



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar

**USO DE TOBERAS PARA INCREMENTAR
LA EFICIENCIA PROPULSIVA DE LOS BUQUES CAMARONEROS
ECUATORIANOS**

TESIS DE GRADO

**Previa obtención del Título de
INGENIERO NAVAL**

Presentado por:

Rubén Vicente Saca Camacho

Guayaquil – Ecuador

2006

AGRADECIMIENTO

Al Ph. D. José Marín López por confiar en mí y brindarme su valiosa guía durante el desarrollo de este trabajo.

A todos los profesores de ESPOL y en especial a los de la FIMCM de quienes tuve el honor de ser su alumno ya que de una u otra forma ayudaron en mi formación académica.

A mis compañeros de aula especialmente de la carrera, por su amistad, las amanecidas de estudio, la confianza y los ánimos que me brindaron durante mi paso por la universidad.

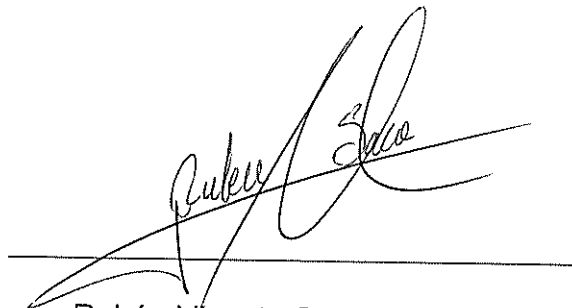
A todos mis amigos del colegio a quienes no veo muy seguido pero que siempre los recuerdo.

A todas las personas que ayudaron a la culminación de este trabajo.

DECLARACIÓN EXPRESA

La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos 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)



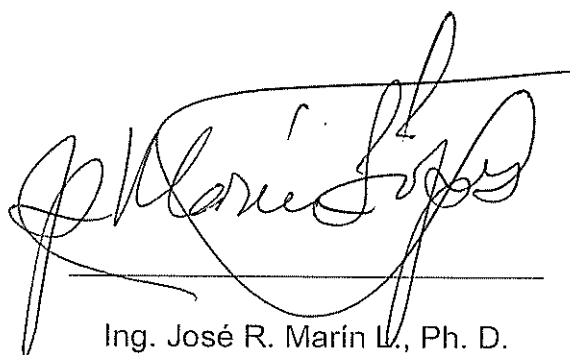
Rubén Vicente Saca Camacho

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Ing. Marco Velarde T., M. Sc.

Presidente del Tribunal



Ing. José R. Marín L., Ph. D.

Director de Tesis



Ing. Cristóbal Mariscal D., M. Sc.

Miembro Principal



Ing. Bolívar Vaca R., M. Sc.

Miembro Principal

DEDICATORIA

A Dios por permitirme vivir y usar todos mis conocimientos en el desarrollo de este trabajo.

A mi familia a quienes a pesar de todos los problemas que hemos tenido respeto y quiero mucho. De manera especial a mi madre Eliza por ser mi apoyo incondicional, por su infinito amor, comprensión y por soportar estos años lejos de su familia. A mi padre Rubén por su gran compañía. A mi hermana Miriam por su cariño en los buenos y malos momentos.

A mis tíos Teresa y Ruperto que me han apoyado y guiado en todo momento. A mis primos Christian, Javier y Andrés por su afecto de hermanos.

RESUMEN

El presente trabajo estima los beneficios de instalar toberas en buques pesqueros camaroneros ecuatorianos al incrementar la eficiencia propulsiva y reducir el consumo de combustible. Se empieza con una descripción del funcionamiento, beneficios y problemas de las toberas Kort. Luego se abarca dos partes importantes en la formación del ingeniero que son la Experimentación y la Comprobación Teórica. En la parte experimental se usó el equipo de Telemetría de la FIMCM para medir en el B/P Alvarez Cabral el torque transmitido por el eje; también se midió la velocidad de rotación del eje (RPM) y la velocidad del buque. Luego se procedió a la comparación de los datos experimentales con una estimación del torque en el eje de la hélice actual obteniéndose una correlación razonable.

En la parte teórica se desarrolló un programa computacional para evaluar las principales características de un sistema propulsor con hélices Kaplan en toberas Kort. Para estimar la resistencia del arte de pesca se seleccionó la formulación presentada por Townsend, [24], que considera por separado sus componentes. También se implementaron los polinomios propulsivos correspondientes a las hélices Kaplan en toberas Kort N19A y N37.

Luego se seleccionó el conjunto hélice en tobera apropiado para la embarcación analizada y se lo comparó con el sistema actualmente instalado en el buque. Con el uso de tobera se incrementa el empuje generado durante el Arrastre y la velocidad en Navegación libre. En ambos casos se logra una reducción en las RPM lo cual conlleva una disminución del consumo de combustible dejando un ahorro de 5400 dólares anuales, aproximadamente. También se propuso una forma para sujetar la tobera al casco de madera y se la analizó con el método de Elementos Finitos con resultados satisfactorios. Finalmente se estimó que el costo para construir una tobera, con pequeñas modificaciones respecto al diseño original, es de alrededor de 1800 dólares, mientras que un conjunto hélice en tobera en el extranjero cuesta 9000 dólares.

ÍNDICE GENERAL

Descripción	Pág.
Resumen	I
Índice general	III
Índice de figuras	V
Índice de tablas	IX
Abreviaturas y Símbolos	XI
Introducción	XIII
1. Uso de toberas para la propulsión	
1.1 Descripción de Toberas Marinas	1
1.2 Características Geométricas de las Toberas Acelerantes	6
1.3 Problemas del Uso de Toberas	11
2. Desarrollo del programa para el cálculo de la eficiencia de hélices en tobera tipo Kort	
2.1 Cálculo de la Resistencia del Casco	15
2.2 Cálculo de la Resistencia del Arte de Pesca	17
2.3 Cálculo de la Eficiencia de Hélices en Toberas	27
2.4 Implementación en el Programa PPSAK de los cálculos de Resistencia del Arte de Pesca y del Empuje de la Tobera.	29

3. Medición de la eficiencia de sistemas propulsores en buques camaroneros	
3.1 Descripción del Equipo de Telemetría a usarse	34
3.2 Resumen de Mediciones	38
3.3 Análisis de Resultados	45
3.4 Manual de Procedimiento para la Medición	55
4. Evaluación final	
4.1 Selección de Hélice en Tobera	59
4.2 Breve Evaluación Económica de la Instalación del Sistema	67
4.3 Sujeción de la Tobera al Casco	72
4.4 Propuesta de construcción local de la tobera	83
Conclusiones y Recomendaciones	89
Anexo A. Características del B/P Alvarez Cabral	96
Anexo B. Detalles del Arte de Pesca	106
Anexo C. Detalle de las mediciones realizadas.	111
Anexo D. Manual de usuario para medición del torque.	127
Anexo E. Descripción de las variables para las Formulaciones de Holtrop.	143
Bibliografía	148

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.	Título	Pág.
1	Ubicación de la Tobera.	1
2	Funcionamiento de la tobera.	3
3	Problemas de turbulencia en toberas.	4
4	Perfil de tobera MARIN 19 A.	7
5	Hélice tipo Kaplan.	8
6	Dimensiones del Perfil de Tobera 19A.	8
7	Perfil de tobera MARIN N37.	9
8	Conjunto hélice en tobera.	11
9	Celda de Corrosión Electrolítica.	12
10	Protección contra la corrosión sobre la tobera.	14
11	Esquema de buque arrastrero con una sola red.	18
12	Identificación de los elementos en una Red de Arrastre.	20
13	Identificación de elementos en Red de Arrastre.	22
14	Comparación de métodos para estimar Resistencia del Arte de Pesca.	26
15	Estructura del Programa PPSAK.	30
16	Archivo de datos del Programa PPSAK.	33
17	Esquema de ubicación de antena.	35
18	Esquema del Equipo usado durante las pruebas.	36
19	Tensión y compresión sobre el eje.	38

20	Foto de la embarcación donde se realizó la prueba.	39
21	Francobordos registrados en la primera prueba.	40
22	Francobordos registrados en la segunda prueba.	41
23	Francobordos registrados en la tercera prueba.	41
24	Foto de una embarcación similar durante maniobras.	43
25	Comparación de RPM para la primera prueba.	48
26	Comparación de RPM para la segunda prueba.	49
27	Comparación de RPM para la tercera prueba.	50
28	Comparación de Torque para la primera prueba	51
29	Comparación de Torque para la segunda prueba.	51
30	Comparación de Torque para la tercera prueba.	52
31	Comparación de Potencias para Navegación Libre.	53
32	Comparación de Potencias para Navegación de Arrastre.	53
33	Comparación de Eficiencias Propulsivas.	54
34	Determinación de Beneficios de instalar toberas.	60
35	Foto del Espacio disponible.	61
36	Dimensiones disponibles.	61
37	Simulación del conjunto hélice en tobera.	63
38	Modelización del conjunto en 3-D.	65
39	Comparación de consumo de potencia en navegación libre.	66
40	Comparación del empuje en arrastre.	67
41	Consumo de Combustible por RPM.	69

42	Vista Frontal del Agarre de la Tobera al casco del buque.	72
43	Vista Lateral del Agarre de la Tobera al casco del buque.	73
44	Ampliación del Agarre al casco.	73
45	Modelización del agarre en 3-D.	74
46	Modelización de un brazo de la tobera con elementos finitos.	75
47	Condiciones de Frontera.	76
48	Convención usada para subíndices de los esfuerzos.	77
49	Distribución de esfuerzos sobre la plancha de agarre.	77
50	Comparación de esfuerzos respecto al de fluencia.	78
51	Vistas de Distribución de Esfuerzo en el Brazo de la Tobera.	79
52	Comparación de esfuerzos en el brazo de la tobera.	79
53	Punto de mayor esfuerzo en el brazo de la tobera.	80
54	Ordenamiento de Nodos.	80
55	Perfil de las Toberas 19A y 37.	84
56	Bordes con planchas rectas.	85
57	Comparación de Perfiles.	86
58	Forma de construcción de una tobera.	87
A.1	Foto del marcado de Hélice.	99
A.2	Zonas de medición de cuerdas en la hélice.	102
A.3	Comparación de Variación de cuerda.	103
A.4	Comparación de Variación de espesor.	104
A.5	Borde de la hélice del B/P Alvarez Cabral.	105

B.1	Foto de elementos del sistema de arrastre.	106
B.2	Foto de las compuertas en operación.	107
B.3	Foto de la compuerta.	108
B.4	Dimensiones Principales de la compuerta.	108
B.5	Foto del cable de arrastre en red de prueba.	109
C.1	Ubicación del equipo para la prueba.	111
C.2	Arreglo de la antena emisora, receptora y batería sobre el eje.	112
C.3	Mediciones de Prueba.	114
C.4	Lecturas típicas de la variación de voltaje durante la prueba.	115
C.5	Desplazamiento de Valores.	117
C.6	Trayectoria del Buque Alvarez Cabral.	120
C.7	Instalación del Antena y Batería sobre el eje.	121
C.8	Agarre de Antena y Batería sobre el eje.	121
C.9	Agarre de la Antena alrededor del eje.	122
C.10	Foto de Ubicación de Equipo para prueba en navegación libre.	122
C.11	Lecturas durante la prueba en navegación libre.	123
C.12	Foto de Protección del equipo.	124
C.13	Lecturas durante la prueba en navegación en arrastre.	125
C.14	Identificación de lecturas en la última medición.	125

ÍNDICE DE TABLAS

Fig.	Título	Pág.
1	Estándares de diseño de Tobera 19A.	8
2	Tabla de Diferencial de Potencial.	12
3	Datos para estimar Resistencia del arte de pesca, método 1.	24
4	Datos para estimar Resistencia del arte de pesca, método 3.	25
5	Comparación de métodos para estimar Resistencia del Arte de Pesca.	25
6	Coeficientes propulsivos de hélices tipo Kaplan en toberas.	28
7	Características Principales de Embarcación de Prueba.	39
8	Características Hidrostáticas en las tres pruebas.	42
9	Datos del arte de pesca para el programa computacional.	43
10	Resumen de mediciones realizadas.	44
11	Evaluación del Torque Experimental.	46
12	Resultados del programa computacional para primera la prueba.	47
13	Resultados del programa computacional para la segunda prueba.	47
14	Resultados del programa computacional para la tercera prueba.	47
15	Pasos para instalación del sensor.	56
16	Pasos para instalar equipo de medición.	57
17	Dimensiones principales de hélices en Tobera.	62
18	Resultados de diseño de hélices.	64

19	Características finales de los propulsores probados.	64
20	Consumo de Combustible en función de las RPM medidas.	69
21	Comparación del consumo de combustible.	70
22	Comparación de Reducción de costos por toberas.	71
23	Desplazamientos y esfuerzos en los nodos de unión brazo-plancha.	81
24	Desplazamiento de nodos inferiores del brazo de la tobera.	82
25	Área y Peso de Materiales para construir la tobera.	88
26	Costo de construcción local de una tobera.	88
A.1	Distribución de Paso sobre pala Izquierda.	100
A.2	Distribución de Paso sobre pala Derecha.	100
A.3	Cálculo del Área Desarrollada de una pala.	101
A.4	Distribución de Cuerdas.	103
A.5	Distribución de espesores.	104
C.1	Valor Promedio de Lecturas.	116
C.2	Resumen de Mediciones de prueba.	118
C.3	Resumen General de mediciones finales.	119
C.4	Resumen de mediciones en pruebas finales.	126

ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

L	Longitud de la tobera.
D	Diámetro de la hélice.
C	Claro entre la hélice y el cuerpo interno de la tobera.
d	Diámetro en la vista de perfil de los bordes de la tobera.
R_F	Resistencia Friccional.
R_W	Resistencia por Formación de Olas.
R_{AP}	Resistencia por Apéndices.
R_{TR}	Resistencia por Inmersión del Espejo.
R_{CO}	Resistencia por Correlación Buque-Modelo.
R_T	Resistencia Total
S_{MOJADA}	Superficie Mojada del buque.
$S_{APENDICES}$	Superficie de los Apéndices.
A_{TR}	Área del Espejo Sumergido.
ρ	Densidad del agua.
v	Velocidad del buque.
R_{RED}	Resistencia de la red de arrastre.
$R_{COMPUERTAS}$	Resistencia de las compuertas.
R_{CABLES}	Resistencia de los cables de arrastre

R_{ARTE}	Resistencia del Arte de Pesca.
K_T	Coefficiente de Empuje.
K_{TN}	Coefficiente de Empuje de la Tobera.
K_Q	Coefficiente de Torque.
C_T	Factor de Empuje.
C_{TN}	Factor de Empuje de Tobera.
J	Coefficiente de Avance.
P	Paso.
C_p	Coefficiente prismático
C_{wp}	Coefficiente de plano de flotación.
C_{sm}	Coefficiente de sección media.
C_b	Coefficiente de bloque.
LCB	Centro de boyantes longitudinal.
RPM	Velocidad de rotación del eje.

INTRODUCCIÓN

Uno de los principales problemas que la flota pesquera camaronera ecuatoriana enfrenta es el alto costo de operación principalmente por el combustible. Actualmente este valor representa aproximadamente un 65% de los costos de operación para una embarcación. Además cada cierto tiempo este rubro se incrementa dependiendo del costo del combustible en el mercado nacional.

Un factor que influye en los costos de operación, relacionado con el consumo del combustible, es la eficiencia de las hélices propulsoras. La mayoría de estas embarcaciones usan hélices que no se las fabrican de manera adecuada y sin un correcto diseño.

En el presente trabajo se analizará la posibilidad de incrementar la eficiencia propulsiva de los buques pesqueros camaroneros usando hélices en tobera. Para ello se va a medir la eficiencia actual de las hélices en un buque pesquero camaronero empleando la instrumentación de la facultad. Luego se implementará un proceso para el cálculo de la eficiencia propulsiva en buques usando toberas acelerantes y se seleccionará un modelo. Finalmente se determinará la conveniencia de instalar toberas en buques camaroneros ecuatorianos en función del ahorro de combustible que se logre.

Una vez que se midan las eficiencias de las hélices se podrá desarrollar un procedimiento para medir la eficiencia de los sistemas propulsores usando el equipo disponible en la facultad. Estas técnicas servirán de guía para futuros cálculos de interés académico o profesional. Finalmente se cuantificará el beneficio técnico económico de usar toberas en buques pesqueros camaroneros ecuatorianos.

CAPITULO 1

USO DE TOBERAS PARA LA PROPULSIÓN

En este capítulo se describe el modo de funcionamiento de las toberas marinas, los dos tipos principales, según el flujo que generan, además de los beneficios de su uso. Se definen también las relaciones geométricas principales de dos toberas tipo Kort acelerante, así como los estándares que se usan para su diseño. Finalmente se describen los principales problemas que tiene el uso de toberas en las embarcaciones, y se enfatiza en la corrosión galvánica.

1.1 DESCRIPCIÓN DE TOBERAS MARINAS

La tobera marina es un dispositivo que tiene forma de un anillo colocado alrededor de la hélice propulsora en popa que ayuda principalmente a mejorar el flujo de agua que llega a la hélice. La figura 1 tomada de la referencia [18] muestra la ubicación de la tobera en la popa de una embarcación. Una vez que el flujo entra a la tobera, es uniformizado.

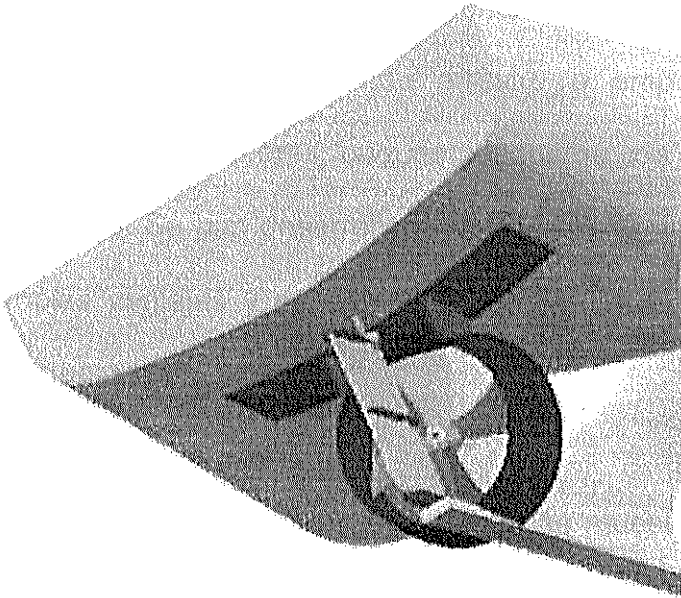


Figura 1. Ubicación de la Tobera, [18]

Los efectos beneficiosos de las toberas fueron descubiertos por accidente en 1930, [22], cuando el ingeniero alemán Kort estaba investigando formas de reducir la erosión de las hélices. Las pruebas en modelos lo llevaron a probar con una cubierta alrededor de las hélices, y en lugar de un simple cilindro de acero protector empezó a darle forma aerodinámica para reducir su

resistencia. Como consecuencia encontró un incremento en la eficiencia propulsiva de los modelos. Desde entonces, a partir de la investigación experimental de Kort y Luisa Stipa en 1934, la aplicación de toberas marinas ha demostrado tener muchas ventajas sobre el sistema tradicional de hélice abierta.

El campo de aplicación de las hélices en tobera se ha concentrado en embarcaciones que realizan trabajos de arrastre o empuje, como por ejemplo: remolcadores, empujadores, buques pesqueros con red de arrastre y buque de suministros. Se han desarrollado muchos tipos de toberas, cada una con sus propias ventajas y desventajas, pero en la presente tesis se trabajará con las toberas tipo Kort.

De la referencia [13] se tiene la figura 2 en donde se muestra que el fluido tiene una velocidad inicial V_A antes de entrar a la tobera, pero una vez que entra en contacto y la atraviesa su velocidad puede aumentar o disminuir un valor U_2 . Esta variación de velocidad dependerá del perfil hidrodinámico de la tobera, pues como se verá en los siguientes subcapítulos las toberas se clasifican en acelerantes y decelerantes de flujo.

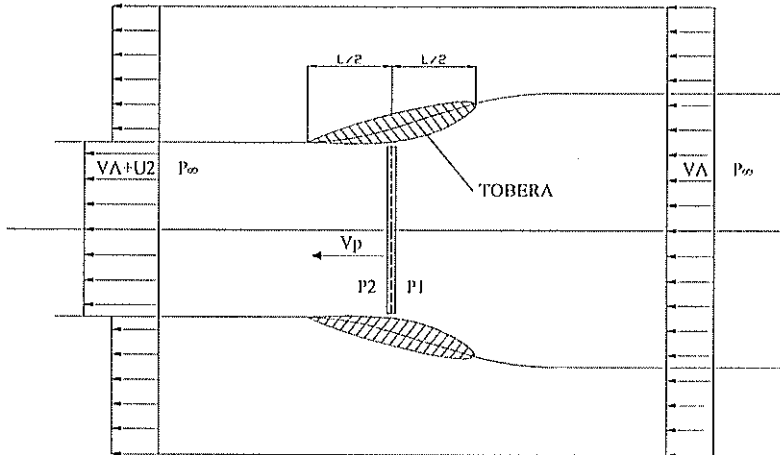


Figura 2. Funcionamiento de la tobera

La idea de las toberas marinas [27] era formar un anillo con perfil hidrodinámico alrededor de la hélice y no de un anillo simple. Este efecto puede compararse al efecto de las alas en un avión. Si el lado de alta presión del folio recibe el flujo, el ducto es del tipo decelerante. Si el lado de baja presión del folio recibe el flujo, el ducto es del tipo acelerante

Toberas Acelerantes.- Una tobera acelerante produce un empuje positivo e incrementa la eficiencia de las hélices.

El principal problema del uso de hélices en toberas es la separación del flujo en la tobera tal como puede apreciarse en la figura 3 tomada de la referencia [18], problema que depende del diseño hidrodinámico de la tobera. Un mal diseño en el perfil de la tobera puede producir un incremento en el arrastre de todo el sistema, la eficiencia disminuye y la hélice tiende a trabajar en un

flujo altamente irregular y turbulento. Para resolver este problema se desarrollaron investigaciones sobre toberas acelerantes que han permitido el desarrollo de las toberas MARIN N19A y N37 para aplicaciones en embarcaciones con cargas pesadas, ("*Ships with Heavy Loads*"), [13].

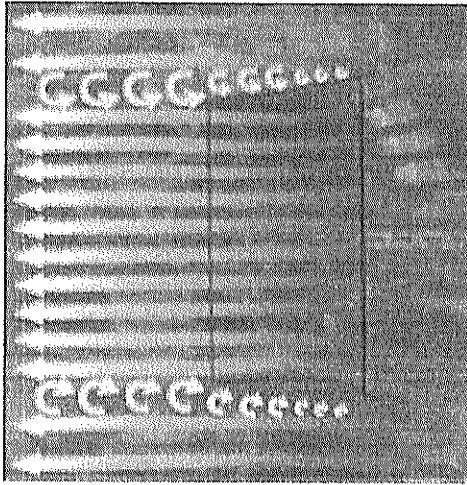


Figura 3. Problemas de turbulencia en toberas [18]

Toberas Desacelerantes.- Un ducto desacelerante produce un empuje negativo y es muy apropiado para reducir los problemas de cavitación. El ducto decelerante es el principal responsable de la reducción del ruido en las naves, razón por la cual se ha vuelto muy común su uso en los diseños actuales de buques de guerra.

La aplicación de un flujo decelerante en una tobera es lo recomendable si lo que se desea es retardar el efecto de la cavitación. La reducción del flujo en el interior de estas toberas da lugar a un aumento de la presión estática en el impulsor. Sin embargo, el ducto por sí mismo produce un empuje negativo debido a su perfil hidrodinámico, y para compensar esta pérdida de empuje, la carga sobre el impulsor debe ser incrementada.

Posteriormente según se indica en la referencia [13], se desarrollaron análisis de regresión a partir de las pruebas de laboratorio obteniéndose polinomios para realizar cálculos propulsivos usando el computador.

Beneficios del Uso de Toberas

Según un reporte de la FAO, [5], las principales ventajas del uso de toberas en embarcaciones pesqueras arrastreras son:

- ✓ Aumenta la eficiencia propulsiva en comparación con el sistema tradicional de hélice en agua abierta.
- ✓ Protege a la hélice de daños con objetos desconocidos en el agua.
- ✓ Se obtiene un empuje adicional al sistema debido a la forma del perfil hidrodinámico de la tobera.
- ✓ Se pueden reducir problemas de vibración.
- ✓ Se reduce el consumo de combustible

1.2 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LAS TOBERAS ACELERANTES

Desde 1934 se han desarrollado muchas investigaciones sobre varios perfiles hidrodinámicos de toberas acelerantes. El objetivo siempre es tratar de incrementar un poco más la eficiencia que se logra con estos accesorios. En el presente trabajo se aplicarán dos tipos de perfiles para realizar los análisis según la referencia [13]:

- ✓ Tobera MARIN N° 19A
- ✓ Tobera MARIN N° 37

Ambas toberas son del tipo acelerante ya que en los buques camaroneros lo importante es ganar eficiencia durante el arrastre.

Tobera MARIN N° 19A .- El perfil de la tobera MARIN 19A, tal como puede apreciarse en la figura 4, tiene en su parte interna una forma cilíndrica, mientras que en su parte externa es recta y el borde de salida es grueso. Esta tobera es usada cuando se requiere una gran velocidad en navegación libre. Además genera la mayor cantidad de empuje en comparación con las otras toberas.

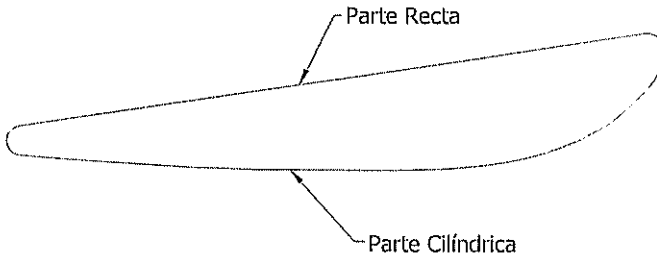


Figura 4. Perfil de tobera MARIN 19 A, [13]

Se han diseñado series especiales de hélices para este tipo de toberas, a las que se les llama hélices tipo Kaplan. La figura 5 tomada de la referencia [1] muestra la forma de las hélices tipo Kaplan. Estas hélices tienen los extremos de las palas anchas que las hacen menos susceptibles a la cavitación en el borde. Además en el borde son casi rectas, por lo cual una hélice convencional podría transformarse en una tipo Kaplan al cortar con cuidado sus bordes y hacer el balanceo correspondiente, [18]. Se han desarrollado muchas investigaciones sobre este tipo de hélices manteniendo el paso uniforme y secciones de cara planas. Los resultados demostraron que este tipo de hélice no tenía desventajas con respecto a la eficiencia y cavitación.

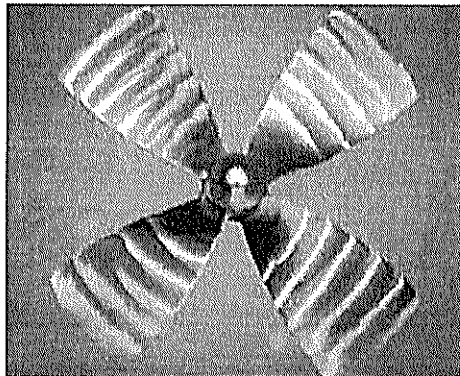


Figura 5. Hélice tipo Kaplan, [1]

En cuanto al diseño de la tobera se presenta la siguiente tabla y gráfico con relaciones geométricas que permiten su definición:

ORDENADAS PARA PERFIL DE TOBERA MARIN 19A																		
Y/L	0	1,25	2,5	5	7,5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	95	100
X1/L	18,25	14,66	12,8	10,87	8	6,34	3,87	2,17	1,1	0,48	CILINDRO CIRC.		0,29	0,82	1,45	1,86	2,36	
Xu/L	---	20,72	21,07	20,8	LÍNEA RECTA													6,36

Tabla 1. Estándares de diseño de Tobera 19A, [13]

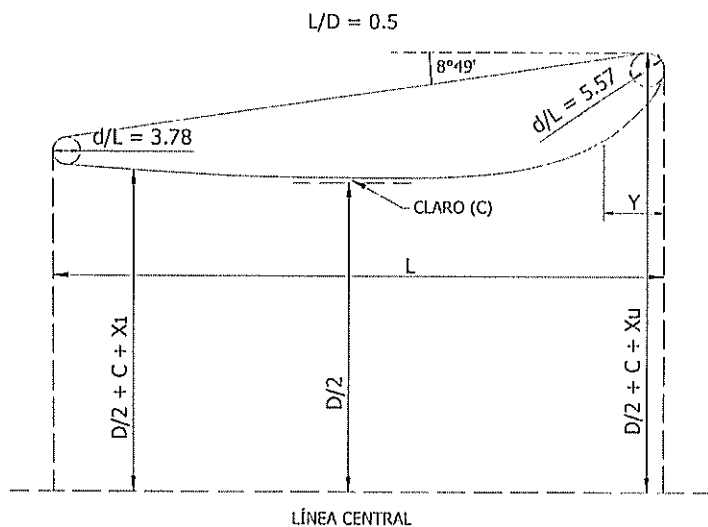


Figura 6. Dimensiones del Perfil de Tobera 19A, [13]

En la figura 6, tomada de la referencia [13], puede verse que las relaciones están dadas en función de D , el diámetro de la hélice, y L , la longitud de la tobera. La relación entre L y D es de 0.5. Además se tiene el valor de C que corresponde al claro o espacio entre la hélice y la tobera que tiene un valor típico de 0.5 pulgadas observado en nuestro medio. En cuanto a los extremos de la tobera para la entrada se tiene un borde circular con una relación d/L de 5.57. Siendo d el diámetro de la parte circular del borde de entrada, mientras que para el borde de salida dicha relación es de 3.78. Por lo tanto si se desea construir una tobera se debe conocer el valor del diámetro de la hélice y con ayuda de la tabla y gráfico anteriormente mostrados se podrá calcular las dimensiones de la tobera.

Tobera MARIN N° 37.- Posteriormente se desarrolló un nuevo tipo de tobera a la que se le llamó N 37 y cuyo perfil se muestra a continuación:

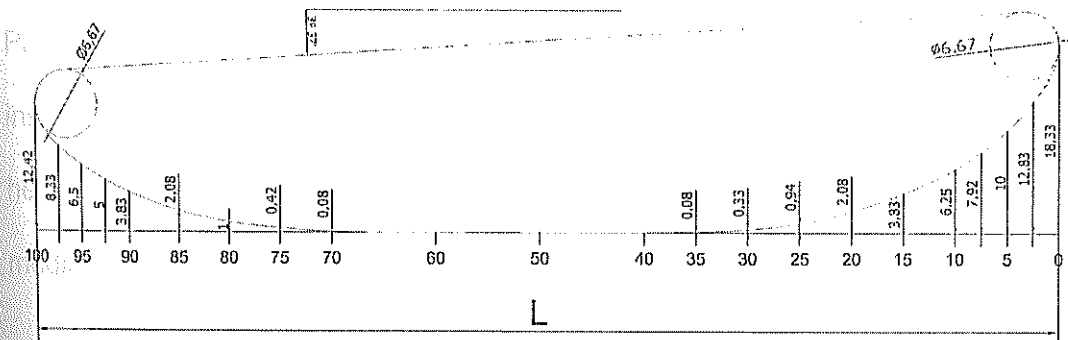


Figura 7. Perfil de tobera MARIN N37, [13]

La relación L/D también es de 0.5 como el perfil anterior, con un borde redondeado bien marcado y un borde de salida relativamente grueso. Esto previene la separación del flujo en la condición de reversa. También se pueden observar los estándares que se usan para la construcción de la tobera. Todas las dimensiones mostradas están en relación de porcentaje de la longitud L de la tobera. Además se tiene que en los bordes de salida y entrada la relación d/L es de 6.67.

Posteriormente según se indica en las referencias [13] y [25] se desarrollaron pruebas en agua abierta de estas toberas en combinación con hélices del tipo Kaplan de 4 palas y varias razones de área. De esta manera se desarrollaron polinomios por medio de análisis de regresión para estimar los factores propulsivos. La descripción de estos polinomios se presentará en el capítulo dos.

Para ambos casos la figura 8, tomada de referencia [18], muestra la instalación del conjunto hélice en tobera, nótese que las puntas de las hélices tienen un claro. Este claro se lo encuentra comúnmente en nuestro medio entre 0.5 y 1 pulgadas.

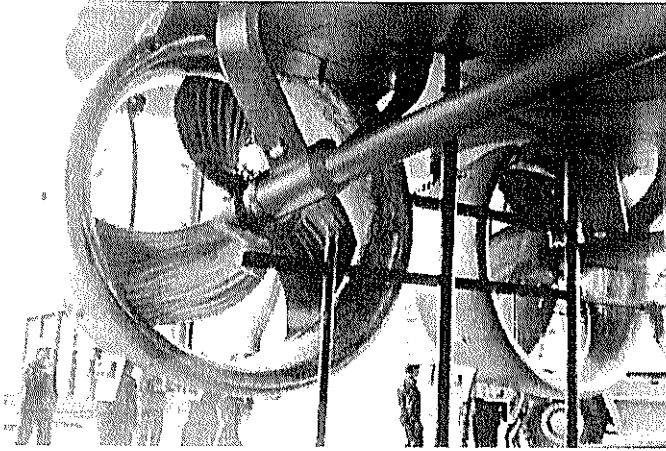


Figura 8. Conjunto hélice en tobera, [18].

1.3 PROBLEMAS DEL USO DE TOBERAS

Las principales desventajas, según la referencia [5] que tiene el uso de toberas son:

- ✓ Usualmente no se produce reducción en la velocidad de navegación libre.
- ✓ La maniobrabilidad se reduce si la tobera es fija.
- ✓ La carga se incrementa sobre el timón.
- ✓ En algunos casos la instalación es costosa.
- ✓ Se necesita una nueva hélice.
- ✓ Se requiere un nuevo timón o modificaciones al existente.
- ✓ Se necesita un mayor diámetro táctico.
- ✓ Se presentan problemas de corrosión entre material de tobera y hélice.

De todas las desventajas que se han mencionado la mayoría deben resolverse como parte del proceso de diseño, no obstante una de las principales que se puede controlar con relativa facilidad es la corrosión. La corrosión significa el ataque y destrucción progresiva de un material por medio de una reacción química. La corrosión galvánica, [11], viene de un fenómeno llamado electrólisis entre dos metales con diferente potencial eléctrico. Para explicar mejor este efecto se muestra la siguiente figura:

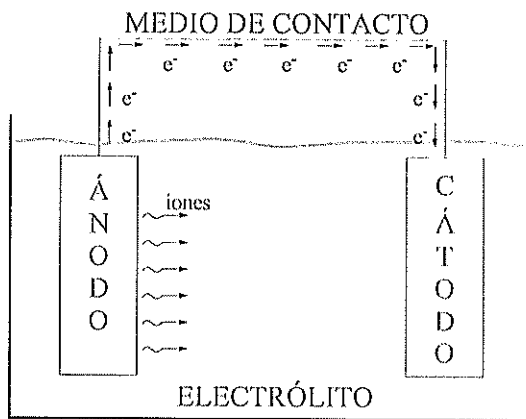


Figura 9. Celda de Corrosión Electroquímica

A este conjunto se le llama celda electroquímica, sus componentes básicos son:

- Ánodo
- Cátodo
- Medio de contacto
- Electrolito

Cuando se ponen en contacto dos metales con diferente potencial eléctrico, el que depende de la naturaleza del metal, se inicia el proceso conocido como electrólisis. En este proceso el ánodo, que se conoce como metal de sacrificio, se oxida perdiendo electrones que viajan a través del medio de contacto; al suceder esto se desprenden iones que quedan libres, y, dependiendo de la concentración del electrolito, se producirán dos tipos de desechos: sólidos, comúnmente conocido como herrumbre, y, gaseosos como liberación de gas hidrógeno. Como consecuencia de este proceso se tiene un ánodo desgastado que se desintegra lentamente. Todo el proceso depende de los materiales que se estén usando, de ahí la importancia de su selección.


Magnesio	<p>Más Corrosivo</p>  <p>Menos corrosivo</p>
Zinc	
Aluminio	
Hierro	
Acero al carbón	
Hierro Forjado	
Latón	
Cobre	
Bronce	
Acero Inoxidable	
Titanio	

Tabla 2. Tabla de Diferencial de Potencial, [18]

En la tabla 2, tomada de la referencia [18], se muestra en orden de diferencia de potencial los principales metales usados en Ingeniería Naval, [11]. Por lo tanto siendo la hélice típicamente de bronce y la tobera de acero es normal

que se inicie el proceso corrosivo. Además hay otro tipo de corrosión, por abrasión, debido a la energía que se genera por las elevadas velocidades de rotación de la hélice dentro de la tobera. Cuando se hace el mantenimiento de la embarcación es fácil notar este efecto.

Uno de los productos usados para disminuir el costo de mantenimiento son los polímeros de la serie 1000 de Belzona, [2]. Usando este producto se reduce el costo de mantenimiento a un 10% del costo tradicional en astilleros. Esto detiene el problema de corrosión galvánica debido a las propiedades dieléctricas o no conductoras del polímero.

Otro producto que se usa para enfrentar el desgaste corrosivo es una cerámica de la compañía Thortex, [23], la *Cerami-Flex E.G. TX14/0905*. También se deben utilizar ánodos de zinc para proteger la tobera debido a los diferentes materiales entre el eje, la hélice y la tobera.

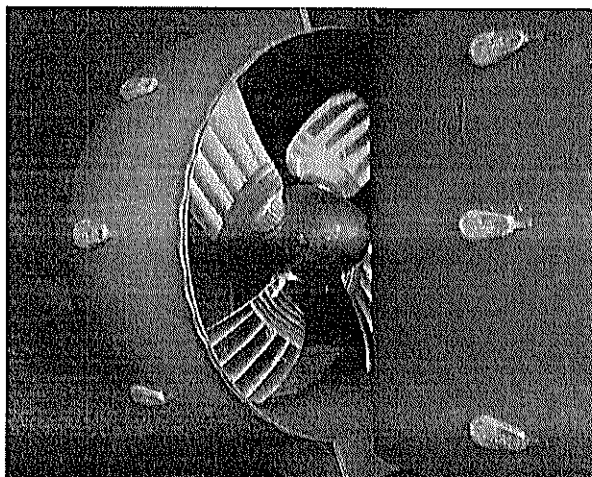


Figura 10. Protección contra la corrosión sobre la tobera, [18]

CAPITULO 2

DESARROLLO DEL PROGRAMA PARA EL CÁLCULO DE LA EFICIENCIA DE HÉLICES EN TOBERA TIPO KORT

En este capítulo se describe e implementa un proceso para el cálculo de la resistencia del casco y las ecuaciones para estimar la resistencia de la red de arrastre, compuertas y cables. Se describen e implementan los polinomios necesarios para el cálculo de los coeficientes de empuje y torque según el tipo de hélice tipo Kaplan en tobera que se use. Una vez que se tienen todos los elementos anteriores se desarrolla un programa que permite calcular la eficiencia propulsiva empleando hélices en tobera.

2.1 CÁLCULO DE LA RESISTENCIA DEL CASCO

Para el cálculo de la resistencia al avance de los buques se debe considerar las siguientes componentes, siguiendo el método de Holtrop, [7] y [8]:

- Resistencia Friccional (R_F)
- Resistencia por Formación de Olas (R_W)
- Resistencia por Espejo (R_{TR})
- Resistencia por Correlación de Modelo (R_{CO})
- Resistencia por Apéndices (R_{APP})
- Resistencia por Bulbos (R_{BULB})

Las formulaciones y descripciones en detalle de las variables para estimar cada una de las resistencias pueden encontrarse en el Anexo E y en las referencias [7] y [8] correspondientes al método de Holtrop.

La Resistencia friccional se produce cuando un cuerpo se mueve a través de un fluido en reposo; una capa delgada del fluido se adhiere a la superficie del cuerpo y no tiene velocidad relativa al cuerpo. Esta resistencia friccional se puede calcular con la siguiente fórmula:

$$R_F = 0.5 * C_F * \rho * S_{MOJADA} * v^2 * (1 + k_1)$$

La Resistencia por Formación de Olas se produce cuando el buque atraviesa una superficie libre de un fluido con o sin viscosidad. Allí hay dos tipos de olas que generalmente se forman y son nombradas como olas divergentes y olas transversales. El sistema de olas, a causa del campo de presión alrededor del buque y la energía que éstas tienen, desarrolla una fuerza opuesta al movimiento hacia adelante. Esta fuerza es la resistencia por formación de olas que depende del número de Froude del buque teniéndose los siguientes casos:

- ✓ Para número de Froude menor a 0.4

$$R_{WA} = c_1 * c_2 * c_5 * Vol * \rho * e^{(m_1 F_n^4 + m_4 \cos(\lambda F_n^{-2}))}$$

- ✓ Para número de Froude mayores a 0.5

$$R_{WB} = c_{17} * c_2 * c_5 * Vol * \rho * e^{(m_3 F_n^4 + m_4 \cos(\lambda F_n^{-2}))}$$

- ✓ Para número de Froude entre 0.4 y 0.5

$$R_W = R_{WA(0.4)} + (10F_n - 4) * \frac{(R_{WB(0.55)} - R_{WA(0.4)})}{1.5}$$

La resistencia por Apéndices se produce por accesorios como timones, arbotantes, quillas de balance, quillas estabilizadoras, ecosondas, etc. Esta resistencia generalmente es pequeña, en el orden del diez por ciento de la resistencia friccional aunque se puede calcular con la siguiente fórmula:

$$R_{AP} = 0.5 * \rho * v^2 * Sup_{APÉNDICES} * (1 + k_2) * C_F$$

La resistencia por el Espejo Sumergido de los buques se debe a la porción del espejo que se sumerge durante el movimiento y se estima con la siguiente fórmula:

$$R_{TR} = 0.5 * \rho * v^2 * A_{TR} * C_6$$

La resistencia por Correlación de Modelo se calcula de la siguiente manera:

$$R_{CO} = 0.5 * \rho * v^2 * S_{MOJADA} * C_{AR}$$

Para el presente trabajo no se consideró la resistencia por bulbos debido a que los buques camaroneros no lo tienen. Por lo tanto la resistencia total del casco será la suma de las componentes individuales:

$$R_T = R_F + R_W + R_{TR} + R_{CO} + R_{APP}$$

2.2 CÁLCULO DE LA RESISTENCIA DEL ARTE DE PESCA

La resistencia al avance en el caso de buques pesqueros es incrementada debido al arte de pesca, que en el caso de los camaroneros se trata de dos redes de arrastre con dos compuertas cada una.

La pesca de arrastre se realiza mediante una gran bolsa de red de altura variable que se mantiene abierta y se arrastra por el fondo marino. Los

componentes principales que participan en este arte de pesca y que pueden apreciarse en la Figura 11 son:

1. Copa
2. Trenzas de Plomo
3. Flotadores
4. Malletas
5. Puertas Deflectoras o compuertas
6. Pórticos
7. Winche o maquinilla
8. Cables de arrastre

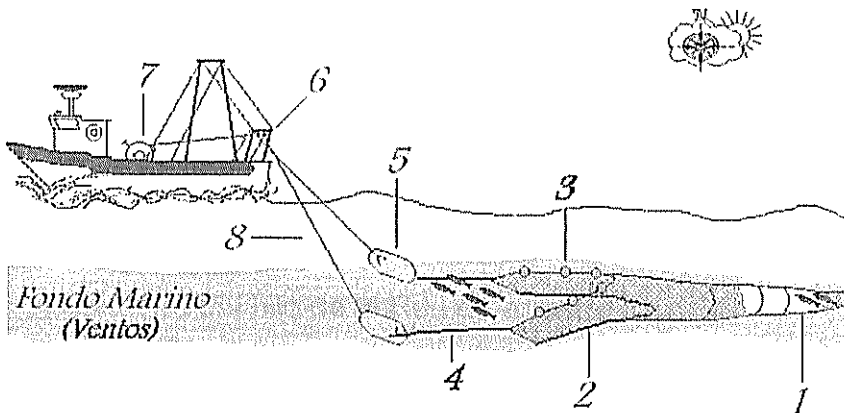


Figura 11. Esquema de buque arrastrero con una sola red, [26]

Se dispone de tres fuentes para estimar la resistencia del arte de pesca:

- Formulación del Dr. Víctor Minkó, [16].
- Formulación de Freiria y Badano, [6].
- Notas de clase del curso Introducción a los Sistemas de Pesca del Ing. Patrick Townsend, [24].

A continuación se dará una breve descripción de cada método:

1) **Formulación de Víctor Minkó, [16] y [17].**- El Dr. Víctor Minkó realizó un estudio para optimizar las artes de pesca en el país, en el trabajo plantea la siguiente ecuación para el cálculo de la resistencia de la red de arrastre.

$$R = \frac{\beta * \pi}{u_1} \sqrt{\frac{2F}{\pi} \left(k + \frac{1}{k} \right)} * L_{RED} * \frac{d}{a_m} * v_R^2$$

Donde:

- R: Resistencia de la red de arrastre
- v_R : Velocidad de la Red de arrastre
- β : Coeficiente de Resistencia, valor típico de 8.
- u_1 : Coeficiente de entralle (entre 0.6 y 0.7)
- F: área de la boca de la red de arrastre, (m^2)
- L_{RED} : máxima longitud de la red de arrastre, (m)
- d: diámetro del hilo de la Red de arrastre.
- a_m : lado o paso de la malla

Como la forma de la boca de la red debido al movimiento del buque no es circular de manera perfecta, se asume que tiene una forma elíptica, por lo que,

k: relación entre eje mayor (z_1) y eje menor (z_2) de la elipse de la boca de

la red.

$$k = \frac{z_1}{z_2}$$

A continuación se presenta una figura tomada de la referencia [26], en donde se muestra la red de arrastre y en la cual se han identificado cada una de las variables.

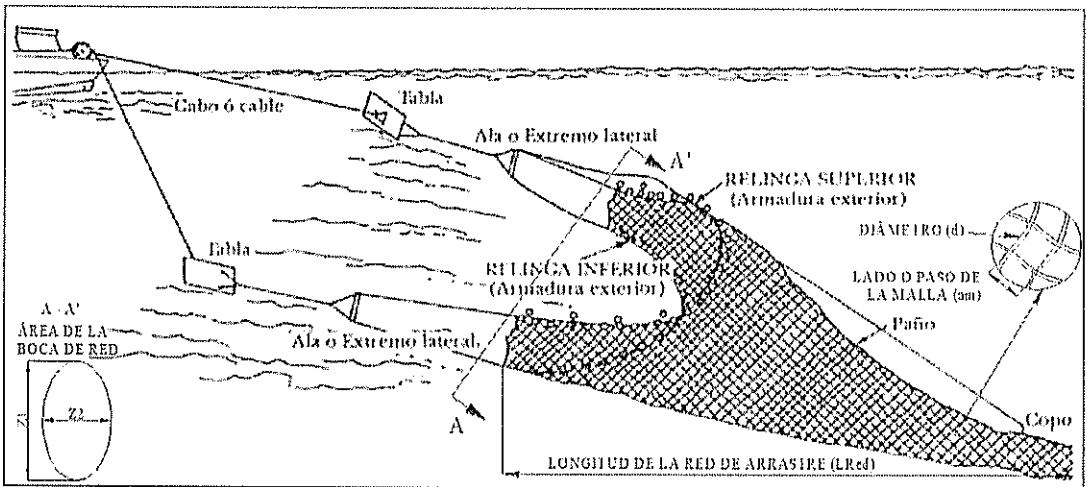


Figura 12. Identificación de los elementos en una Red de Arrastre, [26]

2) **Formulación de Freiria y Badano, [6].**- Los Ingenieros Jorge Freiria y Pablo Badano de la Universidad de la República, en Montevideo-Uruguay realizaron modelaciones matemáticas de las artes de pesca a partir de experimentos en canales de prueba para solucionar problemas de la flota nacional. En su trabajo plantean finalmente la siguiente ecuación para estimar la resistencia del arte de pesca:

$$R = 756.11 * v^{1.6553} \quad (\text{gramos})$$

Sin embargo hay que tener en cuenta que la ecuación obtenida fue a partir de pruebas de modelos, por lo que se recomienda cuidado en las unidades; el factor de escala que se usó en dicho trabajo fue de 1/3500.

3) **Notas de Clase del Ing. Townsend, [24].**- En las notas de clase del curso *Introducción a los Sistemas de Pesca* dictado en la Facultad de Ingeniería Marítima de la Espol, por el Ingeniero Patrick Townsend, se considera la resistencia de tres elementos principales en el arte de pesca:

- Red de Arrastre
- Compuertas
- Cables de arrastre

A continuación se presenta la figura 13 tomada de la referencia [26], en donde se muestran las variables que se usan en las formulaciones mencionadas:

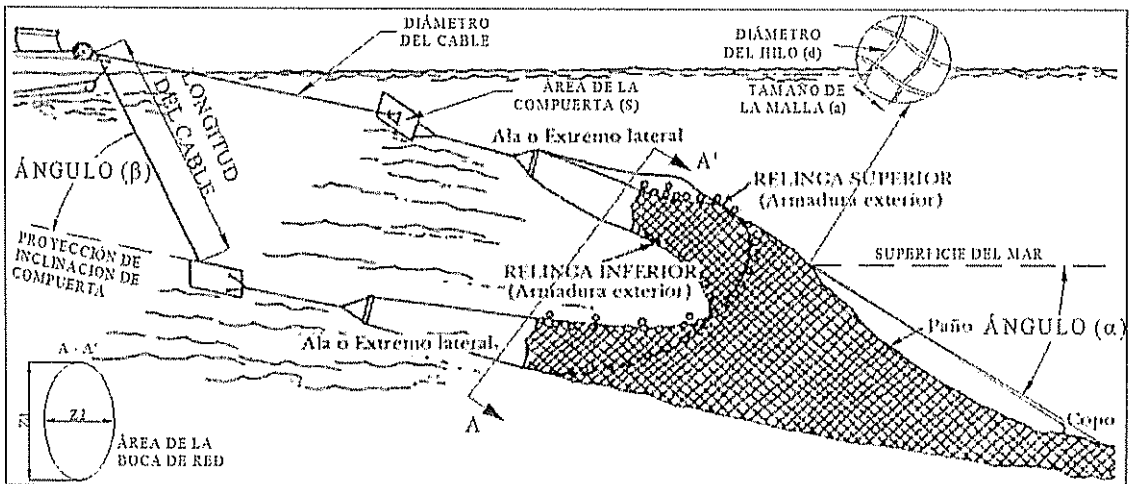


Figura 13. Identificación de elementos en Red de Arrastre, [26]

Red de Arrastre.- Para el cálculo de la resistencia de la red de arrastre se usa la siguiente fórmula:

$$R_{RED} = 191 * \frac{d}{a} * F * v^2 * \text{sen}\alpha$$

Donde:

R_{RED} : Resistencia de la red (Kg)

d: diámetro del hilo (mm)

a: tamaño de la malla (mm)

F: área de la red (m²)

v: velocidad de arrastre (m/seg)

α : Ángulo horizontal entre la red de arrastre y el flujo de agua.

Compuertas.- Para estimar la resistencia de las compuertas se usa la siguiente fórmula:

$$R_{COMPUERTAS} = \frac{1}{2} * \rho * S * v^2 * Cr$$

Donde:

R_{COMP} : Resistencia de la compuerta (Kg)

ρ : densidad del agua (104.6 Kg-seg²/m⁴)

S: área de la compuerta (m²)

v: velocidad de arrastre (m/seg)

Cr: coeficiente hidrodinámico

$$C_r = 0.040\beta \sin\beta \quad ; \quad 0 \leq \beta \leq 45$$

β : ángulo entre el cable y la inclinación de la compuerta.
(45° para camaroneros)

Cable de Arrastre.- La resistencia del cable de arrastre se calcula con la siguiente fórmula:

$$R_{\text{CABLE}} = 0.5 * C_X * \rho * v^2 * d * 2L$$

Donde:

R_{CABLE} : Resistencia de los cables (Kg)

C_X : Coeficiente de arrastre (0.1)

d : diámetro del cable (m)

L : Longitud del cable (m)

ρ : densidad del agua (104.6 Kg-seg²/m⁴)

v : velocidad de arrastre (m/seg)

Por lo tanto la resistencia total del arte de pesca será:

$$R_{\text{TOTAL ARTE}} = R_{\text{RED}} + R_{\text{COMPUERTAS}} + R_{\text{CABLE}}$$

A continuación se procedió a hacer una comparación de los 3 métodos para comprobar su aplicabilidad.

Para el método del Dr. Víctor Minkó se requieren los siguientes datos:

β :	8	valor típico
u_1 :	0,6	(entre 0,6 y 0,7)
F:	200	m ²
L_{RED} :	50	m
d:	1,43	mm
a_m :	25,4	mm
k:	3	Por la forma elíptica de la Red

Tabla 3. Datos para estimar Resistencia del arte de pesca, método 1

En el método de Freiria y Badano no se necesita ningún dato de la geometría de la red, solo el factor de escala 1/3500 y la velocidad de arrastre.

Para usar las formulaciones de las Notas de Clase del Ingeniero Patrick Townsend se necesitan los siguientes datos:

Datos de la Red de Arrastre		
Constante	191	
d:	1.43	mm
a:	25.4	mm
F	200	m ²
α	15	grados
Datos de la Compuerta		
S:	25	m ²
β :	45	grados
Cr:	1.27	
Datos del Cable de Arrastre		
C_x :	0.1	
d:	0.00143	m
L:	50	m
ρ :	104.59	Kg-seg ² /m ⁴

Tabla 4. Datos para estimar Resistencia del arte de pesca, método 3

Luego se elaboró una hoja electrónica para aplicar las formulaciones respectivas en cada método, asumiendo una velocidad de arrastre máxima de 4 nudos. A continuación se resumen los resultados obtenidos:

Velocidad Nudos	RESISTENCIA DEL ARTE DE PESCA						Promedio Ton	Variación		
	TOWNSEND				FRE-BAD (Ton)	MINKO (Ton)		T	F-B	M
0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	----	----	----
0.50	0.109	0.000	0.036	0.145	0.277	0.159	0.194	-33%	30%	-22%
1.00	0.435	0.000	0.146	0.581	0.872	0.635	0.696	-20%	20%	-10%
1.50	0.979	0.000	0.328	1.307	1.706	1.429	1.481	-13%	13%	-4%
2.00	1.741	0.001	0.582	2.324	2.747	2.541	2.537	-9%	8%	0%
2.50	2.720	0.001	0.910	3.631	3.974	3.971	3.859	-6%	3%	3%
3.00	3.917	0.002	1.310	5.229	5.375	5.718	5.440	-4%	-1%	5%
3.50	5.331	0.002	1.783	7.117	6.937	7.782	7.279	-2%	-5%	6%
4.00	6.963	0.003	2.329	9.295	8.653	10.165	9.371	-1%	-8%	8%

Tabla 5. Comparación de métodos para estimar Resistencia del Arte de Pesca.

Luego se graficaron los valores obtenidos:

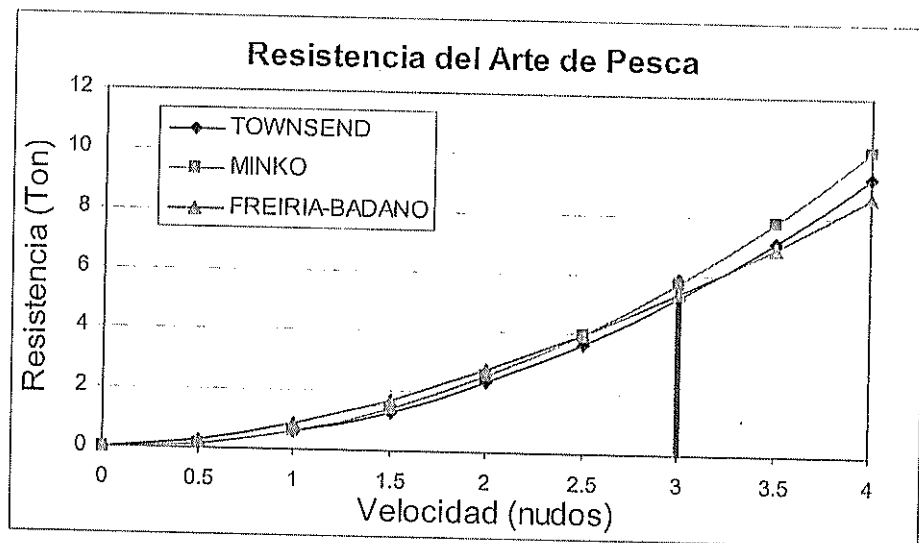


Figura 14. Comparación de métodos para estimar Resistencia del Arte de Pesca

Como puede verse en la figura 14, aproximadamente hasta los 3 nudos los tres métodos son cercanamente consistentes. En la tabla 5 se muestra la variación en porcentaje de cada método respecto al valor promedio y en el caso de arrastre a una velocidad de 3 nudos las variaciones están en el orden del 1 al 5% respecto al promedio. Sin embargo para continuar en el presente trabajo se utilizarán las formulaciones del tercer método, porque en dicho método se considera por separado los 3 elementos principales como son la red, compuertas y cables de arrastre.

Por lo tanto ya se tienen las fórmulas de la resistencia del arte de pesca para implementarlos en el programa computacional, [21].

2.3 CÁLCULO DE LA EFICIENCIA DE HÉLICES EN TOBERAS

Para el análisis de hélices tipo Kaplan en toberas se necesita conocer los coeficientes propulsivos, mismos que se presentan en la referencia [25] bajo las siguientes formulaciones:

$$K_T = \sum_{x,y} C_T(x,y) * (P/D)^x * (J)^y, \text{ para el coeficiente de Empuje Total.}$$

$$K_Q = \sum_{x,y} C_Q(x,y) * (P/D)^x * (J)^y, \text{ para el coeficiente de Torque.}$$

$$K_{TN} = \sum_{x,y} C_{TN}(x,y) * (P/D)^x * (J)^y, \text{ para el coeficiente de Empuje de}$$

Donde:

- P/D : Relación Paso/Diámetro
- J : Coeficiente de Avance
- C_T : Factor de Empuje Total acorde a (x,y)
- C_Q : Factor de Torque acorde a (x,y)
- C_{TN} : Factor de Empuje de la Tobera acorde a (x,y)

Los valores de los coeficientes C_T , C_Q , y C_{TN} se presentan en la siguiente tabla tomada de la referencia (13):

Hélice		Ka 4-55 en Tobera N19A			Ka 4-70 en Tobera N19A			Ka 4-70 en Tobera N37		
x	y	C _T	C _{TN}	C _Q	C _T	C _{TN}	C _Q	C _T	C _{TN}	C _Q
0	0	-0.375	-0.0451	-0.0347	0.03055	0.076594	0.006735	-0.162557	-0.016806	0.016729
	1	-0.20305	0	0.018568	-0.148687	0.075223	0	0	0	0
	2	0.830306	0	0	0	-0.061881	-0.016306	0	0	0
	3	-2.74693	-0.663741	0	-0.391137	-0.138094	0	0	0	0
	4	0	-0.244626	-0.195582	0	0	-0.007244	-0.077387	0	0
	5	0	0	0.317452	0	-0.37062	0	0	0	0
	6	0.067548	0	-0.093739	0	0.323447	0	0	-0.099544	0.030559
1	0	2.03007	0.244461	0.158951	0	-0.271337	0	0.598107	0	-0.048424
	1	-0.392301	-0.578464	-0.048433	-0.432612	-0.687921	0	-1.00903	-0.548253	-0.011118
	2	-0.611743	1.11682	0	0	0.225189	-0.024012	0	0.230675	-0.056199
	3	4.31984	0.751953	0.024157	0	0	0	0	0	0
	4	-0.34129	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	-0.123376	0	0	0	0	0	0
	6	0	-0.089165	0	0	-0.081101	0	0	0	0
2	0	-3.03167	0	-0.212253	0.667657	0.666028	0	0.085087	0.460206	0.084376
	1	0	-0.146174	0	0	0	0	0.425585	0	0
	2	0	-0.917516	0	0.285076	0.734285	0.005193	0	0	0.045637
	3	-2.00786	0	0	0	0	0	0	0	-0.042003
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	2.83697	0.068186	0.156133	-0.172529	-0.202467	0.046605	0	-0.215246	-0.008652
	1	0	0.174041	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0.102331	0	0	-0.54249	0	0	0	0
	3	0.391304	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0	-0.021044	0	0
	6	0	0	0	0	-0.016149	0	0	0	0
4	0	-0.994962	0	0	0	0	-0.007366	0.042997	0	0
	1	0	0	0.03074	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0.073587	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0.099819	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	-0.031826	0	0	0	0	0	0
	1	0.015742	0	-0.014569	0	0.030084	0	-0.38383	0	0
	2	0	0	-0.109363	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0.043862	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0.043782	-0.08581	0.007947	0	0	-0.00173	0	0	0
	1	0	0	0	-0.017293	0	-0.000337	0	0	-0.01176
	2	0	0	0.038275	0	-0.001876	0.000861	0.014992	0	0.002441
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	-0.021971	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6	0	0	0.0007	0	0	0	0	0	0
0	7	0	0.088319	0.02285	0	0	0	0.036998	0.051753	-0.01216

Tabla 6. Coeficientes propulsivos de hélices tipo Kaplan en toberas, [13].

Estos coeficientes pertenecen a las hélices tipo Kaplan de 4 palas y razón de área de 0.55 y 0.70 para Toberas 19A y N37. Una vez que se tienen estos coeficientes ya se los puede ingresar al programa fuente para el cálculo de la eficiencia propulsiva.

2.4 IMPLEMENTACIÓN EN EL PROGRAMA PPSAK DE LOS CÁLCULOS DE RESISTENCIA DEL ARTE DE PESCA Y DEL EMPUJE DE LA TOBERA

El programa PPSAK fue desarrollado como parte del curso Proyecto del Sistema Propulsor por el autor de esta tesis, implementado bajo programación en lenguaje Visual Fortran y tiene dos modalidades principales:

- Modalidad de Análisis.- Calcula la Potencia, Torque y RPM para alcanzar un rango de velocidades con un sistema propulsor dado para una embarcación.
- Modalidad de Diseño.- Selecciona la razón Paso/Diámetro adecuada para una hélice a partir de ciertas condiciones específicas: potencia del motor, razón de reducción, número de palas, razón de áreas y diámetro.

En ambos casos se asume que la hélice es de la serie B de Wageningen, y la resistencia al avance se estima empleando el método de Holtrop.

La estructura del programa ahora que se le ha incluido la estimación de la Resistencia por el Arte de Pesca y los polinomios de hélices en tobera es la siguiente:

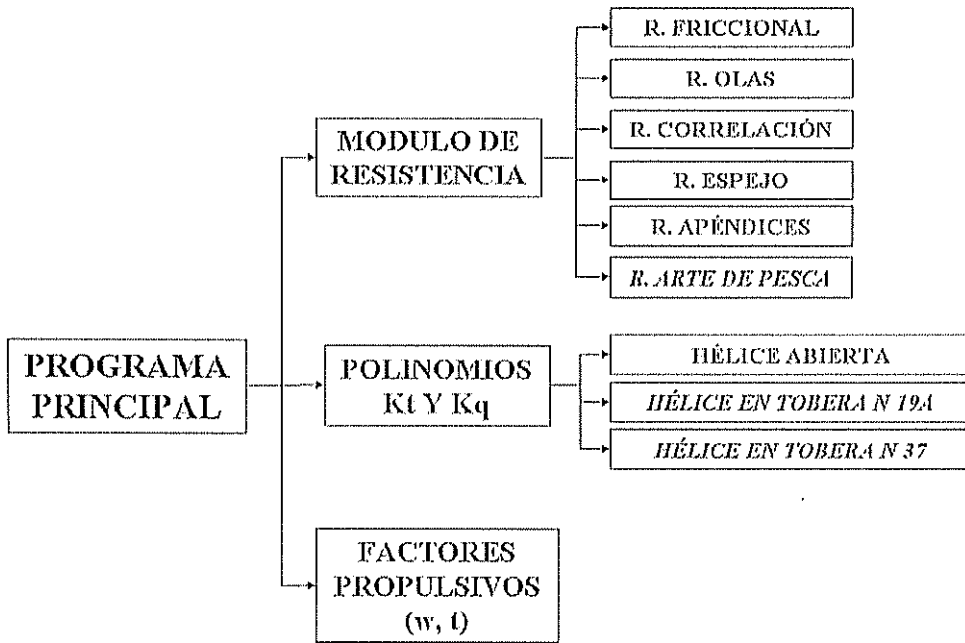


Figura 15. Estructura del Programa PPSAK

El programa original, como se muestra en la figura 15 tiene los módulos marcados en letra normal mientras que los módulos marcados en *itálica* son los agregados.

En el programa principal se encuentra implementado el proceso de cálculo para las dos modalidades, o sea, el análisis de la resistencia al avance y el proceso iterativo para la selección de la hélice abierta en agua. En la

subrutina Resistencia se encuentran implementadas las formulaciones de Holtrop. En la subrutina Polinomios se encuentran los coeficientes para calcular las curvas K_T y K_Q de hélices abiertas. Por último en la subrutina Factores se calculan los coeficientes de estela (w) y deducción de empuje (t) para embarcaciones con una o con dos hélices.

El programa necesita de un archivo de datos, en el que se digita toda la información necesaria para los cálculos respectivos. Además produce tres archivos de resultados en la primera parte de análisis y un archivo en la segunda parte de diseño:

- Detalle de Resistencias, en donde se muestran los resultados de cada componente de resistencia para varias velocidades según seleccione el usuario.
- Detalles del Propulsor, muestra los detalles del propulsor, tales como coeficientes propulsivos y eficiencias, para las velocidades asignadas.
- Detalles del Sistema, muestra los detalles principales del sistema propulsor, como la velocidad de rotación, torque, potencia y eficiencia del propulsor.
- Diseño de Hélice, correspondiente a la segunda parte del programa en donde se muestran los resultados del diseño de la hélice, tales como dimensiones, eficiencia y características para ciertas condiciones ingresadas por el usuario.

Se hizo dos variaciones al programa. En la primera parte correspondiente al cálculo de la resistencia se añadió un nuevo bloque al que se llamó Resistencia del Arte de Pesca. Este bloque incluirá las formulaciones del método seleccionado en el subcapítulo 2.3. También se hizo una variación en el bloque que tiene los polinomios propulsores para el cálculo de los coeficientes K_T y K_Q ya que se añadieron los polinomios de las hélices tipo Kaplan con razón de área de 0.55 y 0.70 en toberas N19A y N37.

El archivo de datos con el que trabaja el programa también tiene una variación que se indica en la siguiente figura:

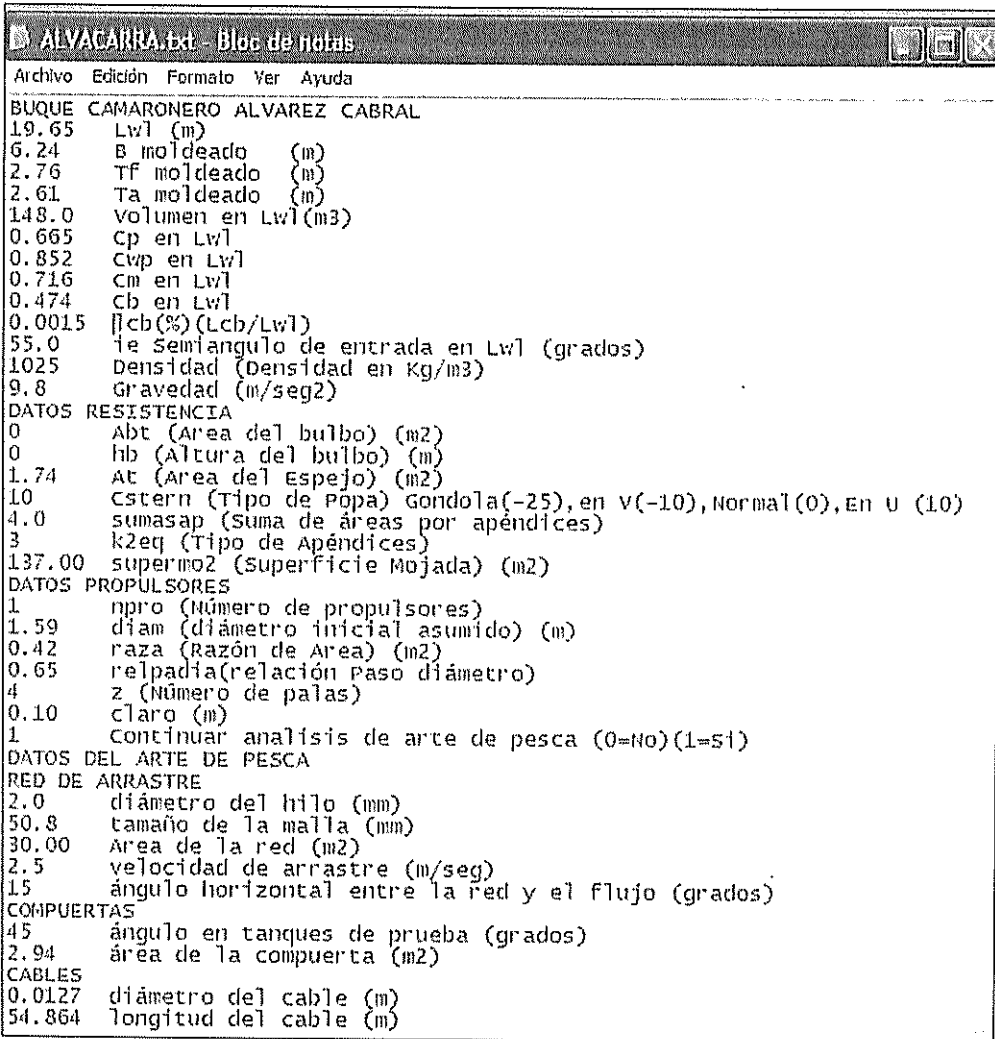


Figura 16. Archivo de datos del Programa PPSAK

En el archivo de datos se agregó un bloque más correspondiente a los datos para el arte de pesca. Nótese antes de digitar los datos necesarios para el arte de pesca se debe poner 0 si no se desea hacer análisis de resistencia incluyendo el arte de pesca o 1 si se lo desea. Con esto se logra que al hacer análisis de embarcaciones que no son pesqueras no se tome en cuenta la resistencia del arte de pesca.

CAPITULO 3

MEDICIÓN DE LA EFICIENCIA DE SISTEMAS PROPULSORES EN BUQUES CAMARONEROS

En este capítulo se describe el equipo Tele-Trak 3000 que se va a usar para medir la eficiencia de manera práctica y además se explica brevemente su modo de funcionamiento, Se describen las características de la embarcación en donde se realizaron las mediciones y los resultados obtenidos. Luego a partir de los resultados de las mediciones se procede a realizar el cálculo de la eficiencia propulsiva y compararlo con las estimaciones teóricas. Finalmente se desarrolla un manual de usuario que servirá de guía para futuras mediciones en base a la experiencia adquirida durante los ejemplos de aplicación y el análisis de resultados

3.1 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO DE TELEMETRÍA A USARSE

La Telemetría es un conjunto de procedimientos para medir magnitudes físicas y químicas desde una posición distante al lugar donde se produce la acción que desea medirse cuando existen limitaciones de acceso. Los equipos de Telemetría obtienen la información mediante transductores que transforman las magnitudes físicas que se desean medir en señales eléctricas equivalentes. Estas señales son enviadas al punto de observación mediante ondas eléctricas para su almacenamiento y análisis.

En el campo de la Ingeniería Naval hay muchas áreas en donde se puede utilizar la telemetría; en el caso del presente trabajo se lo usará para medir la deformación angular del eje propulsor mientras rota y a través de ella el torque que se está transmitiendo a la hélice. Dada la altísima variación en las lecturas receptadas es recomendable almacenar la información en un computador portátil y luego promediarla. Estas lecturas se transmiten en tres etapas principales:

- Sensor – Antena Transmisora.- En el presente trabajo se usará un extensómetro que se pegará directamente sobre el eje. Para ello debe realizarse una correcta preparación de la superficie o de lo contrario el sensor no se pegará satisfactoriamente. Además se

necesita una antena transmisora A-101 que estará conectada al extensómetro y a una batería de 9 voltios que alimente el circuito. Todo el conjunto se asegurará al eje con cinta adhesiva y correas sujetadoras para que no se despegue durante la prueba.

- Antena Receptora – Equipo RD3000.- Como se muestra en la siguiente figura alrededor del eje se tendrá una antena magnética receptora que transmite las lecturas hasta el equipo Tele-Trak RD 3000 en cuya pantalla pueden leerse las variaciones de voltaje.

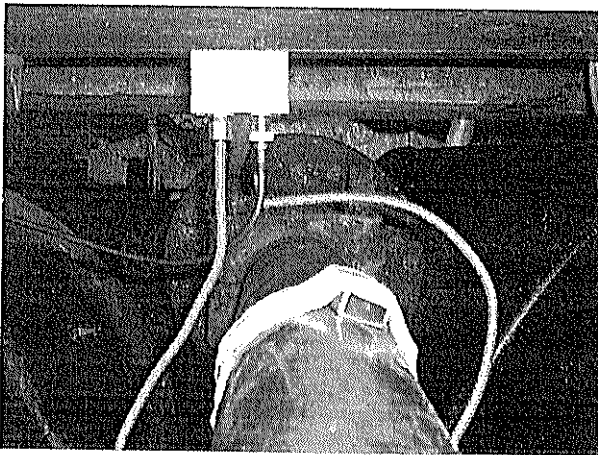


Figura 17. Esquema de ubicación de antena.

- Equipo RD3000 – Computador Portátil.- Con ayuda de un cable coaxial se lleva la información hasta una Terminal UIO37 y de aquí hasta el computador portátil con una tarjeta de adquisición de datos. En el computador se dispone de un programa que permite receptor

una mayor cantidad de datos de acuerdo a la razón de lectura ("Scan Rate") seleccionada.

Los pasos en detalle de la instalación del sensor y del equipo, así como algunas consideraciones especiales se muestran en el anexo D. En la siguiente figura se muestra el esquema de operación del equipo que se va a usar durante las pruebas.

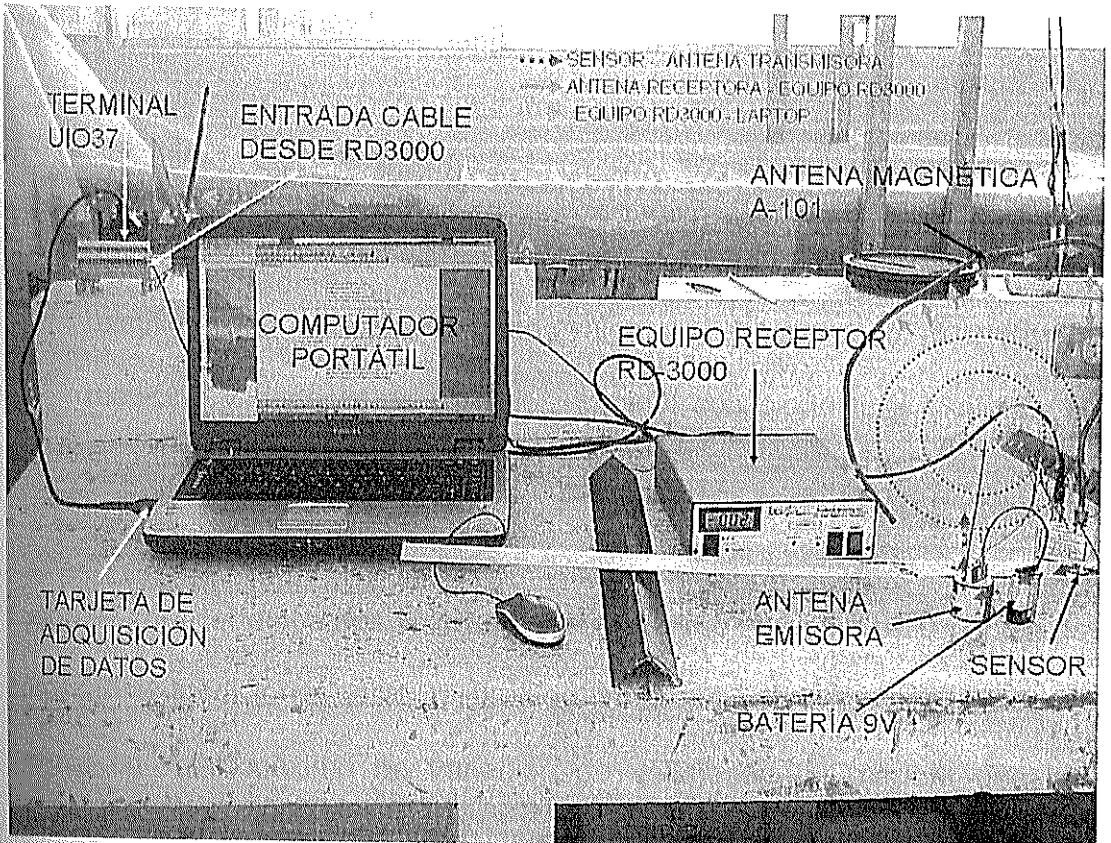


Figura 18. Esquema del Equipo usado durante las pruebas.

Hay dos características principales del sensor que dependen del fabricante y que son necesarias para la calibración de los equipos:

- Resistencia del Sensor [12], [19].- es definida como "la resistencia eléctrica medida entre dos cintas metálicas o áreas de contacto usadas para la conexión de los cables". El rango comprendido del sensor con una resistencia nominal es de 120 a 700 Ohms. En el presente trabajo se usarán sensores con una resistencia de 350 Ohms.
- Factor del Sensor ("*Gage factor*") [12], [19].- La sensibilidad de la tensión en un sensor es un factor de proporcional entre los cambios relativos de resistencia. Este valor es determinado por simple medición y dado como un valor nominal con cierta tolerancia. En el presente trabajo este valor es de 2.07.

Luego de conocer estos dos valores debe realizarse una calibración antes de empezar las mediciones, esta calibración tiene como fin encerrar el equipo y asignar un valor máximo de variación de voltaje de tal manera que las lecturas sean en referencia a este valor asignado. Para realizar la calibración se necesita conocer el torque máximo al que va a estar sujeto el eje, lo que

permitirá calcular la máxima deformación. Los pasos en detalle de cómo se hace la calibración se muestran en el anexo D.

El torque se mide a través de la deformación real del eje causada por una fuerza que tuerce o por los efectos de esta deformación. La superficie de un eje bajo torque experimentará compresión y tensión como se muestra en la figura 19. Para medir el torque, los sensores de esfuerzo se montan generalmente en pares sobre el eje, un sensor mide el aumento en longitud (en la dirección en la cual la superficie está bajo tensión), el otro sensor mide la disminución de la longitud en la otra dirección.

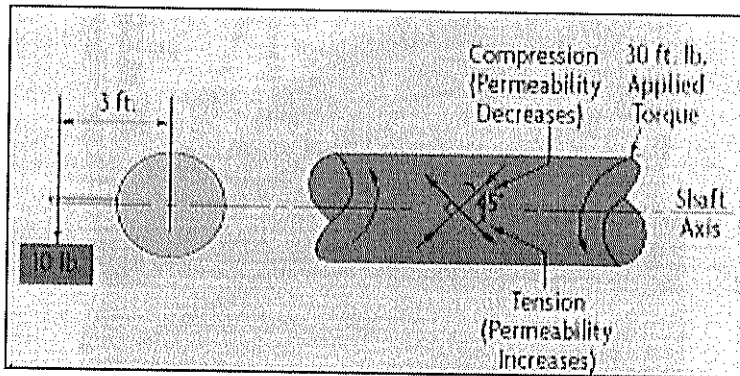


Figura 19. Tensión y compresión sobre el eje.

3.2 RESUMEN DE MEDICIONES

La embarcación pesquera camaronera en donde se realizaron las mediciones es de tipo arrastrero, pertenece a la compañía Camarones del Mar, COBUS, y sus características principales se resumen a continuación:

Nombre	B/P Alvarez Cabral	
Tipo de Buque	Arrastrero	
Matrícula	P.00-0272	
Eslora Total	20.64	m.
Manga	6.24	m.
Puntal Moldeado	3.14	m.
Calado en línea de carga	2.74	m.
Volumen del Casco	180.09	m ³
Desplazamiento Total	139	Toneladas
Capacidad de Agua	1050	Galones
Capacidad de Combustible	6500	Galones
Capacidad en Bodega	10.50	m ³

Tabla 7. Características Principales de Embarcación de Prueba



Figura 20. Foto de la embarcación donde se realizó la prueba.

Se realizaron tres pruebas abordo con el equipo descrito en el subcapítulo anterior. La primera prueba fue de ensayo para revisar el equipo y simular la ubicación de equipos para las pruebas finales, la segunda prueba fue en navegación libre y la tercera prueba fue en navegación de arrastre. En las figuras 21, 22 y 23. se muestran los calados correspondientes en cada prueba.

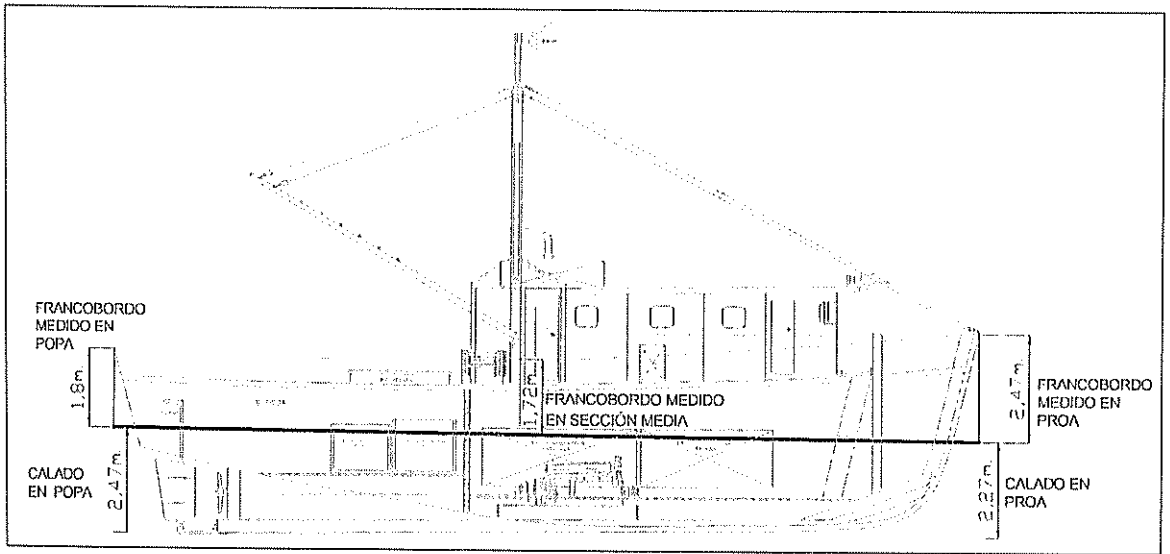


Figura 21. Francobordos registrados en la primera prueba.

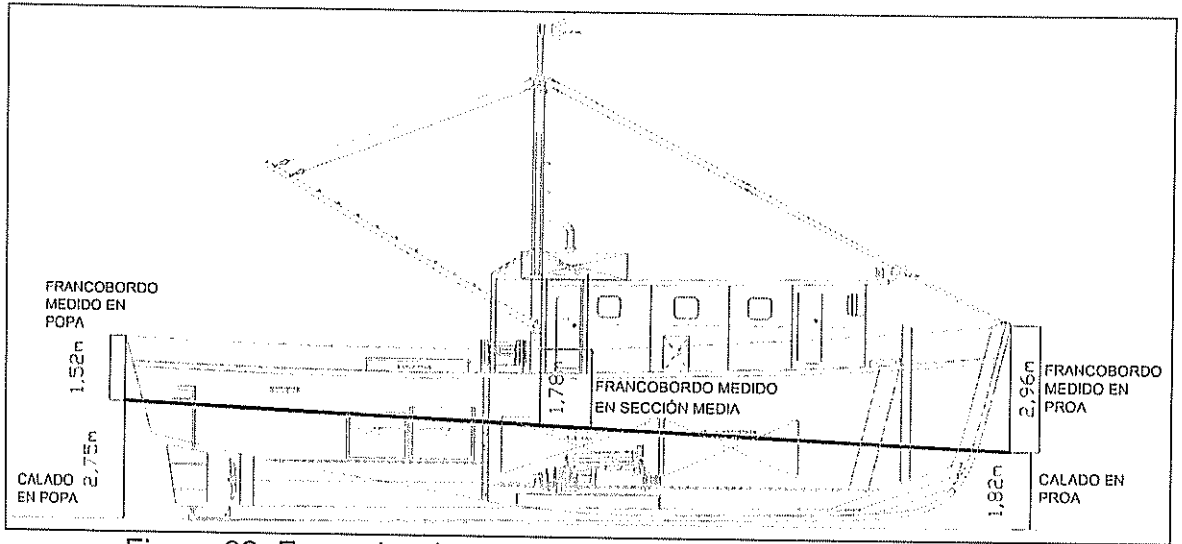


Figura 22. Francobordos registrados en la segunda prueba.

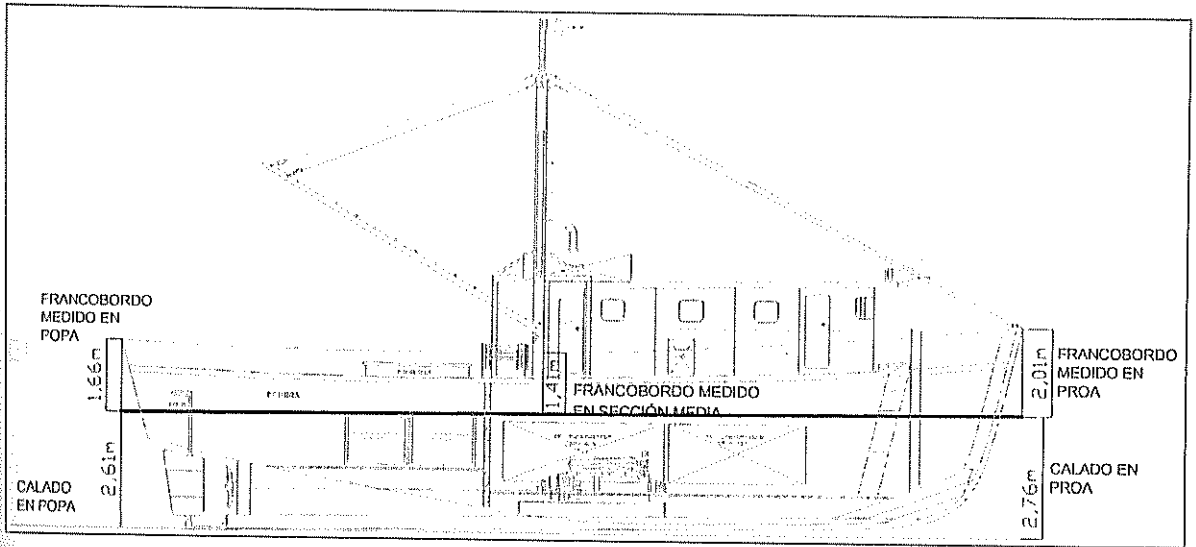


Figura 23. Francobordos registrados en la tercera prueba.

Con los francobordos registrados se sacó por diferencia los calados y se evaluaron las características hidrostáticas que se resumen en la siguiente

tabla. En el anexo A se muestra el plano de líneas de formas y los cálculos hidrostáticos.

CARACTERÍSTICAS HIDROSTÁTICAS			
CONDICIÓN	1ª Prueba	2ª Prueba	3ª Prueba
Eslora LWL (m)	19,48	19,45	19,65
Manga (m)	6,24	6,24	6,24
Calado en Proa (m)	2,25	1,81	2,76
Calado en Popa (m)	2,47	2,75	2,61
Calado Medio (m)	2,36	2,28	2,69
Volumen (m ³)	116	108	148
Cp	0,636	0,623	0,665
Cwp	0,825	0,819	0,852
Csm	0,668	0,654	0,716
Cb	0,49	0,415	0,474
LCB (%L desde Sec. Media, +Pr)	0,012	0,015	0,0015
Ángulo de Entrada (grados)	44	38	55
Datos de Resistencia			
Área del Espejo (m ²)	1,14	2,24	1,74
Tipo de Popa	10	10	10
Áreas por apéndices (m ²)	2	2	2
Factor K Tipo Apéndices	3	3	3
Superficie Mojada (m ²)	124	121	137

Tabla 8. Características Hidrostáticas en las tres pruebas.

El sistema propulsor del buque está compuesto de los siguientes elementos:

- El motor es de marca Caterpillar D342 con una potencia de 221 Hp y 1500 rpm.
- El reductor tiene una razón de reducción de 4:1
- El eje está hecho de acero con un diámetro de 10 cm.
- La hélice tiene un diámetro de 1.59 m., una razón de áreas Ae/Ao de 0.42 y una relación Paso/Diámetro de 0.65.

Los resultados de las mediciones de las características de la hélice del buque y su comparación con una de la serie B de Wageningen puede verse en detalle en el anexo A.

Para realizar el análisis con el arte de pesca es necesario determinar algunos valores que serán usados en el programa computacional. Estos se resumen en la tabla 9 y la descripción en detalle de estos valores se encuentra en el anexo B.

Red de Arrastre		
Diámetro del hilo	2	mm
Tamaño de la malla	50,8	mm
Área de la Red	30	m ²
Ángulo Red-Flujo	15	grados
Compuertas		
Área de la Compuerta	2,94	m ²
Cables		
Diámetro del Cable	0,5	pulgadas
Longitud del Cable	54,86	metros

Tabla 9. Datos del arte de pesca para el programa computacional.

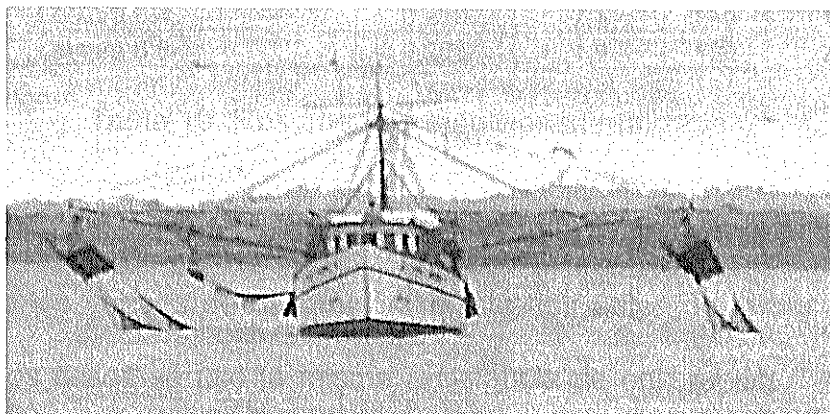


Figura 24. Foto de una embarcación similar durante maniobras.

Como ya se indicó previamente, se realizó una prueba preliminar el día 14 de Agosto y las pruebas finales en Navegación Libre y Arrastre se las realizó los días 19 y 20 de Agosto del 2006 respectivamente. La velocidad del buque se registro con un GPS y la velocidad de rotación en el eje con un tacómetro electrónico que usa un pedazo de cinta reflectora sobre el eje. A continuación se muestra el resumen de los valores registrados:

Fechas	Descripción	Lectura Registrada	Velocidad (Nudos)	RPM	Variación
					Voltaje %
Prueba Inicial 14 de Agosto	Calibrado Rojo-Blanco	-0,565	----	----	----
	Calibrado Rojo-Verde	0,565	----	----	----
	Lectura 1	-0,242	8,9	250	-43%
	Lectura 1.1	0,118	7	215	21%
	Lectura 2	0,205	7,5	225	36%
	Lectura 3	0,424	9,2	276	75%
Prueba Final Libre 19 de Agosto	Calibrado Rojo-Blanco	-1,254	----	----	----
	Calibrado Rojo-Verde	1,252	----	----	----
	Lectura 1	0,879	8,9	278	70%
	Lectura 2	0,954	9,1	279	76%
	Lectura 3	1,213	8,3	278	97%
Prueba Final Arrastre 19 de Agosto	Lectura 4	1,082	2,6	208	86%
	Lectura 5	0,506	2,45	207	40%
	Lectura 6.1	0,339	2,7	208	27%
	Lectura 6.2	0,416	2,5	175	33%
	Lectura 6.3	0,366	3,2	215	29%
	Lectura 6.4	0,229	2,3	140	18%
	Lectura 6.5	0,265	1,9	125	21%

Tabla 10. Resumen de mediciones realizadas.

En esta tabla anterior se muestra la variación de voltaje como un porcentaje respecto a los valores de calibración registrados antes de iniciar la prueba. Para ambos casos se usó la misma resistencia de calibración (345 Kohms) obtenida para un torque de 35000 Libras-pulgadas que imponía una

deformación unitaria de 126.6 $\mu\text{in/in}$; sin embargo, se asignó un distinto valor de sensibilidad (*gain*) en el equipo para la prueba inicial (0.565 V) y las pruebas finales (1.254 V). El detalle de las pruebas de medición puede verse en el anexo C.

3.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Una vez que se conoce los valores de la variación de voltaje con respecto a cada calibración se evaluó el torque experimental, multiplicando el torque empleado en la calibración del equipo (35000 Libras-pulgadas) por el porcentaje de variación de voltaje mostrada en la tabla 10. También se calculó la potencia mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Potencia} = \text{Torque} * \text{RPM}$$

Revisando las unidades pertinentes, factores de conversión y ordenando se resumen los resultados en la tabla a continuación:

MEDICIONES	No	Velocidad (nudos)	RPM	TORQUE (Lib-pulg)	Potencia (HP)
Primera Prueba: N.Libre	1	8.90	250	-14988.7	59
	1.1	7.00	215	7329.6	25
	2	7.50	225	12711.8	45
	3	9.20	276	26297.0	115
Segunda Prueba: N.Libre	1	8.90	278	24578.6	108
	2	9.10	279	26674.1	118
	3	8.30	278	33894.6	150
Tercera Prueba: N.Arrastre	4	2.60	208	30253.8	100
	5	2.45	207	14138.0	46
	6.1	2.70	208	9473.9	31
	6.2	2.50	175	11632.0	32
	6.3	2.80	215	10229.6	35
	6.4	2.30	140	6399.7	14
	6.5	1.90	125	7420.2	15

Tabla 11. Evaluación del Torque Experimental.

Luego utilizando el programa computacional PSPSAK, [21] se procedió a determinar de manera teórica el torque, velocidades de rotación y potencia para compararlos con los valores experimentales. Se prepararon tres archivos de datos con la información de las tablas 8, 9, y, las características de la hélice propulsora. Luego de ejecutar el programa se obtuvieron varios resultados que se resumen en las siguientes tablas:

Velocidad (Nudos)	Resistencia (KN)		Empuje (KN)	Torque (Lib-pulg)	RPM
	Casco	Arte Pesca			
1	0,128	0	0,169	316,2	30,2
2	0,465	0	0,615	1155,2	59,1
3	0,982	0	1,298	2448,8	87,3
4	1,664	0	2,199	4163,5	115,0
5	2,598	0	3,436	6478,4	143,8
6	4,303	0	5,677	10390,2	178,2
7	7,99	0	10,544	18270,6	225,4
8	17,594	0	23,163	37402,7	301,3
9	29,724	0	39,177	61289,2	373,8
10	46,346	0	61,239	93702,3	452,1

Tabla 12. Resultados del programa computacional para primera la prueba.

Velocidad (Nudos)	Resistencia (KN)		Empuje (KN)	Torque (Lib-pulg)	RPM
	Casco	Arte Pesca			
1	0,156	0	0,206	378,0	32,5
2	0,573	0	0,757	1390,9	63,6
3	1,217	0	1,6	2950,2	93,9
4	2,066	0	2,735	5051,2	124,0
5	3,164	0	4,173	7709,4	154,1
6	4,837	0	6,355	11581,3	187,4
7	7,884	0	10,434	18364,7	229,4
8	14,809	0	19,463	32453,1	290,0
9	23,124	0	30,401	49307,9	348,4
10	35,676	0	47,113	74445,8	417,3

Tabla 13. Resultados del programa computacional para la segunda prueba.

Velocidad (Nudos)	Resistencia (KN)		Empuje (KN)	Torque (Lib-pulg)	RPM
	Casco	Arte Pesca			
0,5	0,058	0,32	0,502	745,6	36,8
1	0,219	1,278	1,988	2926,0	73,2
1,5	0,475	2,876	4,426	6484,4	109,3
2	0,822	5,113	7,869	11488,4	145,8
2,5	1,256	7,989	12,296	17904,0	182,2
3	1,775	11,504	17,52	25468,9	217,7

Tabla 14. Resultados del programa computacional para la tercera prueba.

Nótese que la contribución del Arte de Pesca en la Resistencia Total es del 87%. Luego se hizo una comparación gráfica entre los valores teóricos y experimentales para apreciar de mejor forma los resultados.

Comparación de RPM vs. Velocidad.- se elaboró una gráfica para cada prueba, comparando las RPM registradas durante las pruebas con las que estimó el programa.

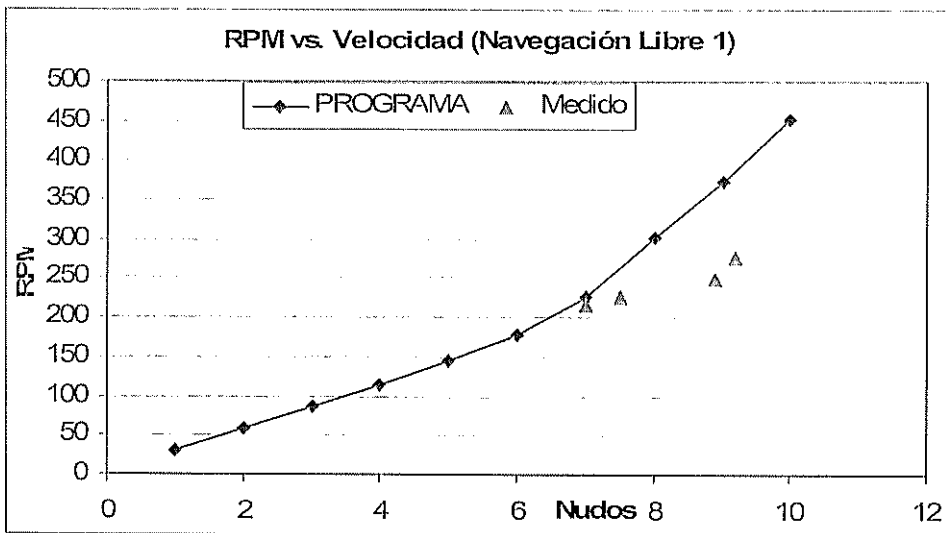


Figura 25. Comparación de RPM para la primera prueba.

En este caso durante la primera prueba al estar el buque saliendo del varadero las lecturas de la velocidad registradas durante la prueba fueron relativas respecto a la velocidad del río. No obstante los valores están cercanos a los calculados por el programa.

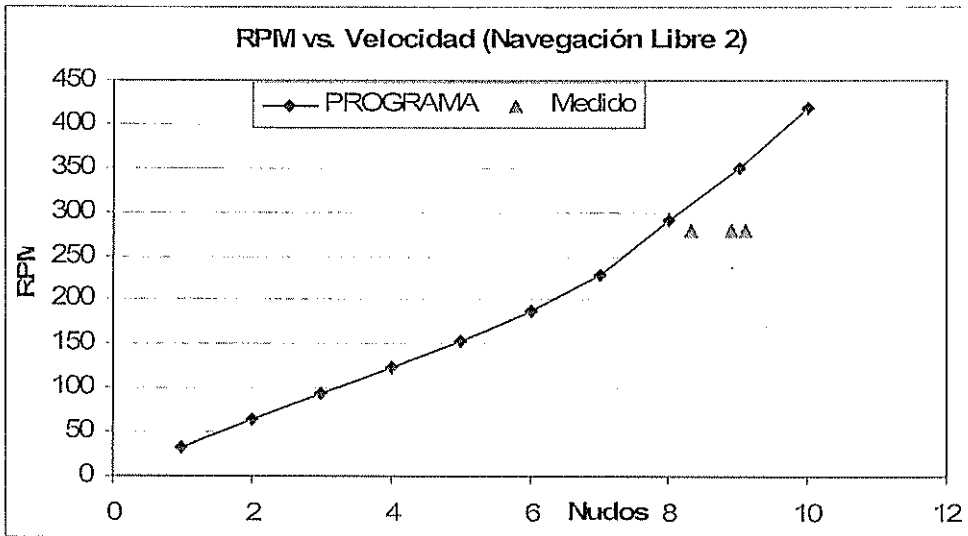


Figura 26. Comparación de RPM para la segunda prueba.

Las primeras dos lecturas de la segunda prueba se desarrollaron con marea en contra mientras que la tercera lectura, que es el punto más cercano a la curva teórica, se desarrolló con la corriente a favor por eso se nota en la tabla 13 que, a pesar de tener las mismas RPM, la velocidad del buque varía en cada caso. Desafortunadamente el capitán del buque no podía reducir la velocidad para realizar otras pruebas por su itinerario.

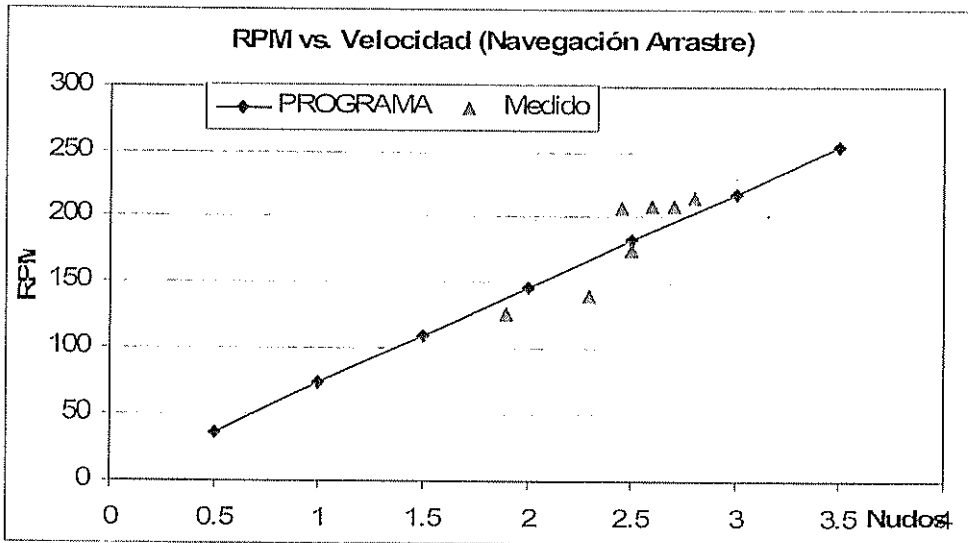


Figura 27. Comparación de RPM para la tercera prueba.

En la tercera prueba durante el arrastre se pudieron obtener varias lecturas experimentales, que al graficar simultáneamente sobre la curva teórica se observa claramente como estos valores son muy consistentes. Es importante recalcar que la tercera prueba fue la más importante porque se pudo obtener mayor variedad de datos para poder compararlos con los teóricos.

Comparación de Torque vs. RPM.- En este caso puede notarse claramente la cercanía de los valores teóricos con los experimentales, aunque se nota que uno de los puntos cae en el área del torque negativo, como ya se mencionó antes este valor corresponde a la lectura del buque moviéndose hacia atrás. Los demás valores se asemejan mucho a las estimaciones teóricas.

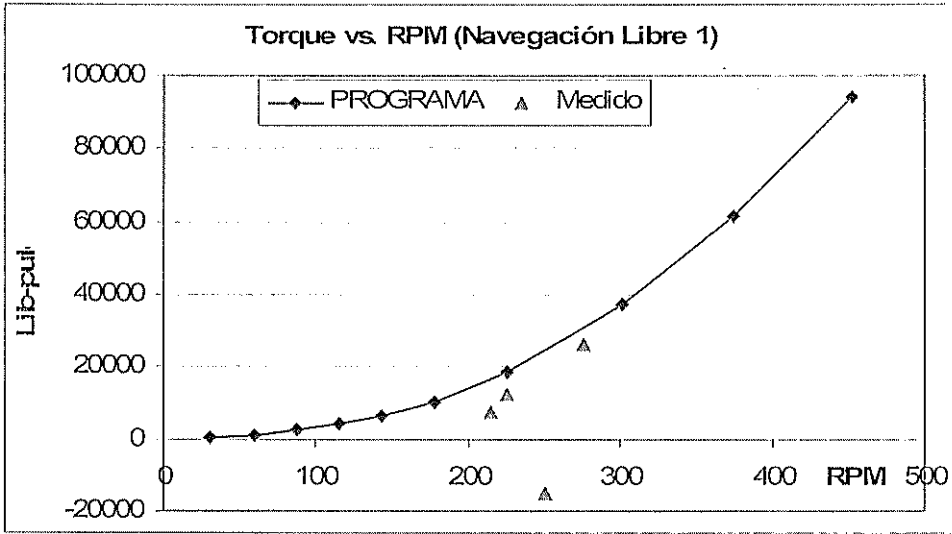


Figura 28. Comparación de Torque para la primera prueba.

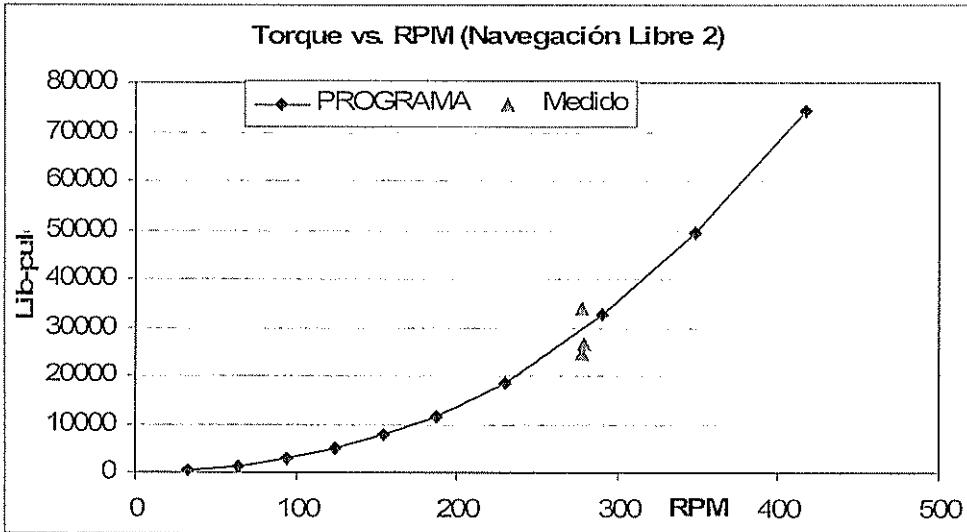


Figura 29. Comparación de Torque para la segunda prueba.

Esta gráfica demuestra de mejor manera la cercanía entre los valores teóricos y experimentales ya que las RPM se midieron directamente sobre el

eje y el torque se registró con el equipo sin la influencia de la velocidad del río.

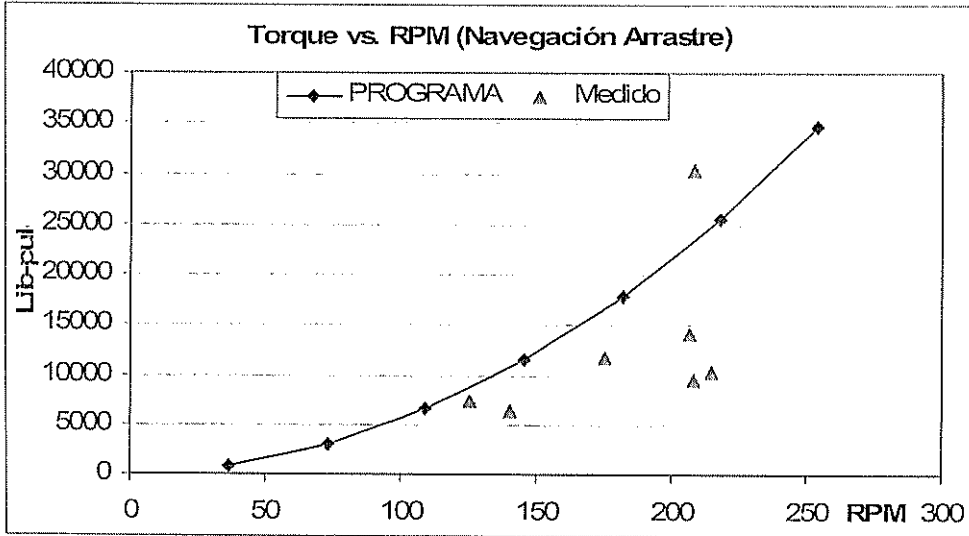


Figura 30. Comparación de Torque para la tercera prueba.

Esta medición, Figura 30, fue la más complicada de realizar no por el equipo sino por las maniobras realizadas en el buque al momento del arrastre; a pesar del poco tiempo para tomar lecturas de RPM por los cambios de velocidad que se realizan como parte de las maniobras se logró registrar algunos valores los cuales se grafican junto con los teóricos notando una buena relación entre ellas.

Comparación de la Potencia y Eficiencia vs RPM.- Se va a comparar la potencia en las dos condiciones de operación lo cual se hace con dos objetivos, el primero es conocer la proximidad entre datos teóricos y

experimentales y el segundo conocer que porcentaje de la potencia del motor se absorbió durante las pruebas.

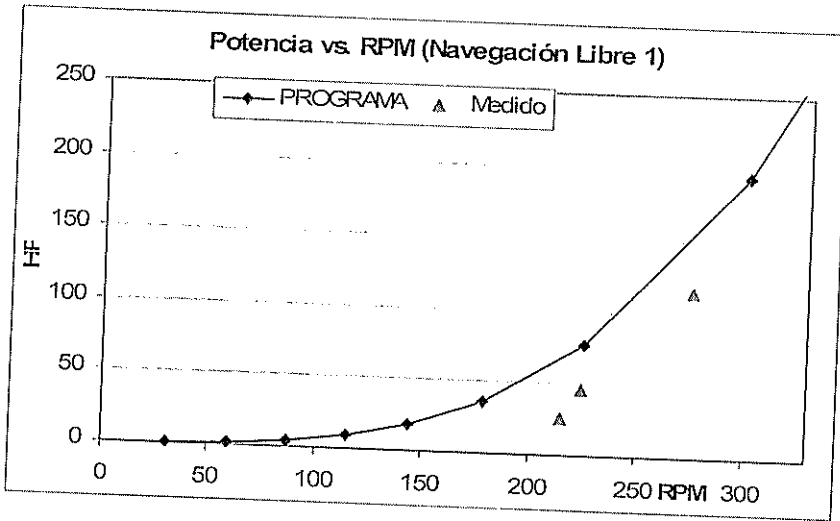


Figura 31. Comparación de Potencias para Navegación Libre.

En este caso los datos calculados experimentalmente se asemejan mucho a la potencia teórica estimada. Para la siguiente condición de operación se tiene la siguiente figura:

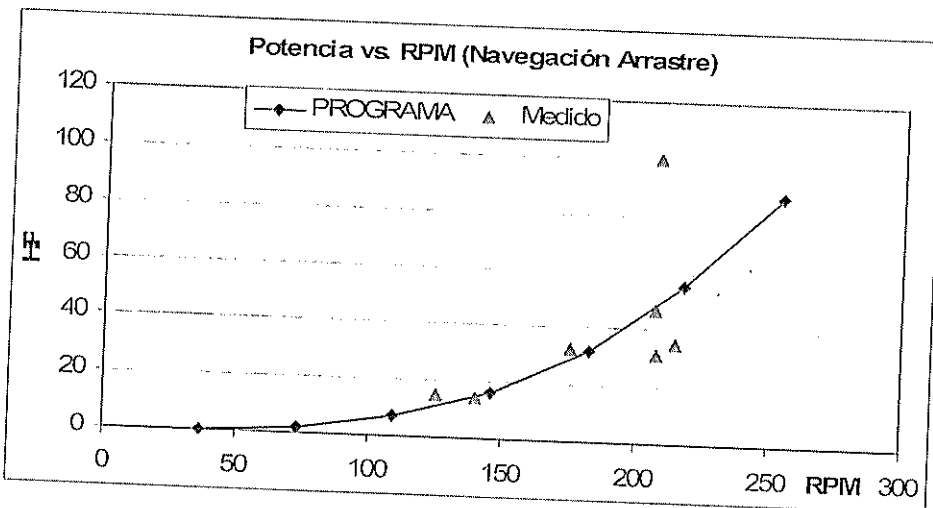


Figura 32. Comparación de Potencias para Navegación en Arrastre.

Esta gráfica es más ilustrativa que la anterior, ya que en este caso se tuvo mayor cantidad de datos para comparar y como puede apreciarse la consistencia entre datos teóricos y experimentales es muy buena.

Luego de ello se procedió a evaluar en forma teórica y graficar la eficiencia propulsiva del buque analizado:

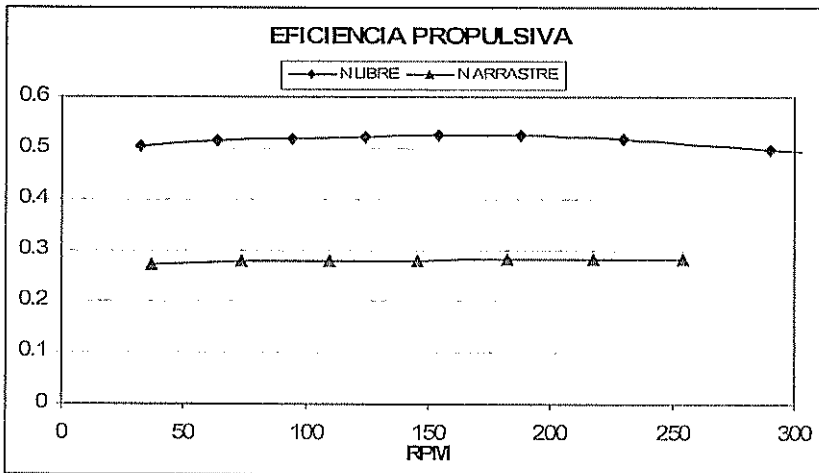


Figura 33. Comparación de Eficiencias Propulsivas.

De acuerdo a la figura anterior se tiene que en navegación libre con 278 RPM se alcanza una eficiencia de 0.497; mientras que en arrastre con 208 RPM se llega a 0.29.

En base a todas las comparaciones anteriores se puede resumir hasta ahora que el programa funciona razonablemente incluyendo las asunciones incorporadas en los cálculos.

3.4 MANUAL DE PROCEDIMIENTO PARA LA MEDICIÓN

Con la experiencia ganada se desarrolló un manual para realizar las mediciones de Torque en Buques con equipo de Telemetría. Las condiciones en las que se realicen cambiarán un poco respecto a la ubicación de equipos pero el proceso a seguir es el mismo. El manual en detalle se encuentra en el anexo D y enumera con gráficos los pasos que deben seguirse desde la preparación de la superficie e instalación del sensor hasta el proceso de medición. Se mejoró notablemente el manual que viene con el equipo [3], ya que en esta nueva versión se ha puesto fotos del proceso real indicando que debe hacerse para no cometer posibles errores que se cometieron durante el presente trabajo pero que fueron solucionados exitosamente. A continuación se preparó una tabla donde se resume rápidamente los pasos a seguir para realizar las mediciones.

PASOS DE INSTALACIÓN DEL SENSOR	
Item	Descripción
1	Limpiar superficie con desengrasante.
2	Usar Lija 220 para limpiar superficie.
3	Limpiar con Alcohol.
4	Limpiar con AIR MPREP-CONDITIONER.
5	Usar Lija 400 para limpiar superficie.
6	Limpiar con MPREP-CONDITIONER.
7	Limpiar con MPREP-BASE ALCALINE y papel tisue.
8	Repetir pasos 6 y 7 hasta que el papel tisue ya no se manche.
9	Señalar la superficie.
10	Marcar área donde se va a colocar el sensor.
11	Trazar líneas guías de dirección.
12	Poner cinta adhesiva y pegamento especial al sensor.
13	Ubicar y pegar sensor sobre líneas guías del paso 11.
14	Poner cinta de teflón sobre la cinta y el sensor.
15	Con borrador frotar sobre el teflón.
16	Quitar despacio el teflón y la cinta adhesiva.
17	Con multímetro revisar estado de las 5 terminales del sensor.
18	Preparación de cables para soldadura al sensor.
19	Soldar con cautín los cables al sensor.
20	Revisar con el multímetro las resistencias entre las terminales.
21	Esperar 10 minutos que se enfríe la soldadura.
22	Aplicar M-COAT AIR DRYING POLYUTERIAN COATING sobre el sensor.
23	Dejar que seque por 20 a 30 minutos.
24	Poner masilla de brea sobre el sensor y terminales.
25	Cubrir con cinta protectora que cubra todo el conjunto.
26	Cubrir los cables con la cinta aislante.

Tabla 15. Pasos para instalación del sensor.

Estos pasos pueden seguirse en una etapa preliminar de medición para revisar qué equipos se necesitan o sino para evaluar si se ha seguido los pasos correctamente en caso de que algo falle en los equipos.

PASOS DE INSTALACIÓN DE EQUIPOS	
Ítem	Descripción
1	Conectar cables del sensor con el dispositivo STRAIN HARNESS.
2	Conectar el dispositivo a la batería de 9 voltios y la antena transmisora.
3	Con cinta ajustar el transmisor y la batería para que no se muevan.
4	Usar correas sujetadoras para ajustar batería y antena sobre el eje.
5	Colocar la antena magnética receptora A-101 alrededor del eje.
6	Ajustar base de la antena receptora para que no se mueva.
7	Conectar cable transmisor desde antena receptora hasta el equipo RD-3000.
8	Encender el equipo receptor RD-3000 y dejarlo encendido por 15 minutos.
9	Conectar cable coaxial y dispositivo de salida del equipo RD-3000.
10	Conectar el otro extremo del cable coaxial a la Terminal UIO37.
11	Conectar el cable D37 a la tarjeta de adquisición de datos para obtener la señal.
12	Conectar la tarjeta de adquisición de datos al computador portátil
13	En el computador se inicia el programa DaqEZ Professional.
14	Dar click en la figura verde con el nombre de la tarjeta de adquisición de datos.
15	Seleccionar íconos Save Data, Digital Meter y Y Graph Chart.
16	Realizar el enlace de canales acorde a conexión en Terminal UIO37.
17	En el ícono de tarjeta de datos ajustar velocidad de lectura de datos (Scan/seg).
18	En el ícono Save Data escoger el tipo de archivos (*.UNT).
19	En el mismo ícono seleccionar destino donde se van a guardar los archivos.
20	Una vez configurado se da clic en el botón PLAY para iniciar las lecturas.
21	Para detener las lecturas se da clic en el botón STOP.
22	Entre cada inicio y fin de medición registrar el TIEMPO DE LECTURA.
23	Encender el botón FILTER en el equipo RD 3000.
24	Ajustar el botón BALANCE en el equipo hasta que luces enciendan iguales.
25	Ajustar con multímetro y destornillador el calibrador de resistencias CRB-101.
26	Usar el calibrador de resistencia entre cables rojo y blanco del sensor.
27	La pantalla del Equipo muestra un valor proporcional a la resistencia aplicada.
28	Ajustar el botón GAIN (sensibilidad) para la deflexión máxima deseada.
29	Registrar una lectura de la calibración rojo-blanco.
30	Usar el calibrador de resistencia entre cables rojo y verde.
31	La pantalla del Equipo debe mostrar un valor igual al anterior con signo contrario.
32	Registrar una lectura de la calibración rojo-verde.
33	Desconectar el calibrador de resistencia.
34	Equipo listo para iniciar lecturas

Tabla 16. Pasos para instalar equipo de medición.

Todo el proceso de medición fue muy interesante y se aprendió mucho del mismo ya que hay detalles que no se encuentran en un manual de equipos y se aprende durante la práctica. Hay inconvenientes que surgen de una

manera u otra y que se debe solucionar al instante para seguir con las mediciones. Por esto es importante realizar varias visitas antes de realizar las mediciones para evaluar el lugar donde se las va a realizar y prepararse para posibles inconvenientes.

CAPITULO 4

EVALUACIÓN FINAL

Con el programa de computación modificado en el capítulo dos, se determina el conjunto hélice tobera apropiado para el buque en el que se realizaron las mediciones. Luego en base a los gastos de operación actuales por consumo de combustible y la reducción que se tendría con el sistema propuesto, se determina el beneficio de la instalación del sistema hélice en tobera. También se describe una forma para sujetar la tobera al casco de madera de los buques camaroneros ecuatorianos. Finalmente se propone un método de construcción local de la tobera como una alternativa para reducir los costos de importación de la misma.

4.1 SELECCIÓN DE HÉLICE EN TOBERA

Antes de seleccionar el conjunto hélice en tobera es importante conocer que al instalar una hélice en tobera se logra un incremento en la eficiencia del sistema y la reducción del consumo de combustible; sin embargo esto no siempre es posible. Una tobera tiene un efecto significativo en buques que trabajan con velocidades bajas, por lo que es más aplicable en buques arrastreros y remolcadores. Incluso en estos buques su efecto se siente cuando están en operación de faena o arrastre ya que la velocidad en navegación libre normalmente se reduce un poco.

La figura 34 tomada de la FAO, [5], se puede utilizar como ayuda para estimar el beneficio de instalar una tobera en buques de una sola hélice.

Para ello se necesitan tres datos importantes:

- El valor de SHP se lo toma con las máximas revoluciones en servicio continuo, se las ingresa en HP.
- El valor de *Propeller RPM* se obtiene al dividir las revoluciones del motor (RPM), para la razón de reducción que utiliza el buque.
- La velocidad de la nave debe tomarse como la velocidad en condición de trabajo y no la velocidad en navegación libre.

Una vez que se tienen estos valores se marca en la cartilla y se puede conocer si es recomendable instalar la tobera, claro está que esto es algo preliminar, por lo que luego deberá hacerse un análisis más detallado.

A manera de ejercicio se evaluó con los datos del B/P Alvarez Cabral:

- Potencia: 221 HP
- RPM: 208 rpm. medidas durante el arrastre.
- Velocidad: 2.60 nudos medida durante el arrastre.

Evaluando los valores para graficarlos en la figura N se tiene:

$$\text{Eje x} = \text{RPM} * \sqrt{\text{SHP}} = 208 * \sqrt{221} = 3092$$

$$\text{Eje y} = 2.60$$

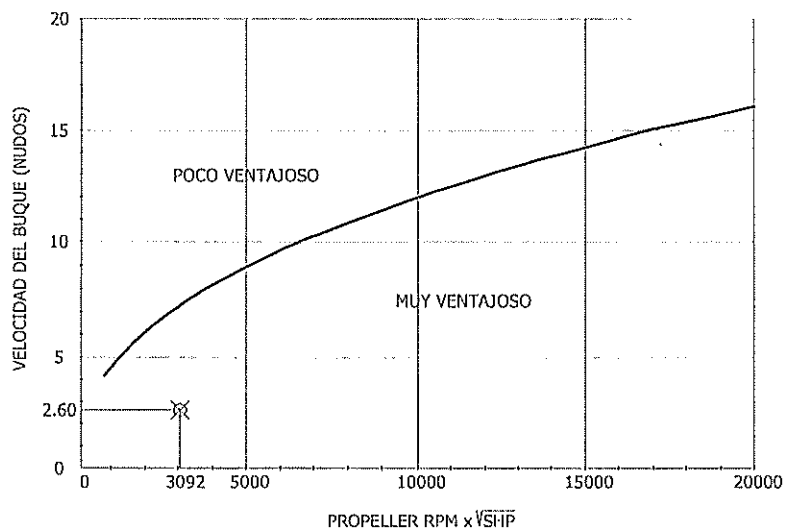


Figura 34. Determinación de Beneficios de instalar toberas.

En este caso de manera preliminar se determinó que resulta ventajoso instalar una tobera en este buque.

Ahora usando el programa computacional [21] se procederá a seleccionar el conjunto hélice en tobera apropiado. Previamente se muestra en las figuras 35 y 36 los espacios y dimensiones disponibles para el sistema.

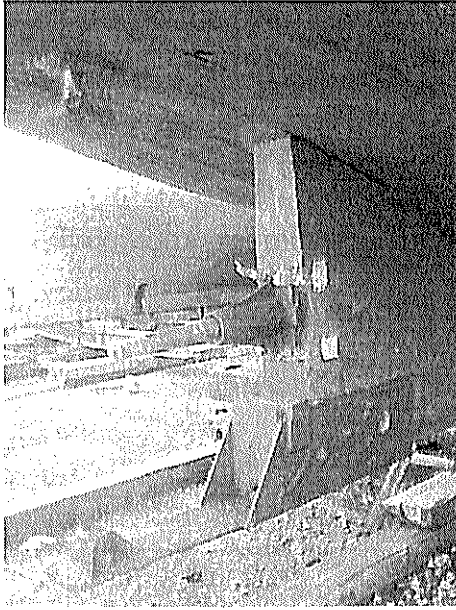


Figura 35. Foto del Espacio disponible.

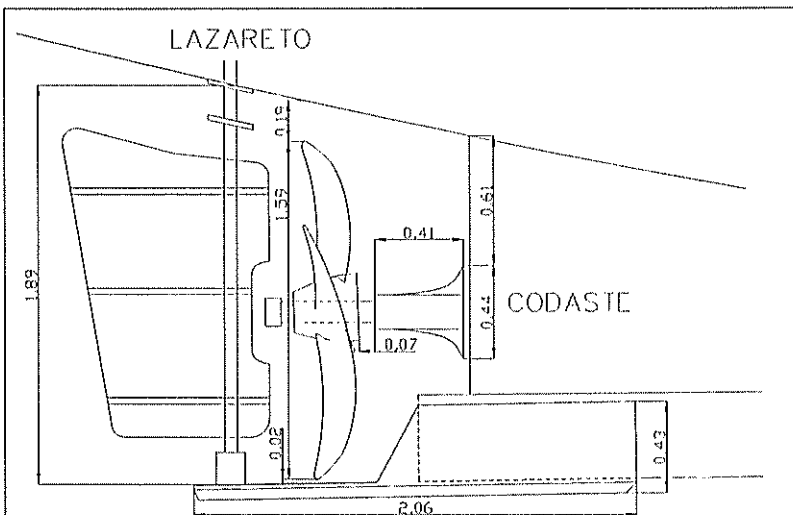


Figura 36. Dimensiones disponibles.

La hélice actual tiene un claro de 2 centímetros aproximadamente en su parte inferior y 19 centímetros en la parte superior.

Para conocer el diámetro máximo de la hélice en tobera que se puede usar se desarrolló un programa en el cual se usan los valores para estimar las dimensiones del cuerpo de una tobera presentadas en el capítulo 1 y otros valores presentados en la referencia [13] de claros permisibles entre tobera y casco. Este programa produce como resultado las dimensiones de la hélice y tobera en función del espacio disponible que en este caso es de 1.80 metros. Luego de ejecutar el programa se tienen los siguientes resultados:

CARACTERÍSTICAS	TOBERA KORT	
	19A	N37
Espacio Disponible para Propulsor	1.8	1.8
Diámetro Máximo del Propulsor	1.436	1.429
Claro entre Propulsor y Tobera	0.013	0.013
Longitud Horizontal de Tobera	0.718	0.715
Distancia vertical de Cuerpo Tobera	0.151	0.155
Distancia vertical de Estructurales	0.108	0.108

Tabla 17. Dimensiones principales de hélices en Tobera.

Las dimensiones entre ambas opciones de toberas son similares así que tomando estos valores se puede hacer un bosquejo de cómo resultaría el arreglo en el buque.

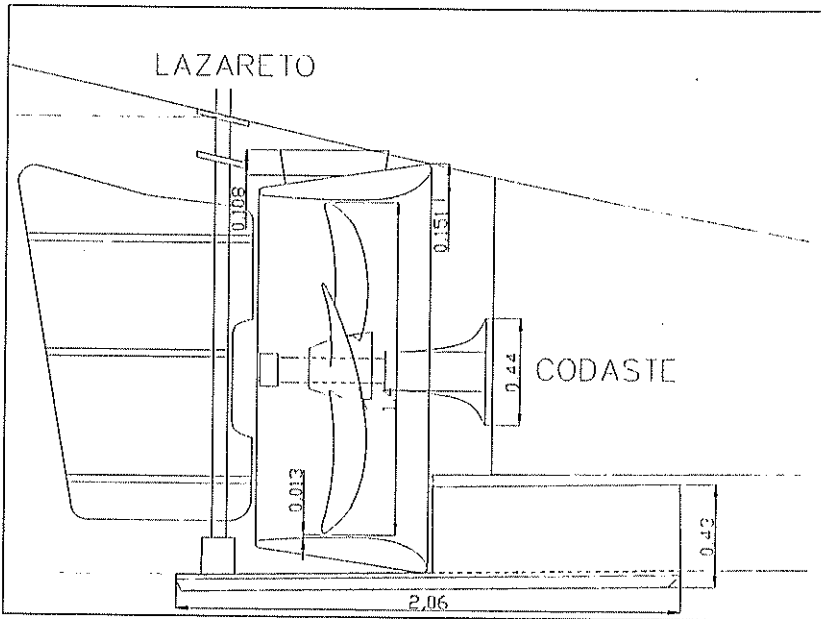


Figura 37. Simulación del conjunto hélice en tobera.

De esta manera ya se conoce el diámetro máximo del propulsor recomendado para que el conjunto hélice en tobera calce en el espacio disponible. El siguiente paso es conocer las opciones de hélices con 4 palas disponibles en el programa:

- Hélice Tipo Kaplan de 4 palas, A_e/A_o de 0.55 en Tobera 19A.
- Hélice Tipo Kaplan de 4 palas, A_e/A_o de 0.70 en Tobera 19A.
- Hélice Tipo Kaplan de 4 palas, A_e/A_o de 0.70 en Tobera N37.

Luego se utilizaron los valores de la tabla 11 para conocer la Potencia y las RPM en las condiciones de Navegación Libre y Arrastre. Luego se ejecutó el programa computacional [21] para encontrar la razón paso/diámetro tanto en

velocidad libre como en arrastre. Luego se tomó un promedio y se analizó la eficiencia propulsiva en las condiciones de operación. Estos resultados se resumen en la tabla siguiente:

DESCRIPCIÓN	Diámetro		Ae/Ao	P/D			Velocidad Nudos	EFICIENCIA
	metros	pulgadas		Libre	Arrastre	Promedio		
Hélice Original	1.59	63	0.42	0.85	0.48	0.665	7.95	0.485
Ka 4-55 en Tobera 19A.	1.4	55	0.55	1.17	0.94	1.055	8.40	0.569
Ka 4-70 en Tobera 19A.	1.4	55	0.70	1.17	0.93	1.049	8.42	0.562
Ka 4-70 en Tobera N37.	1.4	55	0.70	1.23	0.95	1.094	8.41	0.558

Tabla 18. Resultados de diseño de hélices.

Se realizó el análisis de la hélice original encontrando una relación Paso/Diámetro de 0.665 muy cercana al que se encontró por medición directa que es de 0.65 mostrado en el anexo A. Así mismo se evaluaron las tres opciones de toberas disponibles en el programa. En cada opción puede notarse claramente como se incrementa la velocidad tanto en Navegación Libre como en Arrastre, en comparación con la hélice original, así como la eficiencia del sistema. Luego de esto se resumen las características finales de los propulsores en la siguiente tabla:

PROPULSORES	Diámetro		Ae/Ao	P/D
	metros	pulgadas		
Hélice Original	1.59	63	0.42	0.67
Ka 4-55 en Tobera 19A.	1.4	55	0.55	1.06
Ka 4-70 en Tobera 19A.	1.4	55	0.70	1.05
Ka 4-70 en Tobera N37.	1.4	55	0.70	1.09

Tabla 19. Características finales de los propulsores probados.

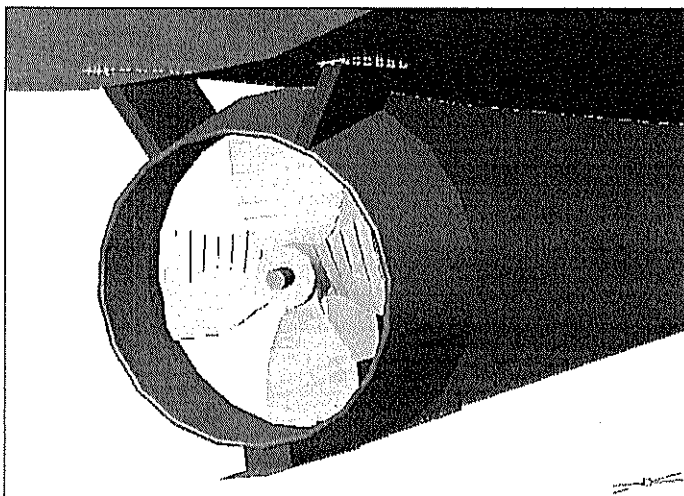


Figura 38. Modelización del conjunto en 3-D.

En la figura 38 se muestra el conjunto hélice en tobera en 3 dimensiones ubicado en el codaste del Buque Alvarez Cabral.

Luego usando los datos de la tabla 19 se ejecutó nuevamente el programa [21] para evaluar las nuevas condiciones con el sistema propuesto (opción de Análisis), estos resultados se muestran en las figuras 39 y 40.

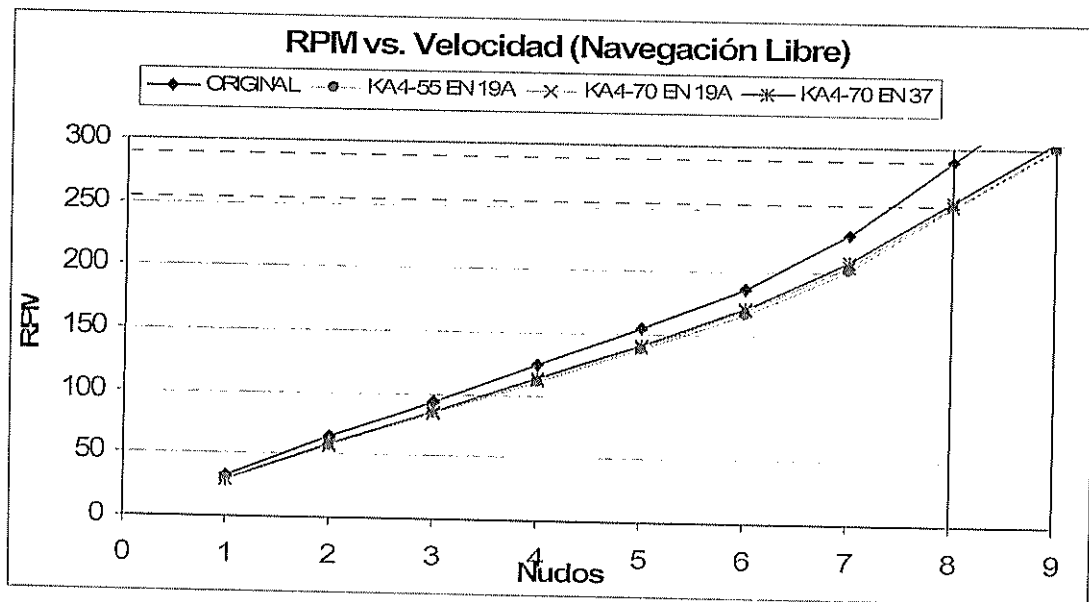


Figura 39. Comparación de consumo de potencia en Navegación Libre.

En la figura 39 se muestra en Navegación Libre que con la hélice original, a 288 RPM se alcanza 8 nudos aproximadamente mientras que con las tres opciones de tobera planteadas se alcanza la misma velocidad de 8 nudos con 254 RPM aproximadamente logrando así una reducción del 9%.

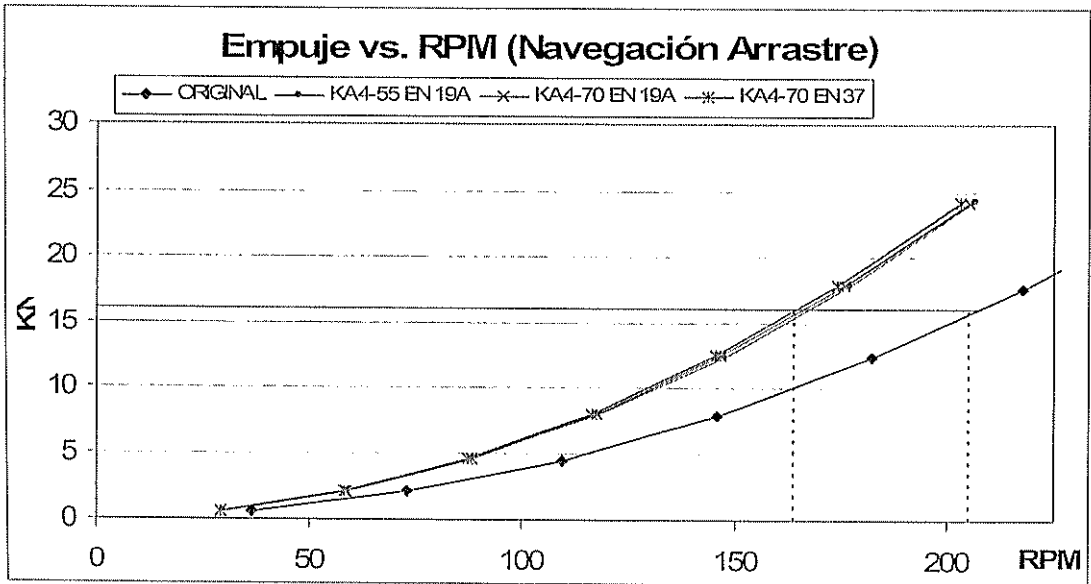


Figura 40. Comparación del empuje en el arrastre.

En la figura 40 se muestra que en el sistema original a 208 RPM se tienen 16 KN de empuje mientras que con las tres opciones de tobera se puede alcanzar el mismo empuje con 166 RPM aproximadamente logrando una reducción del 20% en RPM.

De esta manera se demuestra el beneficio de instalar toberas en este tipo de buques y queda pendiente aún el análisis económico que se hará en el siguiente subcapítulo.

4.2 BREVE EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA

El beneficio económico en este trabajo se mide por la cantidad de dinero que se puede ahorrar en un año de operación. Según la información provista por el capitán, el buque recibe aproximadamente 3000 galones de diesel para un período de 20 días. Cada jornada de trabajo tiene 4 horas de Navegación Libre y 12 horas de Navegación en Arrastre levantando las redes cada 3 horas. Por lo tanto el consumo de combustible se estimará considerando ambos casos:

$$\text{Consumo}_{\text{MENSUAL}} = \text{Consumo}_{\text{NAV.LIBRE}} + \text{Consumo}_{\text{NAV.ARRASTRE}}$$

El consumo de manera individual diario se calculará de la siguiente manera:

$$\text{Volumen}_{\text{Consumido}} \left[\frac{\text{Galones}}{\text{hora}} \right] = \text{Consumo} \left[\frac{\text{Galones}}{\text{hora}} \right] * \text{Horas Operación} \left[\frac{\text{Horas}}{\text{día}} \right]$$

Los abastecimientos de combustible se hacen cada 20 días y asumiendo dos períodos por mantenimiento, significa que al año se hacen 16 abastecimientos. Por lo que el consumo anual será:

$$\text{Consumo}_{\text{ANUAL}} \left[\frac{\text{Gal}}{\text{año}} \right] = \text{Consumo} \left[\frac{\text{Gal}}{\text{día}} \right] * \frac{20 \text{ días}}{1 \text{ Abastecimiento}} * \frac{16 \text{ Abastecimientos}}{1 \text{ año}}$$

Y este consumo anual se multiplicará por el precio del combustible que es de 1 dólar/galón. El consumo del combustible para un motor Caterpillar de características similares al instalado en el buque analizado, en función de las RPM medidas se muestra en la siguiente tabla:

RPM	Gal/Hora
208	8.9
278	10.9

Tabla 20. Consumo de Combustible en función de las RPM.

Usando estos datos de referencia se graficó y obtuvo una ecuación que relacione de manera preliminar las RPM con el consumo de combustible en forma lineal:

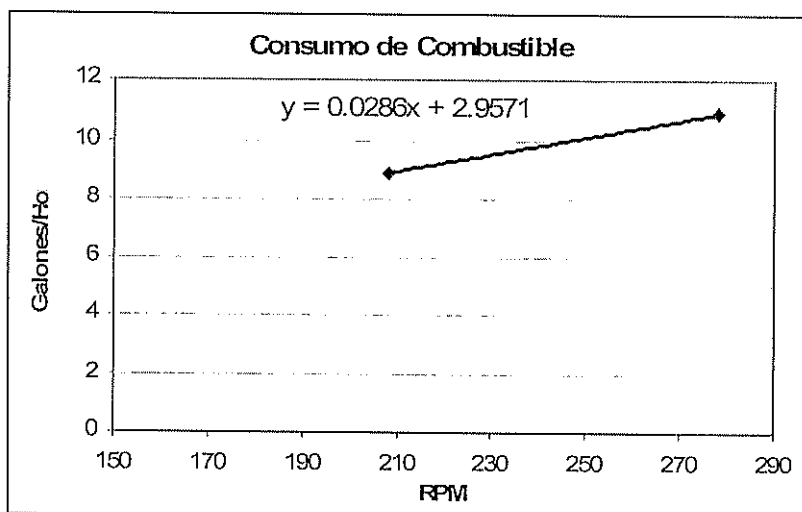


Figura 41. Consumo de Combustible por RPM

Una vez que se tiene este factor de consumo de combustible y combinándolos con las ecuaciones planteadas se hizo la comparación del consumo de combustible para el sistema original y las tres opciones de tobera. Estos cálculos se muestran en la tabla 19:

Navegación Libre					
Tiempo Operación:	4 horas/día				
Sistema	Original	KA4-55 N19A	KA4-70 N19A	KA4-70 N37	
RPM	278	252	254	257	rpm
Consumo (RPM)	10.9	10.2	10.2	10.3	Gal/hora
Consumo Diario	43.6	40.66	40.89	41.23	Gal/día
Períodos de Trabajo	20	20	20	20	días
Consumo Período (L)	872	813	818	825	Gal/Período
Navegación en Arrastre					
Tiempo Operación:	12 horas/día				
Sistema	Original	KA4-55 N19A	KA4-70 N19A	KA4-70 N37	
RPM	208	167	166	165	rpm
Consumo (RPM)	8.9	7.7	7.7	7.7	Gal/hora
Consumo Diario	106.8	92.8	92.5	92.1	galones/día
Períodos de Trabajo	20	20	20	20	días
Consumo Período (A)	2136	1856	1849	1842	Gal/Período
CONS. TOTAL (L)+(A)	3008	2669	2667	2667	Galones
Precio Diesel	1 \$/Gal				
Períodos por año	16 periodos/año				
Costo Por Período	3008	2669	2667	2667	\$/Período
Costo anual	48128	42706	42670	42670	\$/Año
Ahorro Respecto Sist. Original		5422	5458	5458	\$/Año

Tabla 21. Comparación del consumo de combustible.

Con cualquiera de las tres opciones de hélices en tobera propuestas los costos de consumo por combustible se reducen dejando un ahorro de aproximadamente 5400 dólares al año en este buque.

También se hizo un cálculo comparando la reducción de costos considerando los demás gastos por aprovisionamiento para cada período de trabajo. Estos cálculos se resumen a continuación.

COSTOS POR APROVISIONAMIENTO				
Item	Detalle	Cantidad	Precio (USD)	Total
1	Agua (Gal)	1050	0.50	525.00
2	Viveres (Tripulación)	1	100.00	100.00
3	Salarios (Trip)	6	150.00	900.00
4	Malla (lib)	30	0.35	10.50
5	Grilletes 1/2"	10	5.00	50.00
6	Pies de banda	3	2.50	7.50
7	Focos 24 V	6	1.00	6.00
8	Libras trapo	10	1.00	10.00
9	Linterna	1	2.00	2.00
10	Pilas grandes	4	2.00	8.00
11	Grasa crater (Gal)	1	2.00	2.00
12	Grasa corriente (Lib)	5	1.50	7.50
Total de Aprovisionamiento por Períodos de 20 días				1628.50
A. Total de Aprovisionamiento Anual (18 Períodos al año)			29313.00	
			Tobera N 19A	
			KA 4-55	KA 4-70
			KA 4-70	KA 4-70
Sistemas			Original	
B. Costo Anual del Combustible			48128.00	42706.18
EGRESOS TOTALES ANUALES (A) + (B)			77441.00	72019.18
Reducción de Costo Combustible Respecto al Original			--	11%
Reducción de Costos Totales Respecto al Original			--	7%

Tabla 22. Comparación de Reducción de costos por toberas.

Tal como puede apreciarse si se usa toberas en este buque se logra una reducción del 11% del costo de combustible y un 7% de los costos totales. Hay otros aspectos relativos a los costos de operación, pero en el presente trabajo solo se consideraron los costos de aprovisionamiento; o sea, cuanto

gasta el buque en suministros en cada período de 20 días que duran las operaciones. El objetivo es demostrar cuánto dinero se puede ahorrar con la reducción del consumo combustible lograda al usar toberas.

4.3 SUJECIÓN DE LA TOBERA AL CASCO

Uno de los problemas de usar toberas en los buques camaroneros es la forma en que esta se sujeta al casco, ya que al ser de madera no es posible usar soldadura; sin embargo se sugiere una forma en la que se puede hacer el agarre al casco. En la figura 42 se muestra una vista frontal del espacio y una forma de sujetar la tobera al casco:

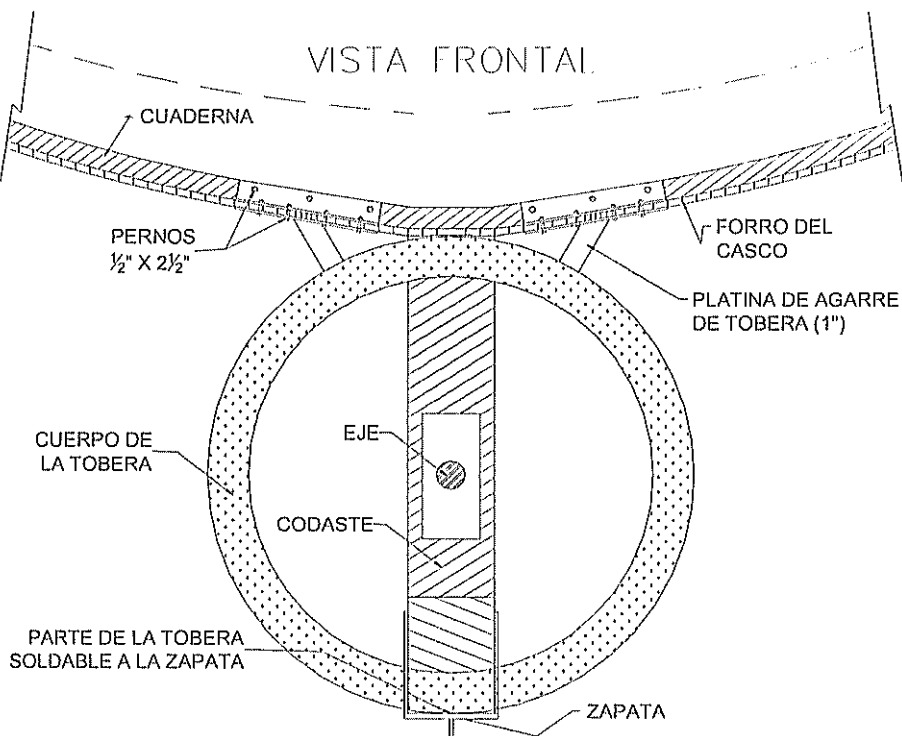


Figura 42. Vista Frontal del Agarre de la Tobera al casco del buque.

VISTA LATERAL

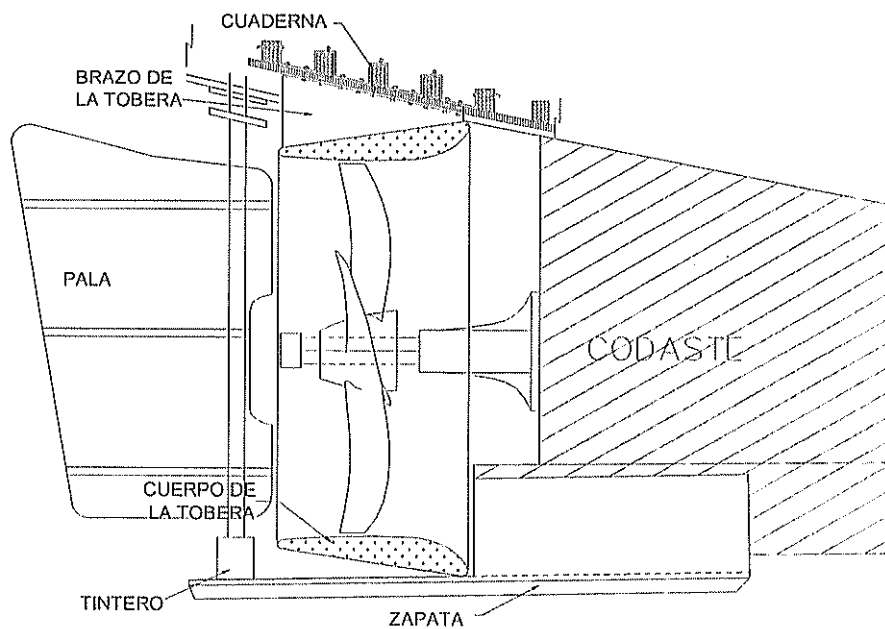


Figura 43. Vista Lateral del Agarre de la Tobera al casco del buque.

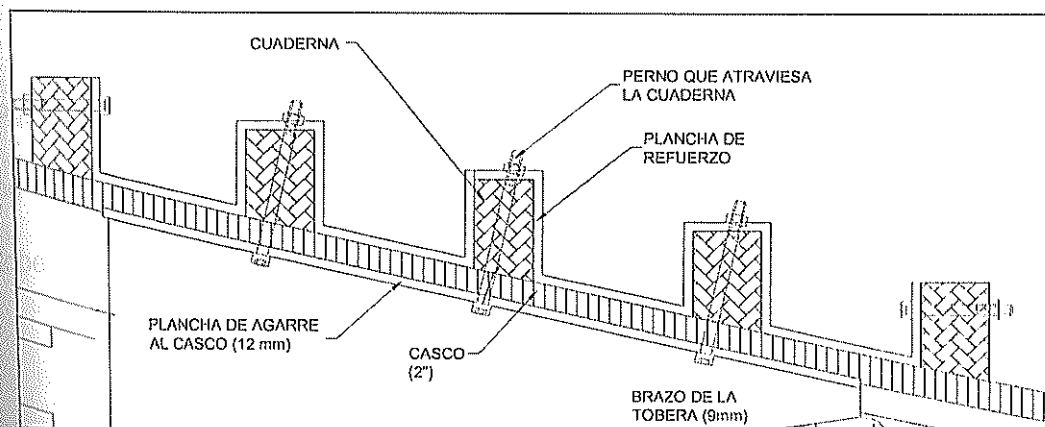


Figura 44. Ampliación del agarre al casco

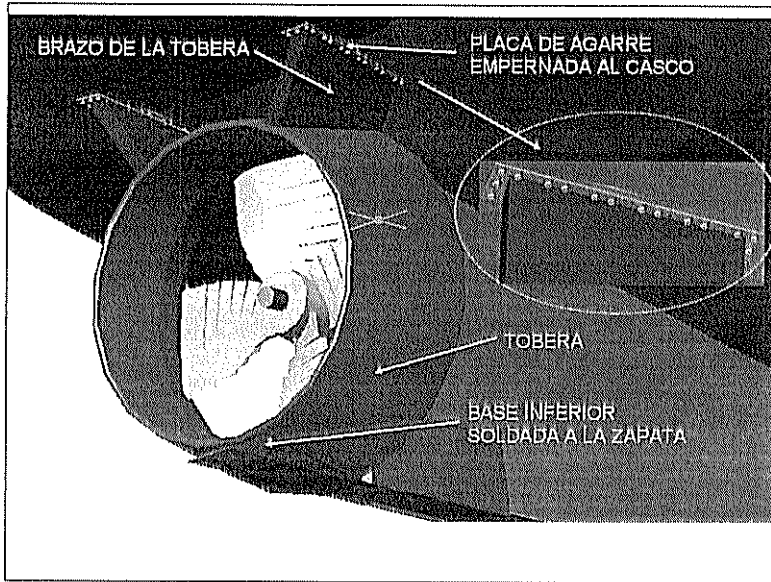


Figura 45. Modelización del agarre en 3-D.

En la figura 45 se muestra una vista 3 D del sistema usando el programa AutoCAD, con una ampliación de la plancha de agarre al casco.

Para calcular el nivel de esfuerzo al que está sometido la plancha de agarre, se va a modelar con Elementos Finitos la plancha de agarre y el brazo de la tobera. En la figura 46 se muestra la modelización de estos elementos.

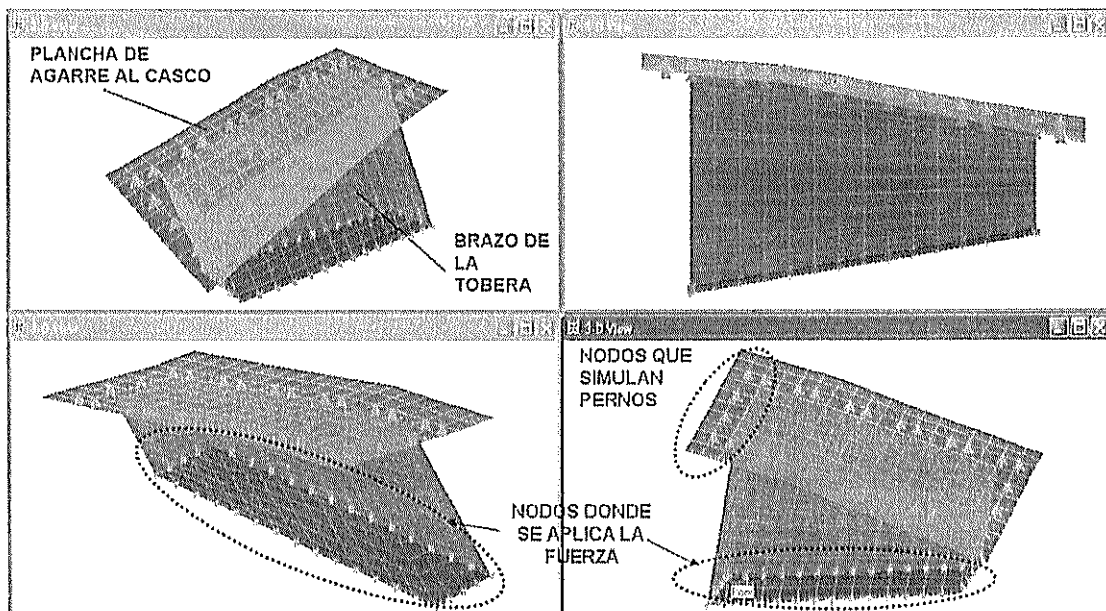


Figura 46. Modelización de un brazo de la tobera con Elementos Finitos.

Como puede notarse en la figura 46 se hicieron varias particiones a nivel de la plancha de agarre al casco para modelar de mejor manera y dar lugar a que se formen los nodos donde se aplicó condiciones de frontera, tomados como simplemente soportados. La conectividad entre la plancha de agarre y el brazo de la tobera es importante porque se evaluará posteriormente los niveles de esfuerzo y se determinará si la soldadura resiste. En la figura 47 se muestran las condiciones de frontera en la parte inferior del brazo que serán las de simetría, esto significa que se restringe el movimiento respecto al eje y.

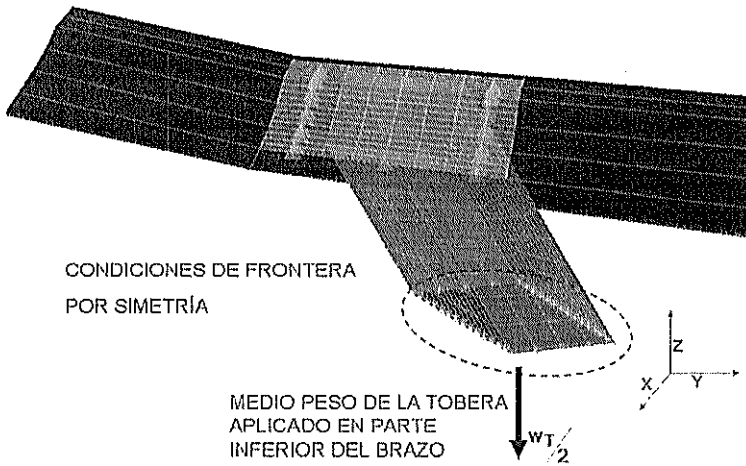


Figura 47. Condiciones de Frontera

Para estimar el peso de la tobera se obtiene primero la longitud del perfil de la tobera que en este caso es de 1.48 m, asumiendo que se construye con una plancha de 8 milímetros de espesor y teniendo un perímetro expandido del diámetro de la tobera de 5.30 metros se obtiene el volumen de la tobera.

$$\text{Volumen} = 1.48\text{m} * 0.008\text{m} * 5.30\text{m} = 0.063\text{m}^3$$

$$\text{Peso} = 0.063\text{m}^3 * \frac{7.8\text{Ton}}{\text{m}^3} = 0.54 \text{ Ton}$$

La mitad de este peso, es decir 0.27 Toneladas se aplicarán en la parte inferior del brazo de la tobera. El brazo de la tobera se diseñó con planchas de 8 milímetros y la plancha de agarre con 12 milímetros. Para el análisis con Elementos Finitos se usó el programa SAP2000 donde se presentan las siguientes opciones en cuanto a la convención usada para los subíndices del esfuerzo:

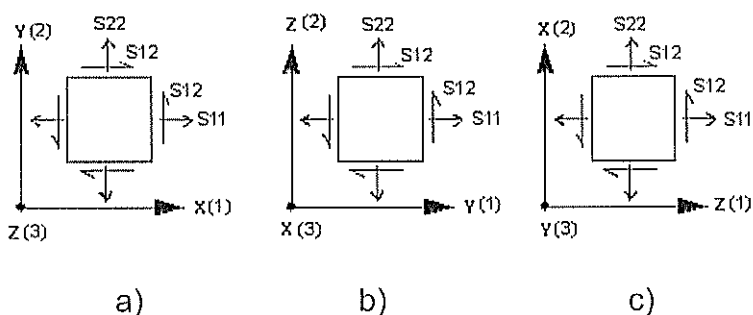


Figura 48. Convención usada para subíndices de los esfuerzos.

Acorde al eje de coordenadas que se asumió, véase en la figura 47, se debe guiar según la opción b. En el programa se trabajó en unidades de toneladas y metros, por lo que el esfuerzo de fluencia que es de 2400 Kg/cm^2 sería de 24000 Ton/m^2 . Luego de ejecutar el programa se tienen los siguientes resultados:

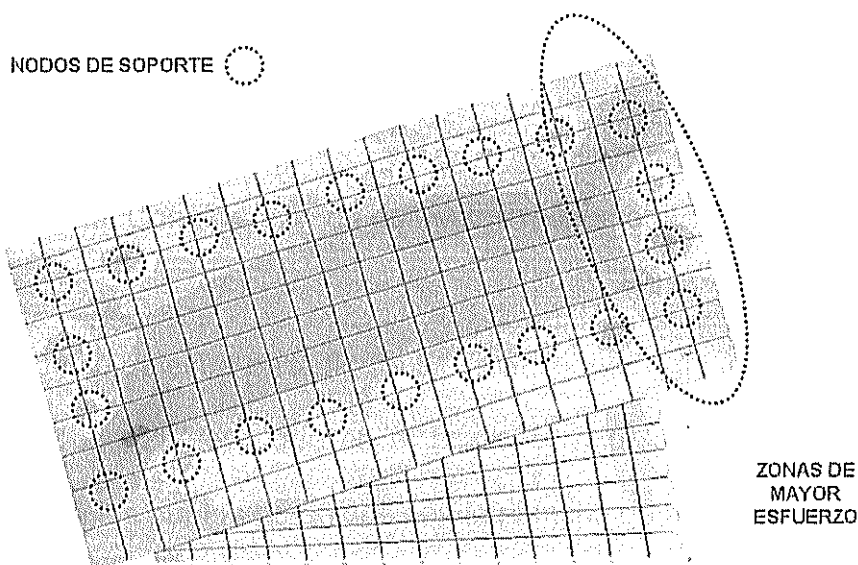


Figura 49. Distribución de esfuerzos sobre la plancha de agarre.

En la figura anterior se muestra la distribución de esfuerzo sobre la plancha de agarre al casco; es importante notar como se distribuyen los esfuerzos sobre los puntos de soporte que representa la ubicación de los pernos. En la figura 50 se muestra una comparación de los esfuerzos en cada elemento respecto al de fluencia. Alcanzando un máximo valor de 13500 Ton/m² pero en ningún caso sobrepasa el límite de 24000 Ton/m².

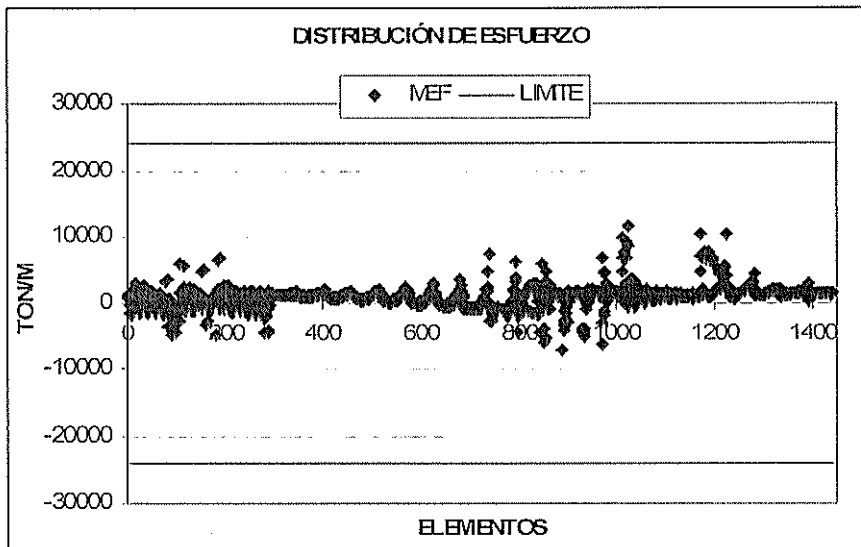


Figura 50. Comparación de esfuerzos respecto al de fluencia.

A continuación se muestra en la figura 51 la distribución de esfuerzo sobre el brazo de la tobera, nótese que en el brazo el valor del esfuerzo es bajo, mientras que en los puntos de enlace con la plancha de agarre el esfuerzo es un poco mayor.

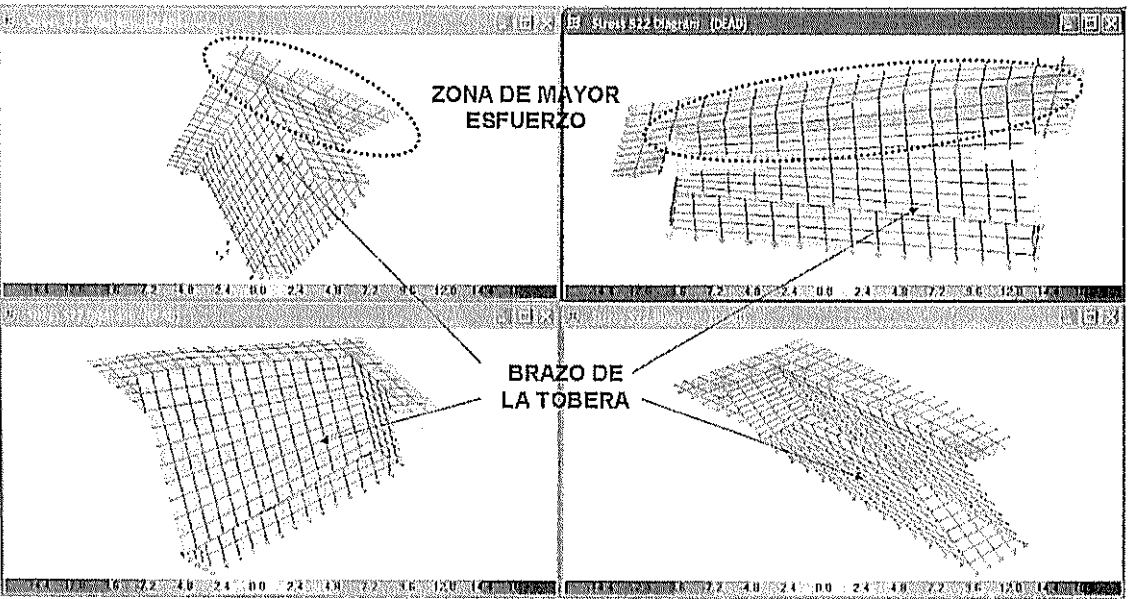


Figura 51. Vistas de Distribución de Esfuerzo en el Brazo de la Tobera.

En la figura 52 se muestra una comparación de la distribución de esfuerzos en comparación con el límite, se obtiene que el valor más alto es 12390 Ton/m². La localización de este punto se muestra en la figura 53.

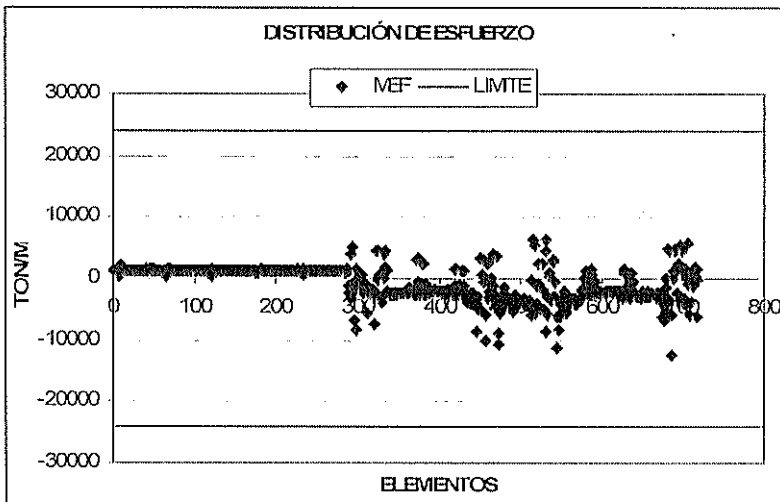


Figura 52. Comparación de esfuerzos en el brazo de la tobera.

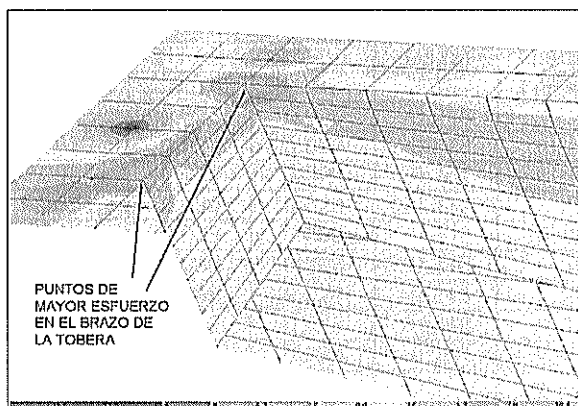


Figura 53. Punto de mayor esfuerzo en el brazo de la tobera.

También se chequeó los desplazamientos en los nodos de enlace entre el brazo de la tobera y la plancha de agarre, así como los nodos inferiores del brazo donde se aplicó la el peso de la tobera. En la figura 54 se muestra el orden de presentación de los nodos para ambos casos.

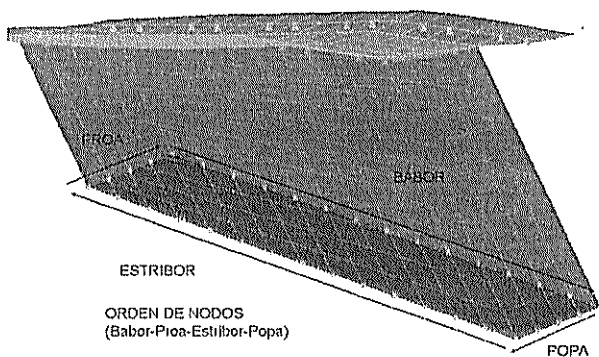


Figura 54. Ordenamiento de Nodos.

Ubicación	Nodo	Desplazamientos			Esfuerzo	
		U1 (x)	U2 (y)	U3 (z)	Mínimo	Máximo
		mm	mm	mm	Ton/m2	Ton/m2
PP-BB	2585	0.023	0.020	-0.248	-3997	-2244
BB	2670	0.027	0.022	-0.273	1195	1278
BB	2586	0.029	0.022	-0.264	-4175	-2302
BB	2674	0.030	0.023	-0.252	1208	1257
BB	2588	0.033	0.030	-0.240	-2593	1306
BB	2695	0.036	0.023	-0.240	1050	1348
BB	2592	0.039	0.021	-0.243	-2690	-1842
BB	2698	0.042	0.023	-0.248	1284	1485
BB	2589	0.044	0.024	-0.251	-2568	1610
BB	2684	0.044	0.025	-0.251	1228	1364
BB	2590	0.045	0.026	-0.250	-2547	1620
BB	2687	0.045	0.026	-0.245	1242	1311
BB	2564	0.044	0.025	-0.238	-6048	995
BB	2598	0.043	0.025	-0.231	-2229	-2096
PR-BB	2578	0.034	0.019	-0.189	-10596	3519
PR	2605	0.041	0.024	-0.222	-2350	-1572
PR	2568	0.039	0.023	-0.215	-5569	5235
PR	2641	0.040	0.024	-0.222	1153	1197
PP-EB	2565	0.038	0.022	-0.203	-8549	6188
EB	2642	0.040	0.024	-0.224	1137	1192
EB	2576	0.042	0.026	-0.238	-4829	-1578
EB	2633	0.044	0.026	-0.248	1095	1133
EB	2574	0.045	0.027	-0.256	-5476	-2632
EB	2629	0.045	0.026	-0.260	1072	1150
EB	2572	0.045	0.027	-0.263	-4059	-3165
EB	2618	0.045	0.027	-0.266	-2271	-1023
EB	2570	0.042	0.026	-0.264	-4486	-3490
EB	2614	0.039	0.023	-0.262	-420	4575
EB	2569	0.036	0.015	-0.262	-5822	6257
EB	2659	0.033	0.023	-0.265	1168	1225
EB	2582	0.030	0.025	-0.267	-9971	2963
EB	2656	0.027	0.024	-0.264	1178	1233
PR-EB	2581	0.021	0.018	-0.226	-3135	2705
PP	2652	0.027	0.022	-0.269	775	1303
PP	2284	0.027	0.021	-0.262	-16429	-8440
PP	2675	0.028	0.022	-0.272	1210	1258

Tabla 23. Desplazamientos y esfuerzos en los nodos de unión brazo-plancha.

En la tabla 23 se muestran los valores de desplazamiento de los nodos de enlace entre el brazo de la tobera y la plancha de agarre al casco. Ninguno de los valores de desplazamiento en Z alcanza el milímetro de deformación aunque son negativos lo cual es coherente con la aplicación del peso hacia

abajo. También se muestran los esfuerzos máximos y mínimos para compararlos con la resistencia de la soldadura. Si se usa soldadura E6011 que tiene 60000 Lib/pulg² (41500 Ton/m²) de Resistencia a la Tracción al compararlo con los valores de la tabla 23 se ve comprueba que ninguno de estos valores sobrepasa este límite.

Ubicación	Nodo	U1 (x)	U2 (y)	U3 (z)
		mm	mm	mm
PP-BB	3087	0	0	-0.324
BB	3292	0	0	-0.238
BB	3294	0	0	-0.250
BB	3296	0	0	-0.260
BB	3298	0	0	-0.270
BB	3300	0	0	-0.279
BB	3302	0	0	-0.286
BB	3304	0	0	-0.293
BB	3306	0	0	-0.298
BB	3308	0	0	-0.303
BB	3310	0	0	-0.307
BB	3312	0	0	-0.311
BB	3314	0	0	-0.315
BB	3316	0	0	-0.320
PR-BB	3085	0	0	-0.226
PR	3516	0	0	-0.226
PR	3526	0	0	-0.226
PR	3536	0	0	-0.227
PR-EB	3086	0	0	-0.224
EB	3912	0	0	-0.300
EB	3913	0	0	-0.295
EB	3914	0	0	-0.291
EB	3915	0	0	-0.287
EB	3916	0	0	-0.282
EB	3917	0	0	-0.277
EB	3918	0	0	-0.272
EB	3919	0	0	-0.266
EB	3920	0	0	-0.260
EB	3921	0	0	-0.254
EB	3922	0	0	-0.247
EB	3923	0	0	-0.239
EB	3924	0	0	-0.232
PP-EB	3088	0	0	-0.304
PP	3622	0	0	-0.320
PP	3623	0	0	-0.315
PP	3624	0	0	-0.310

Tabla 24. Desplazamiento de nodos inferiores del brazo de la tobera.

En la tabla 24 se muestra el desplazamiento de los nodos inferiores donde al aplicarse la fuerza se produce un desplazamiento en Z negativo que no es significativo en ninguno de los puntos.

Luego de hacer el análisis estructural se concluye que el modelo de agarre es aplicable aunque debe ponerse mucho cuidado en la plancha de agarre al casco. Los niveles de esfuerzo no tienen un buen factor de seguridad, por otro lado hay que recordar que solo se modeló la plancha externa y no se modeló la parte interna del agarre que va sujeto a los estructurales del casco dando así mayor seguridad al sistema de agarre propuesto.

4.4 PROPUESTA DE CONSTRUCCIÓN

Debido a que el costo de instalación de este tipo de elementos es muy alto porque se trata de un producto importado, hace que su uso muchas veces no sea tan atractivo. Sin embargo se propone un método de construcción local que puede implementarse. Si se revisa con cuidado el perfil de la tobera 19 A y 37 en la figura 55 se observa que es recto en la mayor parte, con excepción de los bordes.

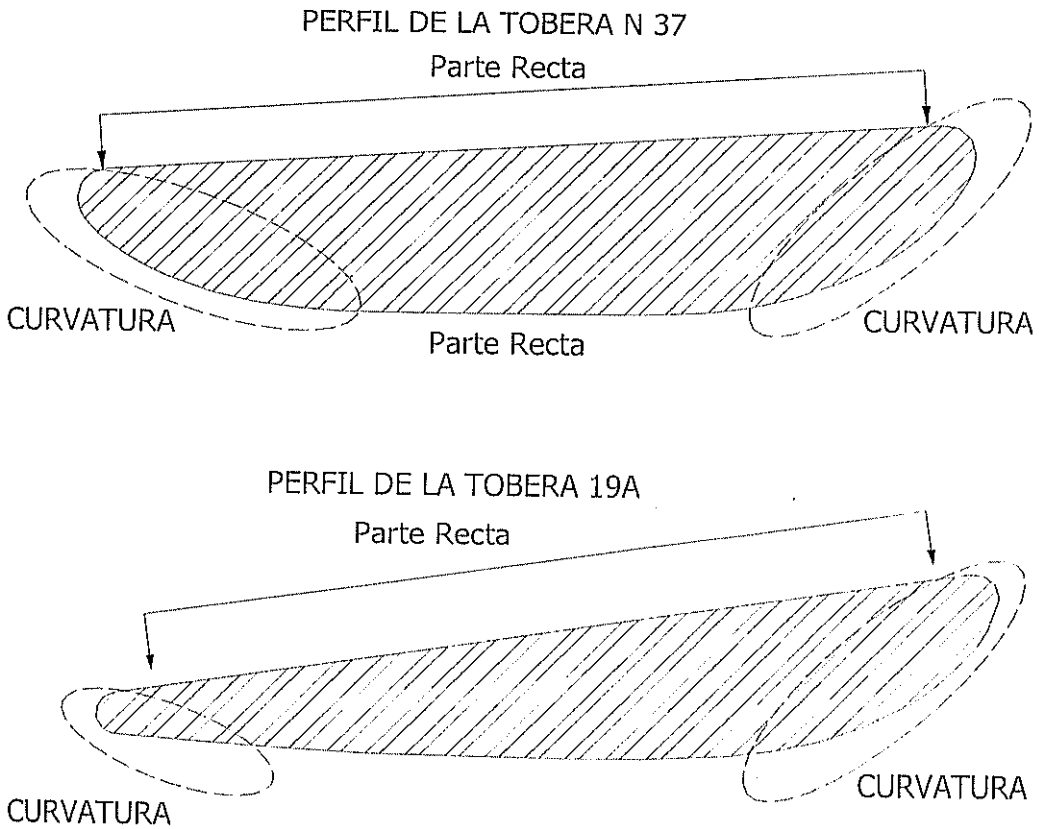


Figura 55. Perfil de las Toberas 19A y 37.

Las partes delantera y posterior tienen curvaturas en ambos casos; estos valores se presentaron en el capítulo 1 para el diseño preliminar de las toberas. La construcción de la tobera a nivel local se complica al no tener los equipos adecuados para dar las curvaturas en los bordes; sin embargo esto puede simplificarse relativamente al usar pequeñas porciones de planchas rectas en los bordes. Estas deberán ser bien soldadas y luego cuidadosamente pulidas. En la figura 56 se muestra una ampliación de los bordes de las toberas con el sistema propuesto.

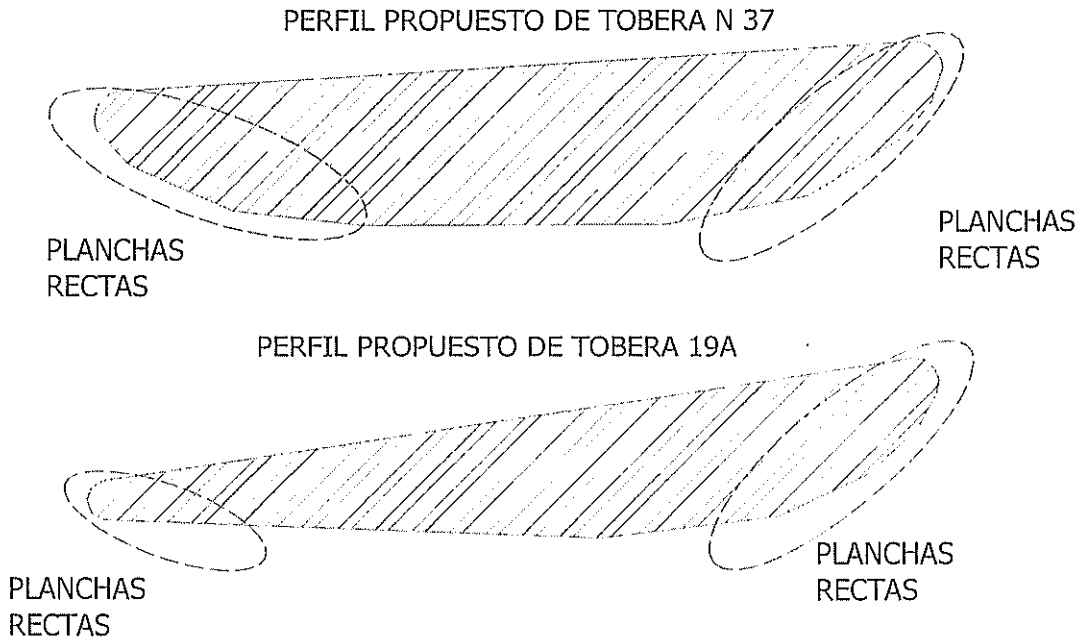


Figura 56. Bordes con planchas rectas.

A simple vista lucen iguales pero en los bordes se usó rectas que se ajustaron lo más posible a la curvatura del perfil original; si se superponen ambos perfiles se notará un poco más el detalle.

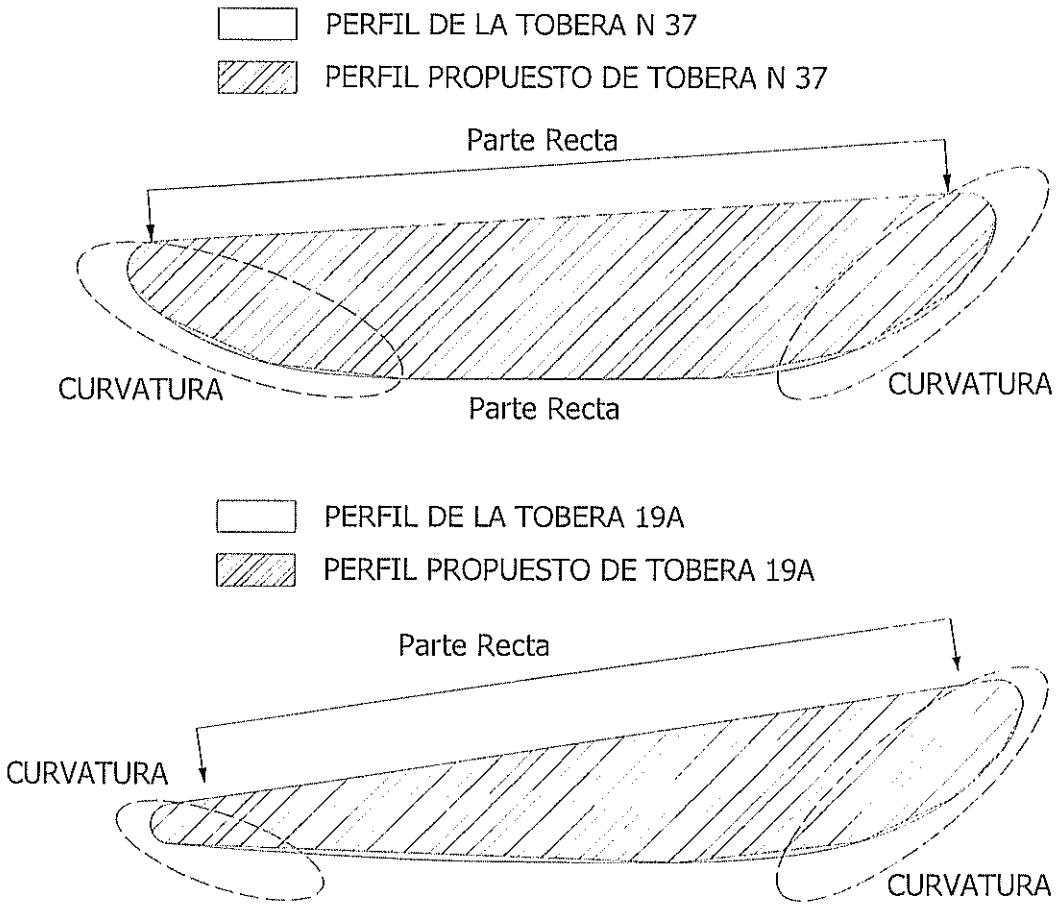


Figura 57. Comparación de Perfiles.

Como puede verse en las curvaturas hay una diferencia entre el perfil propuesto y el perfil original. Esto afectará a la efectividad del sistema pero se espera que no sea de manera significativa. En la figura 58 tomada de la referencia [18] se muestra como se construye una tobera de acero y se nota que el cuerpo está formado de planchas. Como se recomendó antes, lo que se debe tener cuidado es en el pulido del cuerpo interno de la tobera para

disminuir lo más posible la rugosidad que puede producir turbulencia del agua al entrar a la hélice.

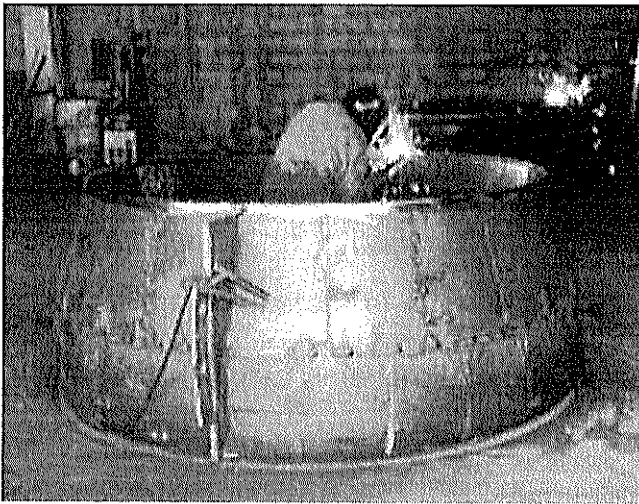


Figura 58. Forma de construcción de una tobera, [18].

Suponiendo que se va a construir la tobera a nivel local a continuación se hace un análisis de los materiales y costos de construcción en un taller local. De acuerdo a los valores presentados anteriormente en cuanto a las dimensiones de la tobera, se procedió a calcular de manera preliminar el costo de construcción de las tres opciones planteadas. Para lo cual primero debe conocerse el área desarrollada de la tobera. Estos valores se muestran en la tabla 25:

DESCRIPCIÓN ESTRUCTURALES	Tobera N 19A	
Longitud del Perfil	1.488	m
Perímetro de Tobera	5.300	m
Área de Tobera	7.885	m ²
Área asumida (20% FS)	9.462	m ²
Espesor	0.006	m
Peso Planchas Tobera + 20% Riesgo	0.531	Ton
Peso Planchas Brazo Tobera + 20%	0.369	Ton
Peso Planchas Agarre + 20%	0.034	Ton
Peso Total Planchas	0.934	Ton

Tabla 25. Área y peso de materiales para construir la tobera.

Luego en función del área se comprará el número de planchas, el resto de materiales se obtiene de las figuras anteriormente mostradas. Todo esto se resume en la siguiente tabla.

DESCRIPCIÓN	Precio (\$/Ton)	Peso (Ton)	PRECIO \$	Riesgo	P Final
A. Planchas de Acero Naval	500	0.934	466.94	10%	513.64
B. Angulares (50% Planchas)	600	0.467	280.17	5%	294.17
C. Soldadura (15% A+B)	--	--	112.07	10%	123.27
D. Pernos	0.40\$/UND	50 UND	20.00	10%	22.00
E. Hombres-Hora	11\$/Hora	48 HH	528.00	15%	607.20
F. Pintura	5 \$/UND	5 UND	25.00	12%	28.00
Costo Total de Materiales y Mano de Obra (USD)					1588.29
Imprevistos 10% (USD)					158.83
COSTO TOTAL (USD)					1747.12

Tabla 26. Costo de construcción local de una tobera.

Si se compara el precio de esta tobera con una tipo Rice que cuesta alrededor de los 9000 dólares con esta propuesta se tiene que un ahorro del 80% aproximadamente. Lo cual indica que resulta más económica la construcción de una tobera en el mercado local teniendo cuidado en la fabricación de la misma.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el presente trabajo se empezó por revisar la forma de operación de las toberas, la geometría de dos toberas tipo Kort acelerante, además de los beneficios y problemas de su uso. Luego se adaptó en el programa computacional PSPSAK un proceso de cálculo de la eficiencia propulsiva para hélices tipo Kaplan en toberas tipo Kort acelerantes. Se seleccionó una formulación para estimar la resistencia del Arte de Pesca que considera por separado la resistencia de las compuertas, cables y redes de arrastre, lo que permite analizar el funcionamiento del sistema propulsor de buques arrastreros. Luego se utilizó un equipo de Telemetría para medir la deformación angular en el eje del B/P Alvarez Cabral y a partir de esa información se evaluó el torque en el eje mientras rotaba. Entonces se hizo una estimación de los parámetros de operación del sistema propulsor usando el programa modificado para compararlos con los datos experimentales, obteniéndose buena correlación. En base a ello se procedió a seleccionar el conjunto hélice en tobera más apropiado para este buque y se lo comparó con el propulsor original, estimándose la ventaja económica de su utilización. Luego de esta experiencia se puede concluir:

La revisión bibliográfica muestra que la instalación de toberas tiene muchos beneficios para embarcaciones que requieren alto empuje a baja velocidad,

como se describió en el capítulo uno, pero también presenta algunos problemas. Se piensa que los problemas de espacio en el codaste y la maniobrabilidad de la embarcación pueden resolverse en la etapa de diseño; mientras que los efectos corrosivos pueden contrarrestarse usando cerámicas y ánodos de sacrificio. De manera que con la información completa sobre la estimación de su eficiencia y la forma de resolver los problemas de su uso, se puede llegar a difundir su instalación ventajosa en buques camaroneros ecuatorianos.

Se implementaron tres formulaciones para estimar la resistencia del Arte de Pesca que proveyeron resultados bastante cercanos entre sí. Se recomienda el uso de la formulación empleada en las Notas del Ing. Townsend debido a que presenta por separado la estimación de la resistencia de los componentes del arte de pesca: compuertas, cables y red. Así mismo para la adaptación de los polinomios de los parámetros de operación de hélices tipo Kaplan con toberas tipo Kort acelerantes se debió ingresar una gran cantidad de dígitos, pero el resultado es un paquete muy útil. Dentro del esquema iterativo del programa PSPSAK, muestra la utilidad cuando muy fácilmente sirvió para elegir la hélice que absorba una potencia dada, ó, para analizar un sistema propulsor, con hélices en tobera.

como se describió en el capítulo uno, pero también presenta algunos problemas. Se piensa que los problemas de espacio en el codaste y la maniobrabilidad de la embarcación pueden resolverse en la etapa de diseño; mientras que los efectos corrosivos pueden contrarrestarse usando cerámicas y ánodos de sacrificio. De manera que con la información completa sobre la estimación de su eficiencia y la forma de resolver los problemas de su uso, se puede llegar a difundir su instalación ventajosa en buques camaroneros ecuatorianos.

Se implementaron tres formulaciones para estimar la resistencia del Arte de Pesca que proveyeron resultados bastante cercanos entre sí. Se recomienda el uso de la formulación empleada en las Notas del Ing. Townsend debido a que presenta por separado la estimación de la resistencia de los componentes del arte de pesca: compuertas, cables y red. Así mismo para la adaptación de los polinomios de los parámetros de operación de hélices tipo Kaplan con toberas tipo Kort acelerantes se debió ingresar una gran cantidad de dígitos, pero el resultado es un paquete muy útil. Dentro del esquema iterativo del programa PPSAK, muestra la utilidad cuando muy fácilmente sirvió para elegir la hélice que absorba una potencia dada, ó, para analizar un sistema propulsor, con hélices en tobera.

Es relativamente sencillo realizar mediciones de velocidad del buque y la velocidad de rotación del eje, pero para obtener datos de torque hay que seguir un proceso muy complicado y aún durante las mediciones hay que revisar constantemente el estado de la instalación. Por esta razón se piensa que con este trabajo se ha dado un gran avance en cuanto al uso de tecnología para medir y analizar sistemas propulsores de buques de una mejor forma. Las mediciones con el equipo de Telemetría, que se realizaron a bordo del buque Alvarez Cabral, permitieron obtener datos muy importantes y que merecen ser compartidos con la comunidad técnica ecuatoriana, éstos datos de torque durante las faenas de trabajo no se realizan con frecuencia en el medio y permiten comprobar las múltiples estimaciones que comúnmente realizamos en la actividad de la Ingeniería Naval.

Luego se determinaron las características propulsivas de este buque con el programa modificado del capítulo dos para compararlas con los resultados experimentales de medición del Torque, velocidad y rpm del eje. Aún cuando no pudieron realizarse todas las mediciones que se había planeado, se observa buena correlación entre los cálculos y los resultados experimentales. En base a ello se confirma que los resultados de las formulaciones empleadas para realizar la estimación de la resistencia del casco con el método de Holtrop, del Arte de Pesca con las formulaciones del Ing.

Townsend, y, los parámetros operativos de las hélices con los polinomios de los parámetros K_T y K_Q , pueden usarse con confianza. La aplicabilidad entonces para cálculos propulsivos de este tipo de embarcaciones es adecuada, lo que permite tener un mayor reconocimiento y confianza de la teoría que se imparte en la facultad.

Después de la selección del conjunto hélice en tobera se obtuvo que con cualquiera de las tres opciones de hélices tipo Kaplan en tobera Kort acelerante, el buque puede alcanzar la misma velocidad original en Navegación Libre y el mismo Empuje durante el Arrastre pero con menores velocidades de rotación (rpm) al eje. Se logra así reducción en el consumo de combustible que es uno de los objetivos deseados en este trabajo. Esta reducción de combustible está en el orden del 11% del valor actual y deja un ahorro alrededor de los 5400 dólares anuales para este buque, cantidad que se piensa puede ser significativa para los dueños de las flotas camaroneras ecuatorianas. Esta estimación se realizó considerando, de acuerdo con la información recabada durante las pruebas, de que una embarcación opera 20 días en una faena, y que en cada día realizan 3 arrastres de 4 horas, y, una Navegación libre de 4 horas aproximadamente; se asumió que la embarcación realiza en el año 16 faenas.

También se propuso una forma de construir la tobera a nivel local, formándola a partir de segmentos de planchas dobladas, aunque aceptando la presencia de pequeñas discontinuidades en pendiente, lo que posiblemente reduzcan en algo la eficiencia original del perfil de la tobera. Además se propuso un sistema de agarre de la tobera al casco de madera del buque, el que fue analizado con el método de Elementos Finitos. Del análisis de los resultados se demostró que el funcionamiento del agarre resistirá el trabajo al que estará sometido. Una vez que se comprobó su resistencia estructural se realizó una estimación de los costos de materiales y mano de obra necesarios para construir la tobera a nivel local. Este presupuesto está cerca de los 1800 dólares (tobera), en comparación con los 9000 dólares que cuesta comprarla en el exterior (tobera y hélice) logrando así una reducción del 80% en el costo de instalación. En dicho valor, no se incluyen los costos de diseño.

En base a la experiencia ganada en este trabajo se desarrolló un manual para utilizar el equipo de Telemetría de la FIMCM, el cual se muestra en el anexo D y abarca todo el proceso, desde la instalación del sensor (extensómetro) sobre el eje, hasta el registro de las mediciones durante las pruebas. En este manual se han agregado algunos puntos en base a la experiencia adquirida durante el proceso y que pueden servir de ayuda para futuras mediciones. Se enfatiza en la forma de hacer la calibración del

equipo que es de muchísima importancia, ya que de este punto dependerá la validez de los valores que se registren durante las pruebas. Cabe recalcar que el manual es genérico y sirve para realizar mediciones en cualquier tipo de buque.

Recomendaciones:

Después de conocer los beneficios a nivel de ingeniería y en lo económico, de instalar una hélice en tobera en este tipo de buques, se recomienda la difusión de este trabajo a las compañías pesqueras del medio. Esto permitirá que ellos como dueños de los buques se interesen por el uso de toberas a fin de disminuir los costos por consumo de combustible.

Además, las hélices fundidas localmente tienden a usar mayor espesor que las del tipo B-Wageningen, consideradas como el estándar de diseño de estos dispositivos, lo cual fue corroborado con la figura A.4. Esto lleva a un mayor desgaste del cojinete de Popa y a una menor eficiencia en el trabajo hidrodinámico del propulsor. Por ello sería recomendable establecer alguna guía para que dichos talleres mejoren sus aleaciones y puedan fundir hélices con menores espesores, y por tanto con menor peso.

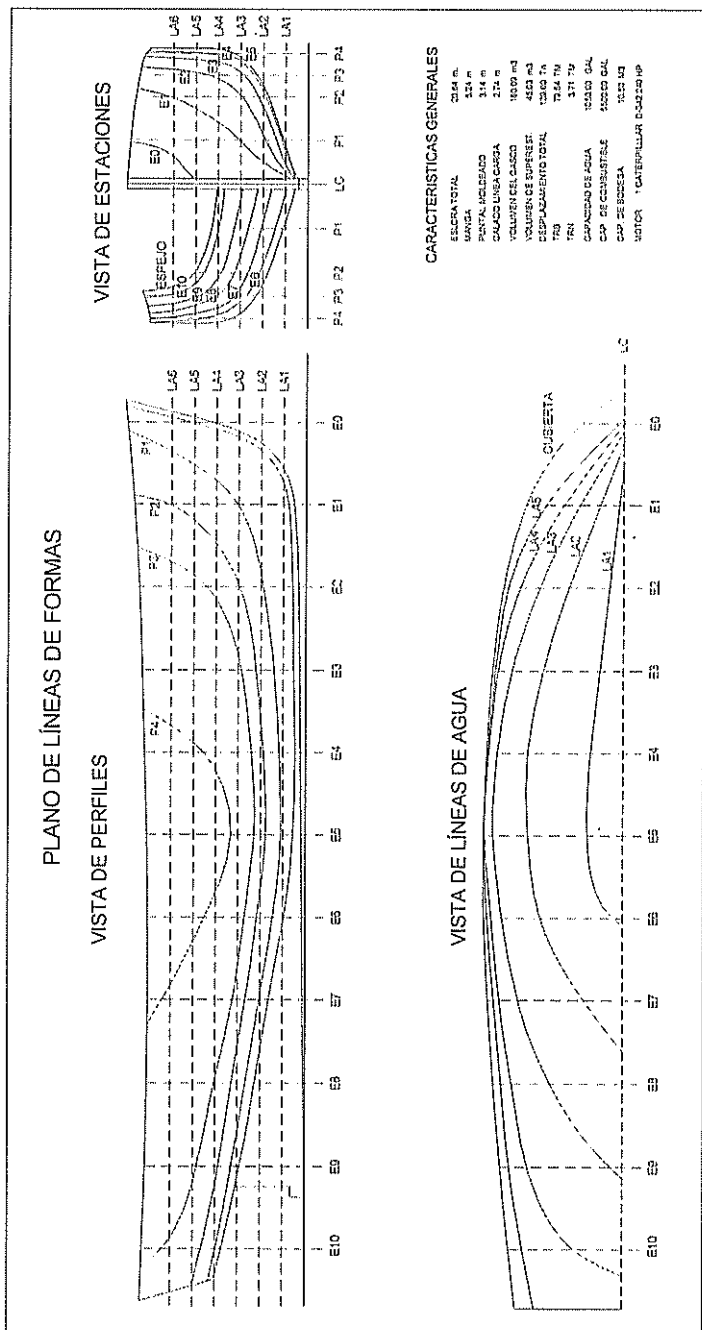
Se recomienda realizar más mediciones de este tipo, en diferentes buques para tener mayor información respecto a la eficiencia de los sistemas propulsores de buques ecuatorianos. Sería adecuado también establecer un formato con la información que se debería recolectar en cada medición, y eventualmente a través de un análisis Estadístico, establecer recomendaciones para mejorar las eficiencias de nuestros buques.

Se piensa que se podría utilizar el equipo de Telemetría para desarrollar mediciones de vibración de sistemas propulsores, pudiendo usarse un filtro disponible en el equipo, que reduce el ruido. Sin embargo habrá que probar con un incremento en la razón de lecturas ("*Scan Rate*") para verificar si el filtro funciona correctamente, y si la tarjeta de adquisición de datos tiene la rapidez adecuada para las mediciones mencionadas, que son de elevada frecuencia.

ANEXO A

CARACTERÍSTICAS DEL B/P ALVAREZ CABRAL

A continuación se presenta el plano de Líneas de Formas del B/P Alvarez Cabral



Resumen de Características Hidrostáticas

EMBARCACIÓN: B/P ALVAREZ CABRAL

NUMERO DE SERIE: 1

FECHA: 28/08/2006

HIDROSTÁTICAS - PARTE I ASIENTO 0.000 UNID.

	H	VOL	DESP	LCB	KB	SM	CP	CW	CIW
	1.00	13.	13.7	1.67	0.77	46.	0.382	0.489	0.314
	1.50	42.	42.7	1.20	1.11	82.	0.491	0.656	0.451
	2.09	91.	92.9	0.48	1.49	114.	0.595	0.809	0.617
LD	2.69	148.	151.3	0.03	1.84	137.	0.665	0.852	0.694
	3.00	179.	182.9	-0.06	2.02	149.	0.692	0.870	0.719
	3.20	199.	203.6	-0.11	2.13	156.	0.707	0.879	0.733
	3.50	229.	235.0	-0.15	2.29	168.	0.727	0.887	0.747

HIDROSTÁTICAS - PARTE II ASIENTO 0.000 UNID.

	H	AW	LCF	TP1	CD/P	BML	BMT	KML	KMT	MT1
	1.00	42.	1.52	42.87	-3.50	32.2	3.53	33.0	4.30	23.8
	1.50	73.	0.59	74.90	-2.36	29.0	3.60	30.1	4.72	66.5
	2.09	94.	-0.50	96.48	2.59	23.6	2.58	25.1	4.07	118.0
LD	2.69	98.	-0.58	100.75	3.14	15.9	1.74	17.7	3.58	129.3
	3.00	101.	-0.50	103.06	2.79	13.9	1.50	15.9	3.51	136.8
	3.20	102.	-0.48	104.09	2.66	12.8	1.37	14.9	3.50	139.8
	3.50	103.	-0.44	105.10	2.49	11.3	1.21	13.6	3.50	142.6

CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR CATERPILLAR D342

Engine Index - Microsoft Internet Explorer

Archivo Edición Ver Favoritos Herramientas Ayuda

Avís • Búsqueda Favoritos

Ubicación: http://www.mca.gov.uk/mca/mca-dept_filing_engine-details?model_id=72&make=CATERPILLAR

Safer lives, safer ships, cleaner seas

Homepage Site Map Help Contact us

Site search Jump to Choose Page Default Text Size

	Make	Model	Cylinders	RPM	Output (kW)	HP
Home	CATERPILLAR	1503-DITA-JW (A)	6	1800	578	3187
The MCA	CATERPILLAR	1503-DITA-JW (A)	6	1600	578	3169
HM Coastguard	CATERPILLAR	1503-DITA-JW (A)	6	1200	447	2434
Newsroom	CATERPILLAR	1503-DITA-JW (B)	6	1800	716	3903
SeaSmart	CATERPILLAR	1503-DITA-JW (B)	6	1600	675	3650
Guidance & Regulations	CATERPILLAR	1503-DITA-JW (B)	6	1300	600	3292
Careers	CATERPILLAR	1603D-DITA-JW (A)	6	1200	578	3169
Environmental	CATERPILLAR	1503D-DITA-JW (B)	6	1200	634	3409
Seafarer Information	CATERPILLAR	1503B-DITA-SC (A)	6	1800	746	4064
Seafarer Training	CATERPILLAR	1503B-DITA-SC (A)	6	1600	746	4064
Health and safety	CATERPILLAR	1503B-DITA-SC (B)	6	1300	703	3802
Running Database	CATERPILLAR	1503B-DITA-SC (B)	6	1600	703	3802
MCA/CCG Verification	CATERPILLAR	1503B-DITA-SW (B)	6	1785	835	4500
ISS	CATERPILLAR	C12-1A	6	1800	297	1631
	CATERPILLAR	C12-1A	6	2300	369	2032
	CATERPILLAR	C12-1A	6	2300	425	2334
	CATERPILLAR	C12-1A	6	2300	449	2434
	CATERPILLAR	C12-1A	6	2300	492	2685
	CATERPILLAR	C12-1A	6	2300	522	2836
	CATERPILLAR	C18	6	2200	653	3512
	CATERPILLAR	C18	6	2300	746	4064
	CATERPILLAR	D312	6	1500	221	1205
	CATERPILLAR	D313	6	1800	269	1460
	CATERPILLAR	D353	6	1225	313	1716
	CATERPILLAR	D353	6	1225	269	1460
	CATERPILLAR	D379	6	1300	635	3434
	CATERPILLAR	D398	12	1300	950	5185
	CATERPILLAR	D398	12	1200	600	3292
	CATERPILLAR	D399	16	1300	1270	6869

[Return to index](#)

Call us on 01753 600000

Copyright Marine and Coastguard Agency 2005

Para realizar los cálculos de manera confiable se aprovechó que el buque estaba en varadero para medir las características principales del propulsor.

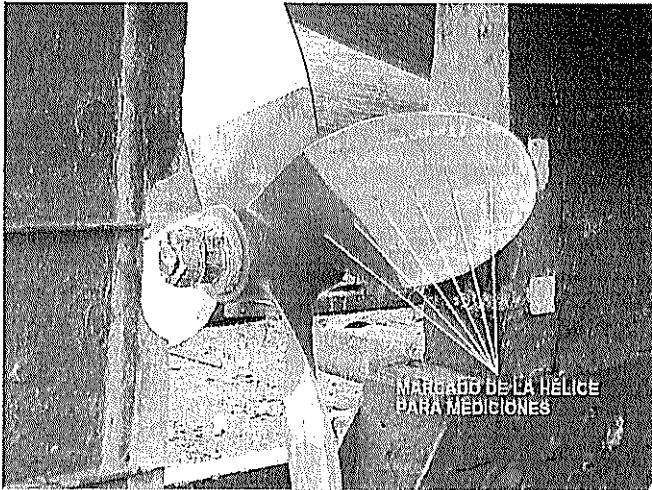
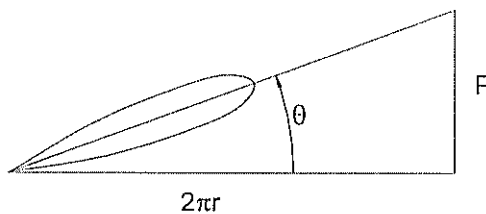


Figura A.1. Foto del marcado de Hélice.

1. Medición y Cálculo de la Relación Paso/Diámetro.

Para determinar la razón paso diámetro se procedió a marcar una de las palas a diferentes radios y registrar con ayuda de un inclinómetro digital, el ángulo de Paso; luego se calculó el Paso usando la siguiente fórmula:

$$P = 2 * \pi * r * \tan \theta$$



Donde:

P: Paso (cm)

r: Radio a la sección considerada (cm)

θ : Ángulo medido (Grados)

Implementando esto en una hoja electrónica se tiene la siguiente tabla:

PALA IZQUIERDA				
ITEM	Radio (cm)	Ángulo (Grados)	Paso (cm)	Razón P/D
0	79,7	----	----	----
1	69,7	15,0	117,3	0,74
2	59,7	18,1	122,6	0,77
3	49,7	20,1	114,2	0,72
4	39,7	23,6	108,9	0,68
5	29,7	27,8	98,3	0,62
6	19,7	37,1	93,5	0,59

Tabla A.1. Distribución de Paso sobre pala Izquierda.

PALA DERECHA				
ITEM	Radio (cm)	Ángulo (Grados)	Paso (cm)	Variación P/D
0	79,7	----	----	----
1	69,7	13,1	101,9	0,64
2	59,7	15,3	102,6	0,64
3	49,7	17,4	97,8	0,61
4	39,7	21,2	96,7	0,61
5	29,7	26,8	94,2	0,59
6	19,7	35,6	88,5	0,56

Tabla A.2. Distribución de Paso sobre pala Derecha.

Tomando un promedio en cada pala y luego un promedio general se tiene el siguiente resultado:

Relación P/D Promedio (Izquierda)	0,685
Relación P/D Promedio (Derecha)	0,608
Relación P/D Promedio General	0,647

2. Cálculo de la Razón de Área.

Para obtener esta razón se necesita conocer el área desarrollada de la hélice, por lo que se midió las cuerdas a diferentes radios y luego mediante integración numérica se estimó el área por pala, los resultados se resumen en la siguiente tabla:

CÁLCULO DEL ÁREA DESARROLLADA				
ITEM	Radio (cm)	Cuerda (cm)	Factor Simpson	Producto
	cm	cm		
0	79.7	0	1	0
1	69.7	25	4	100
2	59.7	32	2	64
3	49.7	35	4	140
4	39.7	37	1	37
5	29.7	35.5	3	106.5
6	19.7	32	3	96
7	9.7	20	1	20
Suma (FS 1/3)				341
Suma (FS 3/8)				259.5
Área de una Pala				2109.79

Tabla A.3. Cálculo del Área Desarrollada de una pala.

Por lo que el área de desarrollada será:

$$A_{\text{DESARROLLADA}} = 2109.79 * 4 \text{ palas} = 8439.17 \text{ cm}^2$$

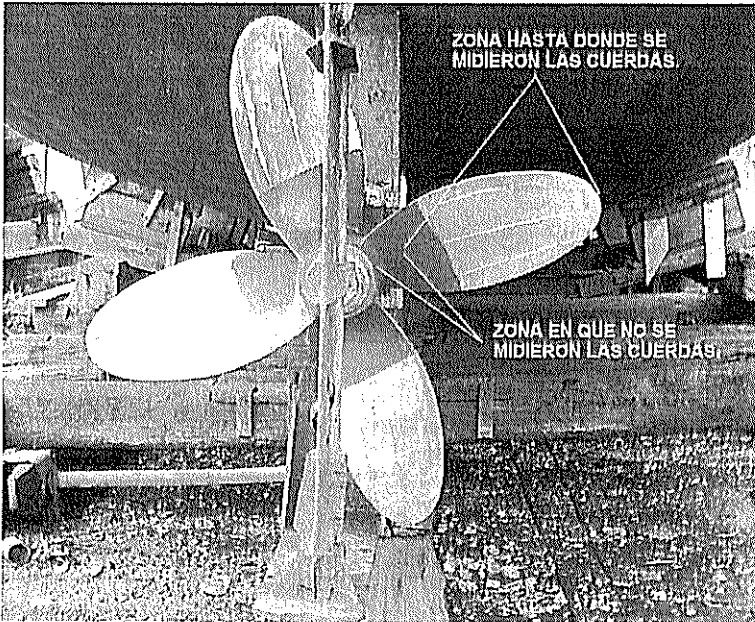


Figura A.2. Zonas de medición de cuerdas en la hélice.

Luego se obtuvo el área del disco con diámetro de 159 cm.

$$A_O = \frac{\pi * D^2}{4} = \frac{\pi * (159 \text{ cm})^2}{4} = 19946 \text{ cm}^2$$

Finalmente tomando el cociente entre las áreas calculadas se tiene:

$$\frac{A_{DES}}{A_O} = \frac{8439.17 \text{ cm}^2}{19946 \text{ cm}^2} = 0.423$$

Por lo tanto ya se tienen las características principales de la hélice:

- Diámetro: 159 cm.
- Razón P/D: 0.65
- Razón A_d/A_o : 0.423
- Número de Palas: 4

3. Comparación de las cuerdas medidas con una hélice de la serie B de Wageningen.

A manera de ejercicio se hizo una comparación entre las cuerdas medidas para varios radios en la hélice y la distribución de cuerdas de una hélice de la serie B de Wageningen¹.

HÉLICE REAL		HÉLICE DE SERIE B	
Radio (cm)	Cuerda (cm)	Radio (cm)	Cuerda (cm)
79,7	0,0	79,7	0
69,7	25,0	71,7	26,4
59,7	32,0	63,7	32,9
49,7	35,0	55,8	35,8
39,7	37,0	47,8	36,5
29,7	35,5	39,8	35,9
19,7	32,0	31,9	34,2
		23,9	31,4
		15,9	27,7

Tabla A.4. Distribución de Cuerdas.

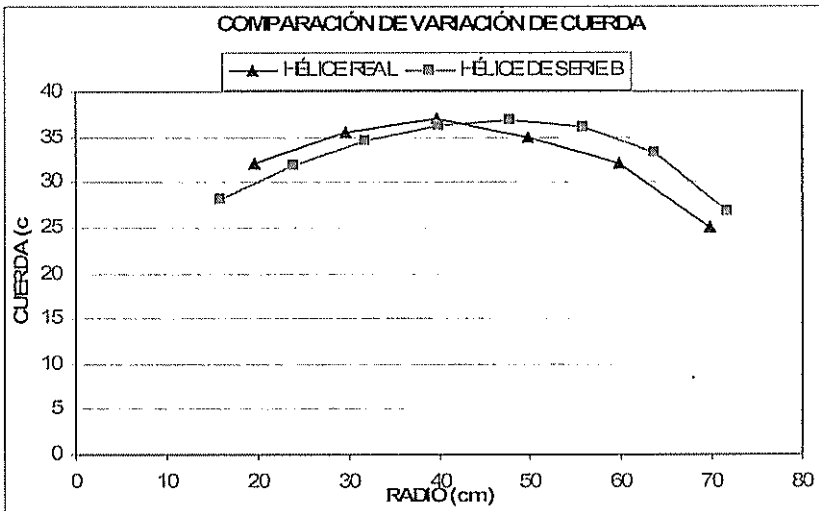


Figura A.3. Comparación de Variación de cuerda.

¹ OOSTERVELD M. y VAN OOSANEN P., Further Computer- Analyzed Data of the Wageningen B-Screw Series.

Los resultados de la distribución de cuerda entre la hélice real y una de la serie B de Wageningen son similares en este caso.

4. Comparación del espesor medido con una hélice de la serie B de Wageningen.

Se tomó el espesor a cada radio y se elaboró una tabla comparándolos con la distribución de espesor de una hélice de la serie B de Wageningen obteniéndose los siguientes resultados:

HÉLICE REAL	
Radio (cm)	Espesor (cm)
79.7	0.9
69.7	0.9
59.7	1.1
49.7	2.3
39.7	3.4
29.7	4.0
19.7	5.5

HÉLICE DE SERIE B	
Radio (cm)	Espesor (cm)
79.7	0.2
71.7	0.6
63.7	0.9
55.8	1.2
47.8	1.6
39.8	1.9
31.9	2.2
23.9	2.6
15.9	2.9

Tabla A.5. Distribución de espesores.

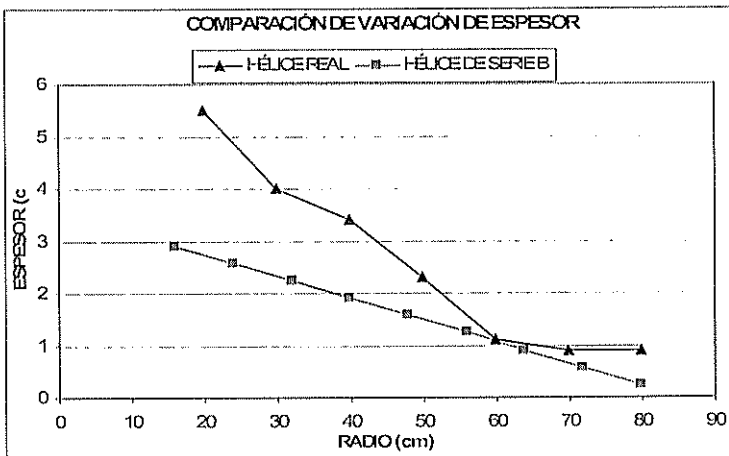


Figura A.4. Comparación de Variación de espesor.

La distribución de espesor de la hélice real es mayor que una de la serie B y eso se notó claramente en los bordes de la hélice como se muestra en la siguiente figura, en la que se nota que el borde de entrada es bastante grueso.

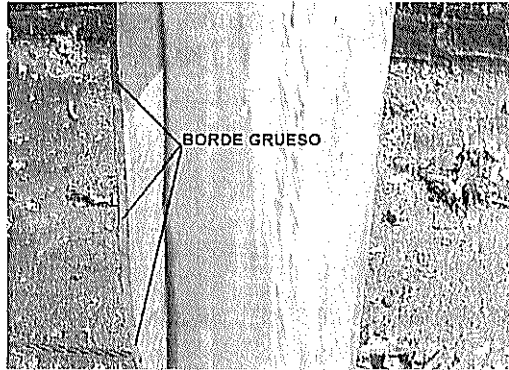


Figura A.5 Borde de la hélice del B/P Alvarez Cabral

ANEXO B

DETALLES DEL ARTE DE PESCA

El Buque Pesquero Alvarez Cabral es de tipo arrastrero camaronero, y se va a describir en detalle los componentes de su arte de pesca. Esto se hace con el fin de obtener datos para usarlos posteriormente en el programa computacional.

El sistema de arrastre, como se muestra en la figura B.1, tiene tres componentes básicos:

- Compuertas.
- Cable de Arrastre.
- Redes de Arrastre.

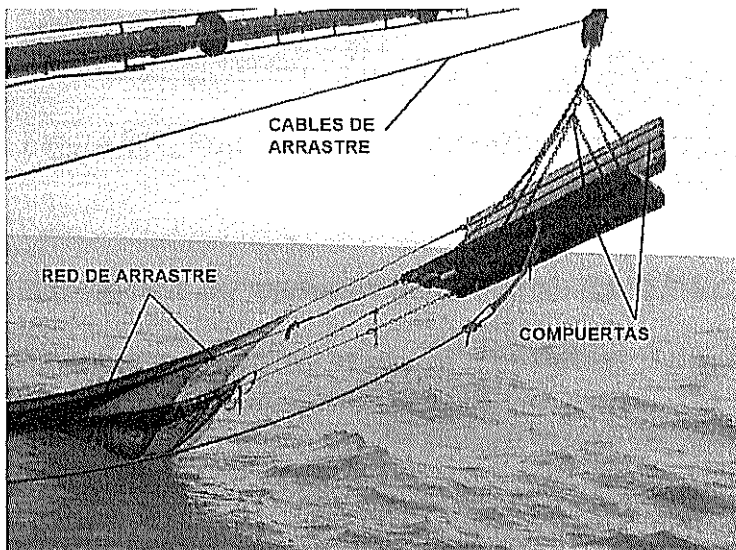


Figura B.1. Foto de elementos del sistema de arrastre.

A continuación se procederá a describir cada componente del Arte:

1. Compuertas

En este caso el Buque tiene una red de arrastre por Babor y otra por Estribor, y cada red de arrastre tiene dos compuertas, sumando 4 compuertas en total, que operan como se muestra en la figura B.2.

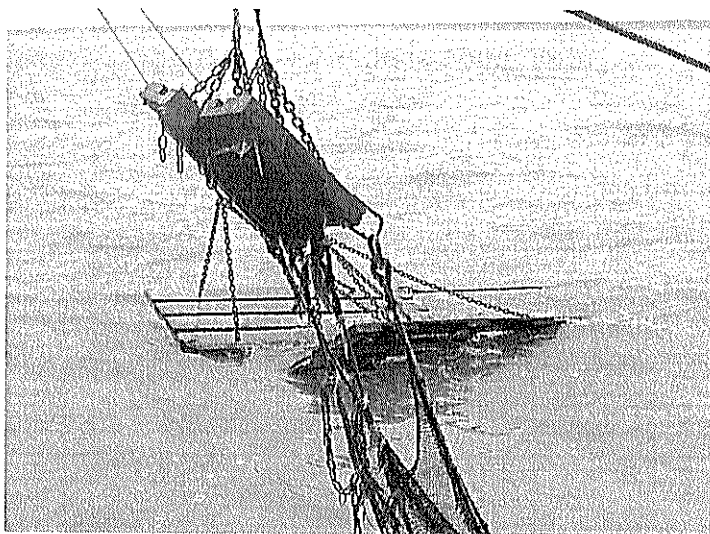


Figura B.2. Foto de las compuertas en operación.

Las puertas están hechas de madera y tienen en su parte inferior una platina de acero que sirve como lastre, tal como se muestra en las figuras B.3 y B.4 donde se muestra la forma y dimensiones de una de las compuertas:



Figura B.3. Foto de la compuerta.

DETALLE DE COMPUERTA
Área (2.94 m²)

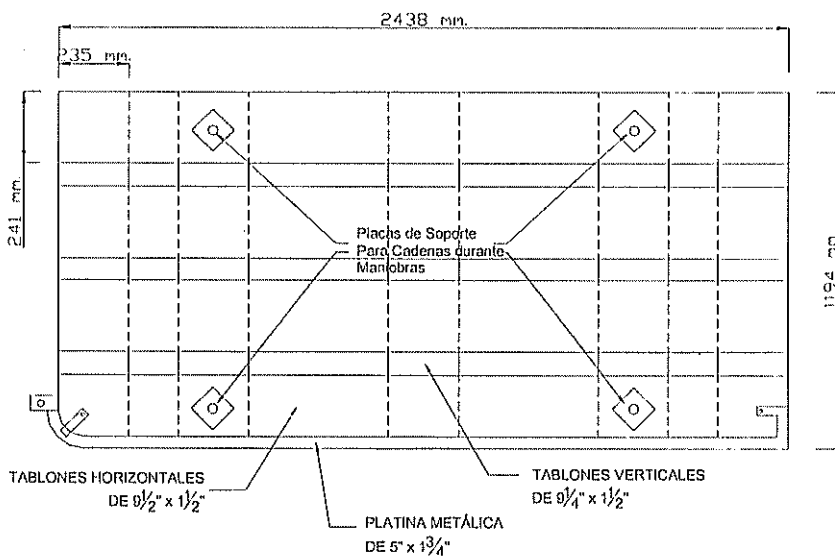


Figura B.4. Dimensiones Principales de la compuerta.

De la figura B.4 se puede estimar el área de una de las compuertas, y de la figura B.3 se puede observar que el ángulo entre las compuertas es de 45° aproximadamente.

2. Cables de Arrastre.

El cable de arrastre va unido a las compuertas con unas cadenas y placas de soporte que ayudan a la inmersión de las mismas junto a la red de arrastre, en este caso como se tiene una red de arrastre por banda cada una tiene un cable que enlaza las compuertas y el winche. El material del cable es acero, su longitud es de 30 brazas (54.86 metros) y el diámetro de 0.5 pulgadas.

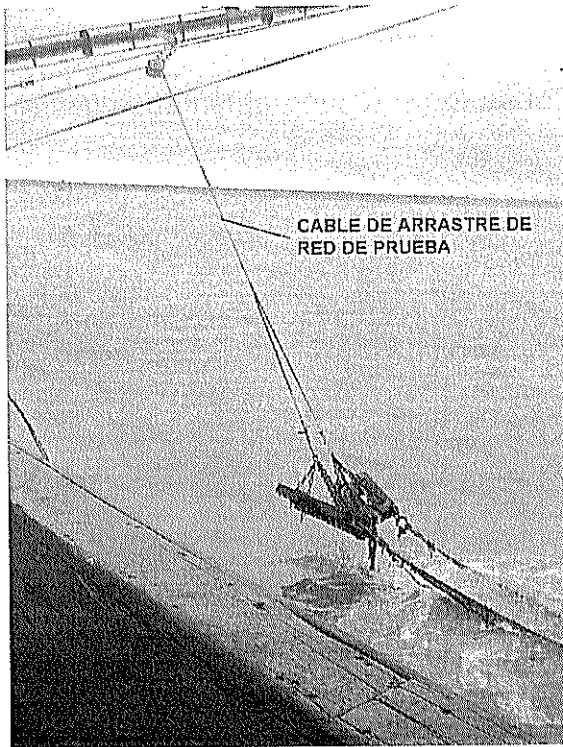


Figura B.5. Foto del cable de arrastre en red de prueba.

3. Redes de Arrastre

Una red de arrastre opera en cada banda además de una pequeña red de prueba por estribor como se mostró en la figura B.5. La red de prueba es revisada cada media hora y le permite al capitán saber si hay camarones en la zona donde están trabajando. Las redes de arrastre más grandes se levantan cada 3 horas, se vacía su contenido en cubierta para su selección y luego se vuelven a sumerger. Se utiliza un hilo con diámetro de 2.5 milímetros y el tamaño de la malla, o sea la dimensión de los orificios, es de 2.5 pulgadas (63.5 milímetros). Antes de lanzar la red al agua se la extendió sobre cubierta y se midió el área de la boca que fue de 50 m^2 pero al ser sumergida se produce deformación de la misma llegando a tener un área efectiva de 30 m^2 aproximadamente porque en el agua al estar inmersa es difícil estimar esta área.

ANEXO C

DETALLE DE LAS MEDICIONES REALIZADAS

Ensayo de medición

El Lunes 14 de Agosto del 2006 a las 11:00 AM se realizó un ensayo de la medición en la embarcación pesquera B/P Alvarez Cabral con la presencia del Doctor José Marín, director de la presente tesis. El lugar de la prueba fue en la Ría Guayas frente al Varadero Barcelona ubicado en las calles Venezuela y Ría una vez que la embarcación concluyó labores de mantenimiento. El equipo de medición se ubicó bajo la escotilla de acceso a la bodega, como se muestra en la figura C.1; se aprovechó que se había retirado por mantenimiento, uno de los cuatro tanques usados para almacenar el camarón.

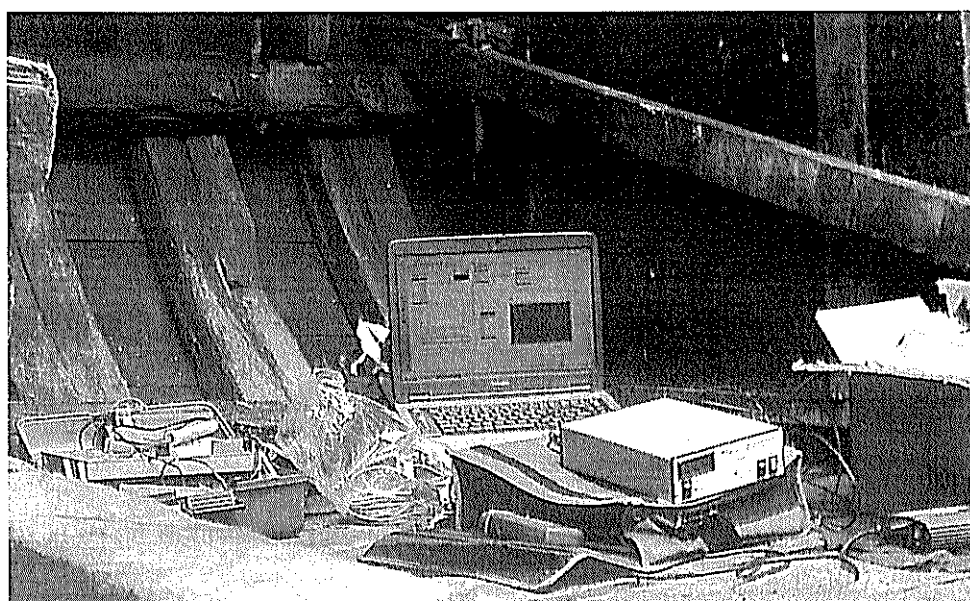


Figura C.1. Ubicación del equipo para la prueba.

Los equipos electrónicos de mayor cuidado como la computadora portátil, equipo receptor, terminal UIO y convertidor de voltaje se conectaron sin dificultad porque todo estaba seco. Esta medición se realizó aprovechando que el barco bajaba de parrilla y tenía que trasladarse a un muelle cercano para terminar sus labores de preparación previo al zarpe. Se tuvo mucho cuidado en la instalación de la antena receptora que rodea al eje, así como la antena emisora y batería que van montadas sobre el eje, por lo que se la rodeó de cinta adhesiva para evitar su desprendimiento.

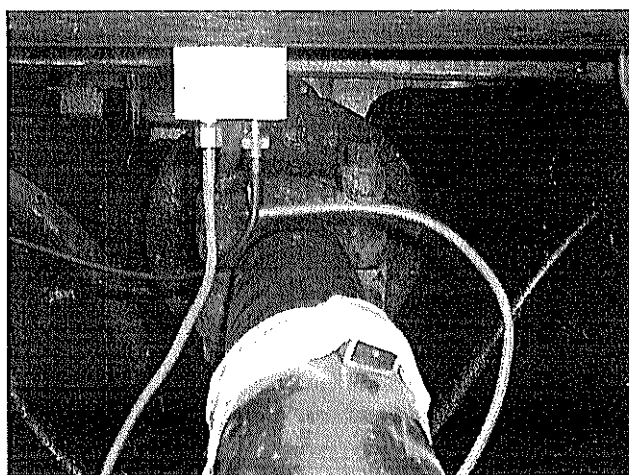


Figura C.2. Arreglo de la antena emisora, receptora y batería sobre el eje.

Cálculo de la Resistencia de Calibración

Para ajustar el calibrador de resistencia es necesario conocer su valor teórico, que se estima con ayuda de algunas fórmulas.

El torque aplicado se lo calculó de la siguiente forma:

$$\text{Torque}_{\text{MOTOR}} = \frac{250[\text{HP}] * \frac{550\text{Lib} - \text{pie}}{1\text{HP} - \text{seg}} * \frac{12\text{pulg}}{1\text{pie}}}{1800 \left[\frac{\text{rev}}{\text{min}} \right] * \frac{2\pi\text{rad}}{1\text{rev}} * \frac{1\text{min}}{60\text{seg}}}$$

$$\text{Torque}_{\text{MOTOR}} = 8753.52 \text{ [Lib} - \text{pulg]}$$

$$\text{Torque}_{\text{HÉLICE}} = 4 * \text{Torque}_{\text{MOTOR}} = 35014 \text{ [Lib} - \text{pulg]}$$

Luego la deformación unitaria máxima sobre el sensor (ϵ_G) se lo calcula con la siguiente fórmula.

$$\epsilon_G = \frac{16 * 35014 \frac{\text{Lib}}{\text{pulg}} * (1+0.3)}{\pi * 4^3 * 36000} = 126.6 \mu \frac{\text{pulg}}{\text{pulg}}$$

Y finalmente la resistencia de calibración se calcula con la siguiente fórmula:

$$R_C = \frac{R_G}{N * GF * E_G}$$

Donde:

- R_G : Resistencia del sensor (350 ohmios)
- GF : Factor del Sensor (valor de 2.0)
- N : Número de puentes activos (4)
- E_G : Esfuerzo sobre el sensor (en pulg/pulg)
- R_C : Resistencia de calibración (en Kohms)

Reemplazando todos los valores correspondientes:

$$R_C = \frac{350 \text{ Ohms}}{4 * 2.0 * 126.6E - 6} = 345.63 \text{ Kohms}$$

Este valor es el que se ajustó en el calibrador y se aplicó al equipo. El detalle de como se aplica esta resistencia puede verse en el anexo D.

Una vez que todo el equipo se instaló se procedió a realizar las mediciones tal como se muestra en la foto C.3, estas mediciones recogieron información de la variación de voltaje en el eje a causa del torque aplicado por el motor. Además con un tacómetro electrónico se midió la velocidad de rotación del eje (rpm) y con un GPS se registró la velocidad del buque (nudos).



Figura C.3. Mediciones de prueba.

Se utilizó una razón de lectura ("Scan Rate") de 20 muestras por segundo. A continuación se muestra una figura que resume las lecturas tomadas con el equipo Tele-Trak 3000 y el computador portátil:

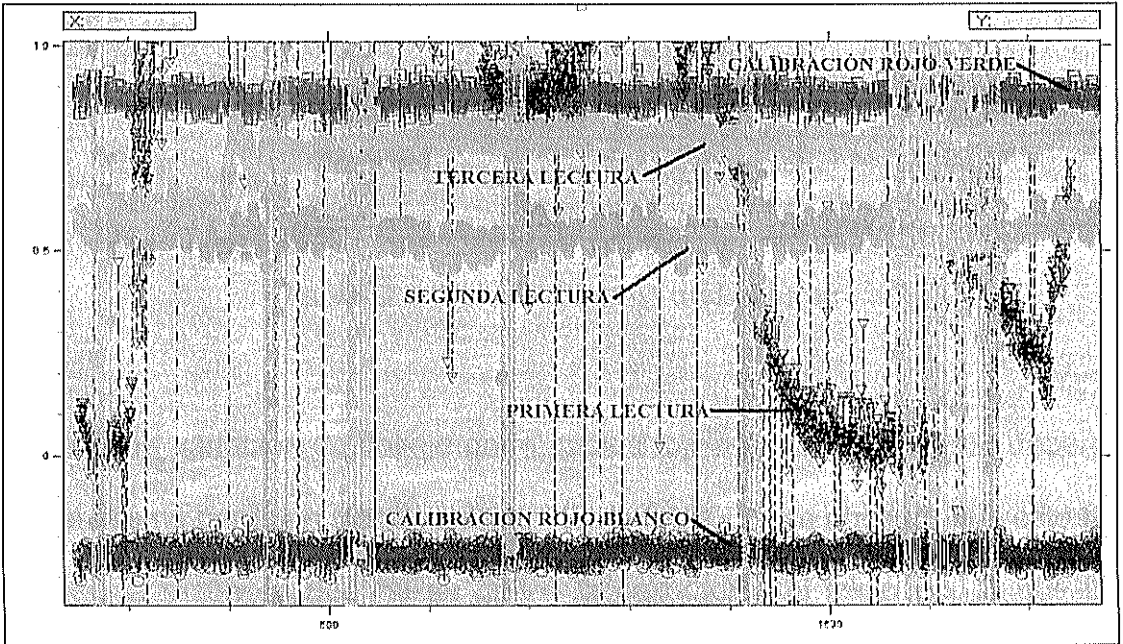


Figura C.4. Lecturas típicas de la variación de voltaje durante la prueba.

Ocurrió un inconveniente en la prueba, ya que se olvidó realizar la calibración del equipo antes de realizar las mediciones. Esta calibración sirve para encerrar el equipo y asignar un valor máximo de deflexión ya que el eje está sujeto a tensión y compresión. Esto significa que al aplicar las 35000 Lib-pulg de torque al eje, la variación de voltaje toma un valor que se selecciona. Sin embargo lo que se hizo fue aplicar la calibración al final de la prueba y registrar esas lecturas como iniciales. Como puede verse en la figura C.1 de

variaciones de voltaje registradas se tienen 5 señales correspondientes a las tres lecturas y las dos calibraciones. Luego se sacó el promedio de cada lectura que se muestra en la siguiente tabla:

	Variación Voltios
Calibrado Rojo-Blanco	-0,248
Calibrado Rojo-Verde	0,882
Lectura 1	0,632
Lectura 2	0,522
Lectura 3	0,741

Tabla C.1. Valor Promedio de Lecturas

El valor de variación de voltaje entre cables rojo-blanco y rojo-verde debería ser el mismo pero con signo contrario. En la tabla C.1 se observa que esto no es así, la razón es que no se aplicó la calibración al inicio por lo que se procedió a desplazar todas las lecturas en función de las lecturas de calibración entre los cables rojo-blanco y rojo-verde:

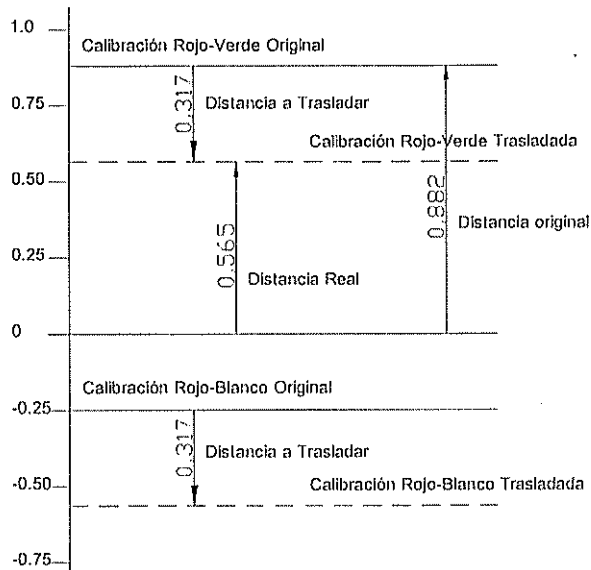


Figura C.5. Desplazamiento de Valores.

En la figura C.5 se muestra como se obtuvo el valor de desplazamiento (0.317 V) que se aplicó a todas las lecturas. Así se logró que las lecturas de calibración estén centradas respecto al origen. Este desplazamiento es necesario ya que de esta manera las lecturas de calibración y en general el resto de lecturas tendrán variación en igual valor pero con signo contrario dependiendo si el eje estuvo en tensión o compresión.

Una vez corregido el valor de desplazamiento se aplicó a todas las lecturas teniendo finalmente un cuadro de resumen:

Descripción	Lectura Registrada	Velocidad (Nudos)	RPM	Variación Voltaje
Calibrado Rojo-Blanco	-0.565	----	----	----
Calibrado Rojo-Verde	0.565	----	----	----
Lectura 1	-0.242	8.9	250	-43%
Lectura 1.1	0.118	7	215	21%
Lectura 2	0.205	7.5	225	36%
Lectura 3	0.424	9.2	276	75%

Tabla C.2. Resumen de Mediciones de prueba.

Todas las lecturas se realizaron con una razón de 20 scans/segundo. La lectura 1 que se muestra en la tabla C.2 tiene un torque negativo al inicio y luego un valor positivo, esto es debido a que la lectura se inició a lo que bajó de parrilla y la hélice estaba impulsando al buque en marcha atrás. Luego el buque se movió hacia delante registrando las demás lecturas.

Mediciones Finales

Las mediciones finales se realizaron los días Sábado 19 y Domingo 20 de Agosto del 2006. El primer día se realizaron las mediciones en Navegación Libre durante el trayecto Guayaquil-Posorja, ya que la embarcación se trasladó a Posorja para empezar su faena de trabajo. El día siguiente se realizaron las mediciones de Navegación en Arrastre. A continuación se muestra el resumen general de las mediciones realizadas.

		Coordenadas Geográficas	Vel. Buque Nudos	Vel. Eje RPM	Profundidad metros	Razón Scan/Seg	Tiempo de Lectura	Hora	Observación
DÍA 1: NAVEGACIÓN LIBRE		S 2° 14.753	-----	-----	-----	-----	-----	11:17:00 (Llegada)	Punto de carga de Combustible en Guayaquil
		W 79° 52.435						13:06:00 (Salida)	
		S 2° 15.257	7	278	10.00	-----	-----	13:20:00	Paso Frente a Andec
		W 79° 51.503							
		S 2° 20.879	6.9	278	11.16	20	1 minuto	14:17:00	Primera Lectura
		W 79° 49.724							
		S 2° 29.923	9.1	279	6.70	20	1 minuto	15:30:00	Pueblo "Los Condenados" Segunda Lectura
		W 79° 52.257							
		S 2° 39.226	10.3	278	4.20	10	10 minutos	16:34:57	Bifurcación S/N Tercera Lectura
		W 79° 55.709							
		S 2° 39.367	10.2	277	8.00	-----	-----	18:05:00	-----
		W 80° 05.436							
		S 2° 43.473	11.2	278	8.40	-----	-----	18:46:00	Cruce de Corrientes
		W 80° 12.425							
DÍA 2: NAVEGACIÓN EN ARRASTRE		S 2° 14.760	-----	-----	-----	-----	-----	19:30:00	Llegada a Posorja
		W 79° 52.442							
		S 2° 14.760	-----	-----	-----	-----	-----	4:30:00	Salida desde Posorja al lugar de la Faena
		W 79° 52.442							
		S 2° 56.756	2.6	208	4.02	20	1 minuto	7:26:40	Cuarta Lectura
		W 80° 17.513							
		S 2° 55.277	2.4	207	4.75	10	15 minutos	8:44:40 Inicio	Inicio de Quinta Lectura
		W 80° 16.754							
		S 2° 54.927	2.5	208	4.94	-----	-----	8:59:40 Fin	Final de Quinta Lectura
		W 80° 16.818							
		S 2° 54.927	2.7	208	4.21	15	8 minutos	9:32:46 Inicio	Sexta Lectura y Primera levantada de las Redes
		W 80° 16.818	2.5	175				9:35:29	
		S 2° 53.812	2.8	215				9:36:15	
		W 80° 17.127	2.3	140				9:37:00	
		S 2° 52.923	1.9	125				9:39:50	
		W 80° 17.018	1.8	-----	4.57	-----	-----	11:00:00	-----
		S 2° 53.449	1.5	-----	4.39	-----	-----	11:48:00	-----
	W 80° 17.272	2.2	-----	4.94	-----	-----	12:55:00	-----	
	S 2° 53.030	1.7	-----	4.39	-----	-----	14:38:00	Segunda levantada de las Redes	
	W 80° 18.179	1.9	-----	5.30	-----	-----	16:30:00	Tercera levantada de las Redes	
	S 2° 54.031	2.1	-----	5.25	-----	-----	18:15:00	Cuarta levantada de las Redes	
	W 80° 17.180	-----	-----	-----	-----	-----	20:20:00	Llegada a Posorja	
	S 2° 53.032								
	W 80° 16.181								
	S 2° 14.760								
	W 79° 52.442								

Tabla C.3 Resumen General de mediciones finales.

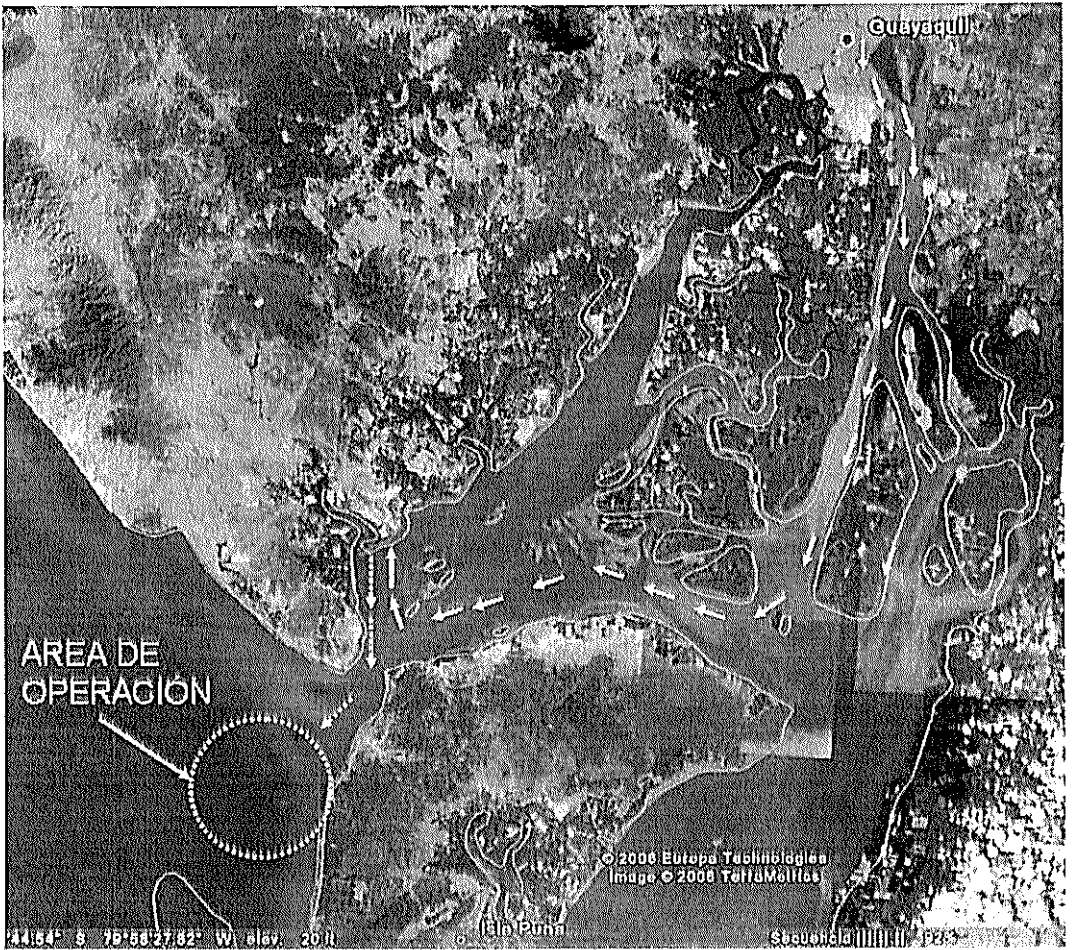


Figura C.6. Trayectoria del Buque Alvarez Cabral

En esta ocasión la medición iba a durar más tiempo así que se aseguró el equipo que iba montado sobre el eje con correas sujetadoras como se muestra en las figuras C.7, C.8 y C.9, en lugar de la cinta adhesiva usada durante el ensayo. Así mismo la ubicación de los equipos electrónicos tales como computador portátil, equipo Tele-Trak 3000 y convertidor de voltaje, fue en el lazareto, detrás de los tanques de almacenamiento, tal como se muestra en la figura C.10:



Figura C.7. Instalación del Antena y Batería sobre el eje.

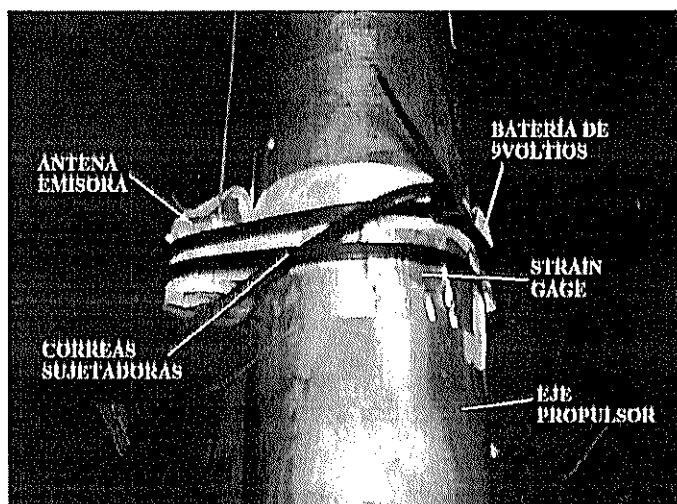


Figura C.8. Agarre de Antena y Batería sobre el eje.

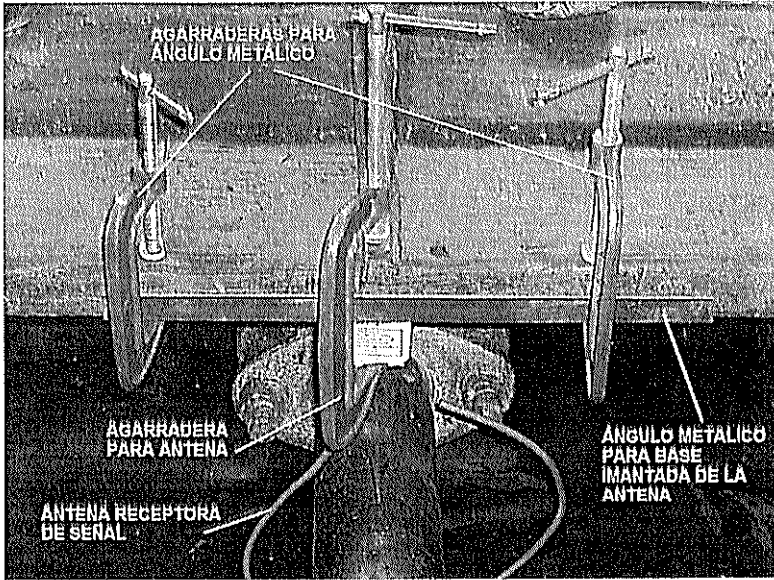


Figura C.9. Agarre de la Antena alrededor del eje.

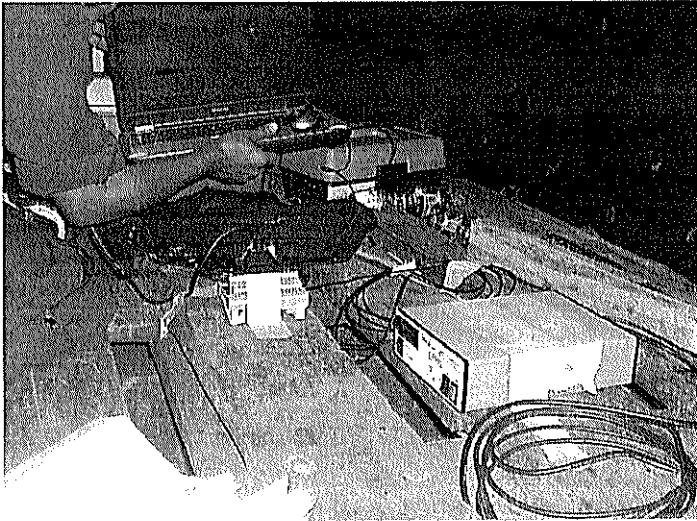


Figura C.10. Foto de Ubicación de Equipo para prueba en navegación libre.

El primer día no hubo complicaciones porque la embarcación sólo iba en Navegación Libre, el zarpe fue desde Guayaquil a las 13:06 PM luego de

cargar combustible. Al inicio se navegó en contra de la corriente registrándose una velocidad inicial del buque de 7 nudos pero luego se lo hizo a favor de la corriente alcanzando una velocidad de 11.2 nudos.

En la figura C.11 se muestran las tres lecturas tomadas el primer día, como puede verse no hubo mayores complicaciones.

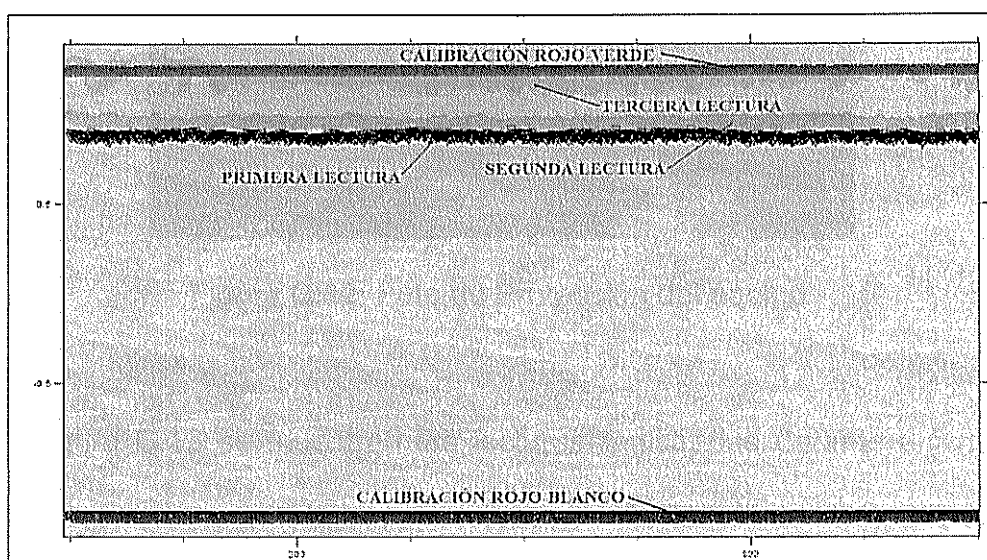


Figura C.11. Lecturas durante la prueba en navegación libre.

Al llegar a Posorja se revisó el estado del equipo sobre el eje y se observó la caída de la agarradera que sujetaba la antena receptora. Por lo que se utilizó las correas sujetadoras que sobraron para agarrar la antena nuevamente. Al día siguiente se tuvo la precaución de proteger el equipo con fundas plásticas, como se muestra en la figura C.12, para evitar que se mojen

durante las maniobras, así mismo se sujetó todo el equipo para evitar que se mueva y se desconecte durante las mediciones.



Figura C.12. Foto de Protección del equipo.

En la figura C.13 se muestran las lecturas registradas durante el arrastre. Nuevamente se tomaron tres lecturas, siendo la última muy importante porque fue la única oportunidad donde se cambió la velocidad de rotación (rpm) del eje varias veces, ver figura C.14.

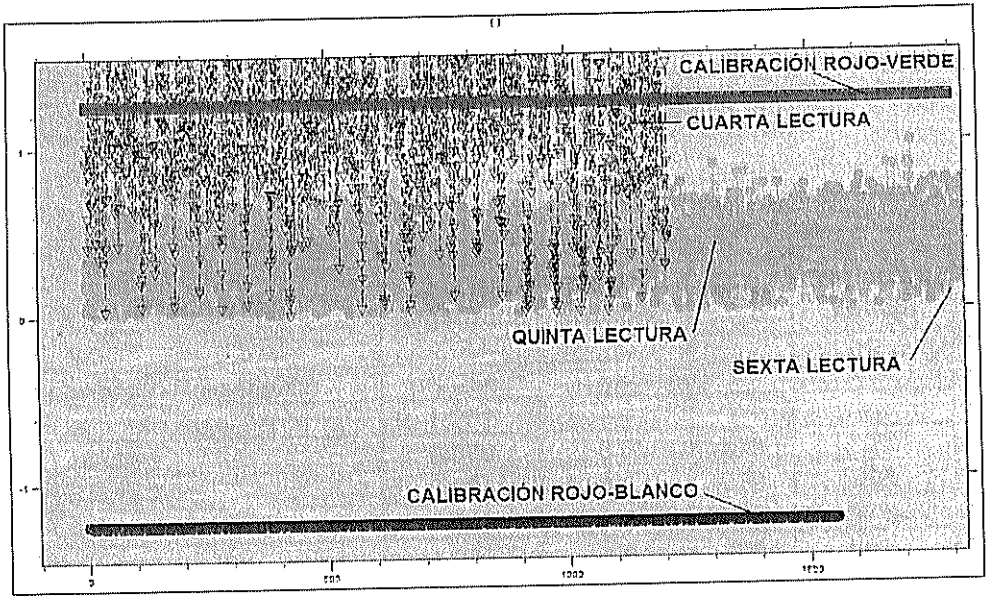


Figura C.13. Lecturas durante la prueba en navegación en arrastre.

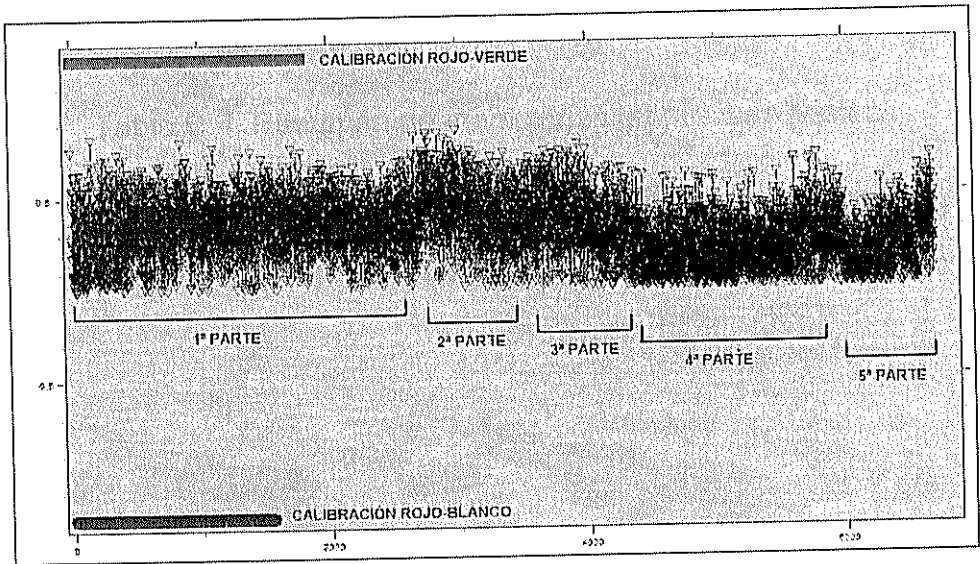


Figura C.14. Identificación de lecturas en la última medición.

Para identificar las diferentes señales en la última medición se registraron los tiempos cuidadosamente y conociendo la razón de lectura se marcó las

zonas de medición como se muestra en la figura C.14. A continuación se resume los principales datos registrados en las pruebas finales.

Descripción	Lectura Registrada	Velocidad (Nudos)	RPM	Variación Voltaje
Calibrado Rojo-Blanco	-1.254	----	----	----
Calibrado Rojo-Verde	1.252	----	----	----
Lectura 1	0.879	8.9	278	70%
Lectura 2	0.954	9.1	279	76%
Lectura 3	1.213	8.3	278	97%
Lectura 4	1.082	2.6	208	86%
Lectura 5	0.506	2.45	207	40%
Lectura 6.1	0.339	2.7	208	27%
Lectura 6.2	0.416	2.5	175	33%
Lectura 6.3	0.366	2.8	215	29%
Lectura 6.4	0.229	2.3	140	18%
Lectura 6.5	0.265	1.9	125	21%

Tabla C.4. Resumen de mediciones en pruebas finales.

ANEXO D

MEDICIÓN DE TORQUE USANDO EL EQUIPO TELE-TRAK 3000

Manual de Usuario

Instalación del Sensor sobre el Eje

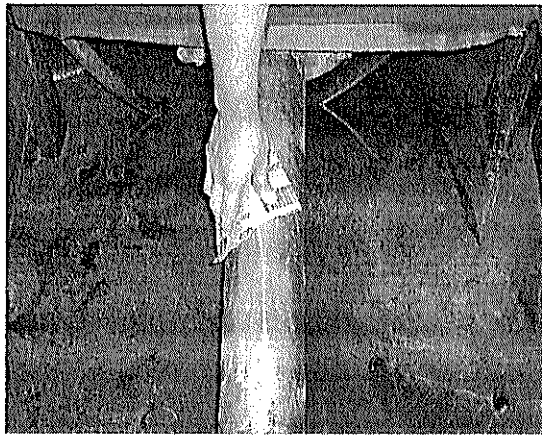
Materiales:

- Alcohol.
- Lija 200.
- Lija 400.
- Solución AIR MPREP-CONDITIONER.
- Servilleta o papel tisú.
- Solución MPREP-BASE ALCALINE.
- Lápiz y regla.
- Cinta adhesiva.
- Pegamento INSTANT KRAZY GLUE.
- Cinta de Teflón.
- Borrador.
- Solución M-COAT AIR DRYING POLYUTERIAN COATING.
- Masilla de brea.
- Cinta adhesiva de aluminio
- Cinta adhesiva para proteger cables.
- Pistola de cautín.

- Estaño en alambre.
- Pasta de soldar estaño.
- Multímetro.
- Antena transmisora
- Batería de 9 voltios.

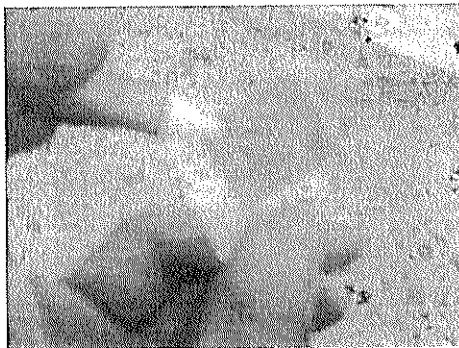
Pasos a seguir:

1. Limpiar la superficie con Alcohol y desengrasante.
2. Usar Lija número 220 para limpiar la rugosidad de la superficie y limpiar nuevamente con Alcohol.



3. Limpiar con AIR MPREP-CONDITIONER la superficie y limpiar con servilleta o papel tisú. Sino se tiene papel tisú llevar algodón.
4. Usar Lija número 400 para limpiar de nuevo la superficie y luego usar MPREP-CONDITIONER sobre la superficie y limpiar de nuevo con papel tisú.

5. Usar MPREP-BASE ALCALINE sobre la superficie y limpiar con papel tisú hasta que el papel ya no se manche.
6. Con lápiz y regla, marcar el área donde se va a colocar el sensor con líneas guías de dirección.
7. Poner sobre la parte superior del sensor cinta adhesiva y en la parte inferior poner pegamento (INSTANT KRAZY BLUE).



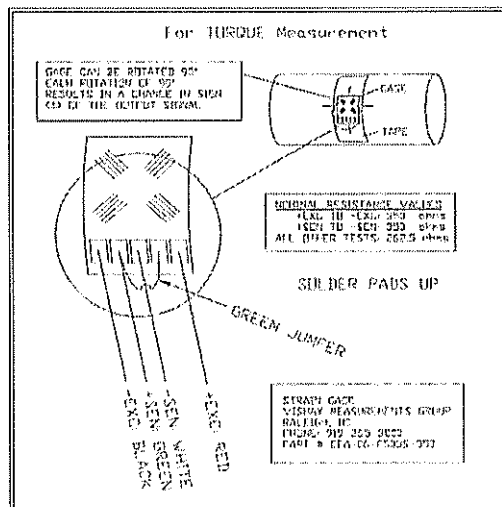
8. Con cuidado ubicar y pegar el sensor sobre las líneas guías que ya se trazaron anteriormente y esperar que seque. Poner cinta de teflón sobre la cinta y el sensor. Luego con 1 borrador frotar cuidadosamente sobre el teflón, cinta y sensor para que termine de adherirse.

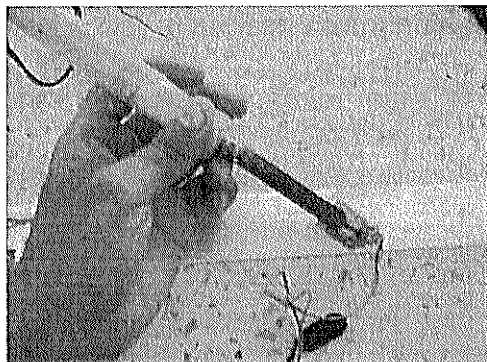


9. Quitar lentamente el teflón y la cinta adhesiva. De esta manera el sensor queda listo para aplicar la soldadura.
10. Con el multímetro revisar que las 5 terminales del sensor estén en buen estado, todas deberán marcar una resistencia cercana a la que proporciona el fabricante que es de 350 Ohms.
11. Tomar 4 cables: rojo, blanco, verde y negro, y con un estilete cortar las puntas de ambos extremos para recuperar el cable interno.

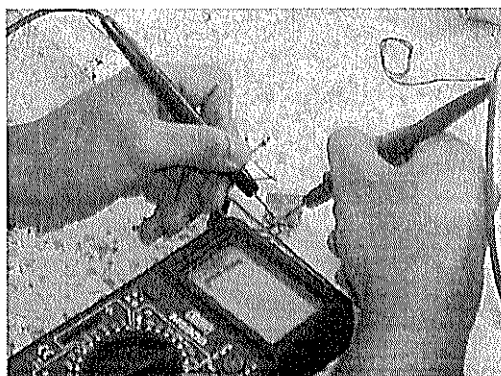


12. Con el caudín proceder cuidadosamente a soldar cada cable a cada Terminal según la siguiente distribución.



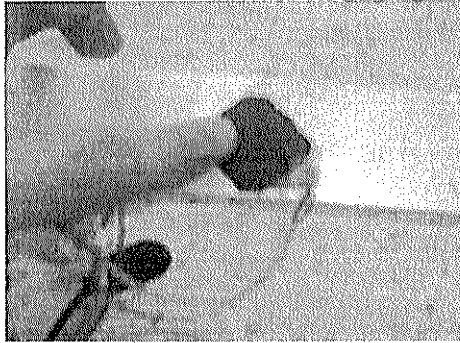


13. Con el multímetro comprobar que las resistencias entre terminales no haya cambiado; de haberlo quiere decir que la soldadura no fue bien realizada.



14. Esperar que la soldadura aplicada se enfríe unos 10 minutos y luego aplicar la solución M-COAT AIR DRYING POLYUTERIAN COATING (líquido amarillo) que funciona como esmalte protector del sensor y esperar que seque por 20 a 30 minutos.

15. Poner masilla de brea sobre el sensor y terminales. Luego cubrir con cinta protectora que cubra todo el conjunto, para protegerlo de impactos, basuras y otros agentes externos.

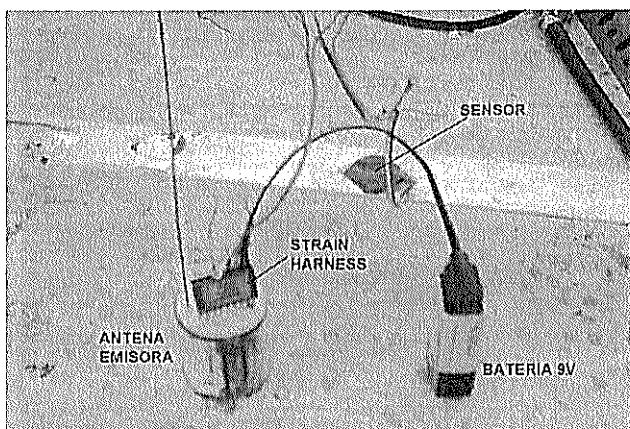


16. Cubrir los cables con la cinta apropiada para evitar que se despeguen durante las maniobras.

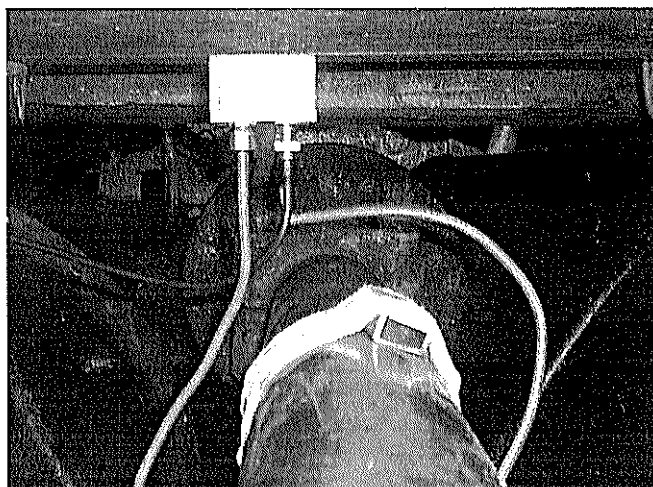
Pasos para realizar las mediciones:

1. Conectar los 4 cables del sensor con el dispositivo STRAIN HARNESS (S.H.), el cual tiene dos salidas, una lleva a la batería de 9 voltios que alimenta el circuito, y, la otra conduce a la antena transmisora, la que tiene 9 terminales:

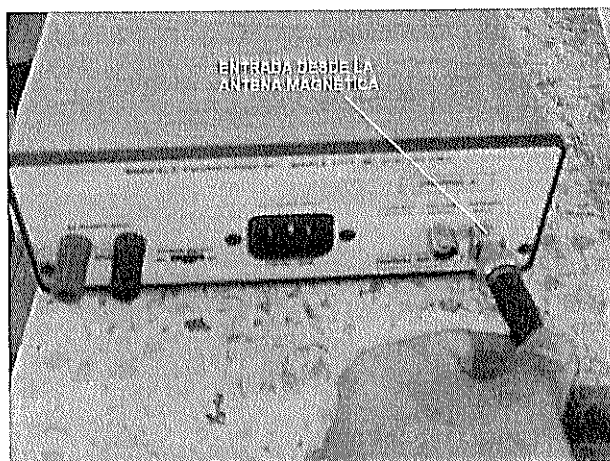
Terminal	Significado
1	Libre.
2	Cortado para llave o seguro.
3	Libre.
4	Salida que viene del sensor (Cable verde).
5	Salida que viene del sensor (Cable blanco).
6	Salida que viene del sensor (Cable negro).
7	Salida que viene del sensor (Cable rojo).
8	Terminal de 9 voltios positiva (Batería).
9	Terminal de 9 voltios común (Batería).



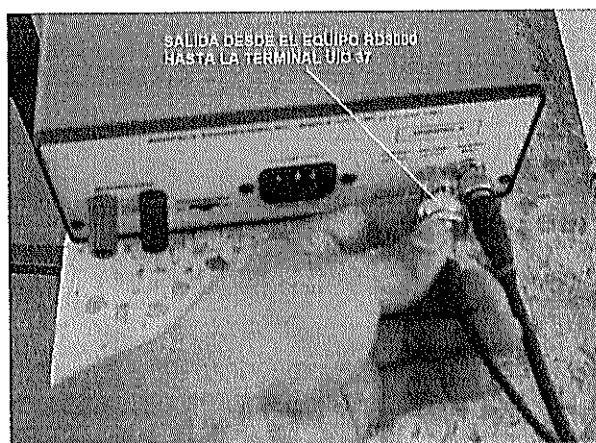
2. Con cinta adhesiva asegurar bien el dispositivo SH a la antena y a la batería de 9 voltios. Luego ajustarlo con correas sujetadoras para que no se muevan durante la maniobra. Colocar la antena magnética receptora A-101 alrededor del eje; asegurarse que la base imantada no se mueva para lo cual se recomienda ajustarla con correas sujetadoras.



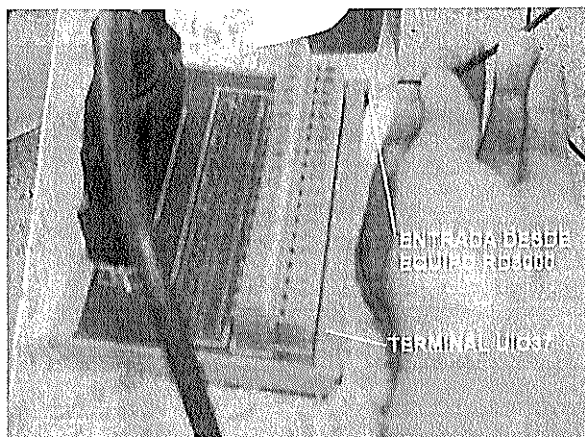
3. Conectar el cable transmisor desde la antena receptora hasta la entrada respectiva (ANTENA INPUT) en el equipo RD-3000.



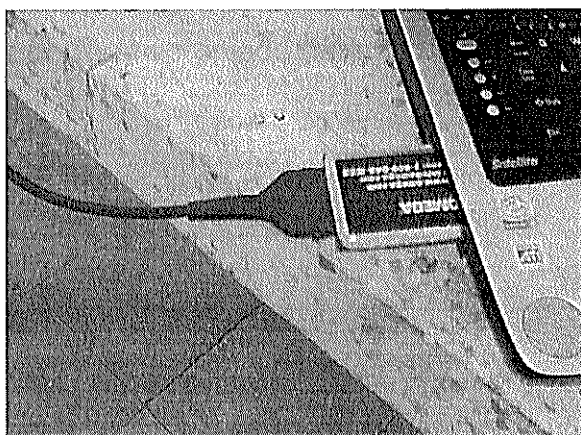
4. Encender el equipo receptor RD-3000 y dejarlo encendido por 15 minutos. Usar el botón de sonido para asegurarse que realmente se recibe la señal, debe lograrse un sonido agudo y largo.
5. Con un cable coaxial y el dispositivo apropiado utilizar la salida que tiene el equipo receptor RD-3000 en su parte posterior para enviar la señal a una Terminal UIO 37.



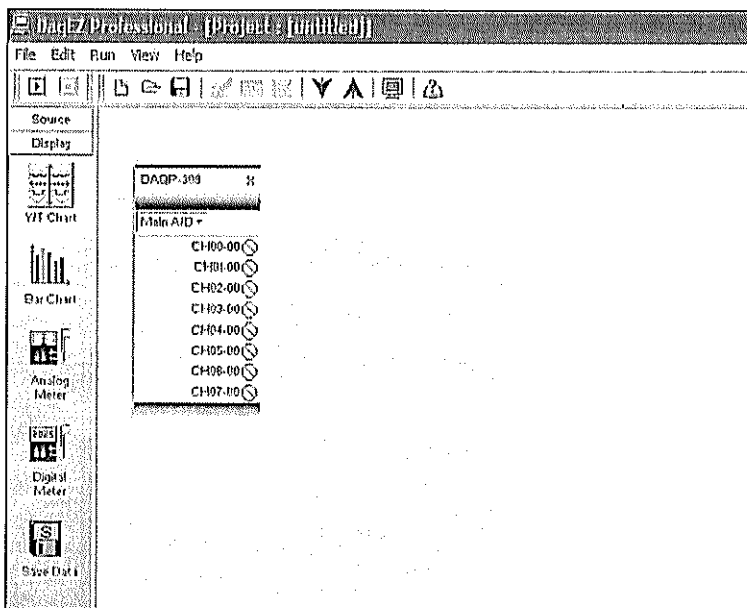
6. Usar el cable D37 para obtener la señal de la Terminal UIO 37 y transmitirla a la tarjeta de adquisición de datos.



7. Conectar la tarjeta de adquisición de datos al computador portátil.

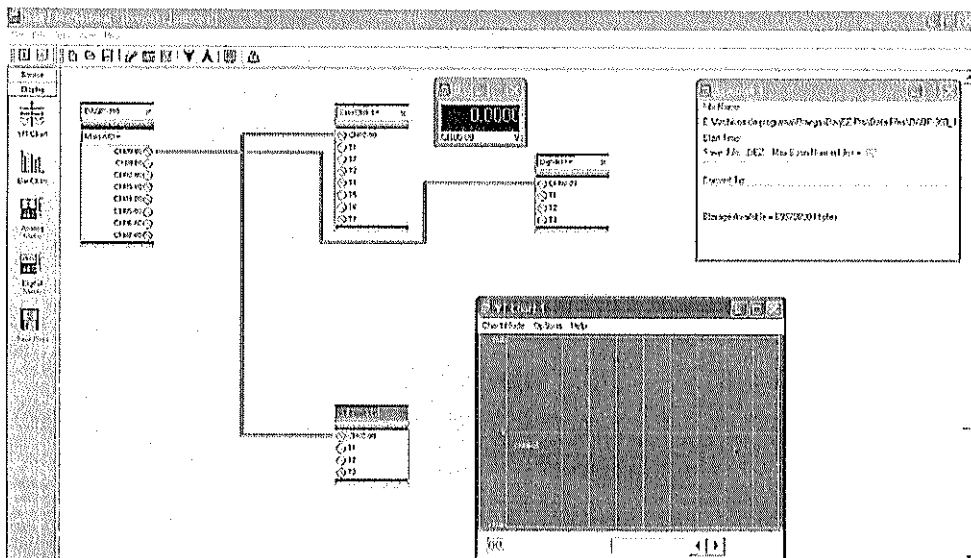


8. En el computador que va a recibir la señal se ejecuta el programa DaqEZ Professional. Al abrirlo debe aparecer en la parte derecha una figura verde con el nombre de la tarjeta de adquisición de datos. Se da clic sobre ella y se despliegan 4 opciones.

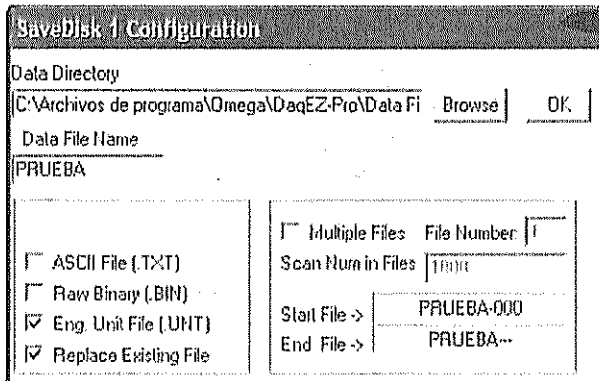


9. Se da clic sobre el ícono de *Save Data*, *Digital Meter* y *Y Graph Chart*.
Luego recordando en que conector de la Terminal UIO-37 se hizo el enlace, se toma el canal apropiado para ello.

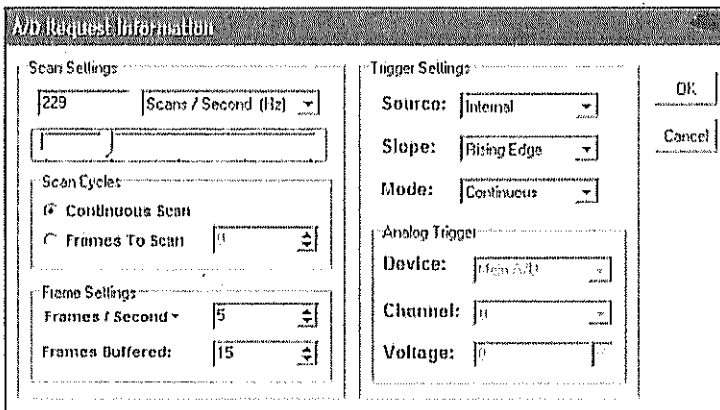
Canal	Conector
0	37
1	36
2	35
3	34
4	33



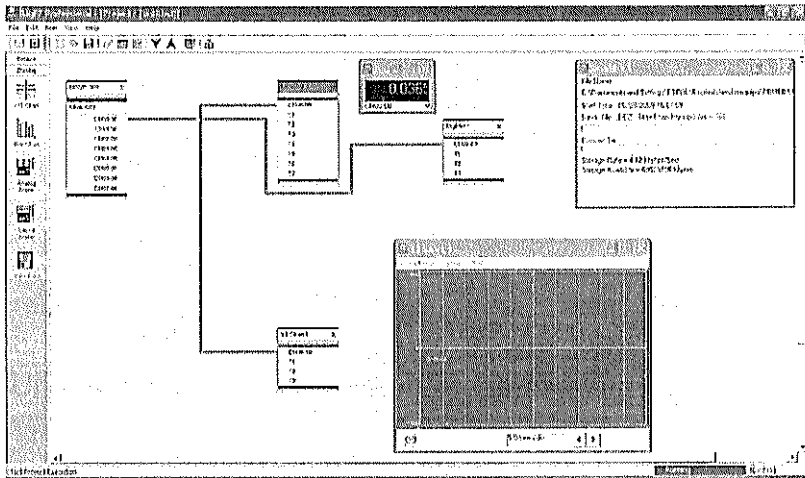
10. En el cuadro de *Save Data* se da clic sobre el canal escogido y se escoge el tipo y destino donde se van a guardar los archivos, en tipo de archivos se selecciona la opción con archivos *.UNT.



11. En el primer cuadro con las propiedades de la tarjeta se da clic derecho y se abren las configuraciones para determinar la velocidad en que se desea tomar las lecturas (scan/seg).



12. Una vez configurado se da clic en el botón PLAY para iniciar las lecturas.



13. Para detener las lecturas se da clic en el botón STOP.

14. Usar el calibrador de resistencia CRB-101 que viene en el equipo para ajustar las mediciones.

a. La calibración se hace con ayuda de la siguiente fórmula:

$$\epsilon_G = \frac{16 * T * (1 + \nu)}{\pi * D^3 * E}$$

Donde:

T: Torque aplicado (Lib-pulg)

ν : Coeficiente de Poisson, 0.3

D: Diámetro (en pulgadas)

E: Módulo de Young (en lib/pulg²)

ϵ_G : Deformación unitaria del sensor (en pulg/pulg)

b. El torque aplicado se lo conoce mediante la siguiente fórmula:

$$T[\text{Lib - pulg}] = \frac{\text{Potencia}_{\text{Motor}} [\text{HP}] * \frac{550 \text{Lib - pie}}{1 \text{HP - seg}} * \frac{12 \text{pulg}}{1 \text{pie}}}{\text{RPM}_{\text{Eje}} \left[\frac{\text{rev}}{\text{min}} \right] * \frac{2\pi \text{rad}}{1 \text{rev}} * \frac{1 \text{min}}{60 \text{seg}}}$$

c. Una vez que se tiene ϵ_G se reemplaza en la siguiente fórmula:

$$R_C = \frac{R_G}{N * G_F * \epsilon_G}$$

Donde:

R_G : Resistencia del sensor (valor típico de 350 ohmios)

G_F : Factor del Sensor (valor típico de 2.0)

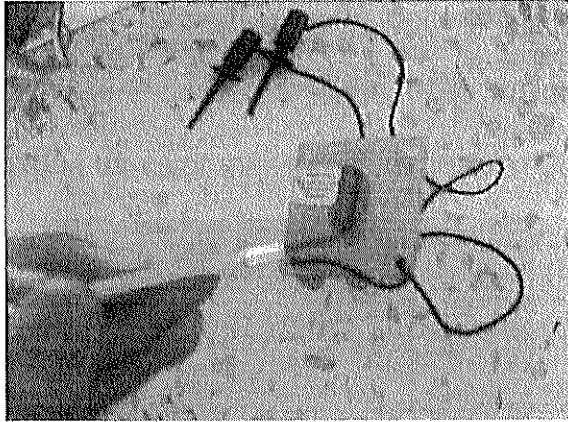
N : Número de puentes activos (4 en este caso)

ϵ_G : Deformación unitaria del sensor (en pulg/pulg)

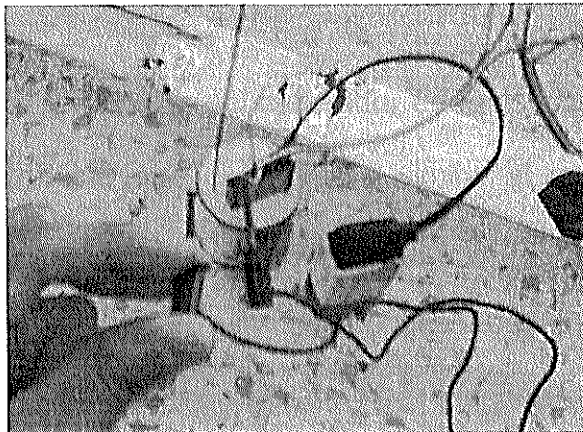
R_C : Resistencia de calibración (en Kohms)

d. Es importante saber que los valores del literal d dependen del sensor, cada fabricante puede tener valores diferentes, por lo que se recomienda leer cuidadosamente la hoja de especificaciones técnicas que viene con el sensor.

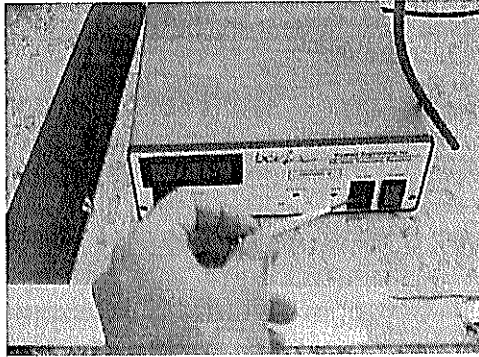
15. Una vez que se conoce el valor de la resistencia se ajusta, con ayuda del multímetro y un destornillador, el calibrador de resistencias CRB-101 hasta lograr el valor de la resistencia calculada anteriormente.



16. Encender el botón FILTER en el equipo receptor RD-3000 y ajustar el botón BALANCE usando como guía las luces, las cuales deben encenderse con igual intensidad.
17. Aplicar las terminales del calibrador de resistencia entre el cable rojo y blanco en la antena transmisora instalada sobre el eje. La pantalla del equipo receptor mostrará un valor proporcional al de la resistencia aplicada.



18. Ajustar el botón GAIN para asignar la deflexión y sensibilidad de las mediciones. Esto quiere decir que cuando se aplique el calibrador de resistencia se asigne un valor máximo de deflexión.



19. Si desea una máxima respuesta dinámica apague el FILTER, caso contrario enciéndalo. Use el FILTER para integrar vibración torsional y obtener un valor promedio de torque y reducir efectos de ruidos.

20. Registrar una lectura en el computador, tome el tiempo de la medición.

21. Ahora aplicar las terminales del calibrador de resistencia entre los cables rojo y verde. Verificar que el valor sea similar al mostrado cuando se aplicó la resistencia entre los cables rojo y blanco pero con signo contrario. Caso contrario revisar conexiones nuevamente. Esta vez no ajustar nada simplemente registrar una nueva lectura con el computador.

22. Desconectar el calibrador de resistencias y envolver cables rojo, verde y blanco para evitar que durante la maniobra se topen causando lecturas erróneas. En este momento el equipo se encuentra listo para iniciar mediciones.

23. Durante las maniobras y mediciones revise constantemente el estado del equipo montado sobre el eje y de la antena receptora ya que con el movimiento puede moverse o aflojarse algo.

Buena suerte en sus lecturas.

ANEXO E

DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES PARA LAS FORMULACIONES DE HOLTROP, [7] Y [8].

1. Resistencia Friccional.

$1+k_1$: Factor de forma del casco

$$1+k_1 = 0.93 + 0.487118 * C_{14} \left(\frac{B}{L}\right)^{1.068} \left(\frac{T}{L}\right)^{0.461} \left(\frac{L}{L_R}\right)^{0.121} \left(\frac{L^3}{\nabla}\right)^{0.364} (1-C_P)^{-0.604}$$

B: Manga moldeada.

L: Eslora en línea de agua.

T: Calado moldeado.

∇ : Volumen de desplazamiento.

C_P : Coeficiente prismático a la línea de agua.

$$L_R = L \left(1 - C_P + \frac{0.06 * C_P * l_{cb}}{4 * C_P - 1} \right)$$

l_{cb} : Posición longitudinal del centro de boyantez como un porcentaje de L.

$C_{14} = 1 + 0.011 * C_{STERN}$, donde C_{STERN} depende del tipo de popa.

Tipo de Popa	C_{STERN}
Góndola	-25
Secciones en V	-10
Secciones Normales	0
Secciones en U	10

2. Resistencia por Formación de Olas.

- Para $F_N > 0.55$.

$$C_{17} = 6919.3 * C_M^{-1.3346} * \left(\frac{\nabla}{L^3}\right)^{2.00977} * \left(\frac{L}{B} - 2\right)^{1.40692}$$

C_M : Coeficiente de Sección media a la línea de agua.

$$m_3 = -7.2035 \left(\frac{B}{L}\right)^{0.326869} \left(\frac{T}{B}\right)^{0.605375}$$

$$C_2 = e^{-1.89\sqrt{C_3}}$$

$$C_5 = 1 - \frac{0.8 * A_T}{B * T * C_M}$$

A_T : Área del espejo sumergido

$$\lambda = 1.446 * C_p - 0.03 * \frac{L}{B}, \text{ cuando } L/B < 12$$

$$\lambda = 1.446 * C_p - 0.36, \text{ cuando } L/B > 12$$

$$d = -0.9$$

$$C_3 = \frac{0.56 * A_{BT}^{1.5}}{B * T * (0.31 * \sqrt{A_{BT} + T_F - h_B})}$$

A_{BT} : Área del Bulbo si lo tuviera.

h_B : Posición vertical del centro de área del bulbo.

$$m_4 = C_{15} * 0.4e^{-0.034 * F_N^{-3.20}}$$

$$C_{15} = -1.69385, \text{ cuando } L^3/\nabla < 512$$

$$C_{15} = -1.69385 + \frac{\left(\frac{L}{\nabla^{1/3}} - 8\right)}{2.36}, \text{ cuando } 512 < L^3/\nabla < 1726.91$$

$$C_{15} = 0, \quad \text{cuando } L^3/\nabla > 1726.91$$

- Para $F_N < 0.4$.

$$C_1 = 2223105 * C_7^{3.78613} * \left(\frac{T}{B}\right)^{1.07961} * (90 - i_E)^{-1.37565}$$

$$C_7 = 0.229577 * \left(\frac{B}{L}\right)^{0.33333}, \quad \text{cuando } B/L < 0.11$$

$$C_7 = \frac{B}{L}, \quad \text{cuando } 0.11 < B/L < 0.25$$

$$C_7 = 0.5 - 0.0625 * \frac{L}{B}, \quad \text{cuando } B/L > 0.25$$

$$m_1 = 0.0140407 \frac{L}{T} - 1.75254 \frac{\nabla^{1/3}}{L} - 4.79323 \frac{B}{L} - C_{16}$$

$$C_{16} = 8.07981 * C_P - 13.8673 * C_P^2 + 6.984388 * C_P^3, \quad \text{cuando } C_P < 0.8$$

$$C_{16} = 1.73014 - 0.7067 * C_P, \quad \text{cuando } C_P > 0.8$$

- Para $0.4 < F_N < 0.55$.

Se evalúa con la siguiente expresión:

$$R_W = R_{W-A0.4} + \frac{(10 * F_N - 4)(R_{W-B0.55} - R_{W-A0.4})}{1.5}$$

Donde $R_{W-A0.4}$ corresponde a la resistencia evaluada con un número de Froude de 0.4 y usando las formulaciones respectivas; mientras que $R_{W-B0.55}$ representa la resistencia evaluada con un número de Froude de 0.55 y las formulaciones pertinentes.

3. Resistencia por Apéndices.

S_{APP} : Área de los apéndices considerados.

$1+k_2$: Factor de resistencia del apéndice.

Tipo de Apéndice	$1+k_2$
Ejes	2.0 - 4.0
Timón detrás de la zapata	1.5 - 2.0
Timón detrás del codaste.	1.3 - 1.5
Palas balanceadas detrás de 2 hélices	2.8
Arbotantes del eje	3.0
Zapata	1.5 - 2.0
Bocines de arbotantes	3.0
Bocines del casco	2.0
Aletas estabilizadoras	2.8
Domos	2.7
Quillas de Balance	1.4

Cuando se tienen varios apéndices se toma un valor equivalente de $1+k_2$

$$(1+k_2)_{EQ} = \frac{\sum (1+k_2)^* S_{APP}}{\sum S_{APP}}$$

4. Resistencia por Inmersión del Espejo.

$C_6 = 0.2 * (1 - 0.2 * F_{NT})$, cuando $F_{NT} < 5$ y $C_6 = 0$, cuando $F_{NT} \geq 5$

$F_{NT} = \frac{V}{\sqrt{\frac{2 * g * A_T}{B + B * C_{WP}}}}$, donde C_{WP} es el coeficiente de plano de flotación.

5. Resistencia por Correlación de Modelo.

$$C_A = 0.006 * (L + 100)^{-0.16} - 0.00205 + 0.003 \sqrt{\frac{L}{7.5}} * C_B^4 * C_2 * (0.04 - C_4)$$

C_B : coeficiente de bloque del buque.

$$C_4 = \frac{T_F}{L}, \quad \text{cuando } \frac{T_F}{L} \leq 0.04$$

$$C_4 = 0.04, \quad \text{cuando } \frac{T_F}{L} > 0.04$$

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

1. Austral Propeller Co, Technical Sheet. www.australpropeller.com.au, , 2002
2. BELZONA GROUP, Polímeros usados en la Industria Marítima. Marine Industry. www.marineindustry.com/belzona.html, EE.UU, 2005
3. BINSFIELD ENGINEERING INC., Tele-Trak 3000 System Users Manual. Maple City, pp 2-11
4. DALLY, J. W., RILEY, W. F., Experimental Stress Analysis, Second Edition. McGraw-Hill, New York, 1978, pp. 229-253.
5. FAO, Fuel and financial savings for operators of small fishing vessels. Technical Measures. Fisheries Department, 2001.
6. FREIRIA JORGE, BADANO PABLO, Desarrollo de Técnicas de Modelación de Artes de Pesca en el Canal Hidrométrico. Instituto de Mecánica de los Fluidos, Montevideo, Uruguay, 2005.

7. HOLTROP J. y MENNEN G., An Approximate Power Prediction Method. Int. Shipbuilding Progress, Vol. 25. 1978.
8. HOLTROP J. y MENNEN G, A Statistical Re-Analysis of Resistance and Propulsion Data. International Shipbuilding Progress, Nov 1984
9. INSTITUTO ECUATORIANO DE ESTADÍSTICAS Y CENSOS, Reportes Anuales de Precios e Índices al consumidor. INEC, 2004
10. INTERNATIONAL ORGANIZATION OF STANDARDS (ISO 5167-1). Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices, Part 1. Reference number: ISO 5167-1:1991(E), 1991
11. JARA WILMO, Notas de clases de Corrosión y Protección. FIMCM, ESPOL, Guayaquil, Ecuador, 2004.
12. KHAN AKHTAR Y WANG XINWEI, Strain Measurements and Stress Analysis. Prentice Hall, New Jersey 07458, 2001, pp. 1-87
13. LEWIS EDWARD, Principles of Naval Architecture Vol. II. SNAME, Jersey City, EE.UU. 1988

14. MARIN José, Notas de Clase de "Proyecto del Sistema Propulsor".
FIMCM, ESPOL, Guayaquil, Ecuador, 2004.
15. MICHIGAN PROPELLERS, Inboard Propeller Specification Guide.
Michigan Wheel Corporation, Michigan USA. 2005.
16. MINKO VÍCTOR, Problemas de Mecanización. Escuela de Pesquería,
ESPOL, Guayaquil, Ecuador, 1979, pp 16-30
17. MINKO VÍCTOR y LANGARANO COLÓN, La Mecanización en los
procesos de Pesca. Escuela de Pesquería, ESPOL, Guayaquil, Ecuador,
1979, pp 124-144
18. OLDS ENGINEERING, Technical Reports. www.olds.com.au, Australia,
2005
19. OMEGA Engineering, Pressure and Strain Measurement Handbook and
Encyclopedia. Omega Inc, EE.UU., 1985
20. POPOV, E.P., Introducción a la Mecánica de Sólidos, México, Limusa,
1980.

21. SACA RUBÉN, PSPSAK, Programa para Cálculo de Resistencia y Eficiencia Propulsiva. FIMCM-ESPOL, 2005
22. SLADE Stuart, Kort Nozzles and Ducted Propellers. Naval Technical Board, www.navweaps.com, 1999
23. THORTEX, Cerami-Flex E.G. TX 14/0905. Technical Data Sheet. Inglaterra. 2005
24. TOWNSEND, PATRICK, Notas de clases de Introducción a los Sistemas de Pesca. FIMCM, ESPOL, Guayaquil, Ecuador, 2005.
25. VAN GENT W. y OOSTERVELD M.W.C., Ducted Propeller Systems and Energy Saving. Canal de Experiencias Hidrodinámicas El Pardo. Publicación N°108, Septiembre 1983
26. VECIANA F. J., Tipos de Pesca. Ed. Mediterránea, 1997
27. Watson T.C. & Sons, Propellers and Propulsive Efficiency. 2000