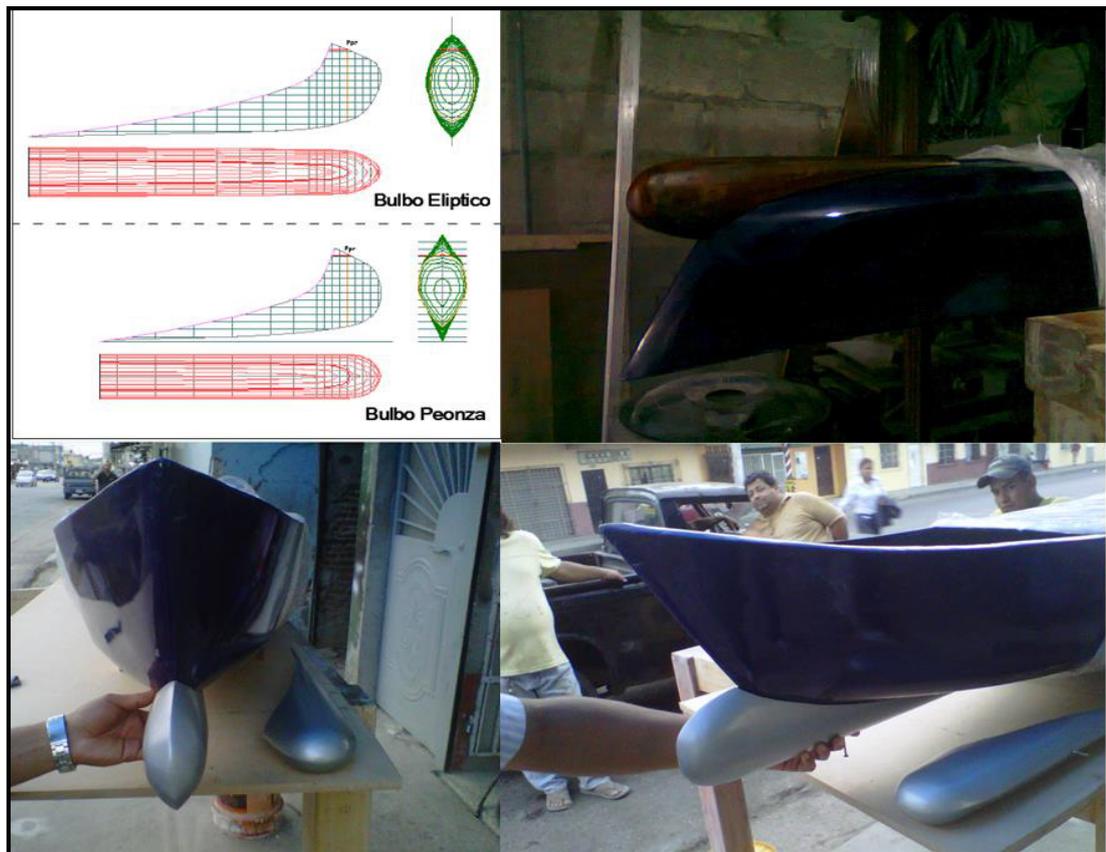


Figura No. 25 Construcción de los Bulbos de Elíptico y Peonza Para el modelo a escala

Los modelos de los bulbos cuentan además con un canal en el centro que permite un acople adecuado con la quilla del modelo, mediante el uso de 3 pernos de 3 pulgadas de longitud y un diámetro de 4 mm, ver Figura 26.

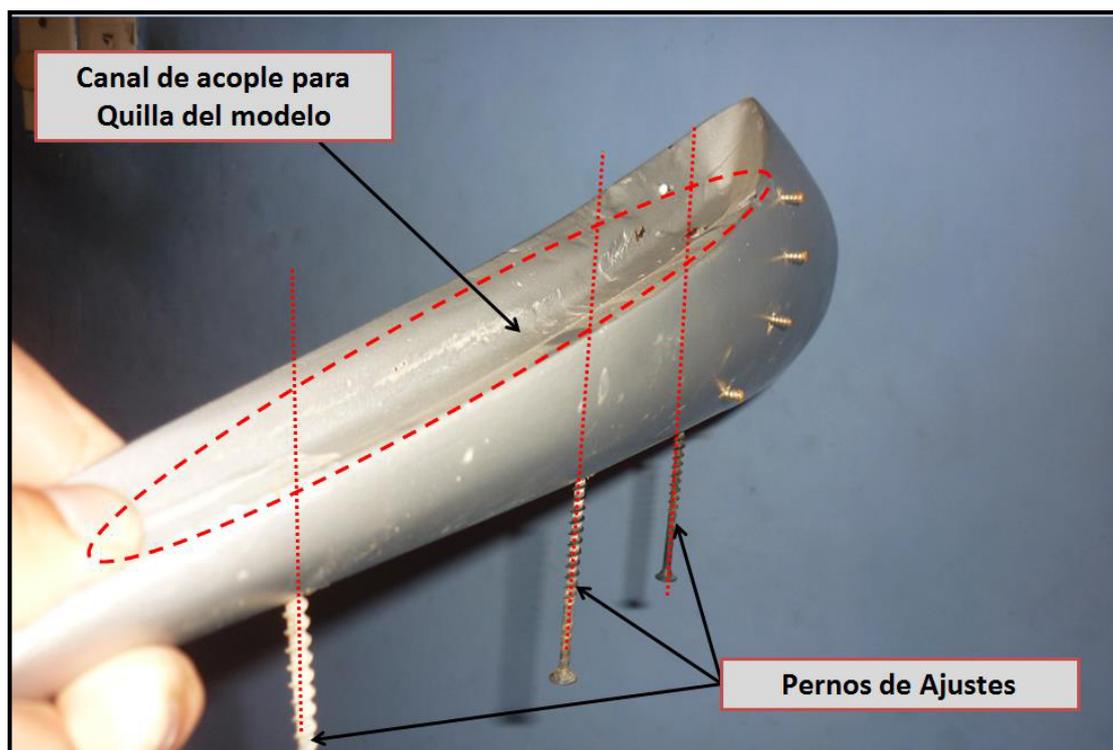


Figura No. 26 Mecanismo de sujeción de los Bulbos al Modelo a Escala

Se ha incorporado adicionalmente tanto al modelo a escala como a los bulbos, de unos dispositivos conocidos como generadores de turbulencia, [13], fabricados con tornillos de acero de 4 mm de diámetro, los cuales sobresalen de la superficie del modelo y los bulbos aproximadamente, 5 mm; la separación entre pernos es de 25 mm, siguiendo las recomendaciones de, [13]. La función de estos dispositivos es de generar turbulencia, para que el flujo de un régimen laminar, pase a semejar al régimen turbulento presente en el prototipo. De esta forma la prueba del modelo se hace más cercana a la condición real, ver Figura 27.



Figura No. 27 Generadores de turbulencia

Con el modelo del buque y los bulbos terminados, se puede realizar el proceso experimental para obtener la resistencia al avance de la embarcación sin bulbo y con los bulbos peonza y elíptico.

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, 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, ver Figura 28.

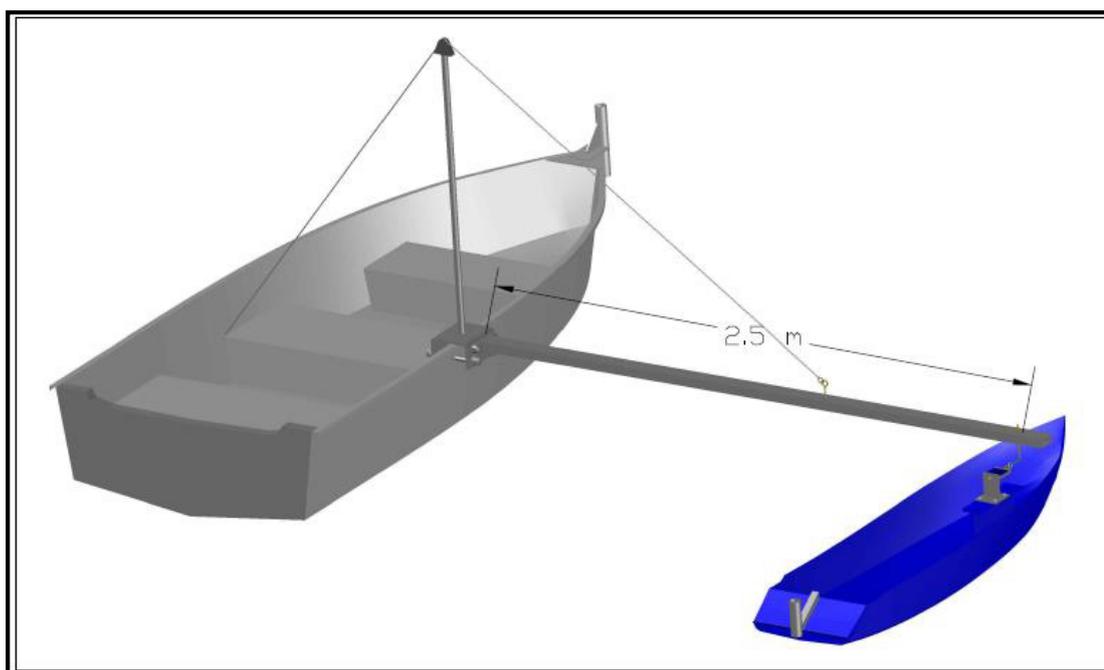


Figura No. 28 Conexión entre Lancha y Modelo de pruebas

El modelo del buque pesquero, posee en su interior una base de madera sobre la cual, asienta otra base de aluminio en forma de T invertida, en la que se coloca la celda de carga, la misma que es halada horizontalmente por el brazo mecánico mediante una fina cuerda de nylon, ver Figura 29.

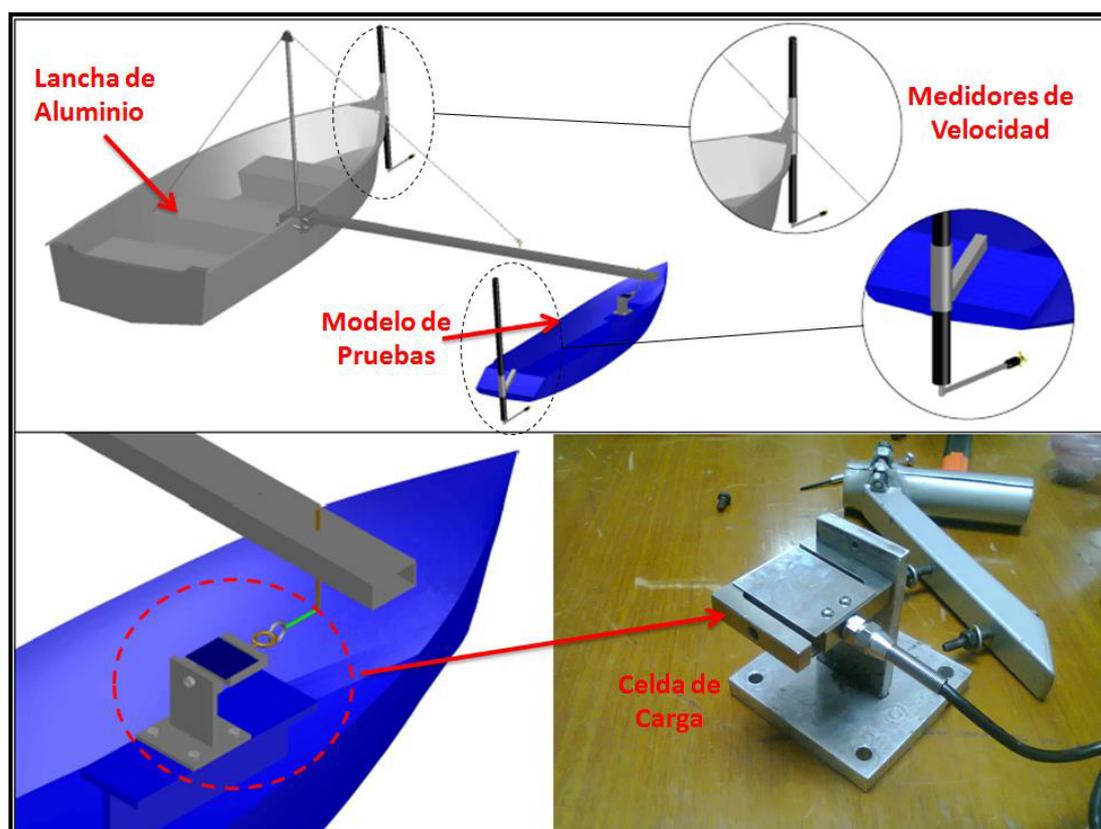


Figura No. 29 Esquema de Remolque con la Celda de Carga y medidores de Velocidad

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 portable. 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.

A continuación, en la Tabla XXIV, se describen los equipos electrónicos y mecánicos, que son usados para el desarrollo de la prueba de remolque y para la recopilación de la información de la resistencia al avance. Para una descripción más detallada de la función de los equipos, véase el apéndice G.

ITEM	EQUIPO	NÚMERO DE EQUIPOS	USO
1	Celda de Carga	1	Medir la fuerza de tensión a la cual es halado el modelo a escala
2	Tarjeta de Adquisición de Datos	1	Registra la información de la celda de Carga
3	Computador Portátil	1	Para uso del programa controlador de la tarjeta
4	Fuente de Poder	1	Alimenta a la celda de carga
5	Convertidor de Poder	1	Convierte el voltaje de la Batería de 12 V a 110 V
6	Batería de 12 V	1	Alimenta a la fuente y a el computador
7	Medidores de Velocidad de Flujo	2	Miden la velocidad de avance del modelo y de la estela del mismo
8	Anemómetro	1	Mide la velocidad del viento durante la prueba
9	Termómetro	1	Mide la temperatura del agua durante la prueba
10	Winche Manual	1	Regula por medio de un cable el ángulo de inclinación del brazo mecánico
11	Motor fuera de Borda de 6 HP	1	Impulsa a la lancha a diferentes velocidades de prueba

Tabla No. XXIV Listado de equipos usados en el desarrollo de la prueba experimental

En las siguientes Figuras 30a y 30b, se muestra el montaje esquemático y real, de los equipos en el interior del bote de remolque, para el desarrollo de la prueba experimental.

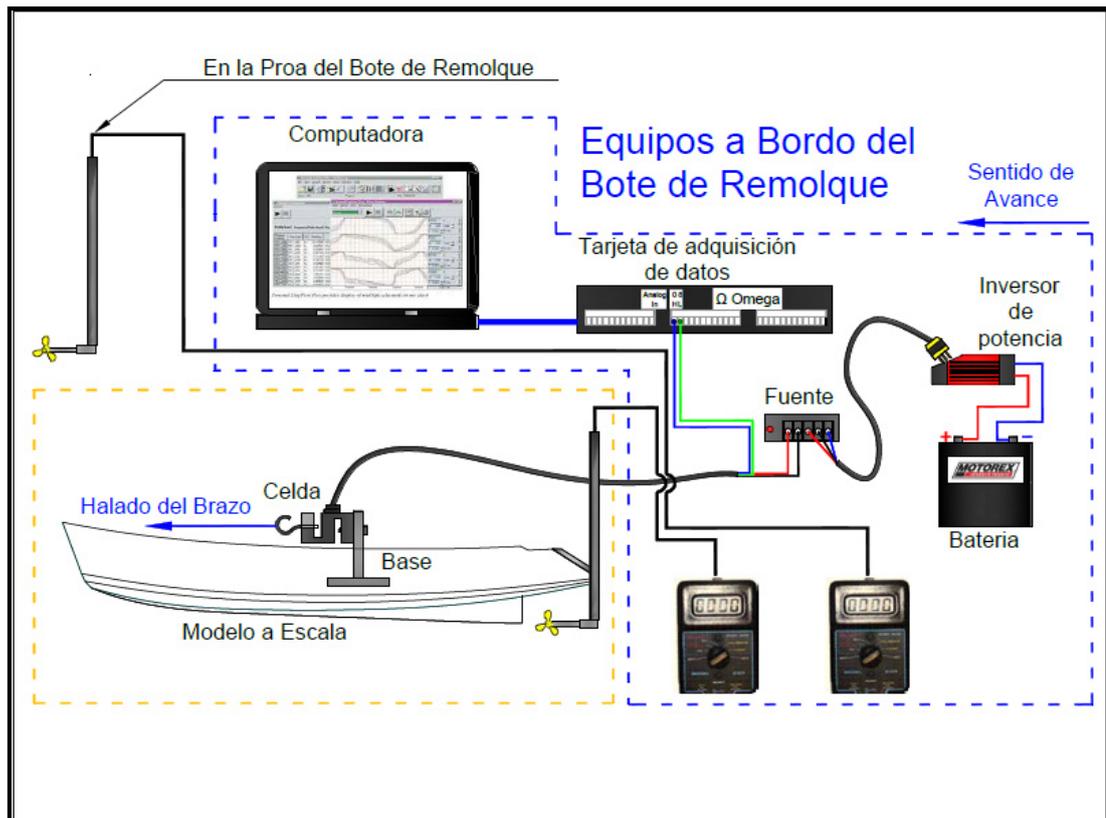


Figura No. 30a Esquema de Montaje de equipos de Medición



Figura No. 30b Arreglo general previo al ensayo de remolque

Para las pruebas experimentales, se ha configurado la tarjeta de adquisición de datos por medio del programa Daqview, para que pueda convertir y grabar 120 registros de datos generados por la celda de carga, por segundo. Debido a que se ha considerado que las pruebas tengan una duración de un minuto por cada velocidad, se obtienen 7200 registros equivalentes a la fuerza de resistencia al avance en unidades de milivoltios. Estos valores, son convertidos a kilogramos, usando la siguiente expresión:

$$\text{Resistencia(kg)} = \frac{\text{Resistencia(mV)} * \frac{50 \text{ lb}}{2.9941 \frac{\text{mV}}{\text{V}} * 11\text{V}}}{2.204 \text{ lb/kg}} \quad (9)$$

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

En el siguiente subcapítulo, se presentan los resultados obtenidos durante las pruebas de remolque en las diferentes condiciones de carga.

3.2 Resultados experimentales en aguas tranquilas con y sin bulbo.

Se muestran los resultados de las pruebas de remolque realizadas al modelo del buque pesquero en las condiciones de Salida de Puerto y Cargado. Para la primera condición mencionada, se obtuvo una máxima velocidad de prueba de 1.74 m/s y se determinó que las fuerzas de resistencia al avance con la colocación de los bulbos peonza y elíptico eran superiores a los resultados para el modelo sin estos. En la condición Cargado, se registra una reducción en la fuerza de resistencia del modelo con la colocación del bulbo peonza mientras que con el bulbo elíptico se incrementan esta fuerza. En esta condición, se alcanzó una máxima velocidad de prueba de 1.59 m/s.

Los resultados de las pruebas experimentales de remolque, para la determinación de la resistencia al avance, realizadas al modelo, se han clasificado de la siguiente manera:

- i. Salida de Puerto (Modelo Sin bulbo, con Bulbo Peonza y con Bulbo Elíptico)
- ii. Condición Cargado (Modelo Sin bulbo, con Bulbo Peonza y con Bulbo Elíptico)

i. **Salida de Puerto**(Modelo Sin bulbo, con Bulbo Peonza, con Bulbo Elíptico)

A continuación se presentan los resultados de la resistencia al avance del modelo a escala en la condición de Salida de Puerto sin bulbo y con los bulbos peonza y elíptico. Se desarrollaron dos pruebas preliminares en el mes de junio, con la finalidad de reconocer el ambiente de pruebas y para calibrar los equipos de medición. La prueba final, se desarrolló el día sábado 7 de julio con las condiciones mostradas en la Tabla XXV.

CONDICIÓN DE SALIDA DE PUERTO				
DESCRIPCIÓN	UND	SIN BULBO	BULBO PEONZA	BULBO ELIPTICO
Eslora en Flotación	[m]	1.89	1.95	1.95
Calado	[m]	0.13	0.13	0.13
Asiento	-	Adrizado	Adrizado	Adrizado
Peso del modelo	[kg]	18.57	19.73	19.54
Peso para pruebas	[kg]	45.43	45.43	45.43
Desplazamiento	[kg]	64.00	65.16	64.97
Temperatura del Agua	[°C]	23.40	23.40	23.40
Densidad	[kg.s ² /m ⁴]	101.89	101.89	101.89
Viscosidad	[m ² /s]	1.27E-06	1.27E-06	1.27E-06
Superficie Mojada	[m ²]	0.96	1.10	1.12
Área seccional del bulbo (Sc20)	[m ²]	0	0.0045	0.0045

Tabla No. XXV Datos de prueba - Modelo Sin Bulbo – Con Bulbo Peonza – Con Bulbo Elíptico.

Como se mencionó antes, la resistencia medida por la celda de carga, es convertida y grabada por la tarjeta de adquisición de datos y el programa Daqview, en un archivo con formato "*.txt". Estos archivos de resultados, son graficados, usando el programa Easyplot, y mediante un ajuste de la curva con un polinomio de grado 0, se obtiene el promedio de resistencia al avance en milivoltios por cada velocidad de prueba. En las Figuras 31a, 31b y 31c, se muestran los resultados graficados en el programa.

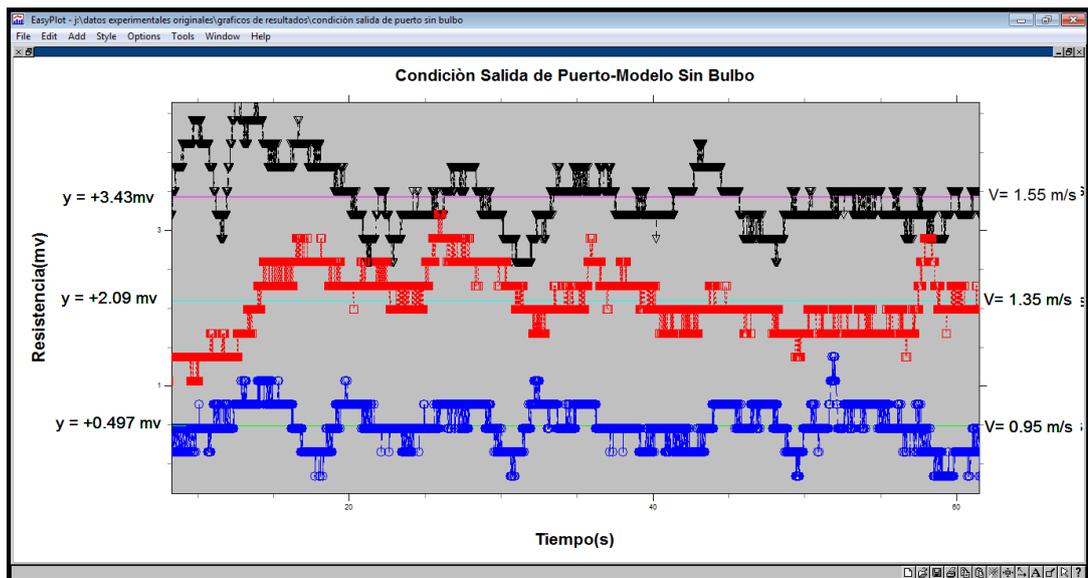


Figura No. 31a Grafico de resultados de resistencia al avance en la condición salida de puerto-Modelo Sin Bulbo

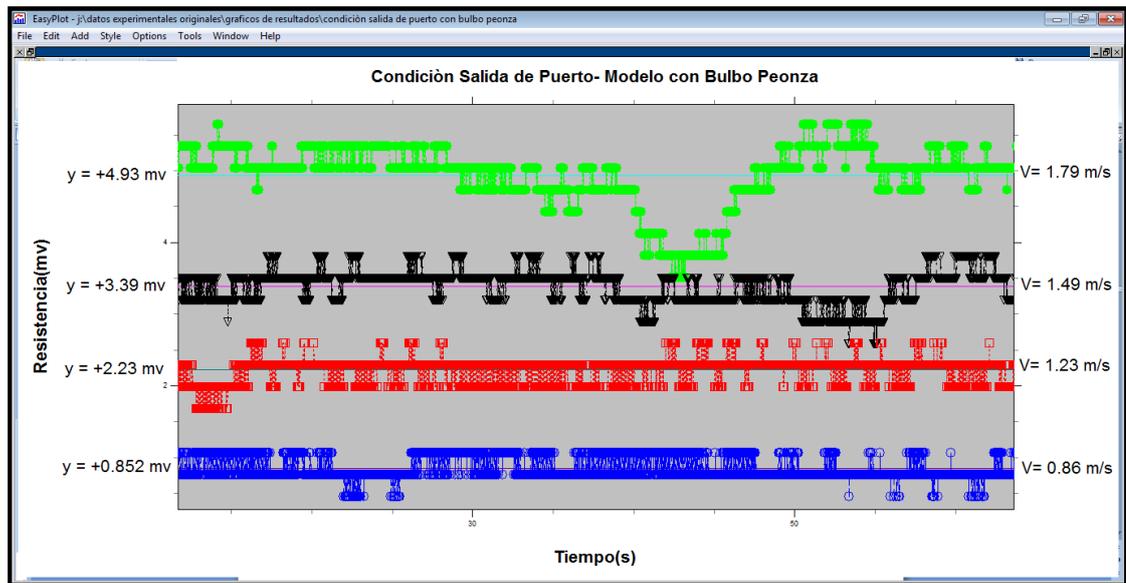


Figura No. 31b Gráfico de resultados de resistencia al avance en la condición salida de puerto-Modelo con Bulbo Peonza.

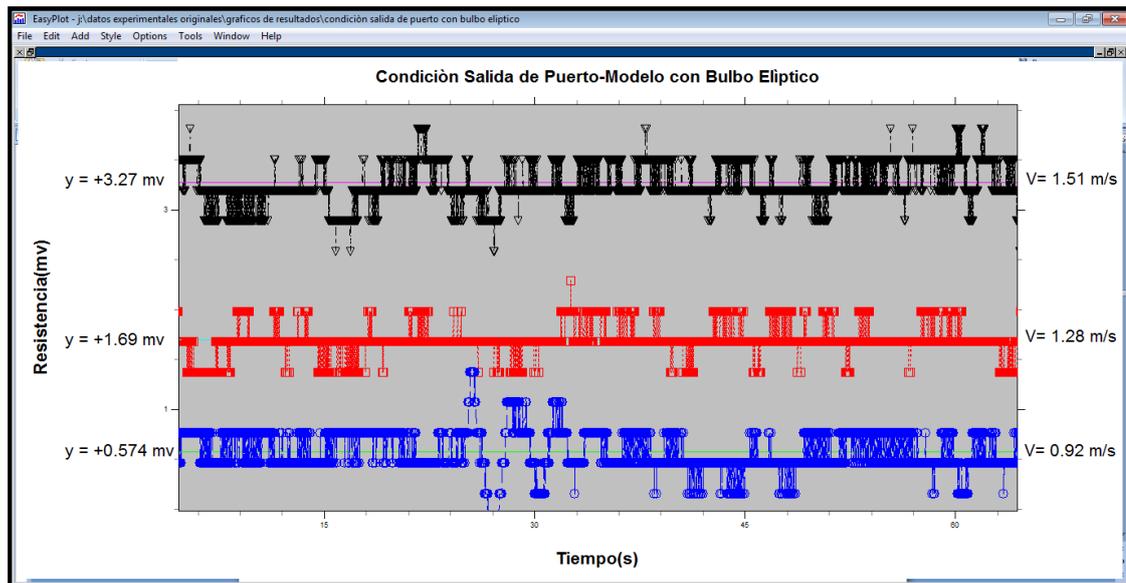


Figura No. 31c Gráfico de resultados de resistencia al avance en la condición salida de puerto-Modelo con Bulbo Elíptico

En la siguiente Tabla XXVI, se resume los promedios de las gráficas anteriores, y se incluyen los registros promedios de la velocidad de estela en el disco del propulsor y del viento.

CONDICIÓN SALIDA DE PUERTO			
Modelo Sin Bulbo			
Velocidad de Avance	Velocidad de Estela	Velocidad del Viento	Resistencia al Avance
[m/s]	[m/s]	[m/s]	[kg]
0.95	0.93	1.30	0.37
1.35	1.3	2.13	1.41
1.55	1.54	1.85	2.33
Modelo Con Bulbo Peonza			
Velocidad de Avance	Velocidad de Estela	Velocidad del Viento	Resistencia al Avance
[m/s]	[m/s]	[m/s]	[kg]
0.86	0.83	1.63	0.58
1.23	1.2	0.53	1.55
1.49	1.41	0.38	2.33
1.74	1.56	0.05	3.51
Modelo Con Bulbo Elíptico			
Velocidad de Avance	Velocidad de Estela	Velocidad del Viento	Resistencia al Avance
[m/s]	[m/s]	[m/s]	[kg]
0.92	0.89	0.86	0.40
1.28	1.22	1.28	1.19
1.51	1.48	1.21	2.20

Tabla No. XXVI Resultado de Ensayo en Condición de Salida de Puerto - Modelo Sin Bulbo – Con Bulbo Peonza – Con Bulbo Elíptico.

Se puede observar en la Tabla XXVI, que no existe uniformidad en las velocidades de remolque entre estos ensayos. Esto fue a causa de varios

factores tales como el viento, desperdicios en el lago (basura, ramas y hojas de arboles, etc.) y boyas, que en muchas ocasiones era necesario esquivar cambiando ligeramente la trayectoria de navegación. Además también incidió el factor humano en el momento de la operación del motor fuera de borda.

En las siguientes Figuras 32a, 32b y 32c, se muestra la experiencia del ensayo de remolque:



Figura No. 32a Ensayo Salida de Puerto – Sin Bulbo de proa



Figura No. 32b Ensayo Salida de Puerto - Con Bulbo Peonza



Figura No. 32c Ensayo Salida de Puerto - Con Bulbo Elíptico

ii. **Condición Cargado** (Modelo Sin bulbo, con Bulbo Peonza, con Bulbo Elíptico)

Se presentan los resultados de la resistencia al avance del modelo a escala en la condición cargado sin bulbo y con los bulbos peonza y elíptico. La prueba experimental, se desarrolló en la misma fecha mencionada en el punto anterior con las condiciones mostradas en la Tabla XXVII.

CONDICIÓN CARGADO				
DESCRIPCIÓN	UND	SIN BULBO	BULBO PEONZA	BULBO ELIPTICO
Eslora en Flotación	[m]	1.92	1.89	1.89
Calado	[m]	0.19	0.13	0.13
Asiento	-	Adrizado	Adrizado	Adrizado
Peso del modelo	[kg]	18.57	19.73	19.54
Peso para pruebas	[kg]	86.43	86.43	86.43
Desplazamiento	[kg]	105.00	106.16	105.97
Temperatura del Agua	[°C]	23.40	23.40	23.40
Densidad	[kg.s ² /m ⁴]	101.89	101.89	101.89
Viscosidad	[m ² /s]	1.27E-06	1.27E-06	1.27E-06
Superficie Mojada	[m ²]	1.21	1.37	1.41
Área seccional del bulbo (Sc20)	[m ²]	0	0.0045	0.0045

Tabla No. XXVII Datos de prueba - Modelo Sin Bulbo – Con Bulbo Peonza – Con Bulbo Elíptico.

Del mismo modo que en la condición anterior, se grafica en el programa Easyplot, las mediciones registradas y guardadas por la tarjeta de adquisición de datos. En las Figuras 33a, 33b y 33c, se muestran los resultados graficados por el programa.

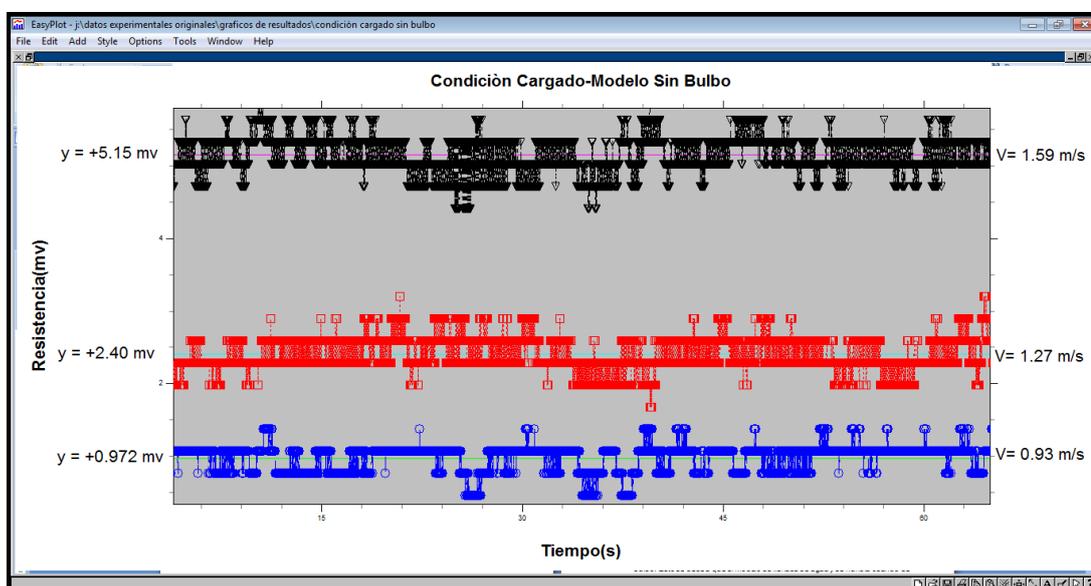


Figura No. 33a Gráfico de resultados de resistencia al avance en la condición Cargado-Modelo Sin Bulbo

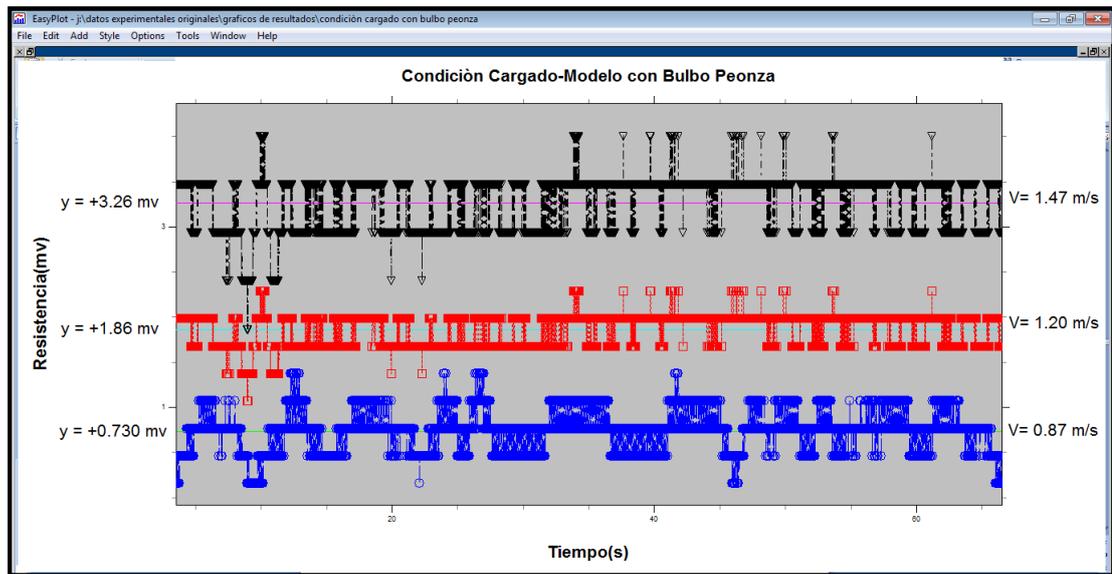


Figura No. 33b Gráfico de resultados de resistencia al avance en la condición Cargado-Modelo con Bulbo Peonza

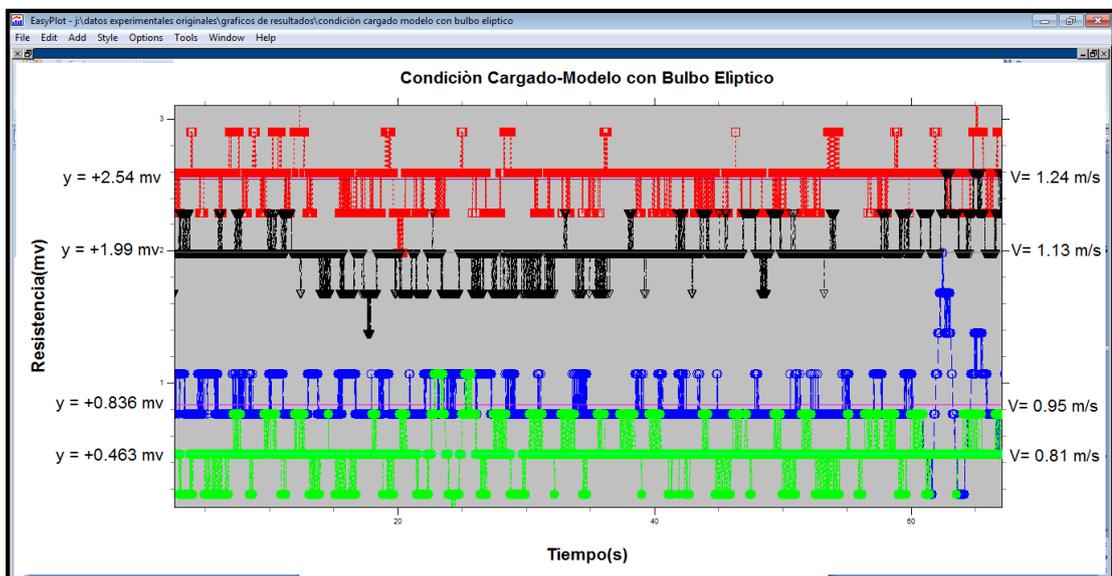


Figura No. 33c Gráfico de resultados de resistencia al avance en la condición Cargado-Modelo con Bulbo Elíptico

En la siguiente Tabla XXVIII, se resume los promedios de las gráficas anteriores, incluyendo los registros de la velocidad de estela y del viento.

CONDICIÓN CARGADO			
Modelo Sin Bulbo			
Velocidad de Avance	Velocidad de Estela	Velocidad del Viento	Resistencia al Avance
[m/s]	[m/s]	[m/s]	[kg]
0.93	0.89	0.35	0.66
1.27	1.26	0.43	1.64
1.59	1.55	0.00	3.55
Modelo Con Bulbo Peonza			
Velocidad de Avance	Velocidad de Estela	Velocidad del Viento	Resistencia al Avance
[m/s]	[m/s]	[m/s]	[kg]
0.87	0.78	0.10	0.49
1.20	1.02	0.55	1.28
1.47	1.37	0.89	2.25
Modelo Con Bulbo Elíptico			
Velocidad de Avance	Velocidad de Estela	Velocidad del Viento	Resistencia al Avance
[m/s]	[m/s]	[m/s]	[kg]
0.81	0.72	0.85	0.32
0.95	0.87	0.95	0.58
1.13	1.01	1.13	1.39
1.24	1.09	1.03	1.76

Tabla No. XXVIII Resultado de Ensayo en Condición Cargado - Modelo Sin Bulbo – Con Bulbo Peonza – Con Bulbo Elíptico

Se puede ver en la Tabla XXVIII, que la máxima velocidad de prueba en esta condición fue únicamente de 1.59 m/s para el modelo sin los bulbos de proa. Esto se debe a que el modelo se llenaba de agua y se hundía cuando se

intentaba aumentar la velocidad, producto de la ola senoidal que superaba el francobordo de popa. Con los bulbos peonza y elíptico, se obtuvieron velocidades de prueba máximas de 1.47 m/s y 1.24 m/s respectivamente, sin que ocurra ingresos de agua al modelo.

En las siguientes Figuras 34a, 34b, 34c, se muestra la experiencia del ensayo de remolque:



Figura No. 34a Ensayo Cargado – Sin Bulbo de Proa



Figura No. 34b Ensayo Cargado – Con Bulbo Peonza



Figura No. 34c Ensayo Cargado – Con Bulbo Elíptico

Finalmente, en la Tabla XXIX, se resume los valores promedios de la fuerza de resistencia en mv, medido por la celda de carga para todos los casos de

las condiciones Salida de puerto y Cargado. Se ha incluido en esta Tabla la desviación estándar, la cual se obtuvo con el programa Easyplot.

Condición Salida de Puerto				
	Velocidad (m/s)	F.Promedio (mv)	Desviación estándar(σ)	Coefficiente de Variación
Modelo Sin Bulbo de Proa	0.95	0.50	0.26	52%
	1.35	2.09	0.40	19%
	1.55	3.43	0.40	12%
Modelo Con Bulbo Peonza	0.86	0.85	0.15	17%
	1.23	2.23	0.14	6%
	1.49	3.39	0.24	7%
	1.74	4.93	0.44	9%
Modelo Con Bulbo Elíptico	0.92	0.57	0.19	33%
	1.28	1.69	0.13	8%
	1.51	3.27	0.19	6%
Condición Cargado				
	Velocidad (m/s)	F.Promedio (mv)	Desviación estándar(σ)	Coefficiente de Variación
Modelo Sin Bulbo de Proa	0.93	0.97	0.18	19%
	1.27	2.40	0.21	9%
	1.59	5.15	0.23	4%
Modelo Con Bulbo Peonza	0.87	0.73	0.22	30%
	1.20	1.86	0.17	9%
	1.47	3.26	0.29	9%
Modelo Con Bulbo Elíptico	0.81	0.46	0.16	35%
	0.95	0.83	0.19	23%
	1.13	1.99	0.17	9%
	1.24	2.54	0.16	6%

Tabla No. XXIX Desviación Estándar de las Fuerzas Promedio Medidas por la Celda de Carga en las dos Condiciones de Desplazamiento

En la Tabla anterior los registros de la desviación estándar, se dividieron para la fuerza promedio, dando como resultado el coeficiente de variación para cada velocidad de prueba. Se observa que conforme aumenta la velocidad del ensayo, este coeficiente reduce su valor, denotando que posiblemente a bajas velocidades el ruido electrónico es notable.

3.3 Análisis de los resultados experimentales.

Se presenta el análisis de los resultados experimentales mostrados en el punto anterior discutiendo factores externos que probablemente incidieron en los registros, tales como el viento, el diámetro de la hélice del medidor de velocidad de estela, y su separación al codaste. Se determinó que para la primera condición, los bulbos incrementan la resistencia en todo el rango de velocidades de prueba, mientras que para la condición cargado, el bulbo peonza presenta en todo su rango de velocidades una reducción en la resistencia al avance. El bulbo elíptico, para esta condición mantuvo al igual, que en la primera condición, una tendencia a incrementar la resistencia a partir de 0.95 m/s.

En este apartado, se realiza el análisis de los resultados experimentales mostrados en el subcapítulo anterior, el cual ha sido clasificado de la siguiente forma:

- i. Análisis de Resultados Experimentales en la Condición Salida de Puerto
- ii. Análisis de Resultados Experimentales en la Condición Cargado.

i. Análisis de Resultados Experimentales en la Condición Salida de Puerto

En la siguiente Figura 35, se muestran las curvas de tendencia de la resistencia al avance, de los resultados de la Tabla XXVI, usando polinomios de segundo orden con sus respectivas ecuaciones.

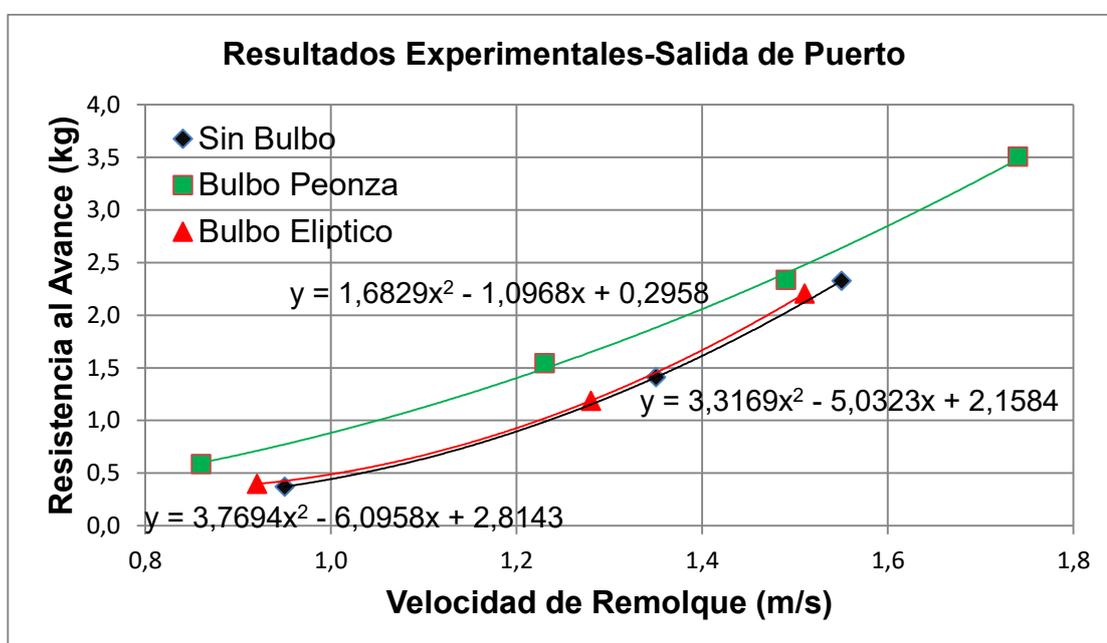


Figura No. 35 Curvas de Tendencia de Resultados Experimentales-Condición Salida de Puerto

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 36, se grafican los resultados de la Tabla XXVI de las velocidades de avance del modelo frente a las del viento durante la prueba, usando líneas de tendencia con polinomios de primer orden.

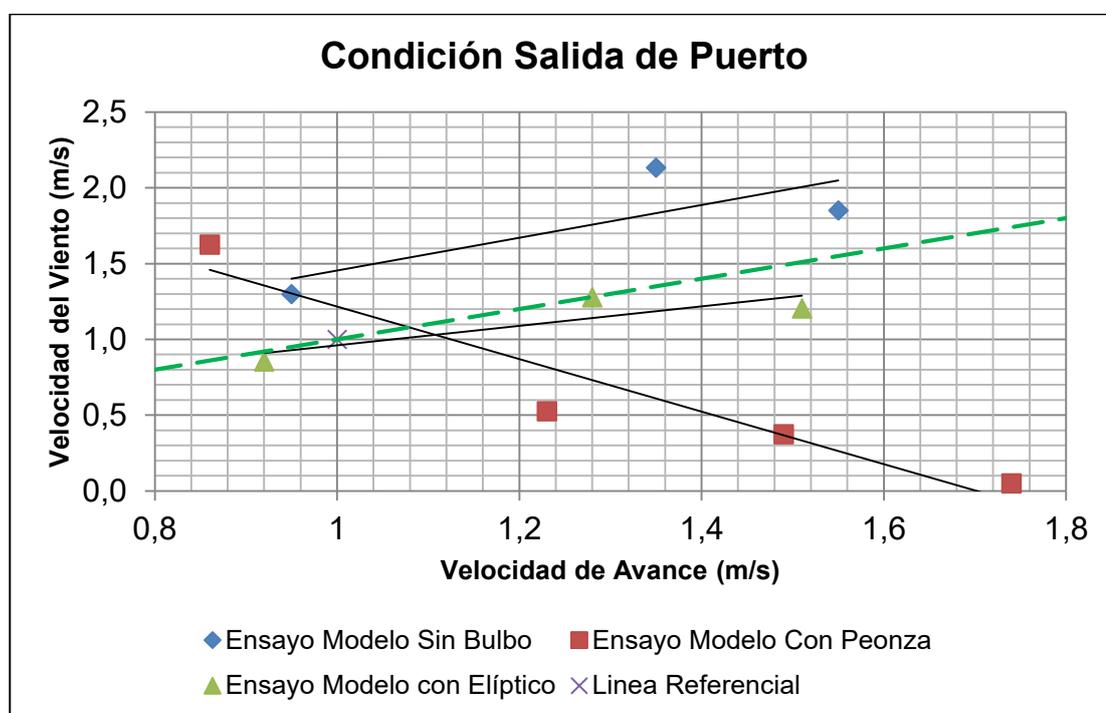


Figura No. 36 Tendencia de Velocidades del Viento frente a la velocidad de Avance–Salida de Puerto

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.

Otro parámetro registrado durante las pruebas fue la velocidad de estela, V_A . A partir de ella se calcula el factor de estela W , usando la siguiente fórmula según Taylor.

$$W = \frac{V - V_A}{V} \quad (10)$$

donde:

V = Velocidad del modelo, y,

V_A = Velocidad de Avance (Estela).

En la Figura 37, se grafica una línea promedio de los resultados del factor de estela de la Tabla XXVI, y el factor de estela resultante de la formulación de Harvald, [12], descrita a continuación:

$$W=0.9*\frac{B}{L}+\frac{3}{20}*(2*C_B-1) \quad (11)$$

Reemplazando con los datos del modelo, se obtiene un factor de estela de 0.246.

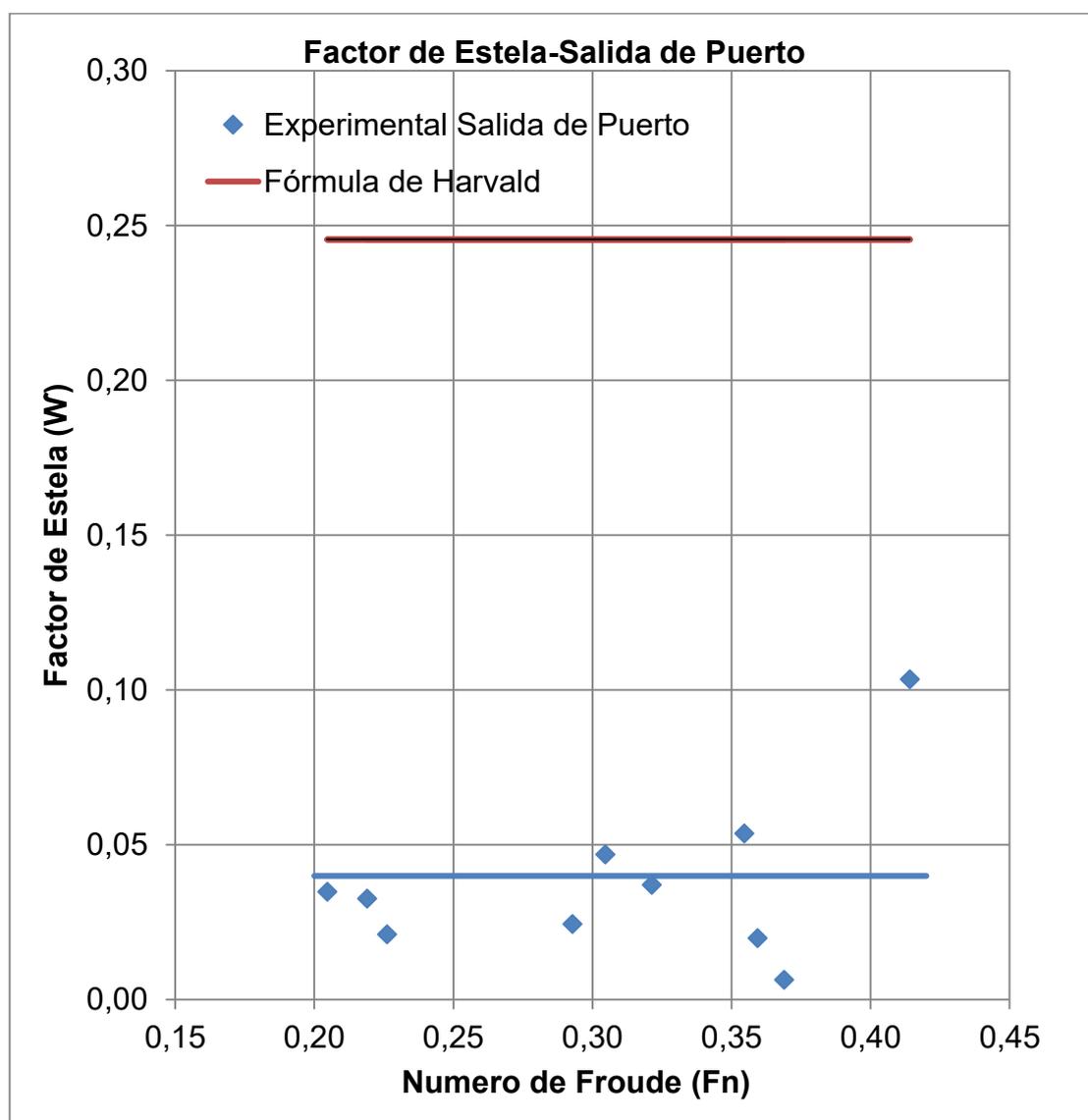


Figura No. 37 Factor de Estela - Condición Salida de Puerto

Se puede ver en la Figura anterior, la diferencia existente entre la fórmula de Harvald, [12], y los resultados experimentales. Esta diferencia, probablemente fue debido a una separación no adecuada entre la hélice del medidor de velocidad y el codaste del modelo a escala, y a la diferencia

entre el diámetro y número de palas del medidor, respecto del propulsor real, Véase Figura 38.



Figura No. 38 Diámetro de la Hélice del Medidor de Velocidad de Flujo

Recordando las notas de clase de la materia, Resistencia y Propulsión, [12], a medida que se aleja el propulsor del casco del modelo, la velocidad de avance se incrementa, por lo tanto el factor de estela se reduce. Esto provee sentido a los resultados experimentales de la Figura 37.

Con respecto al diámetro del medidor, si lo dividimos para el factor de escala λ de 0.054, obtenemos que la hélice de la embarcación prototipo debería ser

de 888 mm, sin embargo el diámetro real es de 1200 mm con 5 palas, [4]. Es decir que la hélice usada para el desarrollo de esta prueba no era correspondiente dimensionalmente, explicando la diferencia registrada.

ii. Análisis de Resultados Experimentales en la Condición Cargado.

En la Figura 39, se muestra las curvas de tendencia de la resistencia al avance en condición Cargado, de los resultados de la Tabla XXVIII, usando polinomios de segundo orden con sus respectivas ecuaciones.

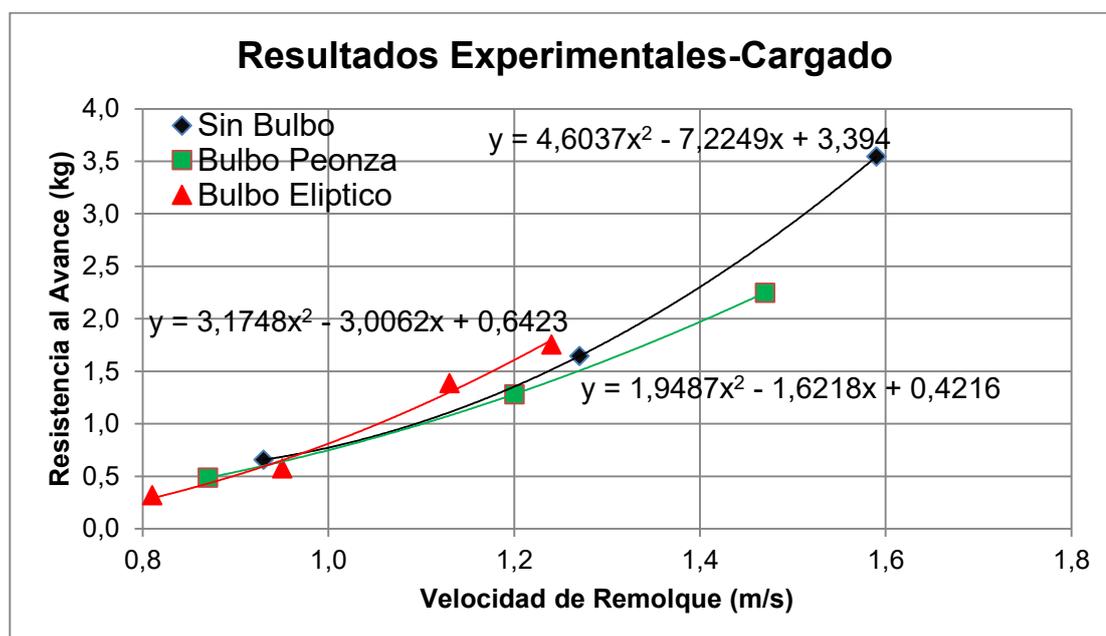


Figura No. 39 Curvas de Tendencia de Resultados Experimentales-Condición Cargado

En la imagen anterior se observa, al igual que en la condición de salida de puerto, 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. Para comprender mejor, el enunciado anterior, en la Figura 40, se grafican los resultados de la Tabla XXVIII de las velocidades de avance del modelo frente a las del viento durante la prueba, usando líneas de tendencia con polinomios de primer orden.

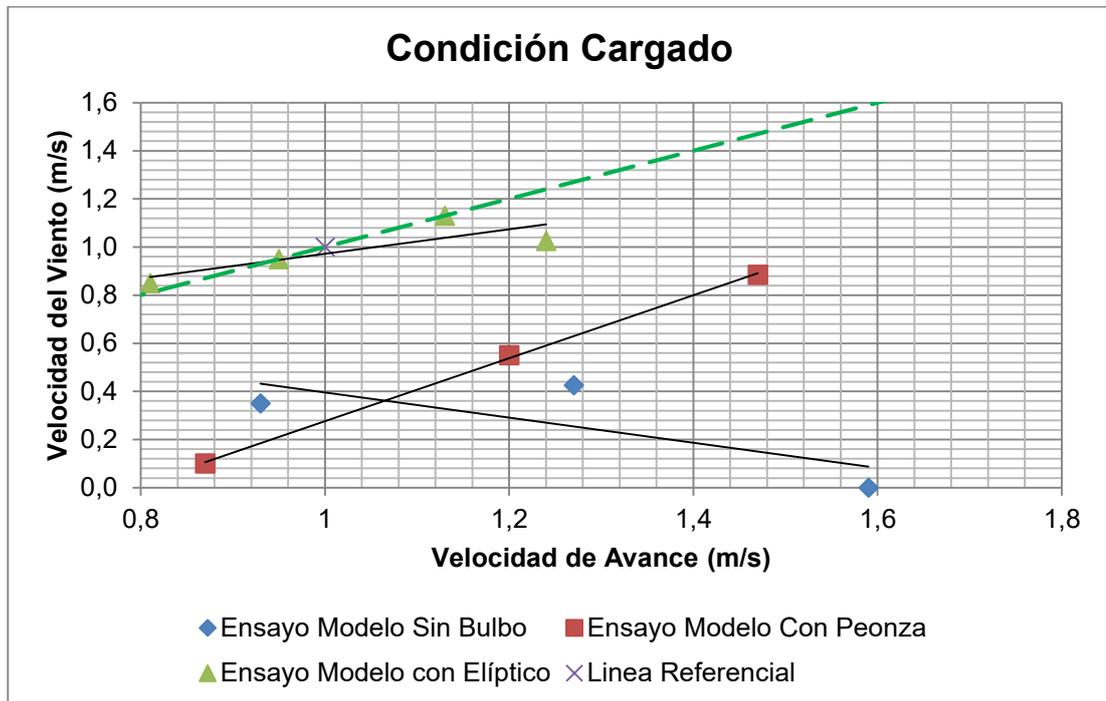


Figura No. 40 Tendencia de Velocidades del Viento frente a la velocidad de Avance—Cargado

Se puede observar en la imagen anterior, que las líneas de tendencia de las velocidades del viento para el ensayo del modelo, tienen pendientes positivas en los casos con bulbo Elíptico y peonza. La línea de tendencia del ensayo con el bulbo elíptico es la más cercana a la línea referencial mencionada anteriormente. Sin embargo la velocidad del viento en el ensayo con el modelo sin bulbo, tiene una pendiente negativa muy distante a la línea referencial. Esto indica que durante este ensayo, existieron velocidades de viento que probablemente afectaron estas mediciones.

Al igual, que en la condición de Salida de Puerto, se compara el factor de estela experimental con el teórico, obtenido con la formulación de Harvald. Reemplazando los datos para esta condición en la formulación anteriormente expuesta (11), se obtiene un factor de estela de 0.261.

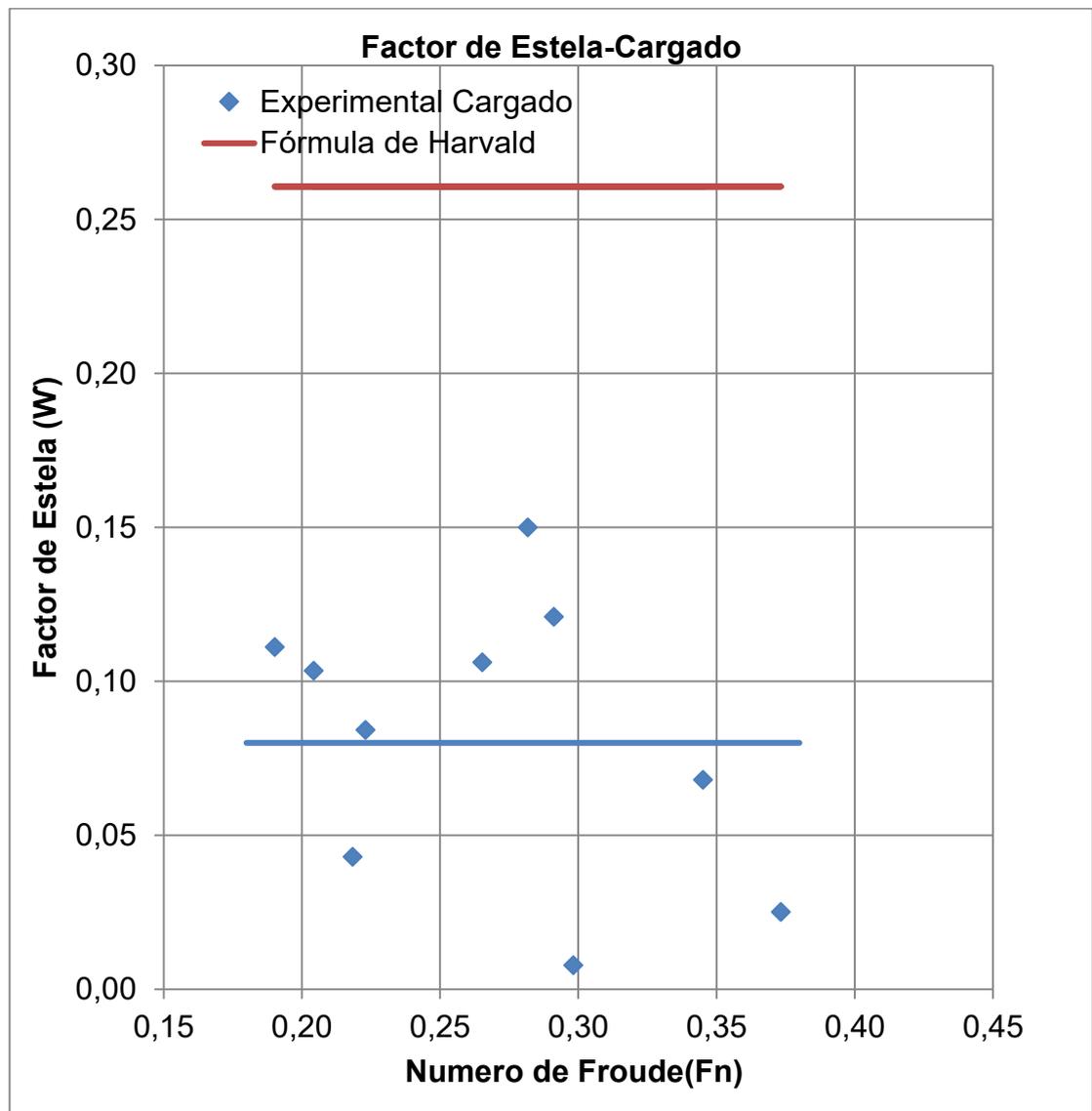


Figura No. 41 Factor de Estela-Condición Cargado

En la Figura anterior, se puede observar que al igual que en la condición Salida de puerto, existe una diferencia considerable del factor de estela calculado experimentalmente mediante la formulación de Taylor y el obtenido mediante la formulación de Harvald para dicha condición. Esta diferencia

probablemente se debió, por las mismas circunstancias mencionadas en la condición de Salida de puerto.

3.4 Comparación de los resultados teóricos y experimentales.

Se comparan los resultados teóricos y experimentales obtenidos mediante los métodos de Holtrop, [7], García, [8], y las pruebas de remolque. Se determina que para la condición de Salida de Puerto, las curvas de resistencia experimental del modelo sin bulbo y con los bulbos peonza y elíptico están por encima de las curvas teóricas de los métodos de Holtrop y García. La tendencia de las curvas experimentales para esta condición son similares a las teóricas obtenidas con la formulación de García para el mismo caso, en el rango de $0.25 \leq F_n \leq 0.40$, el cual es el de aplicación del método. Para la condición cargado, las curvas de resistencia experimental, se mantienen por encima de las curvas teóricas de los métodos ya mencionados, pero con valores mucho más cercanos. Para esta condición, los resultados experimentales tienen más proximidad con las curvas del método de Holtrop dentro del límite máximo de F_n de aplicación del método (0.38).

En este apartado, se procede a la comparación de los resultados teóricos-experimentales de la resistencia al avance. En la Figura 42, 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, [7], y García, [8], y los experimentales mediante ensayos de remolque del modelo incluyendo los bulbos peonza y elíptico.

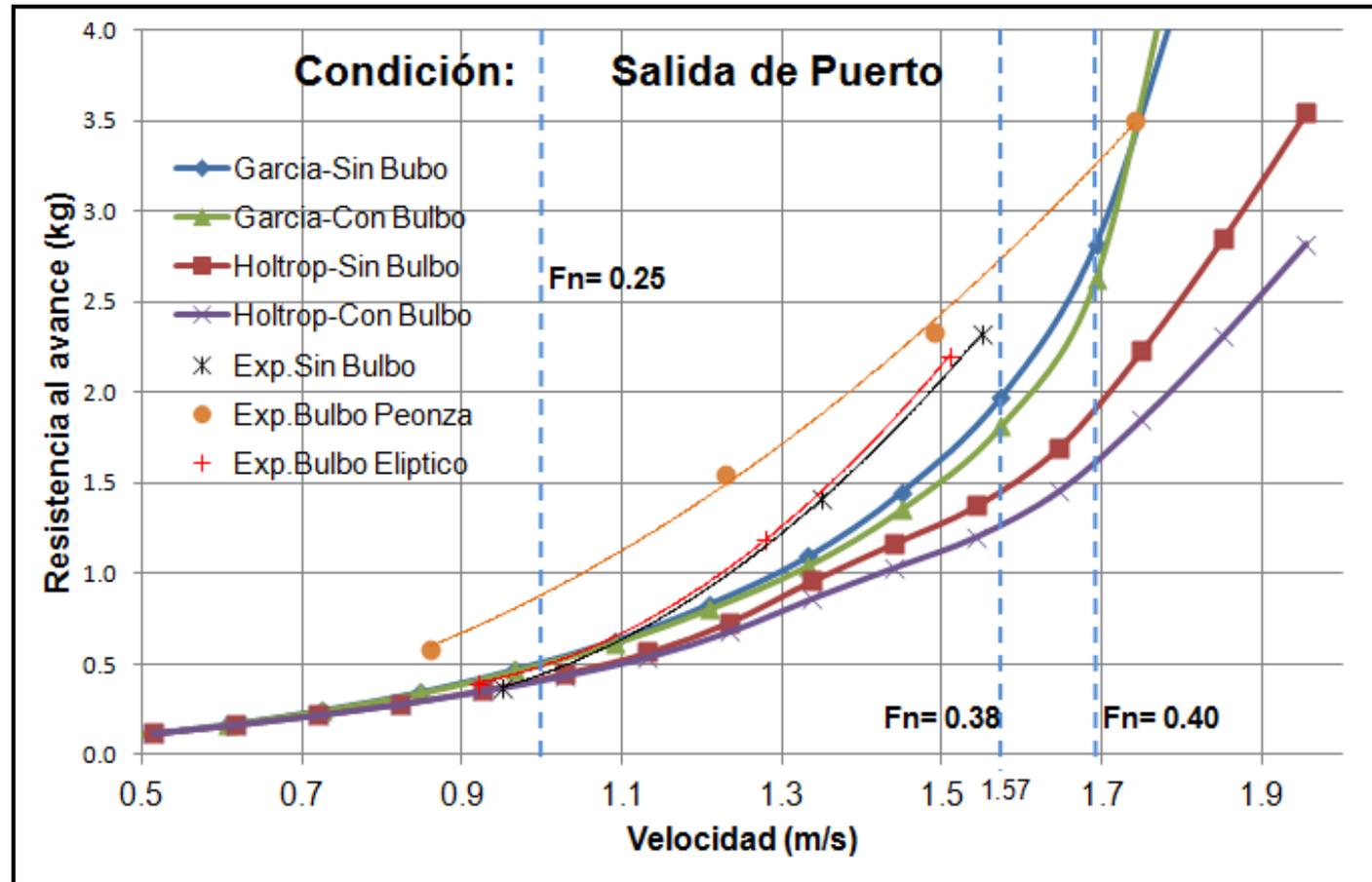


Figura No. 42 Comparación de los Resultados Teórico-Experimentales del modelo en la Condición Salida de Puerto

Como se puede apreciar en la Figura 42, los resultados experimentales están por encima de los resultados 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 los métodos 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 43, se presentan los resultados teóricos y experimentales de la resistencia al avance para la condición Cargado del modelo sin bulbo y con bulbo. Los resultados teóricos fueron calculados de igual forma con los métodos de Holtrop, [7], y García, [8], y los resultados experimentales mediante ensayos de remolque del modelo incluyendo los bulbos peonza y elíptico.

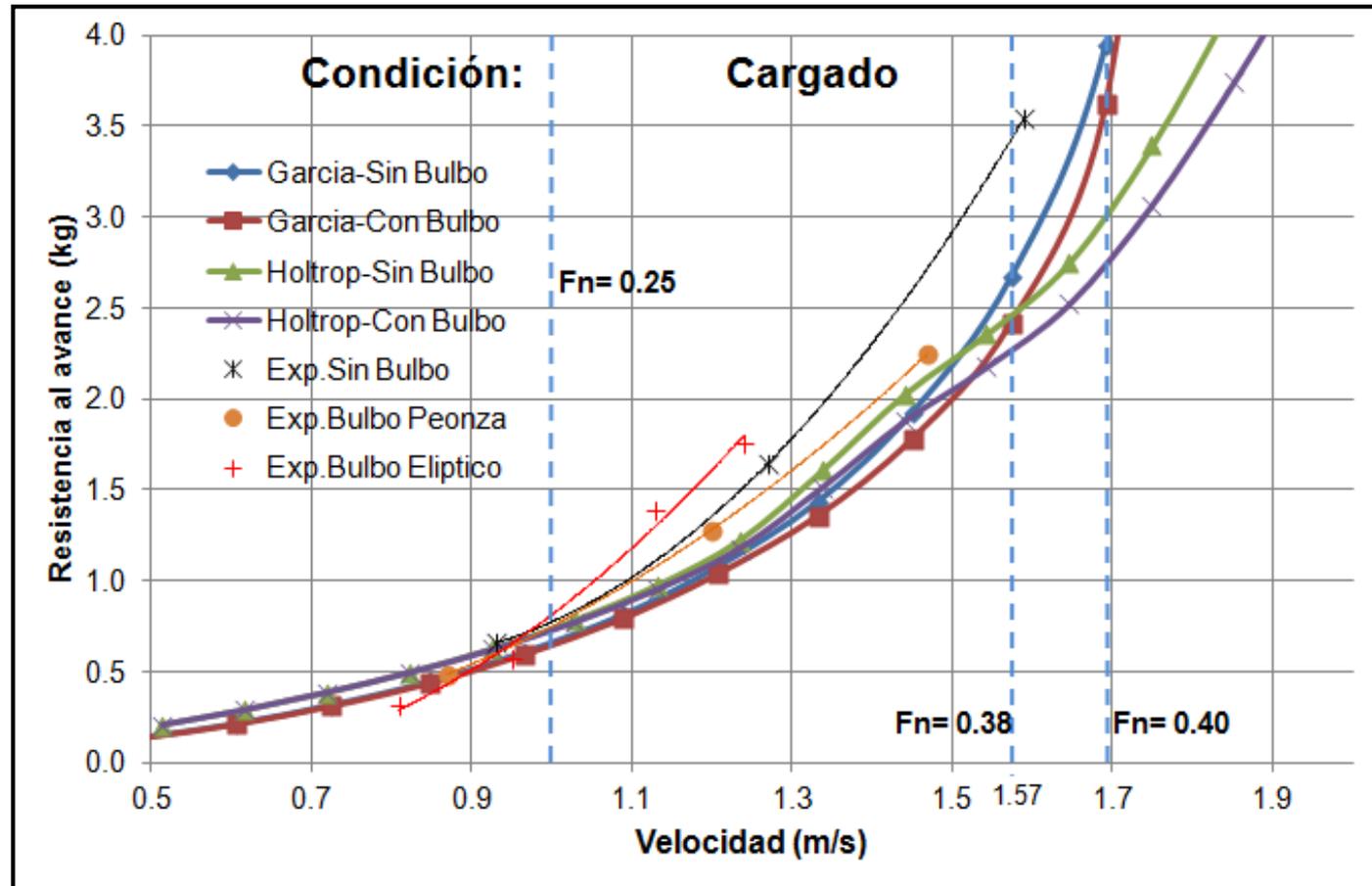


Figura No. 43 Comparación de los Resultados Teórico-Experimentales del modelo en la Condición Cargado

Como se puede apreciar en la Figura 43, 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 F_n 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 F_n 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).

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:

1. 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.

2. 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.
3. 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 útil.

4. El proceso experimental utilizado en esta tesis, 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.
5. 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.
6. 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.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda para futuros trabajos de determinación de resistencia, similares al desarrollado en este trabajo, que las pruebas se hagan en momentos de baja velocidad de viento. Además asegurarse que la zona de ensayo, esté libre de desechos naturales o artificiales que interfieran en el libre avance de la lancha de remolque así como del modelo de pruebas. Esto con la finalidad de evitar desviaciones en la dirección de avance así como enredos con los medidores de velocidad. También se recomienda aumentar el francobordo del

modelo o en su defecto que el casco sea cerrado, para evitar ingresos de agua que cambien el desplazamiento de la prueba.

2. En los resultados experimentales se observó, que el coeficiente de variación se reducía conforme la velocidad de remolque se incrementaba. Este parámetro expresa la variación de las lecturas respecto del promedio. Por ello se recomienda que para futuras pruebas, los ensayos se realicen a velocidades más altas con modelos de dimensiones más grandes que el usado en este trabajo.

APÉNDICES

APÉNDICE A

CLASIFICACIÓN, PARAMETROS BÁSICOS QUE DEFINEN LA GEOMETRÍA Y CÁLCULOS DE LAS DIMENSIONES DEL BULBO DE PROA

Los bulbos de Proa de un buque, pueden ser clasificados de la siguiente manera:

Según su intersección con la carena, pueden ser de dos tipos:

- **Bulbos Integrados.-** Son los que se unen con la carena con continuidad y suavidad.

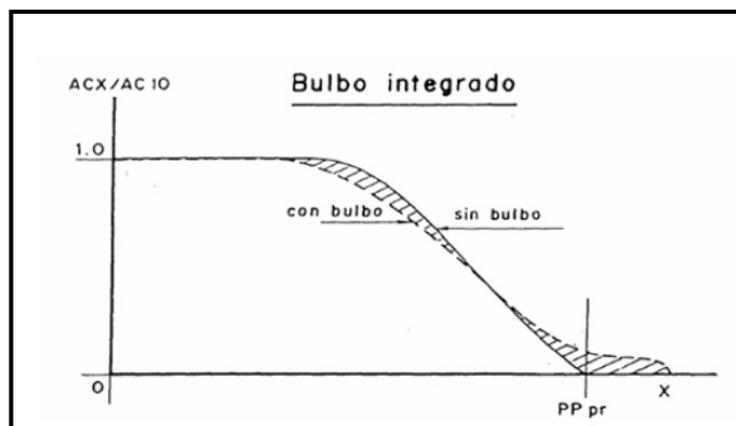


Figura No. 44 Forma General del Bulbo Integrado

- **Bulbos Postizos.-** Son aquellos que han sido añadidos a una carena previa sin bulbo, de forma tal que en la intersección del bulbo con la carena existe una línea de continuidad.

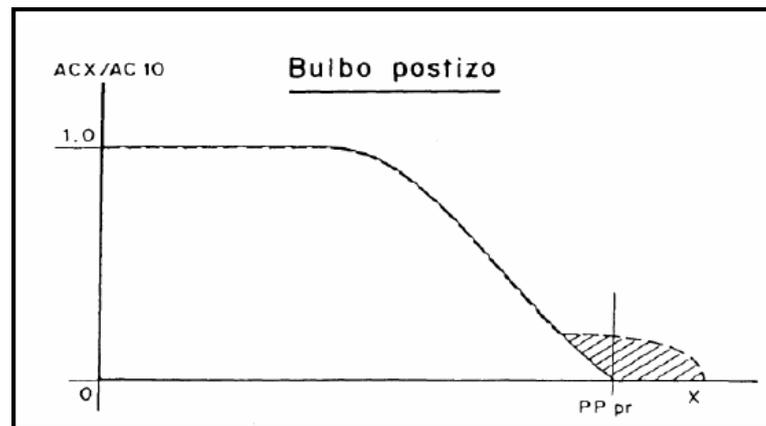


Figura No. 45 Forma General del Bulbo Postizo

Según el aspecto de las secciones (Figura 46), pueden clasificarse en:

- Tipo O (Elípticos)
- Tipo- Δ (Gota de agua)
- Tipo- ∇ (Peonza)

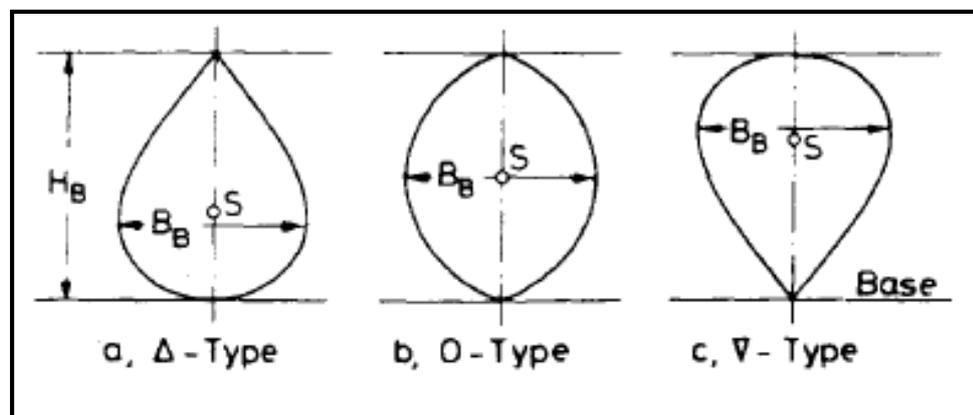


Figura No. 46 Clasificación de los bulbos según el aspecto de las secciones

Los parámetros que definen la geometría del bulbo, tienen una clasificación que incluye dos grandes grupos:

Parámetros Básicos, Dentro del cual se subdivide en:

- **Altura (h)**: Es la ordenada sobre la línea base del punto de protuberancia máximo. La línea de agua correspondiente se designará como L.D.A.X. Véase Figura 5.
- **Protuberancia (x)**: Es la abscisa del punto más a proa del contorno longitudinal del bulbo, medida desde la perpendicular de proa (sobre L.D.A.X). Véase Figura 5.
- **Área transversal (Sc20)**: Es el área de la sección transversal del bulbo por la perpendicular de proa (cuad.20). Véase Figura 5.

Parámetros Adicionales

Existe una serie de parámetros auxiliares que ayudan a la definición del bulbo:

- **Manga del Bulbo (b)**: Definida como la manga máxima de la sección transversal del bulbo por la perpendicular de proa. Véase Figura 5.
- **Altura Total (Z)**: Es la altura de la sección transversal del bulbo por la perpendicular de proa. Véase Figura 5.

Una vez descrita la geometría del bulbo de proa, se procede a calcular cada uno de estos parámetros para bosquejar el bulbo, haciendo uso de la formulación del profesor Núñez, [3].

Altura (h)

Para la mayoría de buques, la altura h puede valer entre el 35% y el 55% del calado máximo en proa, estando comprendido en un gran número de casos entre el 40 y el 50%. A falta de otros datos y para primeros tanteos, un 45% puede servir como valor de partida. Entonces considerando una condición de adrizado del buque, con el calado en proa de 2.41 m, la altura (h) del bulbo es de 1.53 m, medido desde la línea base de la embarcación.

Protuberancia (X)

Es un parámetro menos crítico que la altura, entendiendo con ello que admite una mayor variación sin grave deterioro de la calidad de las formas. Además, aún en el caso de que se buscase la protuberancia óptima por encima de todo, esta solo sería para un calado y velocidad determinados. Se presentan a continuación varios procedimientos para determinar la protuberancia de un bulbo:

a) Partiendo de un buque base:

Si se dispone de un buque base, similar al nuevo proyecto y se pretende obtener un bulbo de funcionamiento similar, puede aplicarse la fórmula siguiente:

$$100 * X' = 100 * X + K_1 * (C'_b - C_b) - K_2 * [(L/B)' - (L/B)] \quad (12)$$

Se indica con primas los valores correspondientes al nuevo proyecto, y sin ellas los del buque base. Aunque las constantes K_1 y K_2 varían algo con el tipo de buque y con el rango del número de Froude (F_n), en una gran mayoría de los casos se obtienen buenos resultados empleando los siguientes valores:

$$K_1 = 8 \quad \text{y} \quad K_2 = 0.4$$

La información base para el nuevo proyecto fue tomada del buque de investigación "Sirius", [14], perteneciente al Instituto Oceanográfico de la Armada, el cual fue construido por la empresa "Astinave". Esta embarcación posee un bulbo postizo de proa el cual fue dimensionado por el departamento de diseño de la empresa en mención. Este buque tiene unas dimensiones muy parecidas al prototipo aquí analizado y aunque cumple funciones muy

diferentes, se piensa que es una buena base de partida. Teniendo como datos:

Buque Base:

$$L = 32.93 \text{ m}$$

$$B = 8.00 \text{ m}$$

$$C_b = 0.41$$

$$X = 0.75 \text{ m}$$

Nuevo Proyecto:

$$L' = 36.58 \text{ m}$$

$$B' = 8.5 \text{ m}$$

$$C_b' = 0.55$$

$$X' = \text{Valor a determinarse}$$

Se obtiene como resultado una protuberancia $X' = 0.77 \text{ m}$.

b) A partir de expresiones empíricas:

Puede afirmarse que la fiabilidad de estas expresiones es adecuada para la mayoría de los proyectos, aunque, como es lógico, no proporcionan un valor de X óptimo en todos los casos. Dentro de estas expresiones se ha considerado dos tipos de bulbo.

Para bulbos bajos (Para condición en lastre), se tiene la siguiente expresión:

$$X = 0.1811 * C_b * B/L + 0.0074 \quad (13)$$

Reemplazando los datos conocidos se obtiene una protuberancia de $X = 0.43$ m.

Para bulbos normales y altos (Para plena carga y lastre), se tiene que:

$$X = 0.2642 * C_b * B/L - 0.0046 \quad (14)$$

De la misma forma anterior, se obtiene una protuberancia de $X = 0.62$ m

Finalmente para este estudio, se selecciona como protuberancia del bulbo el resultante de la formulación que parte de un buque base.

Área transversal (S_{C20})

Corresponde al área transversal del bulbo en la perpendicular de proa, esta área tiene una relación directa con el área de la cuaderna maestra en Sección Media y la cual debe ser corregida por un factor de S_b dado en la siguiente Figura 46.

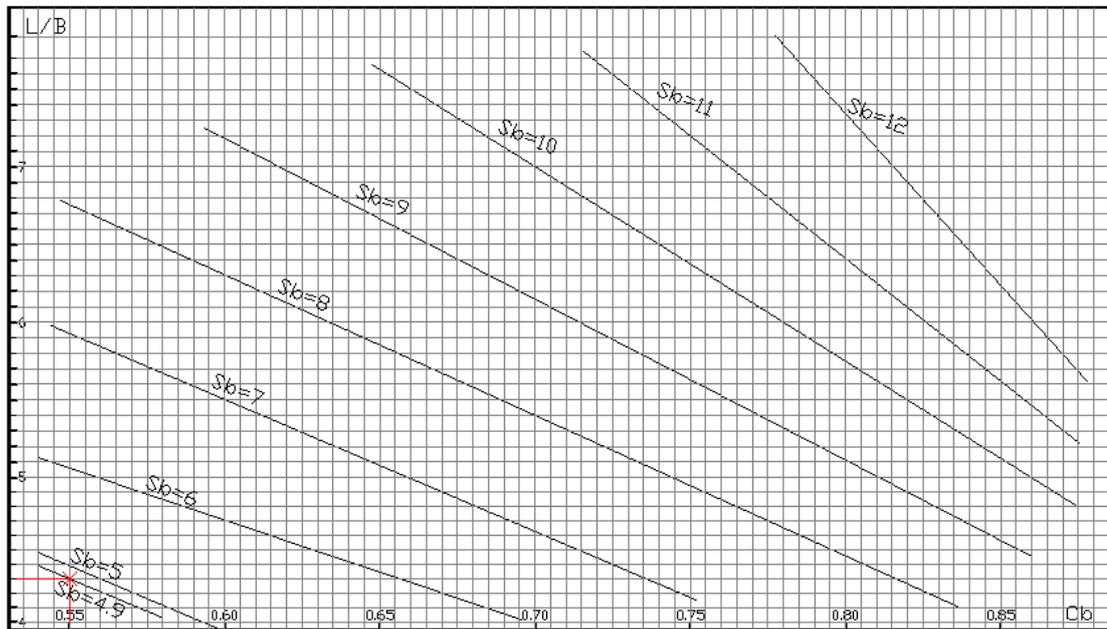


Figura No. 47 Factor de corrección del área de la cuaderna maestra

Teniendo como datos una relación de $L/B = 4.3$ y un $C_b = 0.55$ se obtiene que el factor S_b es 4.9, además el área de la cuaderna maestra $S_{c10} = 32.36 \text{ m}^2$, de donde se obtiene que:

$$S_{c20} = S_{c10} * S_b / 100 \quad (15)$$

resultando,

$$S_{c20} = 1.58 \text{ m}^2$$

Manga del bulbo (b)

Con el valor de S_{c20} , se puede determinar la manga del bulbo, para esto se puede muy general asumir que la sección transversal S_{c20} en la perpendicular de proa del bulbo, se asemeja a una elipse (Véase Figura 48).

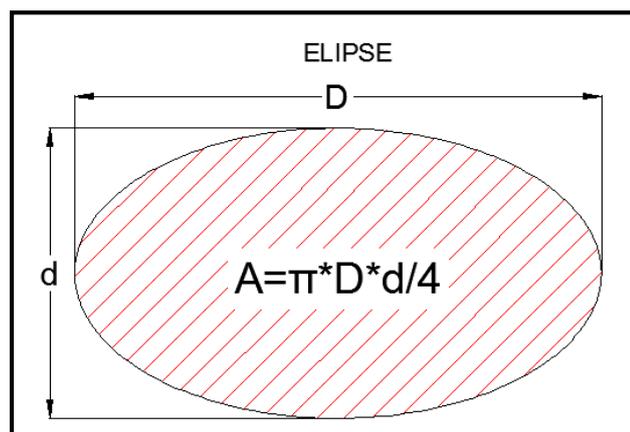


Figura No. 48 Área de una Elipse

En esta Figura la manga del bulbo (b) corresponde ad, y, la altura máxima del bulbo (Z) con D, y luego despejar la variable que necesito determinar cómo se muestra a continuación:

$$S_{c20} = \frac{\pi}{4} * D * d = \frac{\pi}{4} * Z * b(16)$$

de donde se despeja b y se obtiene que:

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

Se observa que falta seleccionar el valor de Z la altura máxima del bulbo. Dicho parámetro no ha sido descrito en los párrafos anteriores, ya que no existe una fórmula definida, puesto que este valor se lo obtiene del esbozo del perfil del bulbo mediante el uso de los parámetros básicos determinados anteriormente y el calado de proa.

Para el bosquejo del perfil del bulbo se usó el programa AutoCad, [6], y para ello se modificó la proa del plano de Líneas de Formas con las herramientas de diseño de dicho programa, de donde se determinó una altura Z de 1.77m. Reemplazando todos los datos se obtiene la manga del bulbo.

$$b = \frac{4 * 1.58}{1.77 * \pi} = 1.13 \text{ m}$$

Finalmente se aplica el factor de escala λ de 0.054, para obtener las características de los bulbos que se acoplaran al modelo de la embarcación, que se presenta en la Tabla IV.

APÉNDICE B.

TERMINOS LEGALES DEL USO DEL PROGRAMA Y TECNICA DE MODELADO DE LA SUPERFICIES CON FREE!SHIP.

B.1. Términos Legales del uso del Programa.

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, [2].

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, como se ve en la Figura 49.

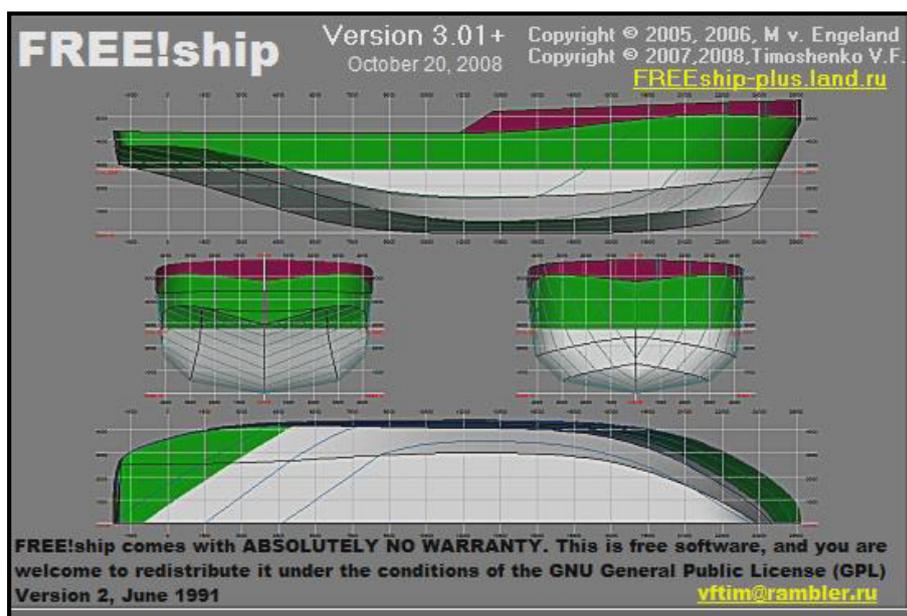
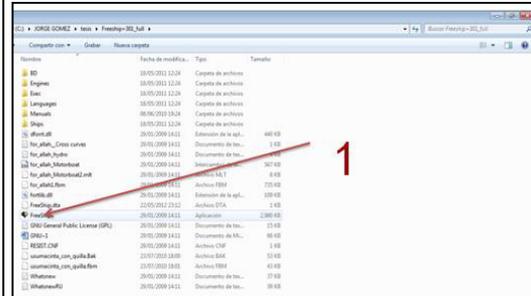


Figura No. 49 Imagen de Inicio del programa FREE!ship

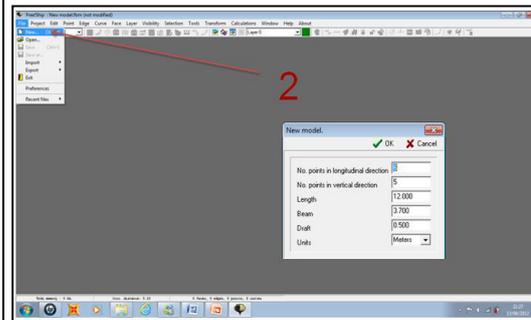
FREE!ship utiliza una técnica denominada modelado de superficies para definir las formas de un barco. Esta técnica consiste en "esculpir" el casco como si fuera una pieza muy delgada y flexible como una tela estirada usando las superficies Nurbs y B-Spline, las cuales son representaciones matemáticas precisas manejadas con puntos de control que representan a la superficie misma. A diferencia de otros programas, FREE!ship utiliza superficies de subdivisión para modelar por completo el barco. Las superficies de subdivisión dan la flexibilidad de diseño para modelar cualquier forma deseada. Pero cuando se quiere sacar el máximo provecho de esta técnica es importante tener un conocimiento básico de algunos de sus principios.

B.2. Modelado de la Embarcación a Escala en el Programa FREE!ship.

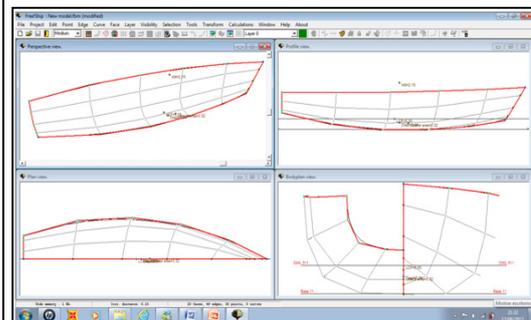
1. Ejecutar el programa desde la carpeta que lo contiene.



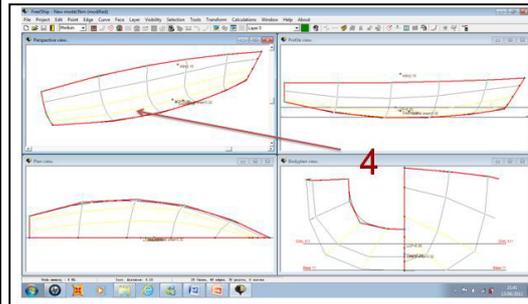
2. Seleccionar la pestaña "File" y dar clic sobre el ícono "New Model" e ingresar los parámetros requeridos por el programa



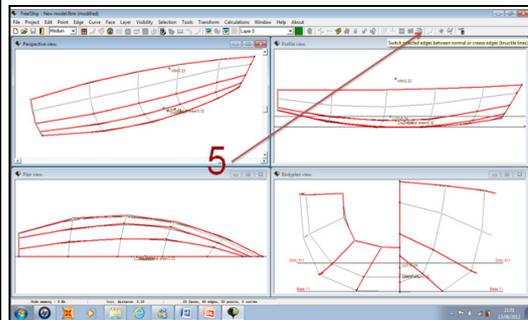
3. Automáticamente se creará una superficie base sobre la cual se esculpirá el modelo de la embarcación.



4. Con la tecla “Ctrl” aplastada se da clic sobre las líneas que se quieren convertir en chinas.



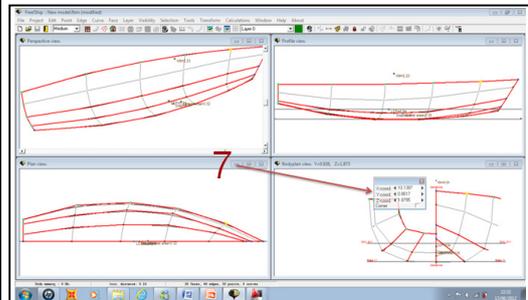
5. Se da clic en el icono “Knucklelines”, para que estas líneas se conviertan en chinas.



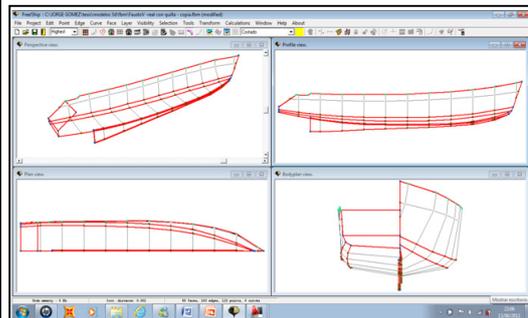
6. Desde el Programa AutoCad, obtener las coordenadas X, Y, Z de los puntos del perfil y las estaciones del plano de líneas de formas.



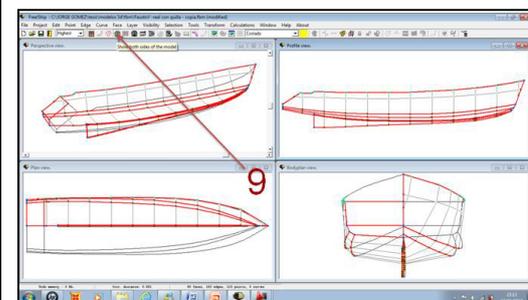
7. En la vista transversal del modelo base, al seleccionar un punto de cualquier estación, se abrirá una ventana en la cual se ingresarán las coordenadas obtenidas en el punto anterior con AutoCad. (esto se debe hacer para todas las estaciones)



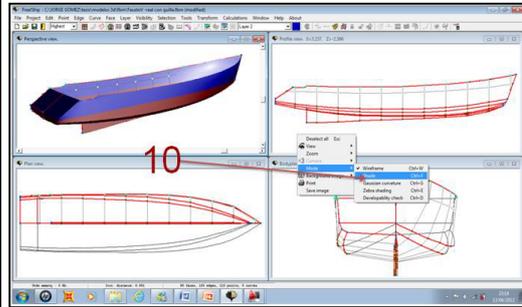
8. Luego de cambiar las coordenadas de todos los puntos de las estaciones, se obtiene la forma final del modelo de la embarcación a escala.



9. Para observar las dos bandas del modelo, se selecciona el icono "Show bothsides of themodel".



10. Para observar una vista sombreada del modelo, se debe hacer clic derecho e ir a “mode” y seleccionar “Shade” o en su caso presionar “ctrl+f”.



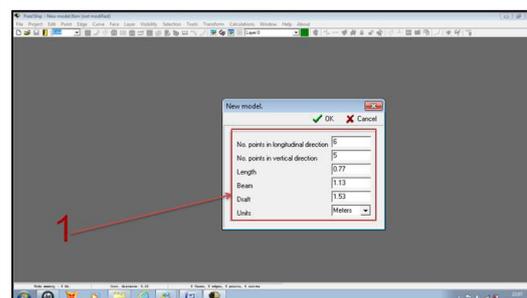
B.3. Modelado de los Bulbos Elíptico y Peonza en el Programa FREE!ship.

En el modelado de los bulbos de proa para el modelo, se siguen los mismos pasos aplicados en el apéndice B.2, con la diferencia que no se tienen coordenadas para los puntos de las superficie base, ya que es un diseño nuevo que parte desde los parámetros básicos.

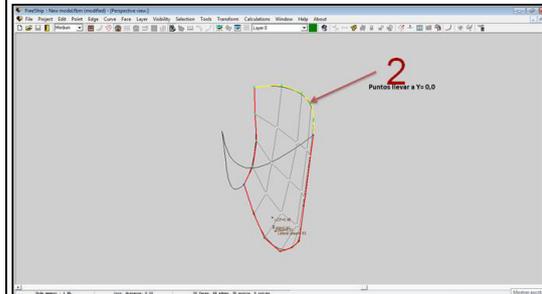
Pasos para el diseño del bulbo Elíptico (Tipo O)

Dado que se asume que el lector, tiene un conocimiento previo del uso del programa FREE!ship desde el apéndice B.2, se obviarán pasos primeros.

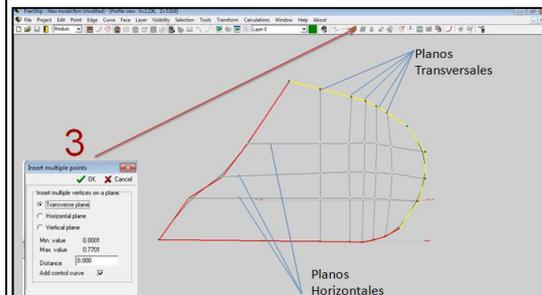
1. Se ingresa en la ventana de datos del programa FREE!ship, los parámetros básicos determinados en el apéndice A (protuberancia, manga y altura del bulbo).



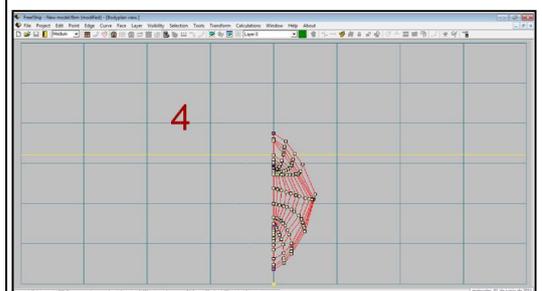
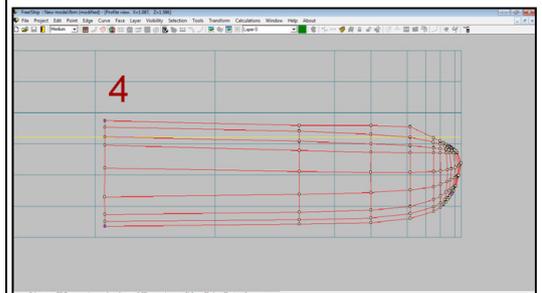
2. Seleccionar los puntos del contorno superior de la superficie base y llevarlos a la coordenada $Y=0$.



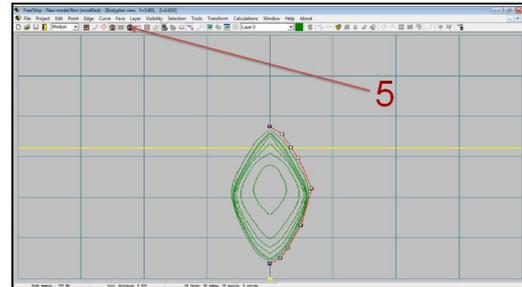
3. Con el comando "3D orientedplane", se insertan planos orientados con el fin de tener más puntos de control sobre la superficie base.



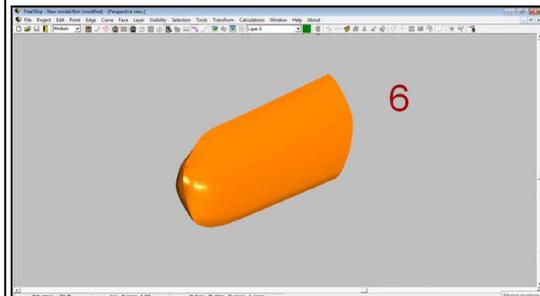
4. Los puntos de la superficie, se mueven libremente con el fin de dar la forma deseada al bulbo. En el presente caso se ingresaron 7 planos horizontales y 11 planos verticales para obtener la forma final del bulbo elíptico.



5. Con el comando “Toggle stations visibility”, se activa la vista de las estaciones, con el fin de distinguir el cambio de las formas de las secciones del bulbo.



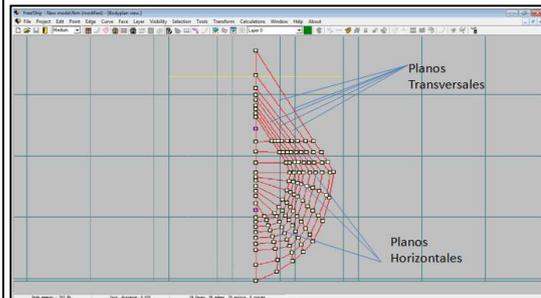
6. Finalmente con el comando “shade (ctrl+F)”, se observa una vista isométrica sombreada del bulbo elíptico terminado.



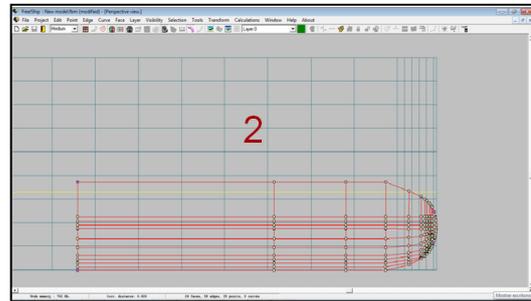
Pasos para el diseño del bulbo Peonza (Tipo-▼)

Para el modelado de este tipo de bulbo, se mantuvo constantes los parámetros básicos determinados en el apéndice A, como la protuberancia, manga, S_{C20} de la sección que pasa por la perpendicular de proa, pero se busca que la forma final del bulbo peonza, a partir de esta sección, quede a criterio del diseñador.

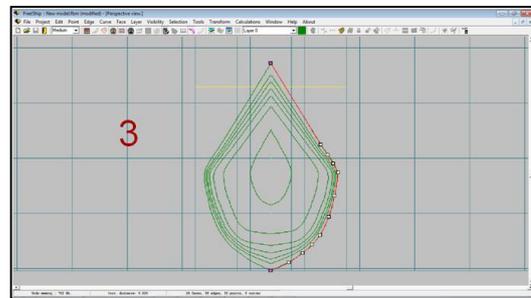
1. Se observa las formas finales del bulbo de tipo peonza, en el cual se insertaron 9 planos transversales y 10 planos horizontales con el comando mostrado en el diseño del bulbo anterior.



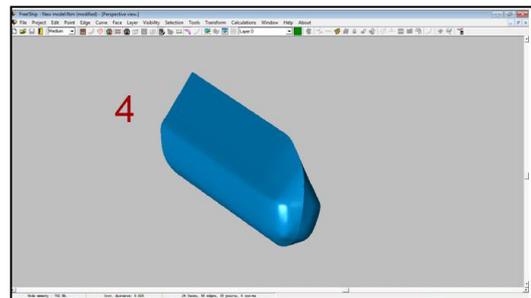
2. Se observa la vista de perfil del bulbo terminado, en el cual se pueden apreciar los planos transversales y horizontales de los que está compuesto.



3. Se activa las estaciones del bulbo para ver como varían las secciones a lo largo de su protuberancia.



4. Finalmente con los comandos ya conocidos, se puede obtener una vista isométrica sombreada del bulbo de tipo peonza.



APÉNDICE C.

FORMULACIONES PARA EL CÁLCULO DE LA RESISTENCIA AL AVANCE CON EL MÉTODO DE GARCÍA.

Dividiendo la fórmula de la Resistencia Total al avance, (3), para el término inercial se obtienen los coeficientes dimensionales de resistencia:

$$C_T = C_F + C_A + C_R \quad (17)$$

donde:

C_F : Coeficiente de Resistencia Friccional.

C_A : Coeficiente de Resistencia por Rugosidad.

C_R : Coeficiente de Resistencia Residual.

La Resistencia por Fricción se determina teóricamente mediante una placa plana de idéntica longitud a la máxima eslora sumergida. Para ello, se ha utilizado la formulación presentada en el ITTC – 1957, [9], que tiene como expresión para el coeficiente de resistencia de fricción:

$$C_F = \frac{0.075}{(\log R_n - 2)^2} \quad (18)$$

Siendo R_n el número de Reynolds correspondiente a la eslora de desplazamiento:

$$R_n = \frac{V * L_D}{\nu} \quad (19)$$

donde:

V : Velocidad del buque, m/s

L_D : Eslora de desplazamiento, m

ν : Viscosidad cinemática del agua de mar a 25 °C, m²/s.

En este caso la eslora de desplazamiento L_D coincide con la eslora de flotación, debido a que el pesquero no tiene bulbo y se lo obtiene fácilmente del plano de líneas de formas. Teniendo así una L_D a la Salida de Puerto igual a 35.18 m y en la condición Cargado de 34.62 m. L_D se puede medir en el plano de Formas pero si no se la tiene al alcance, se la puede aproximar con la siguiente ecuación:

$$L_D = L_{WL} = 1.11 * \nabla^{1/3} + 0.874 * L_{pp} - 2.56 \quad (20)$$

siendo ∇ el volumen de desplazamiento en m³.

En el método de García la Resistencia debido a la Rugosidad del buque real se estima mediante un coeficiente empírico C_A dado por:

$$C_A = \left[\begin{array}{l} 69 + 200 * C_b * \frac{B}{Lpp} - 0.26 * Lpp + \frac{1300}{Lpp} - \\ - 29.5 * \log(Lpp) + 17 * \frac{B}{T} - \left(\frac{B}{T}\right)^2 \end{array} \right] * 10^{-5} \quad (21)$$

C_b : Coeficiente de bloque.

Como es conocido, es necesario obtener la Resistencia Residual mediante ensayos con remolques, dado que en su mayor parte es debido a la resistencia por formación de olas y a la resistencia de formas. Se puede suponer que el coeficiente de resistencia residual, C_R , no está sometido al efecto de escala, siendo igual para el modelo que para el buque, [8]. El Coeficiente de Resistencia Residual vendrá entonces dado por:

$$C_R = C_T * (RR/RT) \quad (22)$$

García obtuvo en forma estadística una expresión para el valor de la relación entre la resistencia residual RR y la resistencia total RT para buques reales, mediante la siguiente expresión.

$$\frac{RR}{RT} = 1.24 * C_b * \frac{B}{Lpp} + 0.265 * Fn^2 + 2.151 * Fn - 0.298 \quad (23)$$

donde:

$$F_n = V / (g * L_{pp})^{1/2}$$

Luego sustituyendo el coeficiente de la Resistencia Residual, (23), en la ecuación de los coeficientes dimensionales de resistencia, (4), resulta:

$$C_T = \frac{(C_F + C_A)}{(1 + RR/RT)} \quad (24)$$

Donde todos los términos se pueden calcular mediante las expresiones anteriores. Una vez calculado el coeficiente de resistencia total, se puede calcular la resistencia.

$$R_T = C_T * (0.5 * \rho * S_{CAP} * V^2) \quad (25)$$

siendo S_{CAP} = Superficie mojada con apéndices en m²

En caso de necesidad, García desarrolló una formulación que puede servir para estimar la superficie mojada del casco sin apéndices.

$$S_{SAP} = 3.019 * \nabla^{2/3} + 0.602 * L_{pp} * \nabla^{1/3} - 1.734 \quad (26)$$

APÉNDICE D.

CALCULO DE LA RESISTENCIA AL AVANCE CON EL METODO DE GARCIA PARA LA EMBARCACION REAL SIN BULBO EN LAS DOS CONDICIONES DE CARGA.

Debido a la forma que se presenta el método de García primero se tiene que calcular la resistencia al avance de la embarcación prototipo para luego mediante análisis dimensional llegar a la del modelo. A continuación se presentan los resultados la embarcación real sin bulbo implementando las formulaciones del método de García. Para aplicar dicha formulación es necesario contar con los datos que se presentan en la Tabla XI del subcapítulo 2.1, enfatizándose que cumple con todas las exigencias del método.

En las siguientes Tablas XXX y XXXI se presentan los resultados del método de García para la Resistencia al Avance en las condiciones de Salida de Puerto y Cargado. Partiendo de estos resultados y mediante análisis dimensional se puede encontrar la Resistencia al Avance para el modelo.

Vel. (nudos)	Fn	Cf.	Ca.	RR/RT	CR.	C. Total	R. Total (Kg)
1	0.029	0.003	0.001	-0.057	0.000	0.004	16.949
2	0.058	0.002	0.001	0.006	0.000	0.004	67.017
3	0.087	0.002	0.001	0.069	0.000	0.004	154.781
4	0.116	0.002	0.001	0.133	0.001	0.004	287.550
5	0.144	0.002	0.001	0.197	0.001	0.004	475.500
6	0.173	0.002	0.001	0.262	0.001	0.005	732.740
7	0.202	0.002	0.001	0.327	0.002	0.005	1079.191
8	0.231	0.002	0.001	0.392	0.002	0.005	1543.754
9	0.260	0.002	0.001	0.458	0.003	0.006	2169.896
10	0.289	0.002	0.001	0.524	0.004	0.007	3026.051
11	0.318	0.002	0.001	0.591	0.005	0.008	4226.440
12	0.347	0.002	0.001	0.658	0.006	0.009	5976.954
13	0.375	0.002	0.001	0.726	0.008	0.012	8690.071
14	0.404	0.002	0.001	0.794	0.012	0.015	13330.525
15	0.433	0.002	0.001	0.862	0.020	0.023	22804.220

Tabla No. XXX Resistencia Total del barco real con sus componentes en la condición Salida de Puerto

Vel. (nudos)	Fn	Cf.	Ca.	RR/RT	Cr.	C. Total	R. Total (Kg)
1	0.029	0.003	0.001	-0.027	-1.05E-04	0.004	21.722
2	0.058	0.002	0.001	0.035	1.35E-04	0.004	85.919
3	0.087	0.002	0.001	0.099	3.86E-04	0.004	198.686
4	0.116	0.002	0.001	0.162	6.65E-04	0.004	369.790
5	0.144	0.002	0.001	0.226	9.83E-04	0.004	612.938
6	0.173	0.002	0.001	0.291	1.36E-03	0.005	947.334
7	0.202	0.002	0.001	0.356	1.80E-03	0.005	1400.421
8	0.231	0.002	0.001	0.421	2.35E-03	0.006	2012.609
9	0.260	0.002	0.001	0.487	3.03E-03	0.006	2845.798
10	0.289	0.002	0.001	0.554	3.92E-03	0.007	3999.704
11	0.318	0.002	0.001	0.620	5.13E-03	0.008	5645.802
12	0.347	0.002	0.001	0.688	6.86E-03	0.010	8105.864
13	0.375	0.002	0.001	0.755	9.55E-03	0.013	12062.629
14	0.404	0.002	0.001	0.823	1.43E-02	0.017	19262.967
15	0.433	0.002	0.001	0.892	2.52E-02	0.028	35913.883

Tabla No. XXXI Resistencia Total del barco real con sus componentes en la condición Cargado

APÉNDICE E.

CALCULO DE LA RESISTENCIA AL AVANCE CON EL METODO DE GARCIA PARA LA EMBARCACION REAL CON BULBO EN LAS DOS CONDICIONES DE CARGA.

Para el cálculo de la Resistencia al Avance de la embarcación real con bulbo implementando el método de García en las dos condiciones de carga se realiza el mismo procedimiento detallado en el Apéndice D. Para ello se utiliza los datos que se presentan en la Tabla XIX del subcapítulo 2.2.

Se obtienen las siguientes Tablas XXXII y XXXIII en las cuales se presentan los resultados en las condiciones de Salida de Puerto y Cargado. Partiendo de estos resultados y mediante análisis dimensional, se podrá obtener la resistencia al avance para el modelo con bulbo.

Vel. (nudos)	Vel. (m/s)	F _{nBb}	a	b	%DES	(RR/RT) _{s/b}	(RR/RT) _{c/b}	R _n	CF.	CA.	C. Total	R. Total (Kg)
1	0,514	0,187	253,099	-893,812	70.347	-0.057	-0.033	1.94E+07	0,003	0,001	0.004	17.314
2	1,029	0,375	173,162	-609,025	50.622	0.006	0.004	3.88E+07	0,002	0,001	0.004	66.810
3	1,543	0,562	110,026	-383,872	35.263	0.069	0.051	5.82E+07	0,002	0,001	0.004	151.684
4	2,058	0,749	61,827	-211,784	23.740	0.133	0.108	7.76E+07	0,002	0,001	0.004	279.068
5	2,572	0,936	26,701	-86,194	15.521	0.197	0.171	9.70E+07	0,002	0,001	0.004	459.898
6	3,086	1,124	2,785	-0,534	10.075	0.262	0.238	1.16E+08	0,002	0,001	0.004	709.091
7	3,601	1,311	-11,785	51,764	6.870	0.327	0.306	1.36E+08	0,002	0,001	0.005	1045.647
8	4,115	1,498	-18,872	77,266	5.375	0.392	0.372	1.55E+08	0,002	0,001	0.005	1493.308
9	4,630	1,685	-20,340	82,542	5.060	0.458	0.436	1.75E+08	0,002	0,001	0.006	2083.310
10	5,144	1,873	-18,052	74,158	5.391	0.524	0.497	1.94E+08	0,002	0,001	0.006	2862.189
11	5,658	2,060	-13,872	58,683	5.840	0.591	0.558	2.13E+08	0,002	0,001	0.007	3911.138
12	6,173	2,247	-9,663	42,684	5.873	0.658	0.622	2.33E+08	0,002	0,001	0.008	5395.721
13	6,687	2,434	-7,290	32,729	4.959	0.726	0.692	2.52E+08	0,002	0,001	0.010	7717.574
14	7,202	2,622	-8,614	35,385	2.569	0.794	0.774	2.72E+08	0,002	0,001	0.014	12147.802
15	7,716	2,809	-15,501	57,220	-1.831	0.862	0.879	2.91E+08	0,002	0,001	0.026	25804.258

Tabla No. XXXII Resistencia Total del barco real con bulbo y sus componentes en la condición Salida de Puerto

Vel. (nudos)	Vel. (m/s)	FnBb	a	b	%DES	(RR/RT)s/b	(RR/RT)c/b	Rn	CF.	CA.	C.Total	R. Total (Kg)
1	0,514	0,187	253,099	-893,812	70.347	-0.027	-0.016	1.87E+07	0,003	0,001	0.004	21.983
2	1,029	0,375	173,162	-609,025	50.622	0.035	0.024	3.75E+07	0,002	0,001	0.004	84.939
3	1,543	0,562	110,026	-383,872	35.263	0.099	0.073	5.62E+07	0,002	0,001	0.004	193.321
4	2,058	0,749	61,827	-211,784	23.740	0.162	0.131	7.50E+07	0,002	0,001	0.004	356.797
5	2,572	0,936	26,701	-86,194	15.521	0.226	0.196	9.37E+07	0,002	0,001	0.004	590.166
6	3,086	1,124	2,785	-0,534	10.075	0.291	0.264	1.12E+08	0,002	0,001	0.004	913.676
7	3,601	1,311	-11,785	51,764	6.870	0.356	0.333	1.31E+08	0,002	0,001	0.005	1353.297
8	4,115	1,498	-18,872	77,266	5.375	0.421	0.400	1.50E+08	0,002	0,001	0.005	1941.822
9	4,630	1,685	-20,340	82,542	5.060	0.487	0.464	1.69E+08	0,002	0,001	0.006	2723.060
10	5,144	1,873	-18,052	74,158	5.391	0.554	0.525	1.87E+08	0,002	0,001	0.007	3763.585
11	5,658	2,060	-13,872	58,683	5.840	0.620	0.586	2.06E+08	0,002	0,001	0.008	5182.304
12	6,173	2,247	-9,663	42,684	5.873	0.688	0.649	2.25E+08	0,002	0,001	0.009	7228.830
13	6,687	2,434	-7,290	32,729	4.959	0.755	0.719	2.44E+08	0,002	0,001	0.011	10534.976
14	7,202	2,622	-8,614	35,385	2.569	0.823	0.803	2.62E+08	0,002	0,001	0.016	17261.757
15	7,716	2,809	-15,501	57,220	-1.831	0.892	0.908	2.81E+08	0,002	0,001	0.033	42460.644

Tabla No. XXXIII Resistencia Total del barco real con bulbo y sus componentes en la condición Cargado

APÉNDICE F.

DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS MECANICOS Y ELECTRONICOS USADOS EN EL ENSAYO DE LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES DE REMOLQUE

CELDA DE CARGA:

La celda de carga es un sensor de tensión/compresión que permite, al igual que un dinamómetro, obtener el valor de la fuerza de resistencia al avance del modelo. La celda es de marca AMCELL, modelo STL-50 lb con una potencia nominal de $3 \text{ mV/V} \pm 1\%$

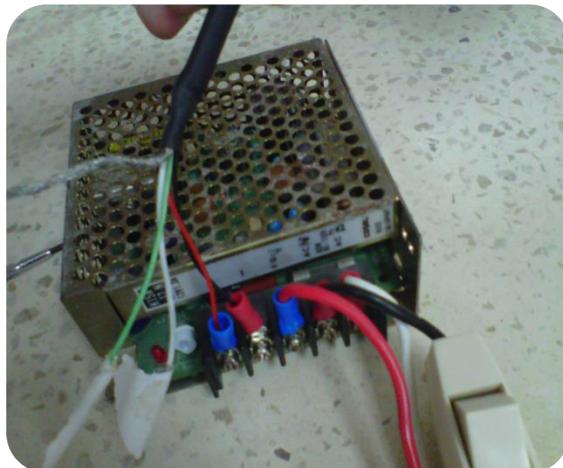
**TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS:**

El Sistema de adquisición de datos se realiza a través de una tarjeta externa con comunicación a la PC con conexión USB. La programación que utiliza, es el lenguaje LabView, software especializado en adquisición y procesamiento de datos.



FUENTE DE PODER:

Usada para alimentar la celda de carga, la cual es capaz de recibir un voltaje entre 10V y 20 V. La fuente a su vez, mediante un enchufe se alimenta de un voltaje de 110 V.

**BATERIA DE 12 V E INVERSOR DE POTENCIA:**

La batería de 12 V, es conectada al convertidor de potencia para producir un voltaje de 110 V y de esta manera conectar la fuente que alimenta a la celda de carga, así como el computador usado para el manejo del software de adquisición de datos.



MEDIDORES DE VELOCIDAD**DEL AGUA:**

Dispositivo usado en la popa del modelo a escala sujeta al espejo, para medir la velocidad de avance, se coloca también en la proa del bote de remolque para medir la velocidad de la estela generada. (Mide velocidades entre 0.03 m/s a 7.5 m/s)

**MEDIDOR DE VELOCIDAD DEL VIENTO (ANEMÓMETRO):**

Este dispositivo es usado para medir la velocidad del viento y la temperatura del ambiente.

Se medirá la velocidad del viento como dato adicional para cada velocidad de prueba del modelo a escala.

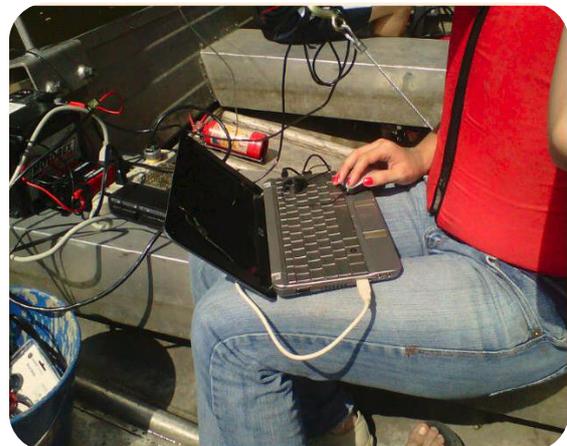


MOTOR FUERA DE BORDA:

Motor de 4 tiempos de 6 HP de la marca Yamaha, usado para impulsar el bote de remolque.

**COMPUTADOR PORTATIL:**

El cual, debe tener instalado los controladores de reconocimiento de la tarjeta de adquisición de datos, así como el programa DaqView, para recopilar los resultados de las pruebas.



WINCHE MANUAL:

El cual tiene una capacidad máxima de 1 ton, es usado para regular la altura y mantener estable el brazo mecánico en el momento del remolque del modelo de prueba.



Tabla No. XXXIV Equipos Usado en la Prueba Experimental de Remolque.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] www.junsa.com.ec
- [2] **M. V. Engeland.**, “FREE!ship manual” Versión 2.6. 2006.
- [3] **NUÑEZ BASÁÑEZ.**, 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.**, A “Statistical Analysis of Performance Test Results.”International Ship Building Progress. Febrero 1977.
J. HOLTROP AND M. MENNEN., An Approximate Power Prediction Method. International Ship Building Progress, Vol. 29. Julio 1982.

- 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] **ALVARIÑO 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”. 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.