



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

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

**PRUEBAS EXPERIMENTALES PARA DETERMINAR LA INFLUENCIA DE
FLAPS EN LA RESISTENCIA AL AVANCE DE UNA LANCHA
PLANEADORA DE 11 METROS**

TESIS DE GRADO

Previa la obtención del Título de

INGENIERO NAVAL

Presentado por

Daniela Andrea Benites Muñoz

Guayaquil – Ecuador

2012

AGRADECIMIENTO

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

DEDICATORIA

A Dios y a mi madre por ser mis fuentes de inspiración. A mi padre y hermanas por su apoyo incondicional y por la constante motivación que me han brindado. A toda mi familia por ser mi pilar de vida diario, y a mis amigos por estar presentes en todo momento.

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de grado, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la Escuela Superior Politécnica del Litoral”.

(Reglamento de Exámenes y Títulos Profesionales de la ESPOL)



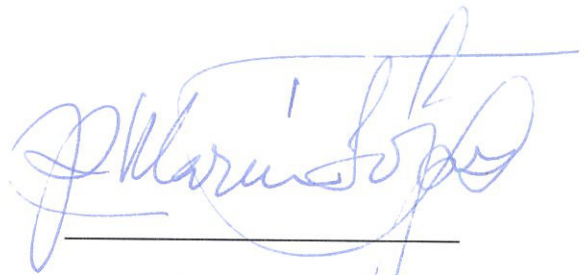
Daniela Andrea Benites Muñoz

TRIBUNAL DE GRADO



Marco Velarde Toscano, M.Sc.

Presidente del Tribunal



José R. Marín López, Ph. D.

Director de Tesis



Cristóbal Mariscal Díaz, M.Sc.

Miembro Principal

RESUMEN

Una embarcación es considerada de planeo cuando el número de Froude es superior a 1.2, y en esa condición el peso es soportado principalmente por las fuerzas de presión hidrodinámica. A su vez, una embarcación planeadora puede mejorar el comportamiento hidrodinámico con el uso de flaps que son extensiones del casco instaladas en el espejo. En este trabajo se determinó experimentalmente la influencia de flaps en la Resistencia al Avance de una lancha planeadora de 11 metros.

Para estimaciones de Resistencia de planeadores en nuestro medio comúnmente se usa el Método de Savitsky, y para este trabajo se implementó el Programa "Savitsky64Flaps", que permite incluir la influencia de flaps. En el año 2010 se construyeron localmente cuatro lanchas planeadoras de 11 metros y se tomó un modelo de 2 metros para los resultados empíricos, los cuales mostraron que es recomendable la instalación de flaps a 5° en el modelo para operar hasta los 13 nudos. Este valor corresponde a 31 nudos en la embarcación prototipo.

Para las pruebas experimentales se construyó un modelo y se lo haló desde una lancha en una zona de aguas tranquilas. Se colocaron dos sensores en la línea de crujía y hacia proa del modelo, con los cuales se adquirieron los datos de Ángulo de Asiento y Fuerza de halado a distintas velocidades. Las pruebas experimentales del modelo con los flaps a 5° presentaron una disminución de la Resistencia en un rango entre 5 y 9 nudos para la Condición de Carga 1. Esto es alrededor de 12 y 23 nudos en el prototipo.

A continuación, se compararon los resultados empíricos y experimentales del modelo, sin flaps y con ellos a 5° . Las tendencias de las curvas experimentales resultaron bastante similares a las curvas empíricas; se observa la presencia de un "hump", o valor máximo, alrededor de un Coeficiente de Velocidad de 1.5, lo que concuerda con Savitsky. Finalmente, mediante análisis dimensional se procedió a calcular la Resistencia Total al Avance del prototipo, y se determinó que el rango de velocidad en el cual resulta beneficioso instalar los flaps a 5° es de 12 a 23 nudos, para las dos Condiciones de Carga estudiadas.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	V
ÍNDICE GENERAL.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
ÍNDICE DE TABLAS.....	XV
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XIX
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1.- RESISTENCIA AL AVANCE DEL MODELO DE UNA LANCHAS PLANEADORA.....	4
1.1 DESCRIPCIÓN DE LA LANCHAS PLANEADORA PROTOTIPO.....	4
1.2 ADAPTACIÓN DE PROGRAMA “SAVITSKY64” PARA LANCHAS PLANEADORAS CON FLAPS.....	13
1.3 DETERMINACIÓN EMPÍRICA DE LA RESISTENCIA AL AVANCE DEL MODELO DE LANCHAS PLANEADORA.....	21
CAPÍTULO 2.- DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE LA RESISTENCIA AL AVANCE DEL MODELO DE UNA LANCHAS PLANEADORA CON Y SIN FLAPS.....	34
2.1 DESCRIPCIÓN DE LA PRUEBA EXPERIMENTAL.....	34

2.2 PRUEBAS EXPERIMENTALES DEL MODELO DE LANCHA PLANEADORA CON CONDICIÓN DE CARGA 1 (70.1 KG).....	42
2.3 PRUEBAS EXPERIMENTALES DEL MODELO DE LANCHA PLANEADORA CON CONDICIÓN DE CARGA 2 (91.9 KG).....	54
CAPÍTULO 3.- COMPARACIÓN DE RESULTADOS EMPÍRICOS Y EXPERIMENTALES.....	64
3.1 COMPARACIÓN DE RESULTADOS POR EL MÉTODO DE SAVITSKY Y PRUEBAS EXPERIMENTALES.....	64
3.2 DETERMINACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LOS FLAPS EN UNA LANCHA PLANEADORA.....	77
CONCLUSIONES.....	93
RECOMENDACIONES.....	97
ANEXOS.....	99
REFERENCIAS.....	134

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura No. 1 Plano de Líneas de Formas de Lancha Prototipo, [3]	7
Figura No. 2 Esquema de Instalación de la Propulsión de Lancha Prototipo, [8].....	8
Figura No. 3 Esquema de dimensiones de flaps brindado por fabricante, [8].	9
Figura No. 4 Flaps montados en Lancha Prototipo, [3].....	10
Figura No. 5 Plano de Distribución General, [3].....	12
Figura No. 6 Fuerzas y Momentos que actúan en una Lancha Planeadora, [4]	14
Figura No. 7 Ángulo de astilla muerta β , [4].....	14
Figura No. 8 Embarcación Planeadora con Flap	18
Figura No. 9 Condición de Carga 1 (70.1 kg), Gráfico Velocidad vs Asiento	27
Figura No. 10 Condición de Carga 1 (70.1 kg), Gráfico Velocidad vs Resistencia Total	28
Figura No. 11 Condición de Carga 2 (91.9 kg), Gráfico Velocidad vs Asiento	32
Figura No. 12 Condición de Carga 2 (91.9 kg), Gráfico Velocidad vs Resistencia Total	33
Figura No. 13 Conjunto de Brazo de Arrastre y Modelo para las Pruebas Experimentales	36

Figura No. 14 Esquema de Accesorios y Equipos utilizados para las Pruebas Experimentales	38
Figura No. 15 Accesorios y Equipos a utilizar para las Pruebas Experimentales	38
Figura No. 16 Velocidad de Lancha vs. Velocidad del Viento, Condición de Carga 1 con Modelo con Flaps a 5°	41
Figura No. 17 Curva de Velocidad vs. Asiento obtenida de las Pruebas Experimentales del Modelo en Condición de Carga 1	46
Figura No. 18 Curva de Velocidad vs. Resistencia al Avance obtenida de las Pruebas Experimentales en la Condición de Carga 1.....	50
Figura No. 19 Prueba Experimental con el Modelo sin Flaps en Condición de Carga 1	51
Figura No. 20 Prueba Experimental con el Modelo con Flaps a 5° en Condición de Carga 1	52
Figura No. 21 Prueba Experimental con el Modelo con Flaps a 10° en Condición de Carga 1	53
Figura No. 22 Curvas de Ángulo de Asiento vs. Velocidad con el Modelo en Condición de Carga 2	57
Figura No. 23 Curvas de Resistencia al Avance vs. Velocidad con el Modelo en Condición de Carga 2	60
Figura No. 24 Prueba Experimental con el Modelo sin Flaps en Condición de Carga 2	61

Figura No. 25 Prueba Experimental con el Modelo con Flaps a 5° en Condición de Carga 2	62
Figura No. 26 Prueba Experimental con el Modelo con Flaps a 10° en Condición de Carga 2	63
Figura No. 27 Resultados Empíricos (Método de Savitsky) y Experimentales de Asiento del Modelo en Condición de Carga 1	66
Figura No. 28 Resultados Empíricos (Método de Savitsky) y Experimentales de Resistencia al Avance del Modelo en Condición de Carga 1.....	69
Figura No. 29 Resultados Empíricos (Método de Savitsky) y Experimentales de Asiento del Modelo en Condición de Carga 2.....	72
Figura No. 30 Resultados Empíricos y Experimentales de la Resistencia al Avance del Modelo en Condición de Carga 2.....	74
Figura No. 31 Gráfico de Diferencia de Asiento vs. Coeficiente de Velocidad de Modelo con Condición de Carga 1	82
Figura No. 32 Gráfico de Diferencia de Asiento vs. Coeficiente de Velocidad de Modelo con Condición de Carga 2.....	82
Figura No. 33 Gráfico de Diferencia de Resistencia al Avance vs. Coeficiente de Velocidad de Modelo con Condición de Carga 1	83
Figura No. 34 Gráfico de Diferencia de Resistencia al Avance vs. Coeficiente de Velocidad de Modelo con Condición de Carga 2	84
Figura No. 35 Resultados de Resistencia al Avance de Lancha Planeadora Prototipo con Condición de Carga 1 (11.6 toneladas)	91

Figura No. 36 Resultados de Resistencia al Avance de Lancha Planeadora Prototipo con Condición de Carga 2 (15.3 toneladas)	92
Figura No. 37 Construcción de Modelo de Lancha Prototipo.....	102
Figura No. 38 Modelo con Flaps, visto desde la Popa.....	103
Figura No. 39 Vista Longitudinal de Modelo y Prototipo	104
Figura No. 40 Modelo realizado en Maxsurf	105
Figura No. 41 Plano de Líneas de Formas del Modelo.....	105
Figura No. 42 Curvas Hidrostáticas del Modelo.....	106
Figura No. 43 Peso de Modelo con Balanzas Digitales	107
Figura No. 44 Diagrama de Fuerzas de Modelo	107
Figura No. 45 Pesos calibrados para las Pruebas Experimentales	108
Figura No. 46 Modelo con Condición de Carga 1, 71.1 kg	109
Figura No. 47 Modelo con Condición de Carga 2, 91.9 kg	109
Figura No. 48 Influencia de VCG en el Ángulo de Asiento, τ	111
Figura No. 49 Influencia de VCG en la Resistencia Total al Avance	111
Figura No. 50 Pruebas Preliminares con Brazo de Arrastre de 2 m de Longitud	113
Figura No. 51 Brazo de Arrastre de 3.2 m acoplado a Lancha de Aluminio	114
Figura No. 52 Batería de 12 V e Inversor	116
Figura No. 53 Tarjeta de Adquisición OMEGA con cables de Celda de Carga conectados a la misma y a la Fuente de Poder	117

Figura No. 54 Arriba: Curva de Tensión. Abajo: Curvas de Inclinación Biaxial	117
Figura No. 55 Inclinómetro.....	118
Figura No. 56 Celda de Carga adaptada a “Tee” fija al Modelo.....	119
Figura No. 57 Medidor de Velocidad Swoffer, Modelo 2100.....	120
Figura No. 58 Anemómetro, Marca Ambient Weather, Modelo AR816A	121
Figura No. 59 Densímetro con agua de lago de ESPOL	122
Figura No. 60 Resultados de Asiento del Modelo sin flaps con Condición de Carga 1	127
Figura No. 61 Resultados de Escora del Modelo sin flaps con Condición de Carga 1	127
Figura No. 62 Resultados de Asiento del Modelo con flaps a 5° con Condición de Carga 1	127
Figura No. 63 Resultados de Escora del Modelo con flaps a 5° con Condición de Carga 1	128
Figura No. 64 Resultados de Asiento del Modelo con flaps a 10° con Condición de Carga 1	128
Figura No. 65 Resultados de Escora del Modelo con flaps a 10° con Condición de Carga 1	128
Figura No. 66 Resultados de Asiento del Modelo sin flaps con Condición de Carga 2	129

Figura No. 67 Resultados de Escora del Modelo sin flaps con Condición de Carga 2	129
Figura No. 68 Resultados de Asiento del Modelo con flaps a 5° con Condición de Carga 2	129
Figura No. 69 Resultados de Escora del Modelo con flaps a 5° con Condición de Carga 2	130
Figura No. 70 Resultados de Asiento del Modelo con flaps a 10° con Condición de Carga 2	130
Figura No. 71 Resultados de Escora del Modelo con flaps a 10° con Condición de Carga 2	130
Figura No. 72 Resultados de Resistencia al Avance del Modelo sin Flaps con Condición de Carga 1	132
Figura No. 73 Resultados de Resistencia al Avance del Modelo con Flaps a 5° con Condición de Carga 1	132
Figura No. 74 Resultados de Resistencia al Avance del Modelo con Flaps a 10° con Condición de Carga 1	132
Figura No. 75 Resultados de Resistencia al Avance del Modelo sin Flaps con Condición de Carga 2	132
Figura No. 76 Resultados de Resistencia al Avance del Modelo con Flaps a 5° con Condición de Carga 2	132
Figura No. 77 Resultados de Resistencia al Avance del Modelo con Flaps a 10° con Condición de Carga 2	132

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla No. I Características Principales de la Lancha Prototipo, [3].....	6
Tabla No. II Características Generales del Prototipo y del Modelo	22
Tabla No. III Datos de Ingreso para la Condición de Carga 1 (70.1 kg)	24
Tabla No. IV Resultados del Modelo sin flaps en Condición de Carga 1.....	24
Tabla No. V Resultados del Modelo con flaps a 5° en Condición de Carga	125
Tabla No. VI Resultados del Modelo con flaps a 10° en Condición de Carga 1	25
Tabla No. VII Datos de Ingreso para la Condición de Carga 2 (91.9 kg).....	29
Tabla No. VIII Resultados del Modelo sin flaps en Condición de Carga 2	30
Tabla No. IX Resultados Modelo con Flaps a 5° en Condición de Carga 2...	30
Tabla No. X Resultados Modelo con Flaps a 10° en Condición de Carga 2..	31
Tabla No. XI Resultados de Inclinación del Modelo sin Flaps en Condición de Carga 1	43
Tabla No. XII Resultados de Inclinación del Modelo con Flaps a 5° en Condición de Carga 1	43
Tabla No. XIII Resultados de Inclinación del Modelo con Flaps a 10° en Condición de Carga 1	44
Tabla No. XIV Resultados de Resistencia al Avance (Tensión) del Modelo sin Flaps en Condición de Carga 1.....	47

Tabla No. XV Resultados de Resistencia al Avance (Tensión) del Modelo con Flaps a 5° en Condición de Carga 1	47
Tabla No. XVI Resultados de Resistencia al Avance (Tensión) del Modelo con Flaps a 10° en Condición de Carga 1.....	48
Tabla No. XVII Resultados de Inclinación del Modelo sin Flaps en Condición de Carga 2.....	55
Tabla No. XVIII Resultados de Inclinación del Modelo con Flaps a 5° en Condición de Carga 2.....	55
Tabla No. XIX Resultados de Inclinación del Modelo con Flaps a 10° en Condición de Carga 2.....	56
Tabla No. XX Resultados de Resistencia al Avance (Tensión) del Modelo sin Flaps en Condición de Carga 2.....	58
Tabla No. XXI Resultados de Resistencia al Avance (Tensión) del Modelo con Flaps a 5° en Condición de Carga 2.....	58
Tabla No. XXII Resultados de Resistencia al Avance (Tensión) del Modelo con Flaps a 10° en Condición de Carga 2.....	59
Tabla No. XXIII Comparación de Curvas Empíricas y Experimentales de Asiento del Modelo en Condición de Carga 1, 70.1 kg.....	67
Tabla No. XXIV Comparación de Curvas Empíricas y Experimentales de Resistencia al Avance del Modelo en Condición de Carga 1, 70.1 kg.....	70
Tabla No. XXV Comparación de Curvas Empíricas y Experimentales de Asiento del Modelo en Condición de Carga 1, 91.9 kg.....	73

Tabla No. XXVI Comparación de Curvas Empíricas y Experimentales de Resistencia al Avance del Modelo en Condición de Carga 2, 91.9 kg.....	75
Tabla No. XXVII Influencia Empírica y Experimental de Flaps en el Asiento del Modelo con Condición de Carga 1.....	79
Tabla No. XXVIII Influencia Empírica y Experimental de Flaps en la Resistencia al Avance del Modelo con Condición de Carga 1.....	79
Tabla No. XXIX Influencia Empírica y Experimental de Flaps en el Asiento del Modelo con Condición de Carga 2.....	80
Tabla No. XXX Influencia Empírica y Experimental de Flaps en la Resistencia al Avance del Modelo con Condición de Carga 1.....	81
Tabla No. XXXI Resultados de Modelo y Prototipo sin flaps con Condición de Carga 1.....	89
Tabla No. XXXII Resultados de Modelo y Prototipo con flaps a 5° con Condición de Carga 1.....	89
Tabla No. XXXIII Resultados de Modelo y Prototipo sin flaps con Condición de Carga 2.....	90
Tabla No. XXXIV Resultados de Modelo y Prototipo con flaps a 5° con Condición de Carga 2.....	90
Tabla No. XXXV Dimensiones Principales del Modelo y de los Flaps.....	103
Tabla No. XXXVI Lista de Chequeo para Pruebas Experimentales.....	124
Tabla No. XXXVII Datos a adquirir durante las Pruebas.....	125
Tabla No. XXXVIII Valores Iniciales de Asiento y Escora.....	126

Tabla No. XXXIX Inicial en Pruebas Resistencia.....	131
---	-----

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A	Construcción y características de modelo de lancha planeadora.....	100
ANEXO B	Construcción y acople de brazo de arrastre.....	112
ANEXO C	Detalle de equipos.....	115
ANEXO D	Protocolo para las pruebas.....	123
ANEXO E	Resultados de las pruebas experimentales.....	126

INTRODUCCIÓN

El peso de una lancha cuando planea es soportado principalmente por la presión hidrodinámica, la cual produce una sustentación sobre la embarcación e influye en el ángulo de asiento, véase [1] y [2]; por ello, su casco debe diseñarse con formas prismáticas de tal manera que la presión dinámica cause una disminución en el calado con el aumento de la velocidad. En el caso de una lancha que ya esté construida, ¿cómo se podría mejorar el rendimiento de las formas del casco? Una solución sencilla sería la instalación de flaps, los cuáles son una prolongación del fondo del casco, adaptados al espejo de la embarcación para reducir el ángulo de asiento, disminuyendo de esta manera la resistencia al avance de la misma, como lo describen [3] y [4].

Es virtualmente imposible calcular analíticamente la resistencia al avance de un buque debido a la extrema complejidad de las ecuaciones diferenciales de la Conservación del Momentum de flujos viscosos. Por eso se procede a realizar estimaciones de esta fuerza en forma empírica, [1] y [3], y/o a determinarla de manera experimental, [5]. Actualmente en el país, no se dispone de un tanque de pruebas, por ello una alternativa podría ser el arrastre de modelos en una zona de aguas tranquilas mediante un sistema portátil acoplado a un bote.

En la empresa ASTINAVE en el año 2010 se construyeron cuatro lanchas rápidas prototipo de 32 nudos de velocidad máxima y 14.9 toneladas de desplazamiento a máxima carga. Luego de las primeras pruebas se tuvo que adaptar dos flaps en la popa para incrementar la sustentación de la embarcación. Aunque no se realizaron pruebas con modelos de estas lanchas, se cumplió el propósito de llegar e incluso sobrepasar la velocidad de diseño, [6]. Dado que la adaptación de los flaps fue recomendada informalmente por el fabricante del motor y del propulsor, convendría realizar una evaluación con modelos para medir la influencia de dichos apéndices en las lanchas planeadoras.

OBJETIVO GENERAL

Determinar experimentalmente la influencia de flaps en la resistencia al avance de una lancha planeadora de 11 metros de eslora de diseño local.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Aplicar el método de Savitsky para determinar la resistencia al avance del modelo de una lancha planeadora con influencia de flaps.

- Determinar experimentalmente la resistencia al avance del modelo de una lancha con flaps, variando el ángulo de ataque y la condición de carga.
- Comparar los resultados de la resistencia al avance obtenidos empíricamente con los obtenidos experimentalmente.

BENEFICIOS

Este trabajo servirá de consulta y concepto para futuros interesados en entender la operación de flaps, así como en el potencial aumento de la velocidad de lanchas rápidas ya construidas. Además, se podría aprovechar este trabajo para la adaptación de flaps desde el diseño preliminar de una embarcación planeadora.

CAPÍTULO 1

RESISTENCIA AL AVANCE DEL MODELO DE UNA LANCHAS PLANEADORA

1.1 Descripción de la Lancha Planeadora Prototipo

La lancha planeadora prototipo a ser analizada en este trabajo tiene 11 metros de eslora y está destinada a realizar labores de patrullaje en el Puerto de Guayaquil. Esta embarcación posee formas prismáticas desde la Sección Media, una china y ángulo de astilla muerta de 13°; además en el espejo tiene instalados dos extensiones del casco llamados flaps. La velocidad máxima que alcanza es de 32 nudos, utilizando dos propulsores con chorro de agua. Tanto el casco, como la caseta, fueron construidos de aluminio naval y tiene una habitabilidad para 2 personas.

En el año 2010 en la empresa Astinave se diseñaron y construyeron cuatro lanchas planeadoras de características similares, [6]. El diseño es el de una embarcación de bajo calado y de alta velocidad, cuyo desplazamiento estimado en la etapa de planificación fue de 9.52 toneladas y una vez completadas el desplazamiento final fue de 14.9 toneladas.

Una embarcación es considerada de planeo cuando el peso de la misma está soportado principalmente por las fuerzas de presión hidrodinámica, siendo la Fuerza de Boyantez poco importante y a grandes velocidades incluso despreciable, [4]. Al alcanzar o sobrepasar un coeficiente de velocidad C_v de alrededor de 0.50, $C_v = V/(gB_T)^{1/2}$, se observan los primeros efectos de la Fuerza Hidrodinámica, como por ejemplo, la disminución del área sumergida del espejo, [3]. En el caso de esta lancha prototipo estos primeros efectos de soporte hidrodinámico se deberían presentar alrededor de los 6 nudos de velocidad.

Según Savitsky, [3], en el caso de coeficientes de velocidad mayores de aproximadamente 1.5, una embarcación planeadora debe desarrollar las fuerzas dinámicas de sustentación, que resultarán en una elevación significativa del centro de gravedad. Además, se produce la emersión de la proa (asiento positivo) y el agua se desliza en forma tangencial al espejo. En

la lancha descrita en este subcapítulo esto se da alrededor de los 18 nudos de velocidad.

En la Tabla No. I se muestran las dimensiones y características principales de la embarcación mencionada, y que será parte del análisis desarrollado en este trabajo:

Eslora Total	11	metros
Manga Moldeada	3.80	metros
Puntal Moldeado	1.70	metros
Calado a Máxima Carga	0.74	metros
Desplazamiento Máximo	14.9	toneladas
Asiento	0.20	metros
Velocidad de Servicio	32	nudos
Capacidad Pasajeros en Cabina	10	personas
Capacidad Tripulantes	3	personas

Tabla No. I Características Principales de la Lancha Prototipo, [6]

La embarcación posee una china y sus formas son prismáticas desde la Sección Media hacia la popa. El ángulo de astilla muerta es de 13° y el costado tiene un ángulo de 11° respecto de la vertical. Hacia la proa las formas se afinan para que la Resistencia al Avance del casco a bajas velocidades disminuya, como se puede ver en el Plano de Líneas de Formas, Figura No. 1.

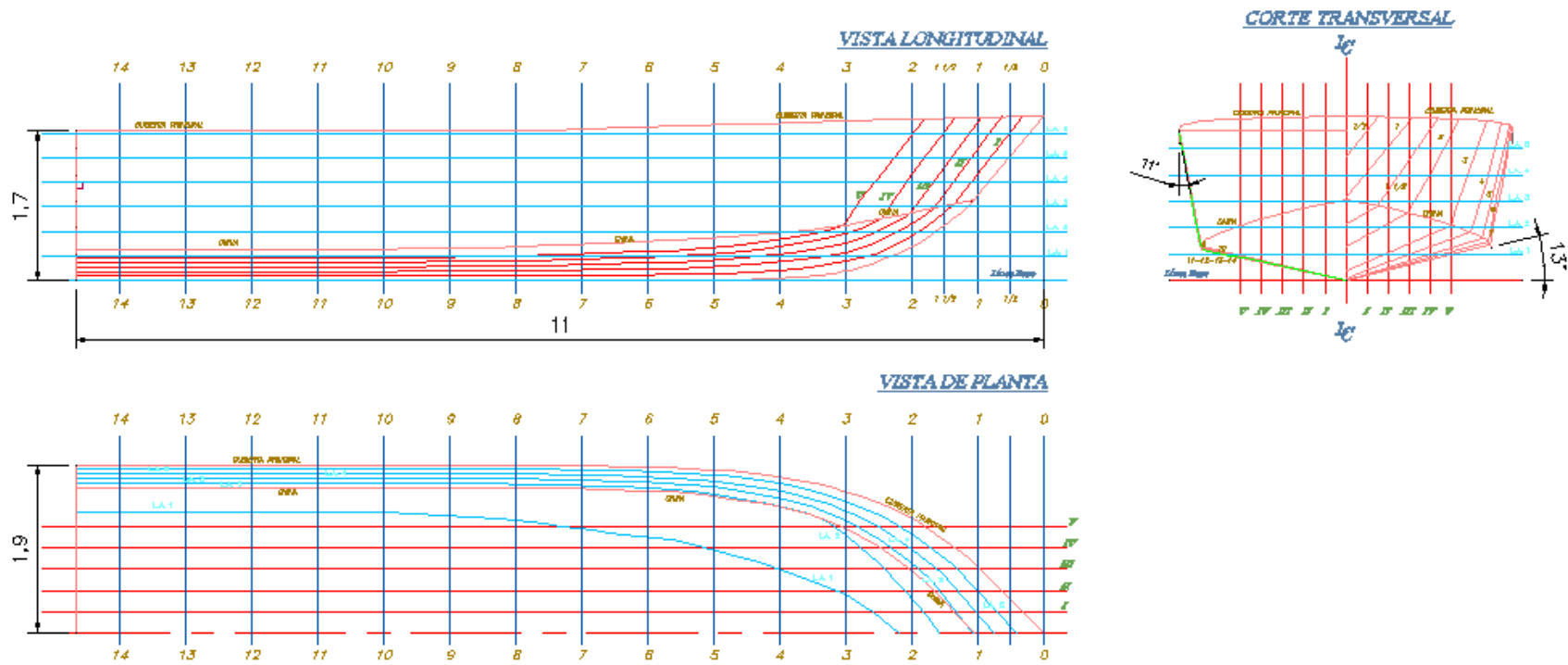


Figura No. 1 Plano de Líneas de Formas de Lancha Prototipo, [6]

Para la propulsión de la lancha se escogieron dos motores Cummins QSC 8.3, de 493 HP y 2600 RPM, acoplados a dos propulsores de chorro de agua Hamilton Jet HJ292 con un inversor (o multiplicador) instalado de 0.923:1 en cada banda, véase la Figura No. 2. El modelo HJ292 trabaja con una potencia de entrada máxima de 540 HP y en un rango máximo de 2650 – 3000 RPM. El motor y el equipo propulsor están montados horizontalmente en el fondo del casco, pero a diferente altura, siendo conectados por un cardán (línea de eje) que tiene una inclinación de 4° respecto de la línea base. La distancia vertical desde el fondo de la bomba hasta la línea de acción de la fuerza de empuje es de 0.29 m, como se puede ver en el Plano de Distribución General, Figura No. 5.

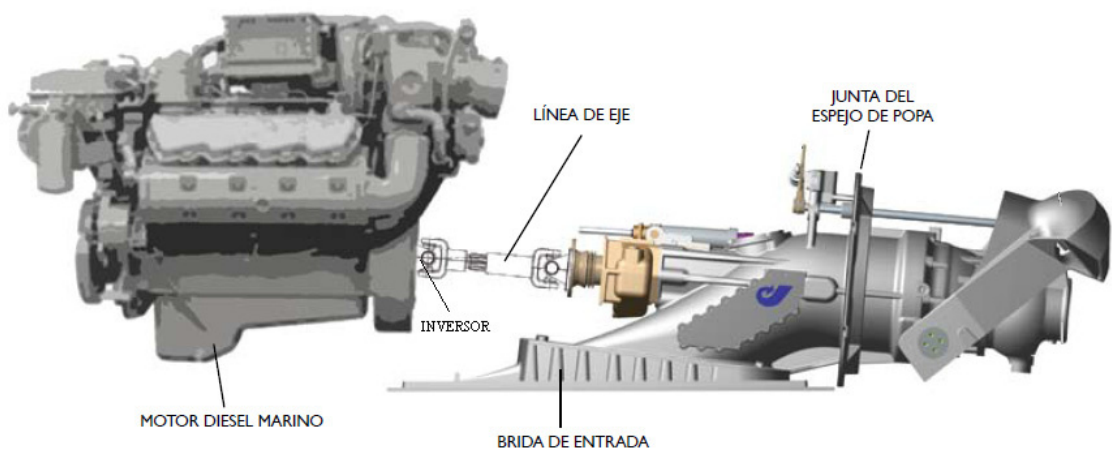


Figura No. 2 Esquema de Instalación de la Propulsión de Lancha Prototipo, [11]

En las primeras pruebas, la lancha no alcanzó la velocidad requerida y por esto se le colocaron dos flaps en el espejo, los cuáles son extensiones del fondo del casco, con la intención de mejorar el rendimiento del mismo. Los flaps recomendados por el fabricante para este determinado modelo de hidrojet tienen de ancho 0.95 m y de longitud 0.64 m, véase la Figura No. 3. Los flaps se montaron en el espejo de cada lancha, debajo de cada descarga de los “hidrojets” de tal forma que no interfieran con el chorro en reversa, véase la Figura No. 4.

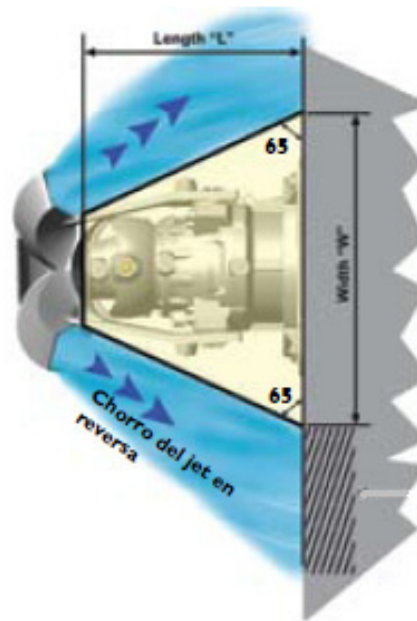


Figura No. 3 Esquema de dimensiones de flaps brindado por fabricante, [11]



Figura No. 4 Flaps montados en Lancha Prototipo, [6]

Reduciendo ligeramente el peso de la embarcación y con los flaps instalados durante las pruebas la lancha prototipo llegó a sobrepasar la velocidad requerida. Sin embargo, se presume que los flaps no influyeron en una mejoría del rendimiento del casco, puesto que éstos fueron instalados a un ángulo de inclinación de 0° . Como se verá más adelante en este trabajo, el método de Savitsky para calcular la resistencia al avance de embarcaciones planeadoras con flaps considera el ángulo de inclinación de los mismos, y éste debe ser mayor que 0° , [3].

La construcción del casco y de la superestructura de la lancha se realizó con aleación de aluminio naval 5086, ya que al ser una embarcación planeadora debe ser lo más liviana y resistente posible. La estructura tiene longitudinales de fondo tipo "L" de 2" x 2" x 3/16" con separación entre ellos de 0.48 m; las cuernas son tipo "L" de 2" x 2" x 3/16" con separación entre ellas de 0.75 m. El espesor en el fondo es de 3/16" (aprox. 5 mm).

La lancha tiene habitabilidad para dos personas; el camarote está ubicado en la zona de la proa bajo la cubierta principal y el baño se encuentra en la Sección Media en el área de pasajeros. Posee 3 tanques de combustible con una capacidad de 100 galones cada uno y 1 tanque de agua dulce con una capacidad de 99 galones, véase la Figura No. 5.

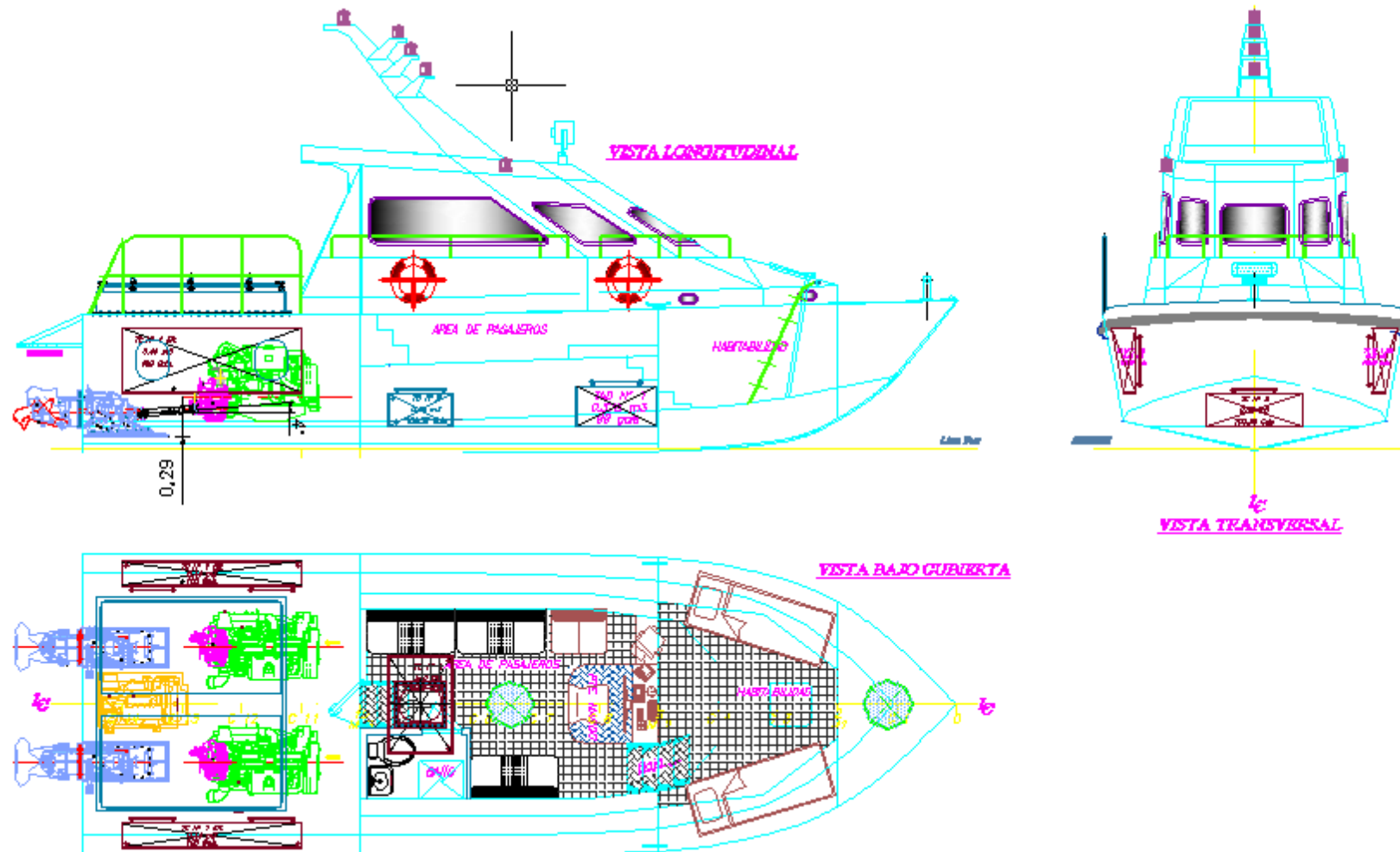


Figura No. 5 Plano de Distribución General, [6]

1.2 Adaptación de Programa “Savitsky64” para Lanchas Planeadoras con Flaps

Comúnmente, para realizar una estimación de la resistencia al avance en lanchas planeadoras se utiliza el método de Savitsky, [1], y en base a este trabajo se implementó el Programa “Savitsky64”, [7]. Dicha aplicación no considera el efecto de flaps, y por esto, se complementó el programa mencionado aplicando otro trabajo realizado por el mismo Savitsky en 1976, [3]. Este último programa de computación, llamado “Savitsky64Flaps”, calcula la resistencia total al avance de lanchas planeadoras, incluyendo la influencia de flaps.

En el año 1964, la Sociedad de Arquitectos Navales e Ingenieros Marinos (SNAME) publica un trabajo semiempírico del profesor Daniel Savitsky, [1], para calcular la Resistencia al Avance de embarcaciones planeadoras. En dicha investigación se describen las características hidrodinámicas que hay que considerar para predecir los requerimientos de resistencia, asiento e inestabilidad en el plano vertical en lanchas planeadoras de formas prismáticas, véanse las Figuras No. 6 y 7.

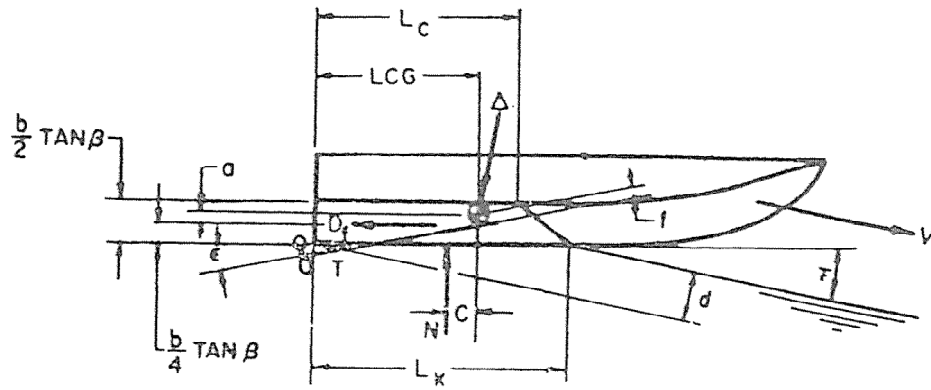


Figura No. 6 Fuerzas y Momentos que actúan en una Lancha Planeadora, [1]

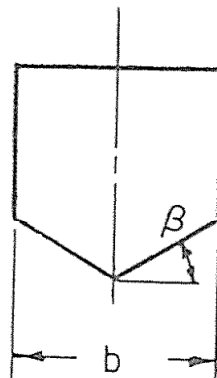


Figura No. 7 Ángulo de astilla muerta β , [1]

El método utilizado en [1] asume diferentes valores de ángulo de planeo (τ) para una determinada velocidad y los reemplaza en el siguiente conjunto de ecuaciones de equilibrio de fuerzas y momentos que actúan en un casco planeador:

$$\sum F_z = 0 \Rightarrow \Delta = N \cos \tau + T \sin(\tau + \varepsilon) - D_f \sin \tau$$

$$\sum F_x = 0 \Rightarrow T \cos(\tau + \varepsilon) = D_f \cos \tau + N \sin \tau$$

$$\sum M_y = 0 \Rightarrow Nc + D_f a - Tf = 0$$

donde:

- Δ Desplazamiento, kg
- N Fuerza Normal perpendicular a la superficie de planeo, kg
- T Empuje de la hélice, kg
- D_f Resistencia friccional, kg
- ε Inclinación de línea de propulsión respecto a la quilla, grados
- c Distancia entre el centroide de N y CG, medido perpendicularmente a N , m
- a Distancia entre el centroide de D_f y CG, medido perpendicularmente a D_f , m
- f Distancia entre T y CG, medido perpendicularmente a T , m

Las relaciones de equilibrio se combinan entre sí en la siguiente ecuación, y se la satisface mediante un proceso iterativo, tomando como variable el ángulo de planeo.

$$\Delta \left\{ \frac{[1 - \text{sen}\tau \text{sen}(\tau + \varepsilon)](LCG - C_p \lambda b)}{\text{cos}\tau} - f \text{sen}\tau \right\} + D_f \left(\left(VCG - \left(\frac{b}{4} \tan\beta \right) \right) - f \right) = 0$$

Finalmente, la Resistencia Total al Avance sin Flaps es la siguiente:

$$D_s = \frac{D_f}{\text{cos}\tau - \Delta \text{sen}\tau}$$

Un grupo de alumnos de la materia “Programación Aplicada I” de la Facultad de Ingeniería Marítima de la ESPOL desarrolló como proyecto de curso el programa “Savitsky64” con lenguaje Visual Fortran, [7]. Dicho programa emplea el método de Savitsky para calcular la Resistencia al Avance de embarcaciones planeadoras. Las variables de ingreso para utilizar esta aplicación son:

β	Ángulo de astilla muerta de superficie de planeo, grados
b	Manga de la china, m
∇	Volumen, m ³
LCG	Posición del Centro de gravedad longitudinal medido desde el espejo, m
VCG	Posición del Centro de gravedad vertical medido desde la quilla, m
V	Velocidad, nudos

Los resultados obtenidos para cada velocidad son:

τ	Ángulo de planeo, grados
λ	Razón de longitud mojada y manga, $\lambda = \frac{L_k + L_c}{2b}$
D_s	Resistencia total sin flaps, kg

En esta tesis, se realizó una adaptación al programa “Savitsky64” para que en su ejecución incluya la influencia de los flaps en la Resistencia al Avance; dicha adaptación se basó en otro trabajo de Savitsky del año 1976, [3], y al programa resultante se lo llamó “Savitsky64Flaps”. En el caso de embarcaciones planeadoras un flap se monta para optimizar el rendimiento del casco y disminuir la Resistencia al Avance a la velocidad de crucero, véase la Figura No. 8, tomada de la referencia mencionada:

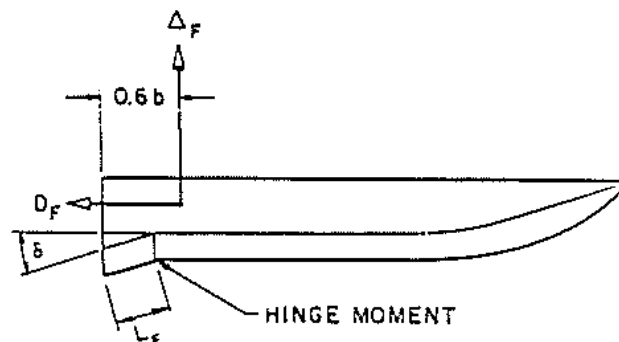


Figura No. 8 Embarcación Planeadora con Flap

Las dimensiones del flap que se consideran en los cálculos son:

- L_F Longitud de cuerda con valores de 0 a 10% de L_{pp}
- δ Angulo de inclinación del flap con valores de 0 a 15°
- σ Razón del ancho del flap a la manga

La fuerza desarrollada por un flap corresponde a un incremento en la sustentación, y Savitsky desarrolló la siguiente ecuación para estimarlo:

$$\Delta_F = 0.046L_F\delta\sigma b \left[\frac{\rho}{2} V^2 \right]$$

De manera que el Peso Efectivo se lo evalúa como:

$$\Delta_e = \Delta - \Delta_F$$

Así mismo, la posición longitudinal del centroide de la Fuerza Hidrodinámica desarrollada por el flap contribuye a cambiar la posición del Centro de Gravedad efectivo:

$$LCG_e = \frac{[\Delta(LCG) - 0.6b\Delta_F]}{\Delta_e}$$

Una vez implementados estos cambios, en forma iterativa se busca el equilibrio de fuerzas variando el ángulo de asiento. Finalmente, la Resistencia Total con la influencia de los flaps está dada por:

$$D = \Delta \tan \tau + \frac{C_f \lambda \rho V^2 b^2}{2 \cos \tau \cos \beta} + 0.0052 \Delta_F (\tau + \delta)$$

donde:

C_f Coeficiente de resistencia friccional, según ATTC

ρ Peso específico del agua, kg/m^3

1.3 Determinación Empírica de la Resistencia al Avance del Modelo de Lancha Planeadora

El cálculo empírico de la Resistencia al Avance para el modelo de la lancha planeadora se desarrolla utilizando el programa implementado “Savitsky64Flaps”: i) sin flaps y ii) con flaps a diferentes inclinaciones. Se consideraron dos condiciones de carga de la embarcación prototipo, 11.6 y 15.3 toneladas y un rango de velocidad de 12 a 31 nudos, que corresponden a 70.1 y 91.1 kg y de 5 a 13 nudos en el modelo. En la primera condición de carga se obtuvo una Resistencia al Avance de 11.5 kg a 13 nudos de velocidad sin flaps y una Resistencia al Avance de 10.8 kg a 13 nudos de velocidad con flaps con ángulo de inclinación de 5°.

Para realizar las pruebas experimentales de arrastre se construyó un modelo de la lancha planeadora prototipo, con madera “Cedro de Castilla”, cuya forma de construcción y características se detallan en el Anexo A de este trabajo. A continuación, se muestran las dimensiones generales del modelo y de la embarcación prototipo en la Tabla No. II.

	Prototipo	Modelo	
Eslora Total	11.00	2.00	metros
Manga	3.80	0.67	metros
Puntal	1.70	0.30	metros
Desplazamiento CC1	11600	70.10	kilogramos
Desplazamiento CC2	15300	91.90	kilogramos
Asiento Ligero	0.20	-0.02	metros
Ángulo de Astilla Muerta	13	16.70	grados
Longitud de Cuerda de Flap	0.64	0.13	metros
Ancho de Flap	0.95	0.31	metros
Razón de Aspecto (ancho de flap y manga)	0.56	1.00	metros/metros

Tabla No. II Características Generales del Prototipo y del Modelo

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

De acuerdo a la velocidad de operación de la lancha prototipo se determina que el rango de planeo de la misma para el presente trabajo empieza en 11.7 hasta la máxima de 30.5 nudos, que corresponden a 5 y 13 nudos en el modelo. Para las pruebas se consideran dos condiciones de carga de 70.1 y 91.9 kg, correspondientes a las de la embarcación planeadora de 11.6 y 15.3 toneladas, respectivamente. Estos valores corresponden a dos desplazamientos de la lancha prototipo.

El programa de computación "Savitsky64Flaps" puede ser aplicado cuando el valor del coeficiente de velocidad C_v , calculado para cascos planeadores, es superior a 1.5, [3]. En las dos condiciones de carga se observa que esto se presenta alrededor de los 7 nudos de velocidad, de manera que se espera que los resultados de dicho cálculo que sean aceptables.

La primera condición de carga analizada es de 70.1 kg. En esta condición, se incluyen los resultados del modelo sin y con flaps, con ángulos de inclinación de 5 y 10 grados. En la Tabla No. III se presentan los datos de ingreso al programa y en las Tablas No. IV, V y VI, los resultados obtenidos.

Δ	0.0701	m ³	Volumen
b	0.5840	m	Manga de China en el Espejo
β	16.7	°	Angulo de Astilla Muerta
LCG	0.72	m	Posición de Centro de Gravedad Longitudinal medido desde el Espejo
VCG	0.16	m	Posición de Centro de Gravedad Vertical
ϵ	4.31	°	Angulo empuje/quilla
f	0.28	m	Distancia Línea propulsión al CG
ρ	1000	kg/m ³	Densidad
v	0.939e-6	m ² /s	Viscosidad Cinemática

Tabla No. III Datos de Ingreso para la Condición de Carga 1 (70.1 kg)

V [kn]	V [m/s]	Asiento [grados]	Lambda, λ	C_v	Resistencia Flap [kg]	Resistencia Total [kg]
5.00	2.57	7.89	2.61	1.07	0.00	12.02
6.00	3.09	8.97	2.28	1.29	0.00	14.91
7.00	3.60	9.29	2.06	1.50	0.00	15.44
8.00	4.12	8.91	1.92	1.72	0.00	14.68
9.00	4.63	8.24	1.83	1.93	0.00	13.64
10.00	5.14	7.49	1.78	2.15	0.00	12.73
11.00	5.66	6.78	1.74	2.36	0.00	12.07
12.00	6.17	6.14	1.71	2.58	0.00	11.65
13.00	6.69	5.58	1.69	2.79	0.00	11.45

Tabla No. IV Resultados del Modelo sin flaps en Condición de Carga 1

V [kn]	V [m/s]	Asiento [grados]	Lambda, λ	C_v	Resistencia Flap [kg]	Resistencia Total [kg]
5.00	2.57	6.17	2.87	1.07	0.34	9.77
6.00	3.09	6.34	2.65	1.29	0.50	10.95
7.00	3.60	6.06	2.51	1.50	0.66	10.61
8.00	4.12	5.39	2.46	1.72	0.81	9.73
9.00	4.63	4.56	2.47	1.93	0.95	8.97
10.00	5.14	3.71	2.55	2.15	1.07	8.58
11.00	5.66	2.91	2.71	2.36	1.17	8.67
12.00	6.17	2.18	2.96	2.58	1.27	9.33
13.00	6.69	1.52	3.39	2.79	1.35	10.79

Tabla No. V Resultados del Modelo con flaps a 5° en Condición de Carga 1

V [kn]	V [m/s]	Asiento [grados]	Lambda, λ	C_v	Resistencia Flap [kg]	Resistencia Total [kg]
5.00	2.57	4.75	3.15	1.07	0.90	8.39
6.00	3.09	4.26	3.11	1.29	1.26	8.74
7.00	3.60	3.45	3.19	1.50	1.61	8.32
8.00	4.12	2.46	3.48	1.72	1.95	8.16
9.00	4.63	1.48	4.12	1.93	2.28	8.94
10.00	5.14	0.66	5.56	2.15	2.61	11.58
11.00	5.66	0.15	9.51	2.36	3.01	19.08
12.00	6.17	0.00	35.67	2.58	3.53	62.09

Tabla No. VI Resultados del Modelo con flaps a 10° en Condición de Carga 1

Según Savitsky-Brown, [3], el asiento máximo se da en el rango de 1.5 a 2 de C_v para el caso de cascos planeadores sin flaps, y esto ciertamente se da entre los 7 y 9.5 nudos de velocidad, véase la Tabla No. IV.

En la Tabla No. VI se puede observar que en este caso, con flaps a 10 grados, la razón de la longitud mojada y la manga (λ) se incrementa drásticamente a partir de los 10 nudos.

Con los resultados obtenidos del programa "Savitsky64Flaps" para la primera condición de carga se preparan los siguientes gráficos comparativos: Ángulo de Asiento con la Velocidad (Figura No. 9) y Resistencia Total con la Velocidad (Figura No. 10).

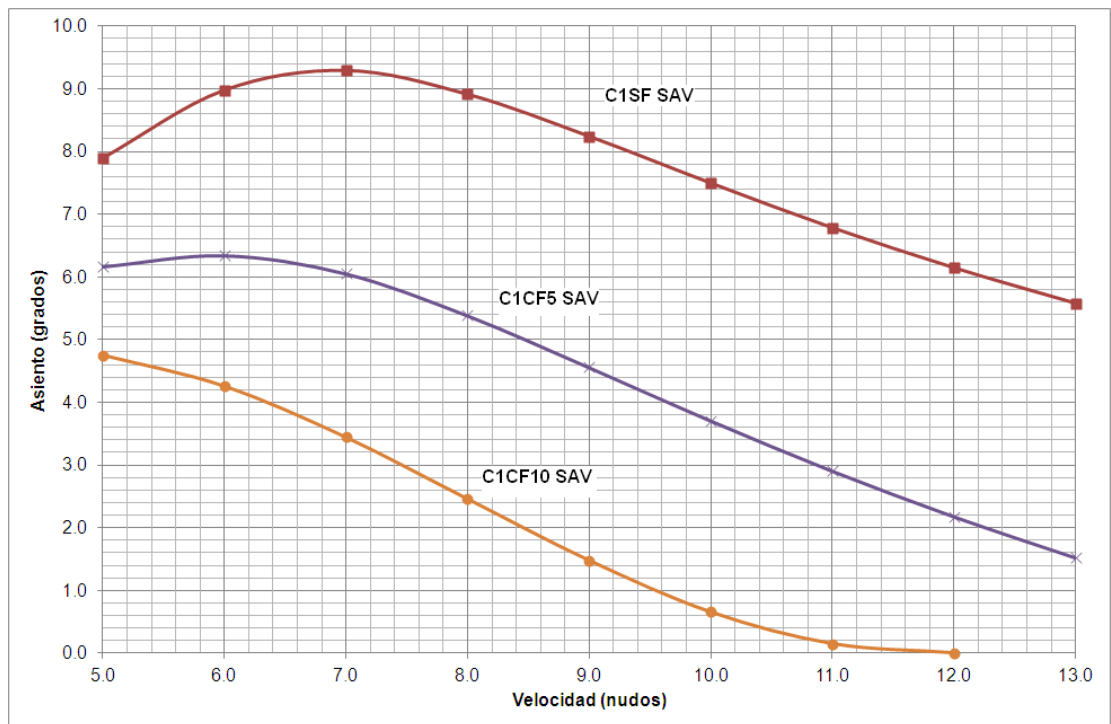


Figura No. 9 Condición de Carga 1 (70.1 kg), Gráfico Velocidad vs Asiento

En la Figura No. 9, se puede observar que al aumentar el ángulo del flap la curva del asiento de la lancha disminuye a tal punto, que el modelo, con un flap a 10° y a 12 nudos de velocidad, navega prácticamente paralelo a la línea de agua, es decir, con un ángulo de asiento nulo.

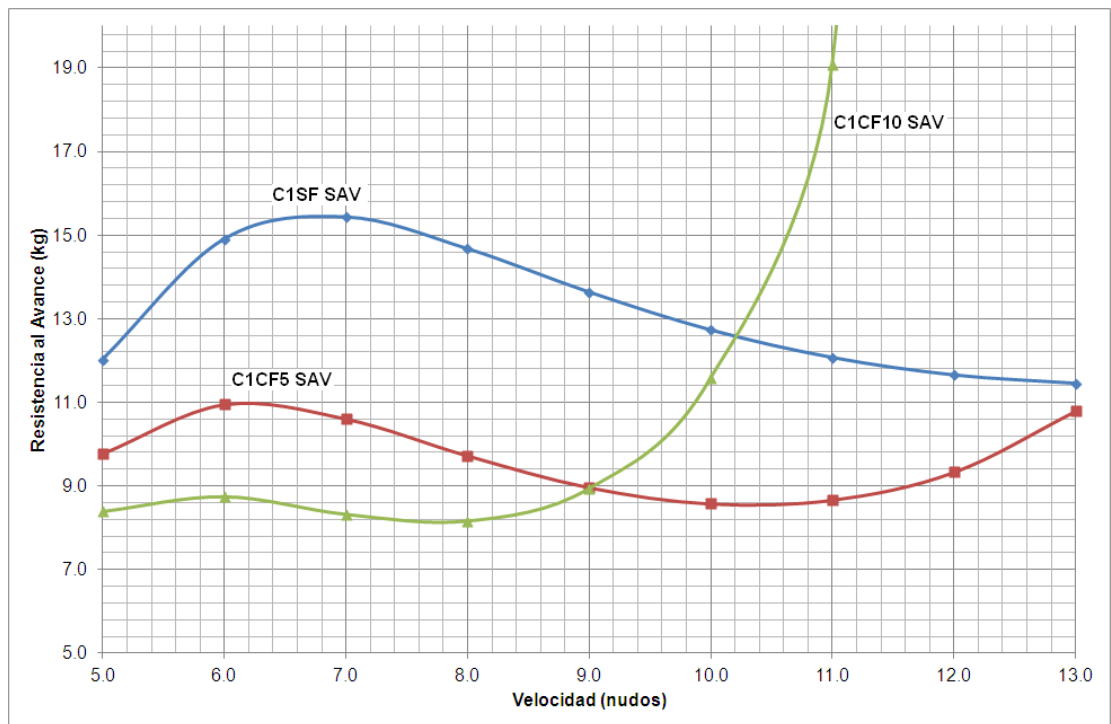


Figura No. 10 Condición de Carga 1 (70.1 kg), Gráfico Velocidad vs Resistencia Total

En la Figura No. 10, las curvas de la Resistencia Total con el flap a 5° y 10° respecto de la curva del modelo sin dicho apéndice, muestran que el rendimiento del casco mejora en ambos casos hasta alrededor de los 10 nudos de velocidad, respectivamente. La Resistencia con el flap a 10° se incrementa drásticamente desde aproximadamente los 8 nudos de velocidad. Se puede observar también que la tendencia de la curva de la Resistencia se desplaza hacia la izquierda y disminuye el “hump”, o valor máximo, cuánto mayor es el ángulo del flap.

Para la segunda condición de carga analizada, 91.9 kg, se considera el modelo sin y con flaps a 5° y 10° de inclinación. Los datos de ingreso al programa "Savitsky64Flaps" se presentan en la Tabla No. VII. A continuación, se muestran los resultados en las Tablas No. VIII, IX y X.

Δ	0.0919	m ³	Volumen
b	0.5840	m	Manga de China en el Espejo
β	16.7	°	Angulo de Astilla Muerta
LCG	0.75	m	Posición del Centro de Gravedad Longitudinal medido desde el Espejo
VCG	0.16	m	Posición del Centro de Gravedad Vertical
ϵ	4.31	°	Angulo empuje/quilla
f	0.28	m	Distancia Línea propulsión al CG
ρ	1000	kg/m ³	Densidad
v	0.939e-6	m ² /s	Viscosidad Cinemática

Tabla No. VII Datos de Ingreso para la Condición de Carga 2 (91.9 kg)

V [kn]	V [m/s]	Asiento [grados]	Lambda, λ	C_v	Resistencia Flap [kg]	Resistencia Total [kg]
5.00	2.57	8.98	2.77	1.07	0.00	17.04
6.00	3.09	10.33	2.42	1.29	0.00	22.08
7.00	3.60	10.89	2.17	1.50	0.00	23.38
8.00	4.12	10.59	2.02	1.72	0.00	22.29
9.00	4.63	9.85	1.92	1.93	0.00	20.46
10.00	5.14	8.99	1.86	2.15	0.00	18.73
11.00	5.66	8.16	1.82	2.36	0.00	17.35
12.00	6.17	7.39	1.79	2.58	0.00	16.34
13.00	6.69	6.71	1.77	2.79	0.00	15.65

Tabla No. VIII Resultados del Modelo sin flaps en Condición de Carga 2

V [kn]	V [m/s]	Asiento [grados]	Lambda, λ	C_v	Resistencia Flap [kg]	Resistencia Total [kg]
5.00	2.57	7.39	2.98	1.07	0.38	14.37
6.00	3.09	7.81	2.73	1.29	0.56	16.90
7.00	3.60	7.70	2.56	1.50	0.76	16.69
8.00	4.12	7.10	2.46	1.72	0.95	15.22
9.00	4.63	6.23	2.43	1.93	1.11	13.58
10.00	5.14	5.30	2.46	2.15	1.26	12.30
11.00	5.66	4.40	2.53	2.36	1.39	11.52
12.00	6.17	3.57	2.65	2.58	1.51	11.28
13.00	6.69	2.83	2.83	2.79	1.62	11.60

Tabla No. IX Resultados Modelo con Flaps a 5° en Condición de Carga 2

V [kn]	V [m/s]	Asiento [grados]	Lambda, λ	C_v	Resistencia Flap [kg]	Resistencia Total [kg]
5.00	2.57	6.04	3.21	1.07	0.98	12.52
6.00	3.09	5.75	3.09	1.29	1.39	13.54
7.00	3.60	5.08	3.06	1.50	1.81	12.68
8.00	4.12	4.13	3.16	1.72	2.21	11.48
9.00	4.63	3.06	3.41	1.93	2.59	10.80
10.00	5.14	2.02	3.91	2.15	2.94	11.16
11.00	5.66	1.10	4.91	2.36	3.29	13.15
12.00	6.17	0.41	7.17	2.58	3.67	18.47
13.00	6.69	0.07	13.60	2.79	4.17	33.36

Tabla No. X Resultados Modelo con Flaps a 10° en Condición de Carga 2

Como en la condición anterior, el valor máximo de asiento se encuentra en el rango de 1.5 a 2 de C_v , véase la Tabla No. VIII.

Con los resultados obtenidos del programa "Savitsky64Flaps" para la segunda condición de carga se realizan los siguientes gráficos comparativos: Ángulo de Asiento con la Velocidad (Figura No. 11) y Resistencia Total con la velocidad (Figura No. 12).

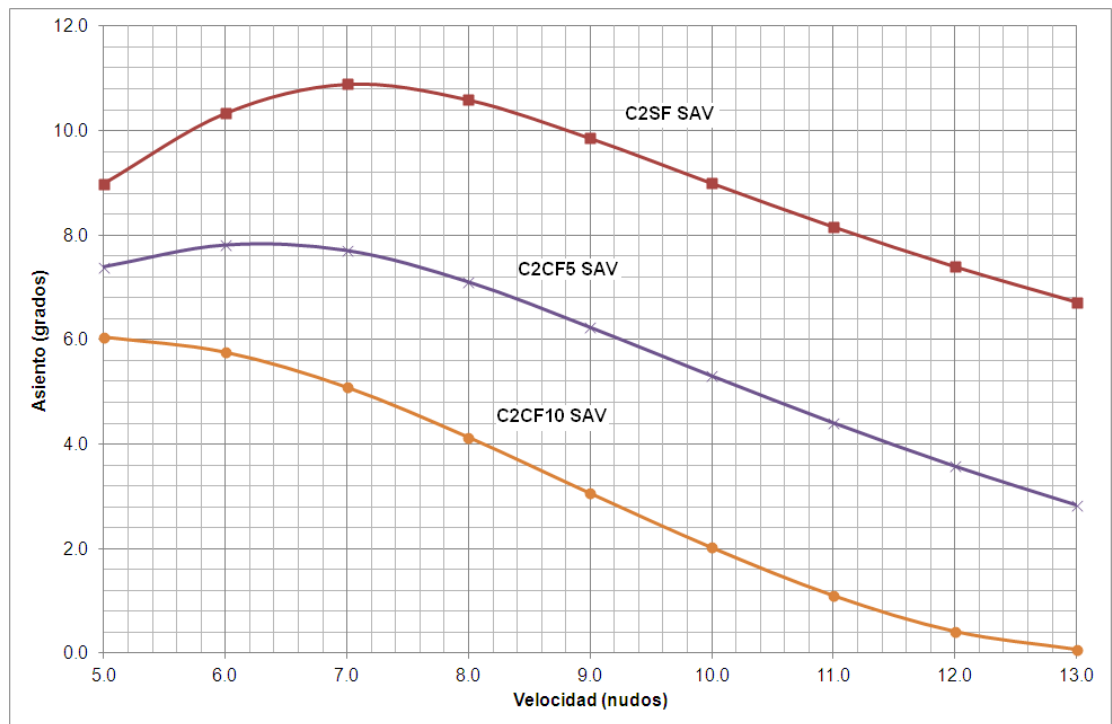


Figura No. 11 Condición de Carga 2 (91.9 kg), Gráfico Velocidad vs Asiento

En la Figura No. 11, se puede observar que a medida que el ángulo del flap aumenta, la curva del asiento de la lancha disminuye. Sin embargo, en esta condición los ángulos de planeo son ligeramente mayores respecto a los obtenidos en la primera condición de carga considerada. Se puede decir que, mientras mayor es el ángulo del flap el asiento resultante se reduce.

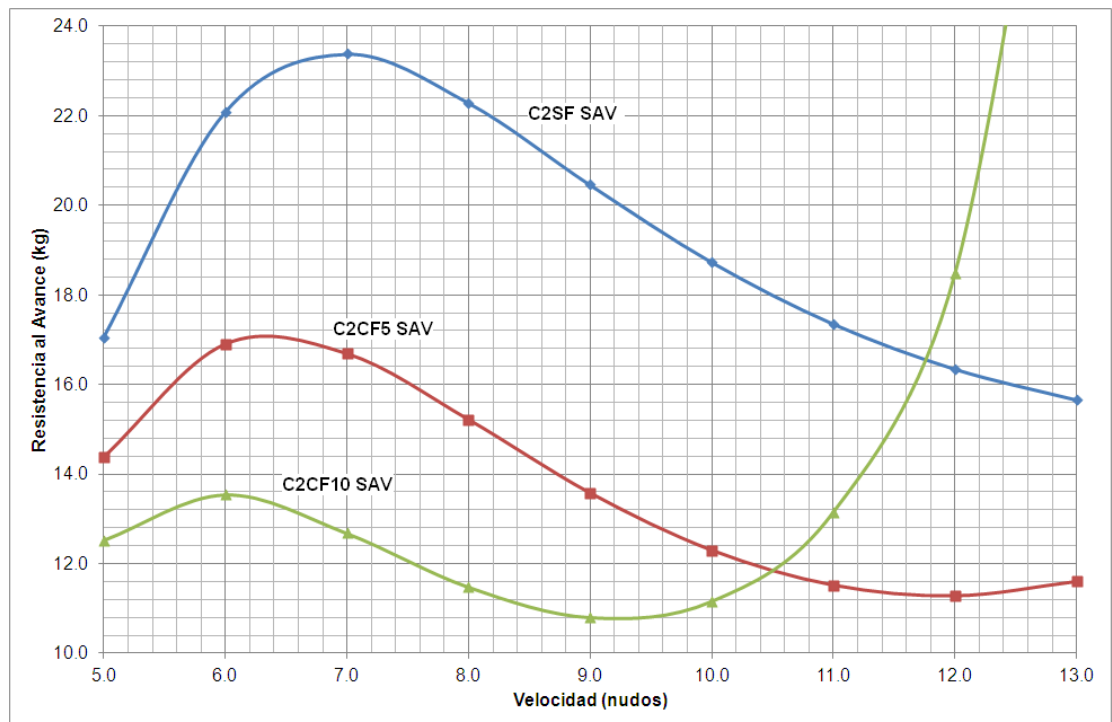


Figura No. 12 Condición de Carga 2 (91.9 kg), Gráfico Velocidad vs Resistencia Total

En la Figura No. 12, las curvas de la Resistencia Total con el flap a 5° y 10° respecto de la curva del modelo sin el mismo, muestran que el rendimiento del casco mejora hasta los 12 nudos de velocidad. La Resistencia con flaps a 10° sobrepasa la curva del modelo sin ellos alrededor de los 12 nudos. Al igual que en la primera condición de carga analizada, la curva de la Resistencia al avance se desplaza hacia la izquierda a medida que el ángulo del flap se incrementa, es decir, que el “hump”, o valor máximo ocurre a una menor velocidad.

CAPÍTULO 2

DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE LA RESISTENCIA AL AVANCE DEL MODELO DE UNA LANCHA PLANEADORA CON Y SIN FLAPS

2.1 Descripción de la Prueba Experimental

La prueba experimental realizada para este trabajo consiste en halar el modelo del prototipo desde una lancha y registrar versus tiempo la fuerza de tensión y el asiento del mismo para una cierta velocidad. En este subcapítulo se detalla el sistema utilizado para realizar dichas pruebas, el cual incluye: una lancha, un brazo de arrastre de 3.20 m, el modelo del prototipo, un inclinómetro, una celda de carga, un medidor de velocidad del agua, una tarjeta de adquisición de datos y un computador portátil para almacenar la información. En estas pruebas experimentales se registraron como datos

adicionales la velocidad del viento y la densidad del agua, para lo cual se utilizaron un anemómetro y un densímetro, respectivamente.

Localmente no se dispone de un tanque de pruebas con equipos de medición para realizar pruebas de Resistencia y Propulsión con modelos de embarcaciones, por lo que se procedió a buscar una alternativa para alcanzar los objetivos de esta tesis. La solución propuesta fue arrastrar el modelo desde una lancha que avanza a velocidad constante en una zona de aguas tranquilas y almacenar en un computador los datos adquiridos por los equipos colocados en el modelo durante la navegación.

Para arrastrar el modelo de la embarcación planeadora se utilizó una lancha de aluminio de 4.3 metros de eslora y un brazo de arrastre del mismo material de 3.2 metros de longitud. La lancha, propiedad de la Facultad de Ingeniería Marítima, Ciencias Biológicas, Oceánicas y Recursos Naturales (FIMCBOR), tiene formas finas y bajo desplazamiento; la propulsión se realizó con un motor fuera de borda Yamaha de 40 hp para llegar al rango de velocidad establecido para las pruebas, de 5 a 13 nudos. Otra característica significativa es que la lancha tiene una manga de 1.6 metros; con esto hay espacio suficiente para que 3 personas estén dentro de la lancha con los equipos necesarios durante las pruebas.

Para la construcción del brazo de arrastre del modelo se escogió la longitud de 3.2 metros para evitar que las olas de la lancha de aluminio influyeran en el comportamiento del modelo durante las pruebas, véase el Anexo B, en el que se muestran Pruebas Preliminares con un brazo más corto. La viga "C" del brazo de arrastre se fijó a la regala de la lancha de aluminio con unos tacos de madera y 2 pernos de 1" en cada lado. En el otro extremo del brazo tiene un vástago y con cabo se sujeta a la celda de carga colocada en el modelo, véase la Figura No. 13. Se instaló también un cable para graduar la inclinación del brazo y controlar la dirección de halado.

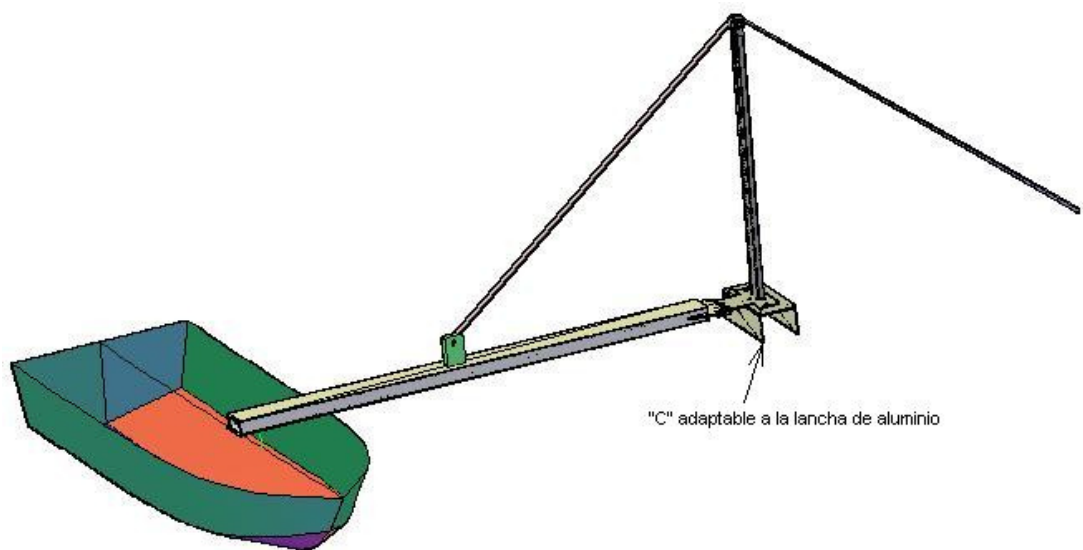


Figura No. 13 Conjunto de Brazo de Arrastre y Modelo para las Pruebas Experimentales

Los equipos utilizados en las pruebas experimentales son:

- i. una celda de carga
- ii. un inclinómetro
- iii. un medidor de velocidad del agua
- iv. una tarjeta de adquisición de datos
- v. un computador portátil para almacenar los datos
- vi. un densímetro, y,
- vii. un anemómetro.

Las características técnicas de estos equipos se encuentran en el Anexo C y a continuación se presenta un esquema y una foto del sistema armado para las Pruebas Experimentales, véanse las Figuras No. 14 y 15.

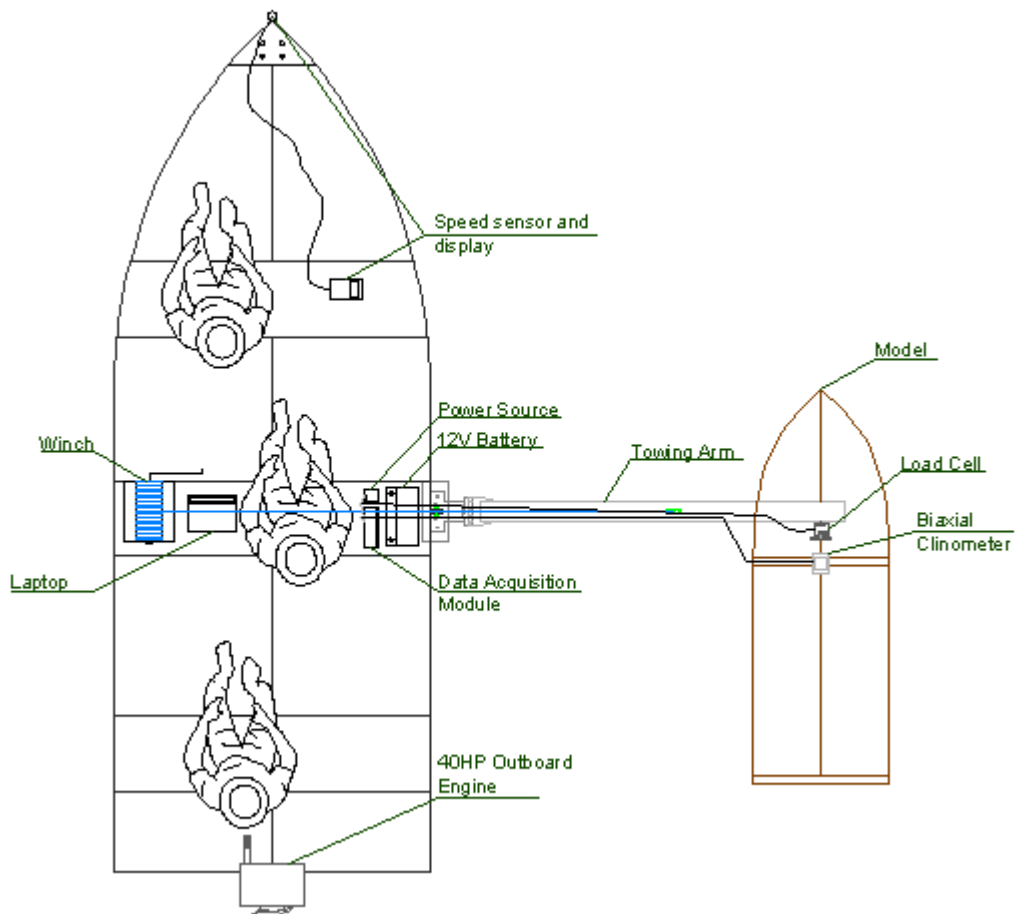


Figura No. 14 Esquema de Accesorios y Equipos utilizados para las Pruebas Experimentales

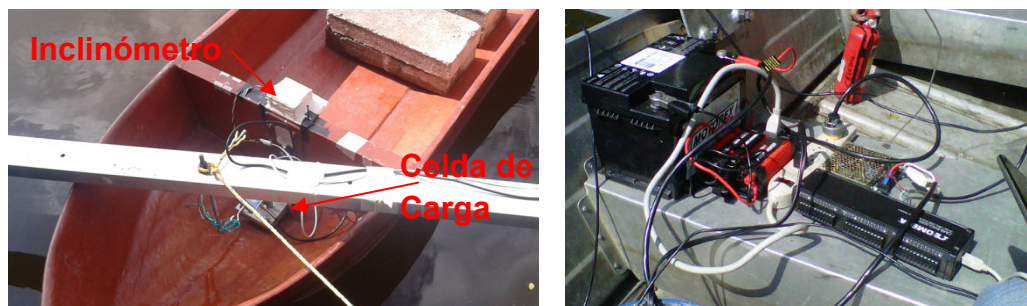


Figura No. 15 Accesorios y Equipos a utilizar para las Pruebas Experimentales

Una vez que todo el equipo está correctamente instalado y a bordo de la lancha se procede a iniciar las pruebas. La persona en la proa se encarga de anotar el tiempo de registro en cada prueba, y de verificar con el medidor de velocidad que ésta se mantenga constante por el tiempo de grabación. La persona en la Sección Media del bote se encarga del computador y de los equipos de medición, así como de obtener evidencia fotográfica de cada prueba. La persona en la popa se encarga de maniobrar el motor fuera de borda de 40 HP, manteniendo la velocidad constante por el tiempo necesario y en una ruta lo más recta posible. Durante el tiempo de registro se obtienen datos de la celda de carga y del inclinómetro colocados en el modelo, para posteriormente calcular los valores de Resistencia al Avance y Variación de Asiento, respectivamente. En el Anexo D se muestra el Protocolo utilizado para cada Prueba Experimental.

Para alcanzar la Condición de Carga 1, de 70.1 kg, se colocaron 4 bloques de aproximadamente 10 kg cada uno en el modelo; 2 bloques se ubicaron a 0.5 m de la popa y el resto a 0.7 m, obteniendo para esta condición un LCG de 0.72 m. Para la Condición de Carga 2, de 91.9 kg, se colocó otro bloque de las mismas características a 0.7 m y tres discos de: 0.5 kg, 1 kg y 5.7 kg a 0.9 m de la popa; el LCG en esta condición es de 0.75 m. Véase el Anexo A, en el cual se detallan las características del modelo durante las pruebas.

La primera prueba se realizó el 08 de julio de 2012 y en ésta se conectaron los instrumentos de medición de inclinación y de tensión; sin embargo, debido a un error en la adquisición de datos sólo se obtuvieron los resultados de inclinación de asiento y escora. Es por esto que se realizó una segunda prueba el jueves 12 de julio, en la que se obtuvieron los resultados de tensión.

La razón de registros por segundo empleada ("scan rate") fue de 120 en ambos días, lo que generó un total de 8400 resultados para las pruebas que duraron un minuto. Sin embargo, ciertas pruebas se las realizó en menos tiempo debido a que por la velocidad de la lancha y el choque entre el brazo de arrastre y el agua, esta última ingresaba dentro del modelo, aumentando su desplazamiento. Esto se presentó principalmente en las pruebas del modelo con los flaps instalados, ya que el ángulo de asiento era menor que en el caso del modelo sin flaps, y facilitaba que esto ocurra, complicando la prueba.

Los resultados de inclinación transversal fueron bastante cercanos a 0 grados, es decir, que el modelo no tuvo escora significativa durante las pruebas realizadas. Estos resultados se pueden observar en las tablas con

el resumen de los registros obtenidos, en los subcapítulos 2.2 y 2.3, así como en el Anexo E, que contiene todos los datos adquiridos.

Las mediciones del viento se realizaron con una frecuencia de 15 segundos en cada prueba, para luego proceder a promediar dichos valores. A continuación, se muestra una gráfica con los resultados de Velocidad de la Lancha vs. Velocidad del Viento en la Condición de Carga 1 y con Flaps a 5° de inclinación, véase la Figura No. 16. Para los resultados de velocidad de viento en todas las pruebas revisar el Anexo E.

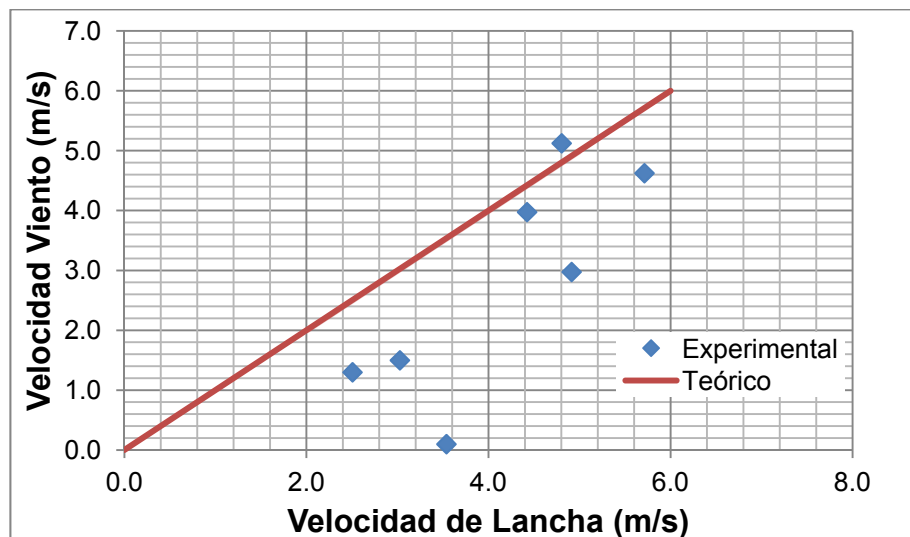


Figura No. 16 Velocidad de Lancha vs. Velocidad del Viento, Condición de Carga 1 con Modelo con Flaps a 5°

2.2 Pruebas Experimentales del Modelo de Lancha Planeadora con Condición de Carga 1 (70.1 kg)

Estas pruebas se realizaron con el modelo sin los flaps y con ellos a 5 y 10 grados en la Condición de Carga 1, de 70.1 kg, en un rango de velocidad desde 5 hasta 11 nudos que corresponden a 12 y 26 nudos del prototipo. En la prueba del modelo sin flaps se obtuvo una Resistencia al Avance de 11.64 kg a 10.22 nudos, y con los flaps a 5°, una Resistencia de 11.02 kg alrededor de la misma velocidad (9.65 nudos). Con los flaps colocados a 10°, el ángulo de asiento registrado es casi nulo (entre 1 y 2 grados) en la prueba del modelo en esta Condición de Carga.

A continuación, se presentan las tablas con los resultados de: densidad y temperatura del agua, velocidad promedio de la lancha (VPL), tiempo de prueba (T), velocidad promedio del viento (VPV), inclinación transversal (Escora) e inclinación longitudinal (Asiento), adquiridos en el primer día de pruebas experimentales con el modelo con Condición de Carga 1, 70.1 kg. El detalle de los registros obtenidos se puede encontrar en el Anexo F de este trabajo. La Tabla No. XI muestra los resultados del modelo sin flaps, mientras las Tablas No. XII y XIII presentan los resultados del modelo con los flaps a 5 y 10 grados, respectivamente.

Densidad del Agua:			1.00	kg/m ³	
Temperatura del Agua:			25	°C	
Asiento Inicial:			3.69	grados [°], por pp	
Escora Inicial:			-0.52	grados [°]	
VPL [m/s]	VPL [nudos]	T [s]	VPV [m/s]	Escora [°]	Asiento [°]
2.68	5.21	60	3.35	-0.10	9.97
3.63	7.06	60	0.23	-0.22	11.12
4.74	9.21	60	5.33	0.36	11.12
5.81	11.29	30	6.60	0.32	11.01

Tabla No. XI Resultados de Inclinación del Modelo sin Flaps en Condición de Carga 1

Densidad del Agua:			1.00	kg/m ³	
Temperatura del Agua:			25	°C	
Asiento Inicial:			0.56	grados [°], por pp	
Escora Inicial:			-0.42	grados [°]	
VPL [m/s]	VPL [nudos]	T [s]	VPV [m/s]	Escora [°]	Asiento [°]
2.51	4.88	60	1.30	-0.55	7.10
3.03	5.89	60	1.50	-0.64	6.57
3.54	6.88	45	0.10	-0.80	6.60
4.42	8.59	55	3.98	-0.81	7.96
4.80	9.33	55	5.13	-0.93	9.04
4.91	9.55	40	2.98	-1.03	9.41
5.71	11.10	40	4.63	-1.05	12.87

Tabla No. XII Resultados de Inclinación del Modelo con Flaps a 5° en Condición de Carga 1

Densidad del Agua:			1.00	kg/m ³	
Temperatura del Agua:			25	°C	
Asiento Inicial:			0.56	grados [°], por pp	
Escora Inicial:			-0.52	grados [°]	
VPL [m/s]	VPL [nudos]	T [s]	VPV [m/s]	Escora [°]	Asiento [°]
2.75	5.35	60	1.88	-0.74	4.56
3.93	7.64	60	1.28	-0.40	4.82
4.85	9.43	50	4.25	-1.12	4.78

Tabla No. XIII Resultados de Inclinación del Modelo con Flaps a 10° en Condición de Carga 1

En la Figura No. 17 se muestran los resultados experimentales y las curvas de tendencias polinómicas obtenidas del Ángulo de Asiento durante las pruebas en la Condición de Carga 1 (70.1 kg) en un rango de velocidad de 4 a 12 nudos de velocidad. En esta gráfica se puede observar que mientras mayor es el ángulo del flap los ángulos de asiento son menores, y que incluso a 10 grados, estos valores se mantienen pequeños (entre 1 y 2 grados).

En la misma Figura No. 17 se puede también observar que, en la curva del modelo sin flap, "C1SF E", se produce un ángulo máximo entre los 7 y 9 nudos de velocidad, lo que se denomina "hump". En la curva del modelo con flaps a 5°, "C1CF5 E", este "hump" se presenta antes de la primera velocidad registrada; y en el caso del modelo con flaps a 10°, "C1CF10 E", no es posible apreciarlo.

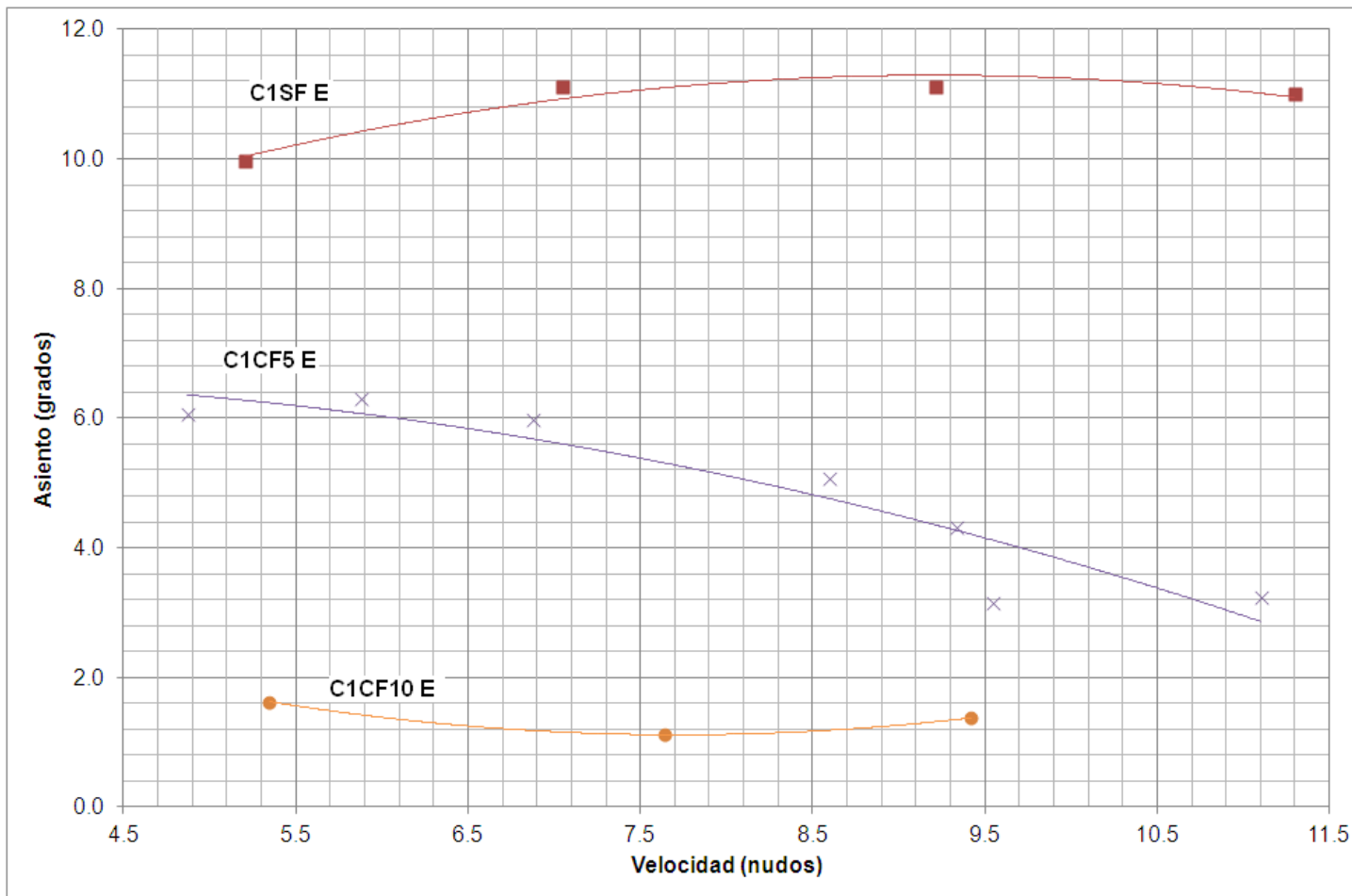


Figura No. 17 Curva de Velocidad vs. Asiento obtenida de las Pruebas Experimentales del Modelo en Condición de Carga 1

Finalmente, tenemos los resultados de Resistencia al Avance obtenidos en el segundo día de pruebas. Las siguientes tablas muestran los resultados de: velocidad promedio de la lancha [VPL], tiempo de duración de la prueba [T] y la Resistencia al Avance [Tensión]. La Tabla No. XIV presenta los registros del modelo sin flaps, y las Tablas XV y XVI los del modelo con flaps a 5° y 10°, respectivamente.

VPL [m/s]	VPL [nudos]	T [s]	Tensión [kg]
2.79	5.42	60	10.53
3.52	6.84	60	11.64
5.26	10.22	60	11.50
6.20	12.04	50	11.29

Tabla No. XIV Resultados de Resistencia al Avance (Tensión) del Modelo sin Flaps en Condición de Carga 1

VPL [m/s]	VPL [nudos]	T [s]	Tensión [kg]
2.56	4.98	60	9.57
3.91	7.60	60	10.05
4.96	9.64	50	11.02
5.13	9.97	40	14.11

Tabla No. XV Resultados de Resistencia al Avance (Tensión) del Modelo con Flaps a 5° en Condición de Carga 1

VPL [m/s]	VPL [nudos]	T [s]	Tensión [kg]
2.39	4.65	60	7.16
3.88	7.54	60	7.57
4.55	8.85	50	6.40

Tabla No. XVI Resultados de Resistencia al Avance (Tensión) del Modelo con Flaps a 10° en Condición de Carga 1

En la Figura No. 18 se presentan las curvas de tendencia a partir de los valores de la Resistencia al Avance en las Pruebas realizadas en la Condición de Carga 1 (70.1 kg). En esta gráfica se muestra que la Resistencia al Avance disminuye drásticamente a medida que el ángulo del flap aumenta. Sin embargo, la curva de Resistencia con el modelo con flaps a 5 grados "C1CF5 E" se incrementa notablemente a partir de los 7 nudos de velocidad. En la curva del modelo sin flaps "C1SF E" se presenta un valor máximo o "hump" entre los 6 y 10 nudos de velocidad, lo que significa que en ese rango ocurrió la sustentación del modelo del prototipo planeador; en las curvas del modelo con los flaps parece que esto ocurre antes de la primera lectura de velocidad.

Por inconvenientes de ingreso de agua dentro del modelo, ocasionando un aumento considerable de su desplazamiento, se tuvo que realizar menos pruebas (y de menor tiempo de duración) en los casos del modelo con flaps. Es por esto también, que no fue posible disponer de información para velocidades altas con los flaps a 10° .

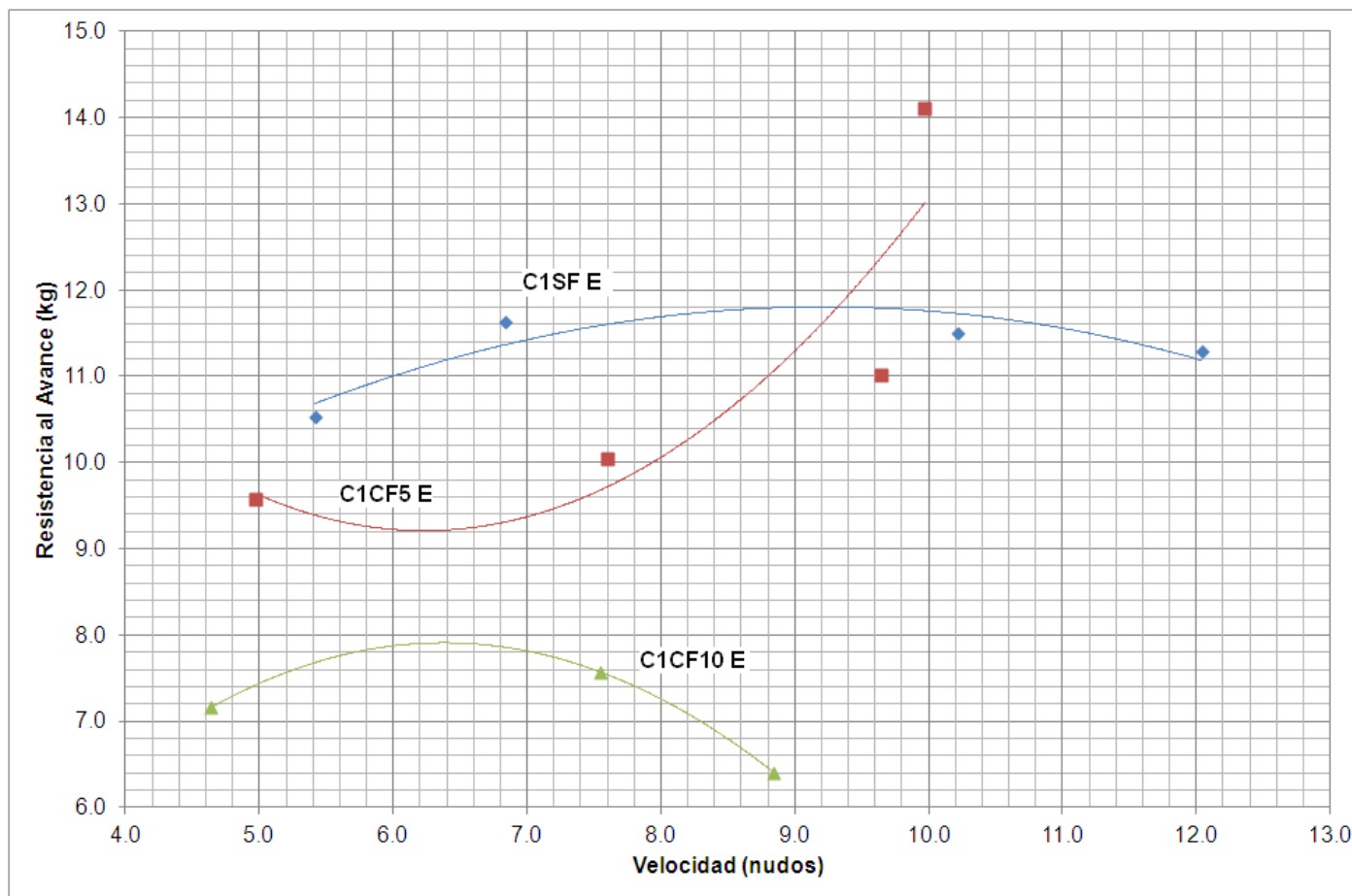


Figura No. 18 Curva de Velocidad vs. Resistencia al Avance obtenida de las Pruebas Experimentales en la Condición de Carga 1

A continuación se presentan 3 imágenes mostrando el comportamiento del modelo en la Condición de Carga 1 (70.1 kg) con y sin flaps, durante las pruebas, a distintas velocidades. En la Figura No. 19 se muestra la prueba sin flaps; en las cuales se aprecia el aumento del ángulo de asiento al aumentar la velocidad. A 9.2 nudos la elevación e incremento de asiento del modelo hacen que el agua ingrese recién en la Sección Media.



Figura No. 19 Prueba Experimental con el Modelo sin Flaps en Condición de Carga 1

En la Figura No. 20 se presentan imágenes del modelo en Condición de Carga 1 y con los flaps instalados a 5° , en las que se puede observar que el modelo navega con un bajo ángulo de asiento. A altas velocidades el agua ingresa al modelo e incluso se observa que la estela de la lancha de aluminio comienza a afectar el modelo.

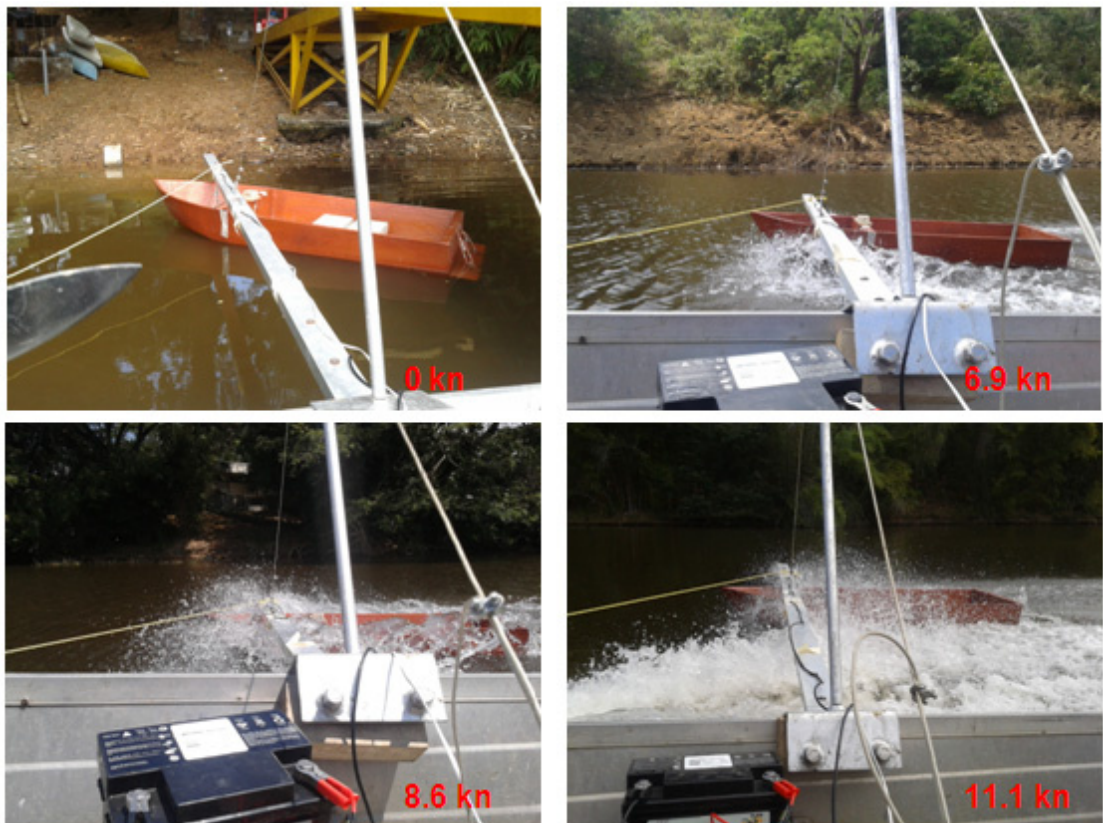


Figura No. 20 Prueba Experimental con el Modelo con Flaps a 5° en Condición de Carga 1

Con los flaps instalados a 10° del fondo del casco del modelo, los inconvenientes de entrada de agua mencionados previamente, aumentan, véase la Figura No. 21. En la imagen de la prueba a 9.4 nudos de velocidad, la interferencia entre la lancha y el modelo es muy notoria.



Figura No. 21 Prueba Experimental con el Modelo con Flaps a 10° en Condición de Carga 1

2.3 Pruebas Experimentales del Modelo de Lancha Planeadora con Condición de Carga 2 (91.9 kg)

Para las pruebas en la Condición de Carga 2, de 91.9 kg, se realizó con el modelo sin los flaps, y, con los flaps a 5 y 10 grados, en un rango de velocidad desde 5 hasta 12 nudos que corresponden a 12 y 29 nudos del prototipo. En la prueba del modelo sin flaps se obtuvo una Resistencia al Avance de 16.11 kg a 7.52 nudos, y, con los flaps a 5°, una Resistencia de 14.25 kg a la misma velocidad (7.97 nudos). En la prueba en esta Condición de Carga con el modelo con los flaps colocados a 10°, el ángulo de asiento se mantiene cerca de 5°.

A continuación, se presentan las tablas con los resultados de: densidad y temperatura del agua, velocidad promedio de la lancha (VPL), tiempo de prueba (T), velocidad promedio del viento (VPV), inclinación transversal (Escora) e inclinación longitudinal (Asiento), obtenidos en las primeras Pruebas Experimentales y con el modelo con Condición de Carga 2, de 91.9 kg. El detalle de los resultados adquiridos se puede encontrar en el Anexo F del presente trabajo. A continuación, se presentan las tablas con el resumen de los registros obtenidos en estas pruebas con el modelo sin flaps, véase la Tabla No. XVII, y con los flaps instalados a 5 y 10 grados, véanse las Tablas No. XVIII y XIX.

Densidad del Agua:			1.00	kg/m ³	
Temperatura del Agua:			25	°C	
Asiento Inicial:			4.74	grados [°], por pp	
Escora Inicial:			0.10	grados [°]	
VPL [m/s]	VPL [nudos]	T [s]	VPV [m/s]	Escora [°]	Asiento [°]
2.78	5.40	60	2.98	0.63	10.48
3.75	7.29	60	0.43	0.58	12.05
5.18	10.07	50	5.20	0.75	12.36
6.23	12.11	55	2.57	0.87	10.17

Tabla No. XVII Resultados de Inclinación del Modelo sin Flaps en Condición de Carga 2

Densidad del Agua:			1.00	kg/m ³	
Temperatura del Agua:			25	°C	
Asiento Inicial:			0.13	grados [°], por pp	
Escora Inicial:			-0.69	grados [°]	
VPL [m/s]	VPL [nudos]	T [s]	VPV [m/s]	Escora [°]	Asiento [°]
2.73	5.31	60	1.58	-0.44	7.73
3.17	6.16	60	2.60	-0.68	7.44
4.65	9.04	55	3.20	-0.71	6.04
5.50	10.69	45	4.38	-0.87	4.57

Tabla No. XVIII Resultados de Inclinación del Modelo con Flaps a 5° en Condición de Carga 2

Densidad del Agua:			1.00	kg/m ³	
Temperatura del Agua:			25	°C	
Asiento Inicial:			0.03	grados [°], por pp	
Escora Inicial:			-0.69	grados [°]	
VPL [m/s]	VPL [nudos]	T [s]	VPV [m/s]	Escora [°]	Asiento [°]
2.56	4.98	60	1.60	-0.44	4.57
3.74	7.27	60	2.15	-0.87	6.63
4.20	8.16	60	2.40	-0.68	4.30
5.00	9.72	50	4.95	-0.71	4.82

Tabla No. XIX Resultados de Inclinación del Modelo con Flaps a 10° en Condición de Carga 2

En la Figura No. 22 se muestran las curvas de Asiento vs. Velocidad del modelo con Condición de Carga 2, obtenidas durante el primer día de pruebas. En esta gráfica se verifica que mientras mayor es el ángulo de los flaps instalados, menor es el ángulo de asiento. El valor máximo, o “hump”, en la prueba del modelo sin flaps, “C2SF E”, se presenta alrededor de los 8.5 nudos de velocidad, mientras que en la prueba con flaps a 5°, “C2CF5 E”, parece que se presenta antes de la primera velocidad registrada. En el caso del modelo con flaps a 10°, “C2CF10 E”, este asiento máximo se presenta alrededor de los 7.5 nudos de velocidad.

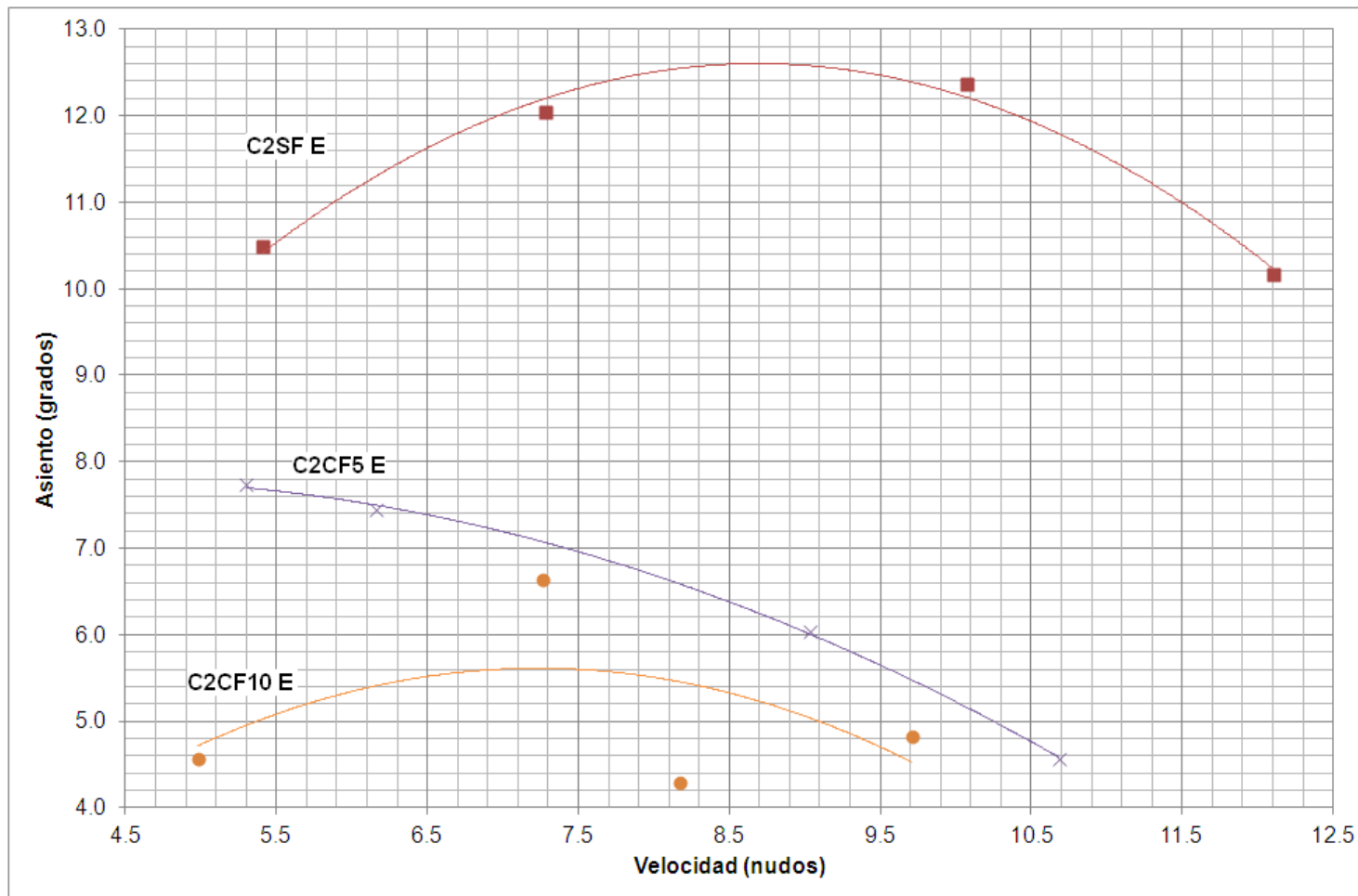


Figura No. 22 Curvas de Ángulo de Asiento vs. Velocidad con el Modelo en Condición de Carga 2

El resumen de los registros de Resistencia al Avance, obtenidos en el segundo día de pruebas se presenta en las siguientes tablas. En cada tabla se muestran los resultados de: velocidad promedio de la lancha (VPL), tiempo de la prueba (T) y Resistencia al Avance (Tensión). En la Tabla No. XX se observan los valores del modelo en Condición de Carga 2 sin flaps, mientras que en las Tablas XXI y XXII los del modelo con los flaps a 5° y 10°, respectivamente.

VPL [m/s]	VPL [nudos]	T [s]	Tensión [kg]
2.87	5.58	60	14.66
3.87	7.52	60	16.11
4.65	9.04	60	16.04
6.39	12.42	40	14.18

Tabla No. XX Resultados de Resistencia al Avance (Tensión) del Modelo sin Flaps en Condición de Carga 2

VPL [m/s]	VPL [nudos]	T [s]	Tensión [kg]
2.67	5.19	60	13.63
3.73	7.25	60	13.91
4.10	7.97	40	14.25
6.41	12.46	20	21.76

Tabla No. XXI Resultados de Resistencia al Avance (Tensión) del Modelo con Flaps a 5° en Condición de Carga 2

VPL [m/s]	VPL [nudos]	T [s]	Tensión [kg]
1.81	3.52	40	6.95
1.87	3.64	40	6.47
3.42	6.65	35	8.26

Tabla No. XXII Resultados de Resistencia al Avance (Tensión) del Modelo con Flaps a 10° en Condición de Carga 2

A continuación, se presentan las curvas de Resistencia al Avance obtenidas en el segundo día de pruebas con el modelo en Condición de Carga 2, en los tres casos: sin flaps, y, con flaps a 5 y 10 grados, véase la Figura No. 23. En esta gráfica se puede observar que la Resistencia al Avance disminuye a medida que el ángulo de los flaps instalados en el modelo se incrementa. En la curva del modelo sin flaps, "C2SF E", el "hump" ocurre alrededor de los 9 nudos de velocidad, mientras que en las curvas con los flaps instalados "C2CF5 E", este valor máximo de Resistencia parece que ya ha ocurrido antes de la primera velocidad registrada. En el caso del modelo con los flaps a 10 grados, "C2CF10 E", es más difícil de apreciar debido a la escasa cantidad de pruebas que se pudieron realizar y a la poca variación de velocidad.

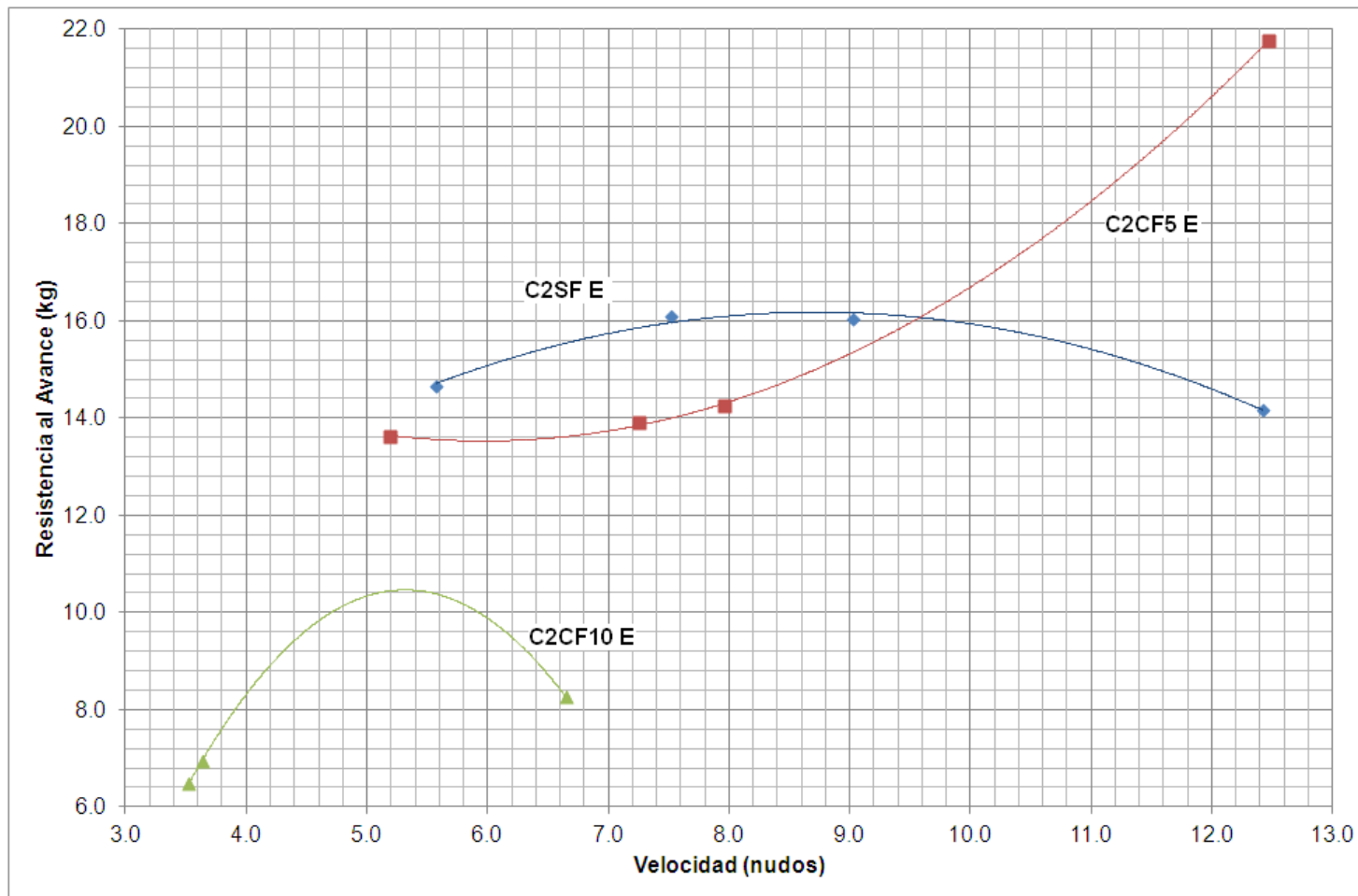


Figura No. 23 Curvas de Resistencia al Avance vs. Velocidad con el Modelo en Condición de Carga 2

En las siguientes figuras se muestra el comportamiento del modelo en la Condición de Carga 2 (91.9 kg) con y sin flaps, durante las pruebas, a distintas velocidades. En la Figura No. 24 se muestra la prueba sin flaps, donde se puede apreciar el alto valor del asiento consistente con la Figura No. 22; en este caso la interferencia de la estela de la lancha con el modelo a altas velocidades no se presenta.



Figura No. 24 Prueba Experimental con el Modelo sin Flaps en Condición de Carga 2

En el modelo en Condición de Carga 2 con Flaps a 5° a partir de los 9 nudos de velocidad se observa el ingreso de agua al modelo, véase la Figura No. 25. En estas imágenes se puede constatar que el modelo navega bastante adrizado, es decir con poco asiento.



Figura No. 25 Prueba Experimental con el Modelo con Flaps a 5° en Condición de Carga 2

En las siguientes imágenes con el modelo con Flaps a 10° se puede apreciar que a partir de los 7 nudos la interferencia entre la estela del bote y el modelo aumenta considerablemente; también a partir de la misma velocidad el ingreso de agua al modelo es inevitable.



Figura No. 26 Prueba Experimental con el Modelo con Flaps a 10° en Condición de Carga 2

CAPÍTULO 3

COMPARACIÓN DE RESULTADOS EMPÍRICOS Y EXPERIMENTALES

3.1 Comparación de Resultados por el Método de Savitsky y Pruebas Experimentales

Los resultados empíricos (Método de Savitsky) calculados previamente en el Capítulo 1 y los experimentales obtenidos en las pruebas, resumidos en el Capítulo 2, para las dos Condiciones de Carga (70.1 kg y 91.9 kg) se compararon en este subcapítulo. En las pruebas del modelo sin y con flaps a 5° se encontró que las tendencias de curvas empíricas y experimentales del Asiento en ambas condiciones son bastante cercanas entre ellas. En las mismas pruebas, los valores resultantes de Resistencia al Avance, empírica y experimental, no son cercanos; sin embargo la tendencia entre las curvas

comparadas es bastante similar. Los resultados de Asiento y Resistencia obtenidos con los flaps a 10° en las dos Condiciones de Carga no fueron confiables, ya que durante estas pruebas la estela de la lancha afectó el comportamiento del modelo.

A continuación, se presentan las curvas de Asiento, empíricas y experimentales, del Modelo en la Condición de Carga 1, de 70.1 kg, véase la Figura No. 27. Las curvas del ángulo de Asiento, tanto en la prueba experimental como en el cálculo empírico, disminuyen con la instalación de los flaps. Además, muestran la presencia de un valor máximo, "hump", para la velocidad en que empieza a planear.

En esta gráfica también se observa que los valores obtenidos experimentalmente con el flap a 5° son bastante cercanos a los calculados empíricamente. En la Tabla No. XXIII, se detalla el análisis de los resultados de la Condición de Carga 1.

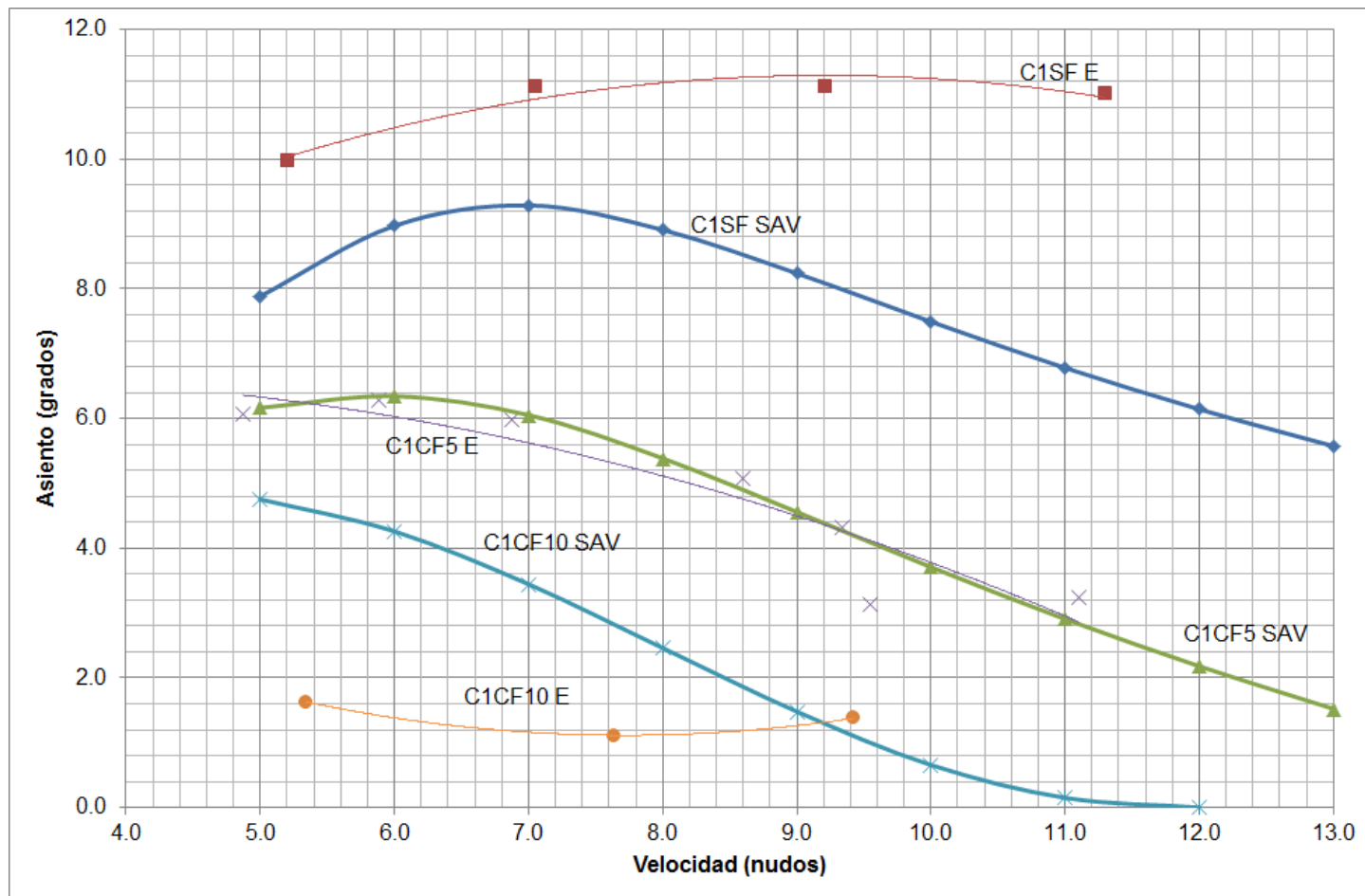


Figura No. 27 Resultados Empíricos (Método de Savitsky) y Experimentales de Asiento del Modelo en Condición de Carga 1

Prueba	Curva Empírica	Curva Experimental	Promedio de Diferencia entre Curvas [%]	Comentarios Adicionales
Sin Flaps	C1SF SAV	C1SF E	33.6	Tienen una tendencia similar entre ellas, debido a que ambas curvas poseen un valor máximo, denominado "hump". La curva experimental está desplazada hacia arriba.
Flaps a 5°	C1CF5 SAV	C1CF5 E	3.5	Tienen una tendencia similar entre las curvas, empírica y experimental. El porcentaje de diferencia entre ambas es bajo.
Flaps a 10°	C1CF10 SAV	C1CF10 E	-	La tendencia en ambas curvas es muy diferente y debido a la poca cantidad de datos adquiridos en la prueba experimental no es posible alcanzar una conclusión definitiva.

Tabla No. XXIII Comparación de Curvas Empíricas y Experimentales de Asiento del Modelo en Condición de Carga 1, 70.1 kg

Para analizar la Resistencia al Avance empírica y experimental se usó la Figura No. 28, para la Condición de Carga 1, 70.1 kg. En esta gráfica se observa que los valores de las curvas empíricas y experimentales difieren, sin embargo la tendencia de las mismas es similar, mostrando un valor máximo.

En la Tabla No. XIV se presenta el análisis de los resultados empíricos y experimentales de la Resistencia al Avance del modelo para la Condición de Carga 1, con y sin flaps.

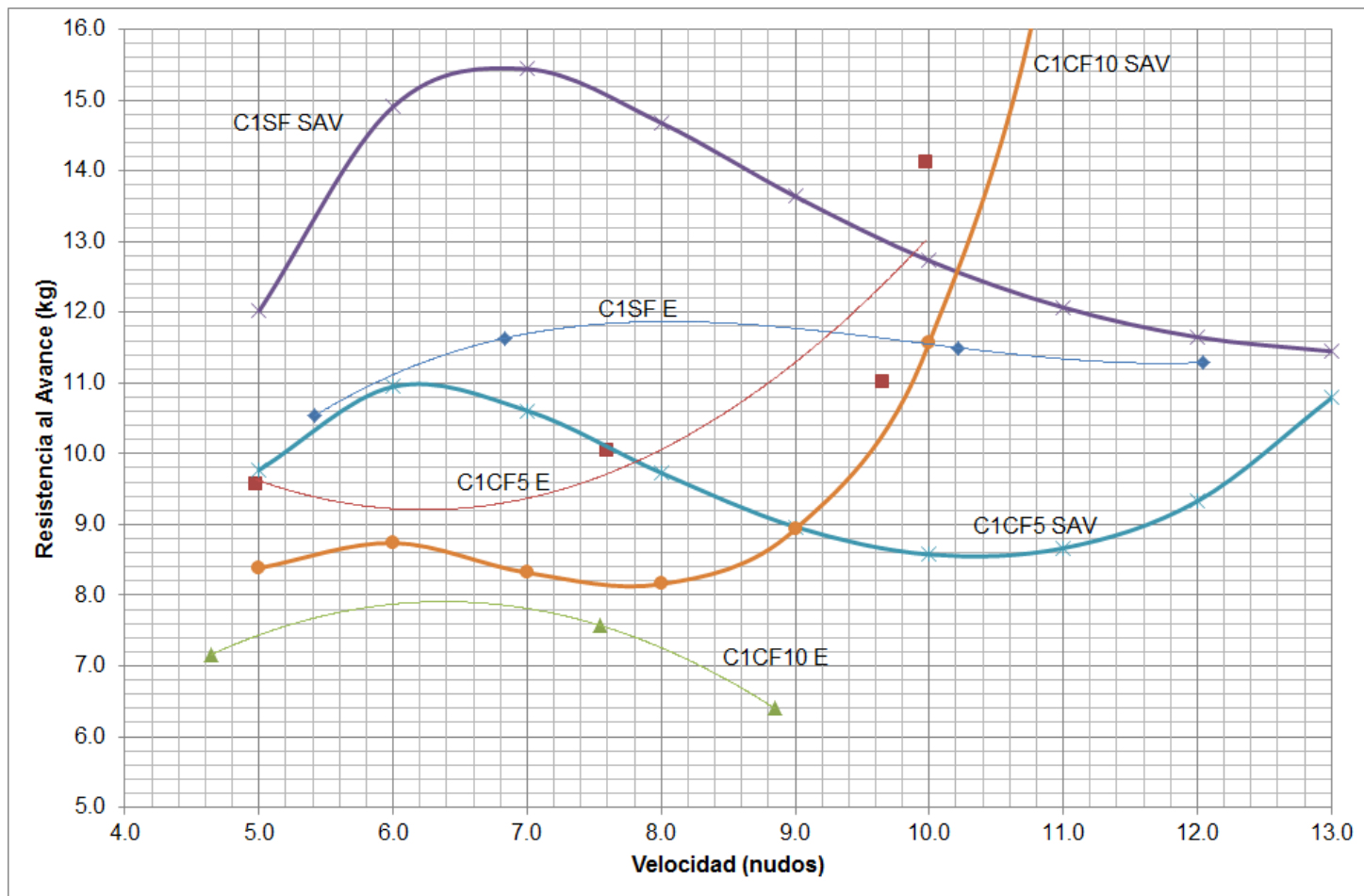


Figura No. 28 Resultados Empíricos (Método de Savitsky) y Experimentales de Resistencia al Avance del Modelo en Condición de Carga 1

Prueba	Curva Empírica	Curva Experimental	Promedio de Diferencia entre Curvas [%]	Comentarios Adicionales
Sin Flaps	C1SF SAV	C1SF E	15.9	Tienen una tendencia similar, debido a que ambas curvas poseen un valor máximo, denominado "hump". Curva experimental desplazada hacia abajo.
Flaps a 5°	C1CF5 SAV	C1CF5 E	18.4	Tienen una tendencia similar entre las curvas, empírica y experimental. Curva experimental desplazada hacia la izquierda.
Flaps a 10°	C1CF10 SAV	C1CF10 E	-	La tendencia en ambas curvas es diferente y debido a la poca cantidad de datos adquiridos en la prueba experimental no es posible alcanzar una conclusión definitiva.

Tabla No. XXIV Comparación de Curvas Empíricas y Experimentales de Resistencia al Avance del Modelo en Condición de Carga 1, 70.1 kg

Para el análisis de los resultados experimentales y empíricos de Asiento del modelo en Condición de Carga 2 se utilizó la Figura No. 29. En ésta se presentan las curvas obtenidas sin flaps, con flaps a 5° y con flaps a 10°. Al igual que en la Condición previa analizada, los valores empíricos y experimentales del Modelo con los flaps a 5° son muy cercanos. El resumen de este análisis efectuado de las curvas de Asiento se encuentra en la Tabla No. XXV.

La Figura No. 30 presenta las curvas de los resultados obtenidos de las pruebas y cálculos de Resistencia al Avance del Modelo con Condición de Carga 2, 91.9 kg. Al igual que en el caso de la Condición de Carga 1, la tendencia entre las curvas es similar, véase la Tabla No. XVI.

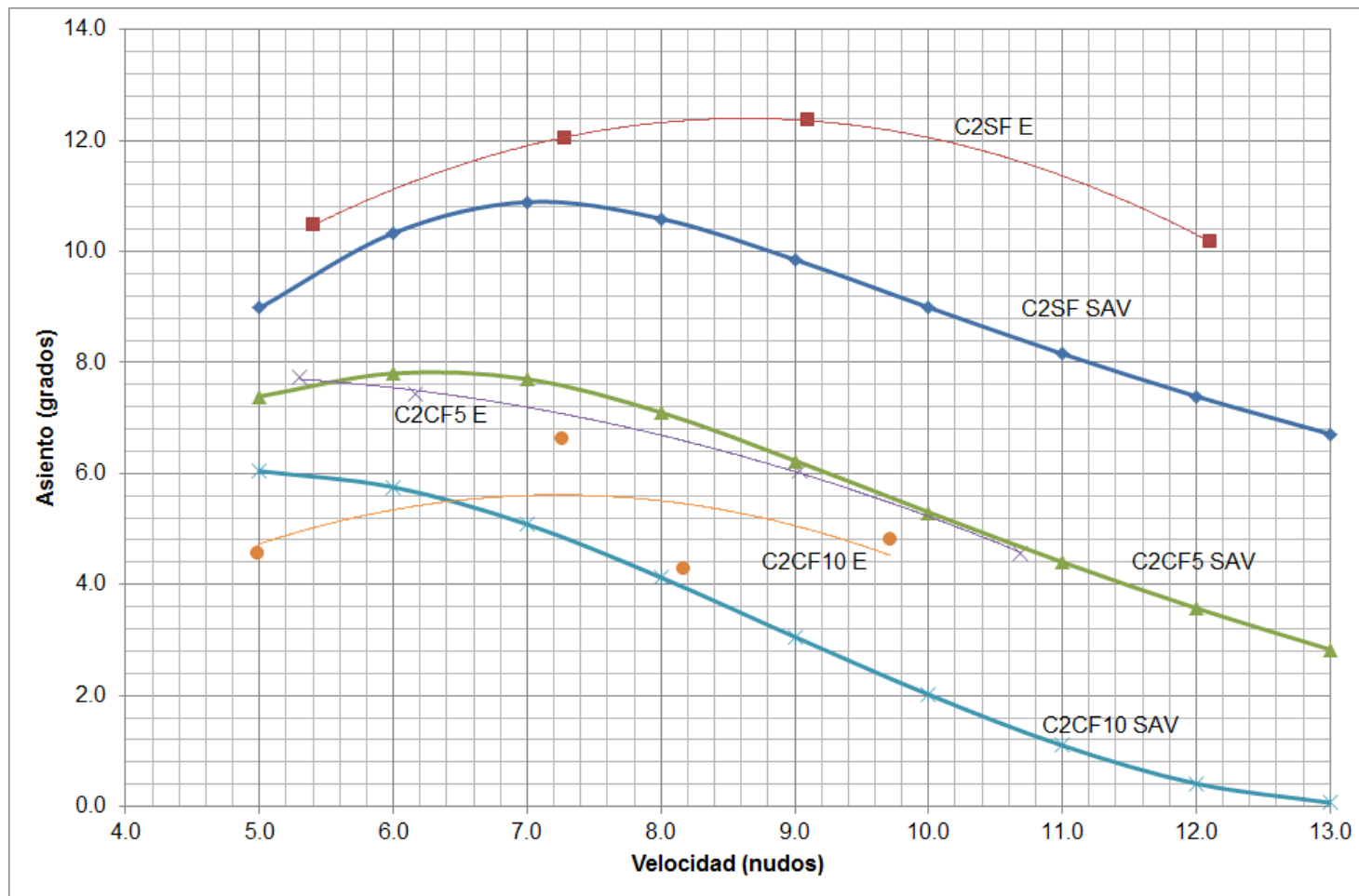


Figura No. 29 Resultados Empíricos (Método de Savitsky) y Experimentales de Asiento del Modelo en Condición de Carga 2

Prueba	Curva Empírica	Curva Experimental	Promedio de Diferencia entre Curvas [%]	Comentarios Adicionales
Sin Flaps	C1SF SAV	C1SF E	51.6	Tienen una tendencia similar entre las curvas (ambas poseen el valor máximo o "hump"). La curva experimental está desplazada hacia arriba de la curva empírica.
Flaps a 5°	C1CF5 SAV	C1CF5 E	20.9	Tienen una tendencia y valores bastante similares entre las curvas, empíricas y experimentales.
Flaps a 10°	C1CF10 SAV	C1CF10 E	-	Los valores en ambas curvas son muy diferentes. Debido a inconvenientes durante esta prueba experimental no es posible alcanzar una conclusión definitiva.

Tabla No. XXV Comparación de Curvas Empíricas y Experimentales de Asiento del Modelo en Condición de Carga 1, 91.9 kg

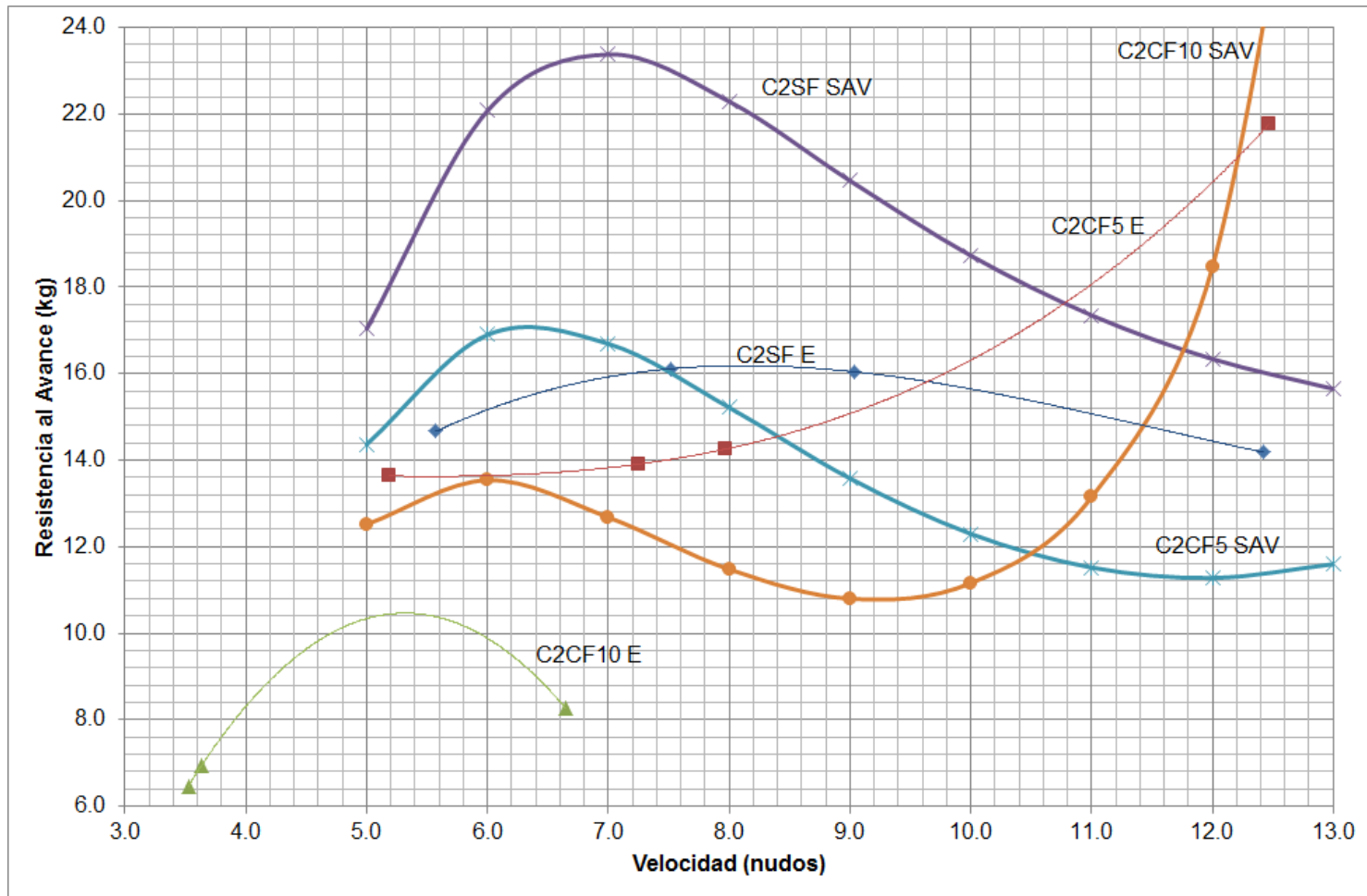


Figura No. 30 Resultados Empíricos y Experimentales de la Resistencia al Avance del Modelo en Condición de Carga 2

Prueba	Curva Empírica	Curva Experimental	Promedio de Diferencia entre Curvas [%]	Comentarios Adicionales
Sin Flaps	C1SF SAV	C1SF E	4.1	Tienen una tendencia similar, debido a que ambas curvas poseen un valor máximo, denominado "hump". Curva experimental desplazada hacia abajo.
Flaps a 5°	C1CF5 SAV	C1CF5 E	22.4	Tienen una tendencia similar entre las curvas, empírica y experimental. Curva experimental desplazada hacia la izquierda.
Flaps a 10°	C1CF10 SAV	C1CF10 E	-	La tendencia en ambas curvas es muy diferente y debido a la poca cantidad de datos adquiridos en la prueba experimental no es posible alcanzar una conclusión definitiva.

Tabla No. XXVI Comparación de Curvas Empíricas y Experimentales de Resistencia al Avance del Modelo en Condición de Carga 2, 91.9 kg

Al ser analizados los resultados de Asiento y Resistencia obtenidos durante las pruebas con los flaps a 10° se observó que éstos fueron afectados por las dificultades presentadas en las mismas. El Asiento del Modelo con los flaps a 10° era casi nulo y esto permitía el fácil ingreso del agua al mismo a velocidades menores a los 4 nudos. Otro inconveniente durante las pruebas fue la afectación que provocó la estela de la lancha de aluminio aún a velocidades bajas.

Es por esto, que para analizar la influencia sobre los flaps en el Asiento y la Resistencia al Avance no se tomaron en cuenta los resultados obtenidos con los flaps a 10° .

3.2 Determinación de la Influencia de los Flaps en una Lancha Planeadora

Según Savitsky, [3], a partir de un coeficiente de velocidad de 1.5, la embarcación planeadora experimenta los cambios de soporte hidrodinámico que inciden en una disminución de la Resistencia al Avance y del Asiento de la misma. En este subcapítulo, se determina teórica y empíricamente que la influencia de los flaps instalados a 5° influyen positivamente en el rendimiento del modelo. Las curvas de tendencia de las diferencias entre los resultados calculados con el programa “Savitsky64Flaps” y los adquiridos durante las pruebas del modelo sin y con flaps a 5° son similares entre sí. Finalmente, se realiza el análisis dimensional para determinar la influencia de los flaps en la lancha planeadora prototipo.

Con los resultados experimentales del Asiento y la Resistencia al Avance del modelo con Condición de Carga 1 se realizaron las siguientes curvas de tendencia polinómicas de orden 2:

Asiento:

Sin Flaps $y = -0.0781x^2 + 1.4385x + 4.6645$

Con Flaps a 5° $y = -0.0525x^2 + 0.2773x + 6.254$

Resistencia:

Sin Flaps $y = -0.0778x^2 + 1.4339x + 5.2$

Con Flaps a 5° $y = 0.2714x^2 - 3.3819x + 19.744$

Estas ecuaciones se aplicaron para el rango de velocidades a las que se realizó cada prueba y con los resultados empíricos obtenidos del programa "Savitsky64Flaps" se efectuaron las Tablas No. XXVII y XXVIII, así como las Figuras No. 31 y 33. En estas figuras, se presentan los resultados en función del coeficiente de velocidad adimensional, C_v , definido por Savitsky como: $C_v = V/(gB_T)^{1/2}$.

Velocidad (nudos)	CV	Asiento Empírico Sin Flaps (°)	Asiento Experimental sin Flaps (°)	Asiento Empírico Con Flaps 5° (°)	Asiento Experimental con Flaps 5° (°)	Diferencia Asiento Empírico (°)	Diferencia Asiento Experimental (°)
5.0	1.1	7.9	9.9	6.2	6.3	1.7	3.6
6.0	1.3	9.0	10.5	6.3	6.0	2.6	4.5
7.0	1.5	9.3	10.9	6.1	5.6	3.2	5.3
8.0	1.7	8.9	11.2	5.4	5.1	3.5	6.1
9.0	1.9	8.2	11.3	4.6	4.5	3.7	6.8
10.0	2.1	7.5	11.2	3.7	3.8	3.8	7.5
11.0	2.4	6.8	11.0	2.9	3.0	3.9	8.1

Tabla No. XXVII Influencia Empírica y Experimental de Flaps en el Asiento del Modelo con Condición de Carga 1

Velocidad (nudos)	CV	Resistencia Empírica Sin Flaps (°)	Resistencia Experimental sin Flaps (°)	Resistencia Empírica Con Flaps 5° (°)	Resistencia Experimental con Flaps 5° (°)	Diferencia Resistencia Empírica (°)	Diferencia Resistencia Experimental (°)
5.0	1.1	12.0	10.4	9.8	9.6	2.2	0.8
6.0	1.3	14.9	11.0	11.0	9.2	4.0	1.8
7.0	1.5	15.4	11.4	10.6	9.4	4.8	2.1
8.0	1.7	14.7	11.7	9.7	10.1	4.9	1.6
9.0	1.9	13.6	11.8	9.0	11.3	4.7	0.5
10.0	2.1	12.7	11.8	8.6	13.1	4.2	-1.3

Tabla No. XXVIII Influencia Empírica y Experimental de Flaps en la Resistencia al Avance del Modelo con Condición de Carga 1

Para obtener los resultados experimentales de Asiento y Resistencia al Avance en el rango de velocidad establecido en el cálculo empírico, se efectuaron las siguientes curvas de tendencia polinómica de orden 2:

Asiento:

Sin Flaps $y = -0.1842x^2 + 3.1798x + 1.3333$

Con Flaps a 5° $y = -0.0762x^2 + 0.6396x + 6.4484$

Resistencia:

Sin Flaps $y = -0.1474x^2 + 2.5732x + 4.9487$

Con Flaps a 5° $y = 0.1947x^2 - 2.3234x + 20.458$

Con estas curvas y con los resultados empíricos obtenidos del programa “Savitsky64Flaps” se efectuaron las Tablas No. XXIX y XXX, así como las Figuras No. 32 y 34.

Velocidad (nudos)	CV	Asiento Empírico Sin Flaps (°)	Asiento Experimental sin Flaps (°)	Asiento Empírico Con Flaps 5° (°)	Asiento Experimental con Flaps 5° (°)	Diferencia Asiento Empírico (°)	Diferencia Asiento Experimental (°)
5.0	1.1	9.0	12.6	7.4	7.7	1.6	4.9
6.0	1.3	10.3	13.8	7.8	7.5	2.5	6.2
7.0	1.5	10.9	14.6	7.7	7.2	3.2	7.4
8.0	1.7	10.6	15.0	7.1	6.7	3.5	8.3
9.0	1.9	9.9	15.0	6.2	6.0	3.6	9.0
10.0	2.1	9.0	14.7	5.3	5.2	3.7	9.5
11.0	2.4	8.2	14.0	4.4	4.3	3.8	9.8

Tabla No. XXIX Influencia Empírica y Experimental de Flaps en el Asiento del Modelo con Condición de Carga 2

Velocidad (nudos)	CV	Resistencia Empírica Sin Flaps (°)	Resistencia Experimental sin Flaps (°)	Resistencia Empírica Con Flaps 5° (°)	Resistencia Experimental con Flaps 5° (°)	Diferencia Resistencia Empírica (°)	Diferencia Resistencia Experimental (°)
5.0	1.1	17.0	14.1	14.4	13.7	2.7	0.4
6.0	1.3	22.1	15.1	16.9	13.5	5.2	1.6
7.0	1.5	23.4	15.7	16.7	13.7	6.7	2.0
8.0	1.7	22.3	16.1	15.2	14.3	7.1	1.8
9.0	1.9	20.5	16.2	13.6	15.3	6.9	0.8
10.0	2.1	18.7	15.9	12.3	16.7	6.4	-0.8
11.0	2.4	17.4	15.4	11.5	18.5	5.8	-3.0

Tabla No. XXX Influencia Empírica y Experimental de Flaps en la Resistencia al Avance del Modelo con Condición de Carga 1

En las Figuras No. 31 y 32, se observa que las curvas de Asiento, empírica y experimental, para las dos Condiciones de Carga, tienen una tendencia similar entre sí, con un valor máximo o “hump” alrededor de $C_v = 1.5$; también se observa que las curvas experimentales están desplazadas hacia arriba. A partir del 1.5 de Coeficiente de Velocidad la pendiente de la curva calculada por el programa disminuye mientras que la de la curva experimental se mantiene. También se observa que el valor de la diferencia de Asiento experimental en la Condición de Carga 2 es mayor que en la 1.

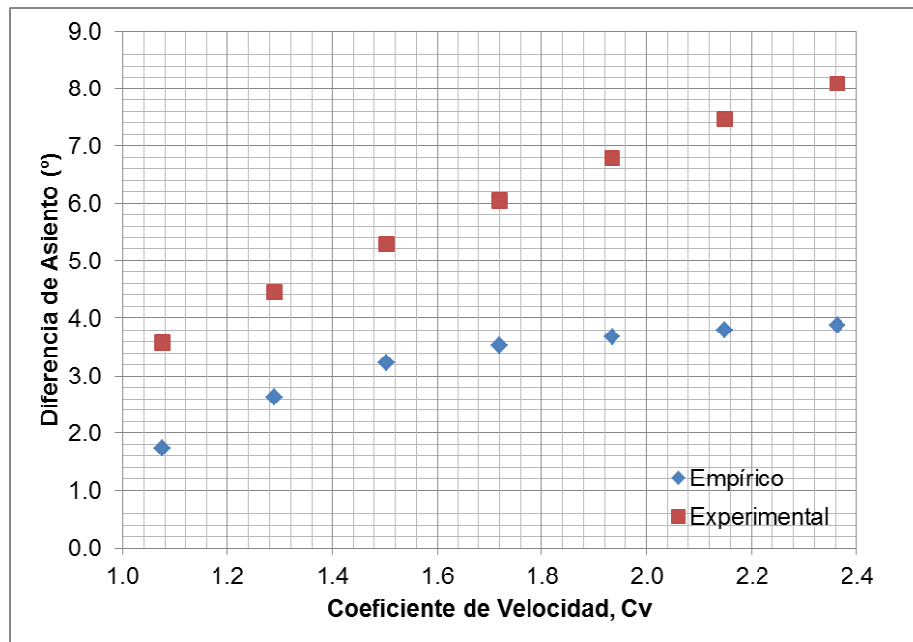


Figura No. 31 Gráfico de Diferencia de Asiento vs. Coeficiente de Velocidad de Modelo con Condición de Carga 1

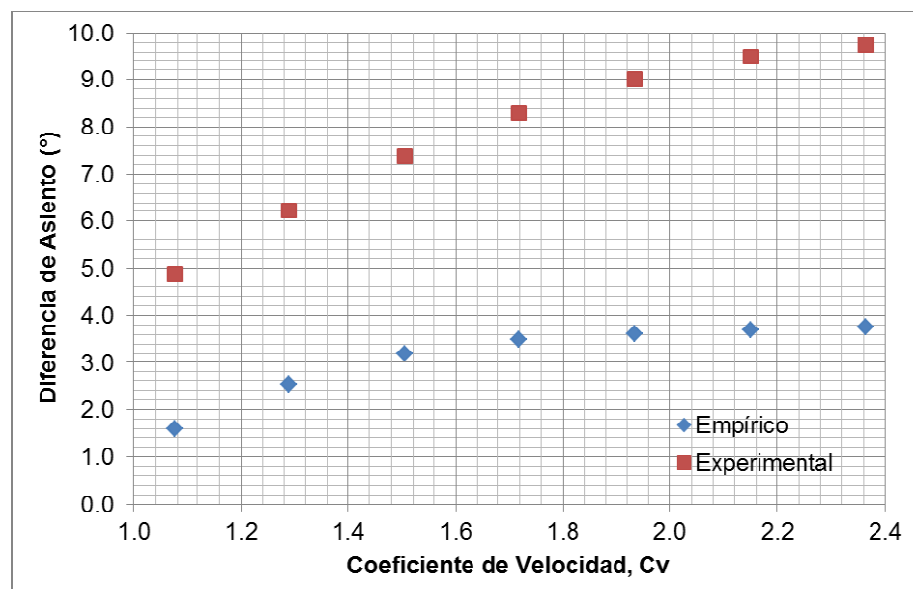


Figura No. 32 Gráfico de Diferencia de Asiento vs. Coeficiente de Velocidad de Modelo con Condición de Carga 2

En las Figuras No. 33 y 34, de la Resistencia al Avance en las dos Condiciones de Carga, las tendencias de las curvas analizadas también son similares entre sí. Alrededor del 1.5 de Coeficiente de Velocidad el valor de la diferencia entre los resultados del modelo, con y sin flaps, es máximo. En este caso, las curvas experimentales obtenidas están desplazadas hacia debajo de las curvas empíricas.

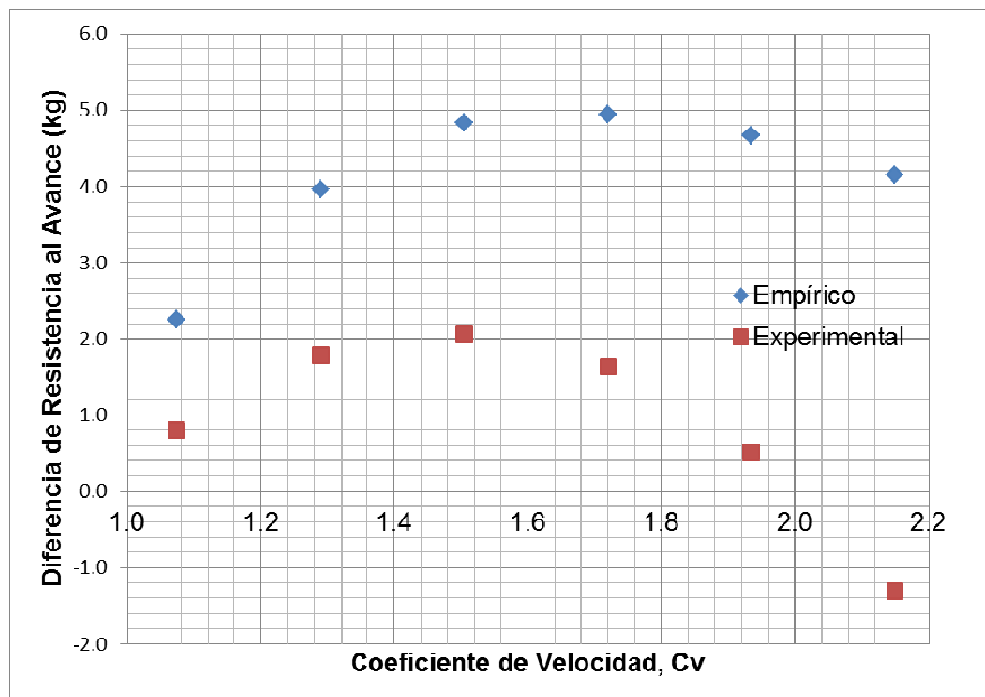


Figura No. 33 Gráfico de Diferencia de Resistencia al Avance vs. Coeficiente de Velocidad de Modelo con Condición de Carga 1

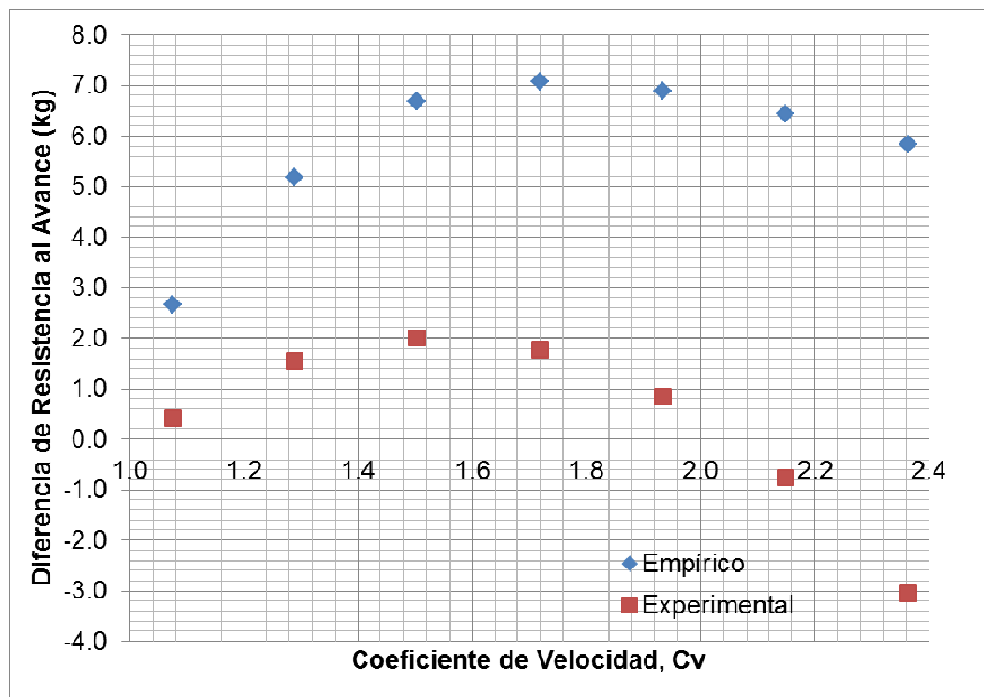


Figura No. 34 Gráfico de Diferencia de Resistencia al Avance vs. Coeficiente de Velocidad de Modelo con Condición de Carga 2

Análisis Dimensional para Calcular la Resistencia del Prototipo

Para determinar la influencia de los flaps en la Resistencia al Avance de la Lancha Planeadora de 11 metros se realizó análisis dimensional entre el modelo y el prototipo.

De los cálculos experimentales se tienen los valores de Resistencia, R_{Exp} , del modelo para un rango de velocidad de 5 a 13 nudos.

Además de los cálculos con el Método de Savitsky se tiene la razón de longitud mojada y manga, λ .

Para determinar las velocidades del prototipo, correspondientes a las del modelo (5 a 13 nudos) se parte del Coeficiente de Velocidad, C_V , parámetro similar al número de Froude que toma la manga como longitud representativa:

$$C_V = \frac{V_m}{\sqrt{g * B_m}} = \frac{V_p}{\sqrt{g * B_p}}$$

Luego, se calcula la longitud media mojada con la siguiente expresión:

$$L_m = \lambda * B$$

Teniendo valores de viscosidad cinemática de $8.93E-7 \text{ m}^2/\text{s}$ en agua dulce, v_{ad} , a 25°C , obtenemos el Número de Reynolds para el modelo de la siguiente forma:

$$Re = \frac{L_m * (V * 0.5144)}{v}$$

Se calcula el Coeficiente de Resistencia Friccional del modelo, C_{fm} , según ATTC, con un proceso iterativo para satisfacer la siguiente ecuación, dado que no se lo puede evaluar directamente:

$$\frac{0.242}{\sqrt{C_f}} = \log_{10}(Re * C_f)$$

El Coeficiente de Resistencia Total del modelo, C_{Tm} , se calcula con la siguiente expresión:

$$C_{Tm} = \frac{R_{Texp}}{\frac{1}{2} \rho_{ad} S_m (v * 0.5144)^2}$$

Donde:

ρ_{ad} Densidad del fluido, 1000 kg/m³

S_m Superficie Mojada del modelo, $S_m [m^2] = L_{mm} * b$

v Velocidad del modelo, nudos

El Coeficiente de la Resistencia Residual del modelo (y prototipo) se obtiene restando el Coeficiente de Resistencia Friccional de la Resistencia Total del modelo:

$$C_{Res} = C_{Tm} - C_{fm}$$

El Coeficiente de Resistencia Residual es el mismo para modelo y prototipo para un Coeficiente de Velocidad dado. El Coeficiente de Resistencia Friccional del prototipo, C_{fp} , se calcula de la misma forma que el del modelo, empleando la viscosidad cinemática del agua salada, 9.43E-7m²/s. Con

estos datos, se obtiene el Coeficiente de la Resistencia Total para las velocidades del prototipo de la siguiente forma:

$$C_{Tp} = C_{fp} + C_{Res}$$

La Resistencia al Avance del prototipo se calcula con la siguiente expresión:

$$R_{Tp} = C_{Tp} * \frac{1}{2} \rho_{as} S_p (V * 0.5144)^2$$

Donde:

ρ_{as} Densidad del fluido, 1025 kg/m³

S_p Superficie Mojada del prototipo, $S_p [m^2] = L_{mp} * B$

V Velocidad del prototipo, nudos

A continuación, se presentan los datos y resultados de Velocidad, Coeficientes de Resistencia Friccional, Coeficiente de Resistencia Residual, Coeficientes de Resistencia Total del modelo y prototipo, y, la Resistencia al Avance de la lancha calculada, R_{Tp} . En las Tablas XXXI, XXXII, XXXIII y XXXIV se presentan estos resultados para las Condiciones de Carga 1 y 2, sin flaps y con flaps a 5°:

V_m [nudos]	V_p [nudos]	C_{fm}	C_{fp}	C_{Tm}	C_{Res}	C_{TP}	R_{TP} [kg]
5	11.9	3.37E-03	2.25E-03	3.47E-02	3.14E-02	3.36E-02	1865.9
6	14.3	3.34E-03	2.24E-03	2.91E-02	2.58E-02	2.80E-02	1957.6
7	16.6	3.31E-03	2.22E-03	2.47E-02	2.13E-02	2.36E-02	2019.3
8	19.0	3.28E-03	2.20E-03	2.07E-02	1.74E-02	1.96E-02	2049.8
9	21.4	3.24E-03	2.18E-03	1.73E-02	1.40E-02	1.62E-02	2049.1
10	23.8	3.20E-03	2.15E-03	1.44E-02	1.12E-02	1.33E-02	2017.1
11	26.1	3.16E-03	2.13E-03	1.19E-02	8.77E-03	1.09E-02	1954.1
12	28.5	3.12E-03	2.11E-03	9.88E-03	6.76E-03	8.87E-03	1860.4
13	30.9	3.08E-03	2.09E-03	8.14E-03	5.05E-03	7.14E-03	1735.9

Tabla No. XXXI Resultados de Modelo y Prototipo sin flaps con Condición de Carga 1

V_m [nudos]	V_p [nudos]	C_{fm}	C_{fp}	C_{Tm}	C_{Res}	C_{TP}	R_{TP} [kg]
5	11.9	3.30E-03	2.22E-03	2.92E-02	2.59E-02	2.81E-02	1670.9
6	14.3	3.24E-03	2.18E-03	2.10E-02	1.78E-02	2.00E-02	1580.2
7	16.6	3.18E-03	2.15E-03	1.66E-02	1.34E-02	1.55E-02	1585.0
8	19.0	3.12E-03	2.11E-03	1.39E-02	1.08E-02	1.29E-02	1683.7
9	21.4	3.05E-03	2.07E-03	1.23E-02	9.21E-03	1.13E-02	1875.0
10	23.8	2.97E-03	2.03E-03	1.11E-02	8.15E-03	1.02E-02	2157.3
11	26.1	2.89E-03	1.98E-03	1.02E-02	7.31E-03	9.30E-03	2528.2
12	28.5	2.80E-03	1.93E-03	9.30E-03	6.50E-03	8.43E-03	2983.2
13	30.9	2.70E-03	1.87E-03	8.22E-03	5.52E-03	7.39E-03	3512.6

Tabla No. XXXII Resultados de Modelo y Prototipo con flaps a 5° con Condición de Carga 1

V_m [nudos]	V_p [nudos]	C_{fm}	C_{fp}	C_{Tm}	C_{Res}	C_{TP}	R_{TP} [kg]
5	11.9	3.33E-03	2.23E-03	4.44E-02	4.11E-02	4.33E-02	2486.4
6	14.3	3.30E-03	2.21E-03	3.76E-02	3.43E-02	3.65E-02	2642.5
7	16.6	3.28E-03	2.20E-03	3.22E-02	2.89E-02	3.11E-02	2744.8
8	19.0	3.24E-03	2.18E-03	2.71E-02	2.39E-02	2.61E-02	2791.4
9	21.4	3.21E-03	2.16E-03	2.26E-02	1.94E-02	2.15E-02	2782.2
10	23.8	3.17E-03	2.14E-03	1.86E-02	1.54E-02	1.76E-02	2717.2
11	26.1	3.13E-03	2.12E-03	1.52E-02	1.21E-02	1.42E-02	2596.8
12	28.5	3.09E-03	2.09E-03	1.23E-02	9.21E-03	1.13E-02	2421.1
13	30.9	3.06E-03	2.07E-03	9.81E-03	6.75E-03	8.83E-03	2190.3

Tabla No. XXXIII Resultados de Modelo y Prototipo sin flaps con Condición de Carga 2

V_m [nudos]	V_p [nudos]	C_{fm}	C_{fp}	C_{Tm}	C_{Res}	C_{TP}	R_{TP} [kg]
5	11.9	3.28E-03	2.20E-03	4.00E-02	3.67E-02	3.89E-02	2406.9
6	14.3	3.22E-03	2.17E-03	2.99E-02	2.67E-02	2.88E-02	2354.9
7	16.6	3.17E-03	2.14E-03	2.38E-02	2.07E-02	2.28E-02	2371.3
8	19.0	3.11E-03	2.11E-03	1.98E-02	1.67E-02	1.88E-02	2454.5
9	21.4	3.06E-03	2.08E-03	1.69E-02	1.38E-02	1.59E-02	2603.6
10	23.8	3.00E-03	2.04E-03	1.48E-02	1.18E-02	1.38E-02	2817.7
11	26.1	2.93E-03	2.01E-03	1.31E-02	1.02E-02	1.22E-02	3095.6
12	28.5	2.86E-03	1.97E-03	1.18E-02	8.89E-03	1.09E-02	3435.5
13	30.9	2.79E-03	1.92E-03	1.05E-02	7.75E-03	9.67E-03	3834.8

Tabla No. XXXIV Resultados de Modelo y Prototipo con flaps a 5° con Condición de Carga 2

En la Figura No. 35, se presentan los resultados de Resistencia al Avance vs. Velocidad en la Condición de Carga 1, mientras que los de la Condición de Carga 2 se muestran en la Figura No. 36.

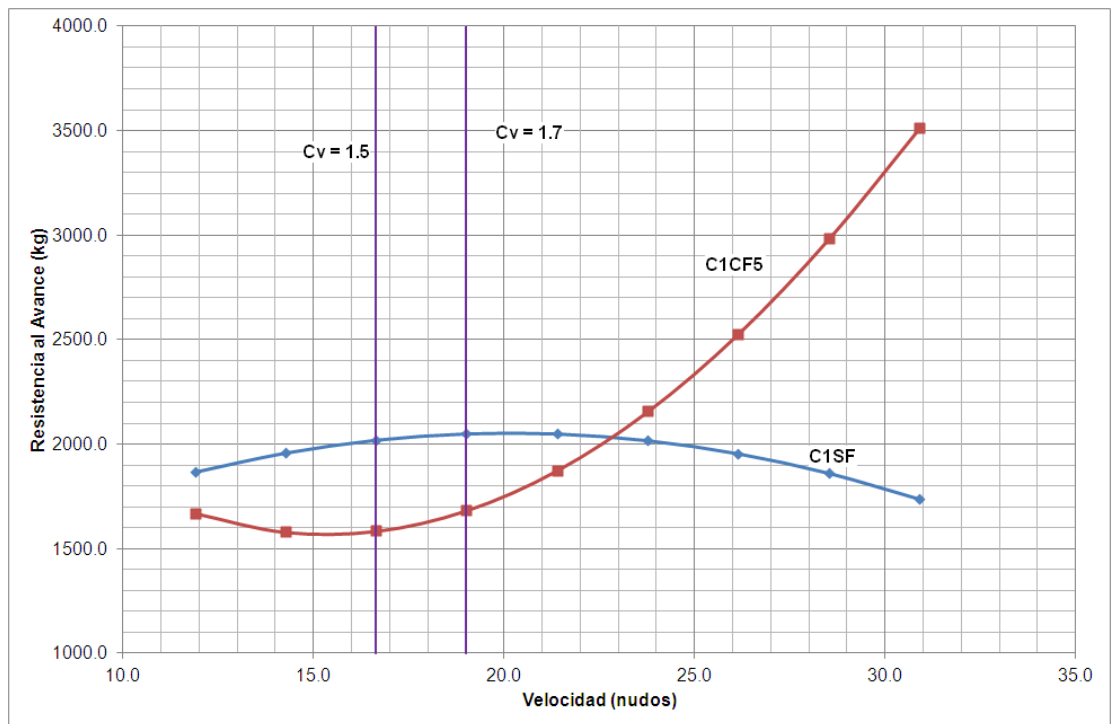


Figura No. 35 Resultados de Resistencia al Avance de Lancha Planeadora Prototipo con Condición de Carga 1 (11.6 toneladas)

Para la Condición de Carga 1, la instalación de flaps en la lancha resulta beneficiosa en un rango desde los 12 hasta los 23 nudos de velocidad; luego de esta velocidad, la Resistencia al Avance aumenta considerablemente y su instalación es perjudicial. Según Savitsky, [3], alrededor del Coeficiente de Velocidad de 1.5 ocurre el “hump”, o valor máximo, en la curva de Resistencia. En la curva de la lancha sin flaps esto ocurre alrededor de un C_v de 1.7, mientras que en la curva con flaps a 5° parece que esto sucedió antes de la primera velocidad calculada.

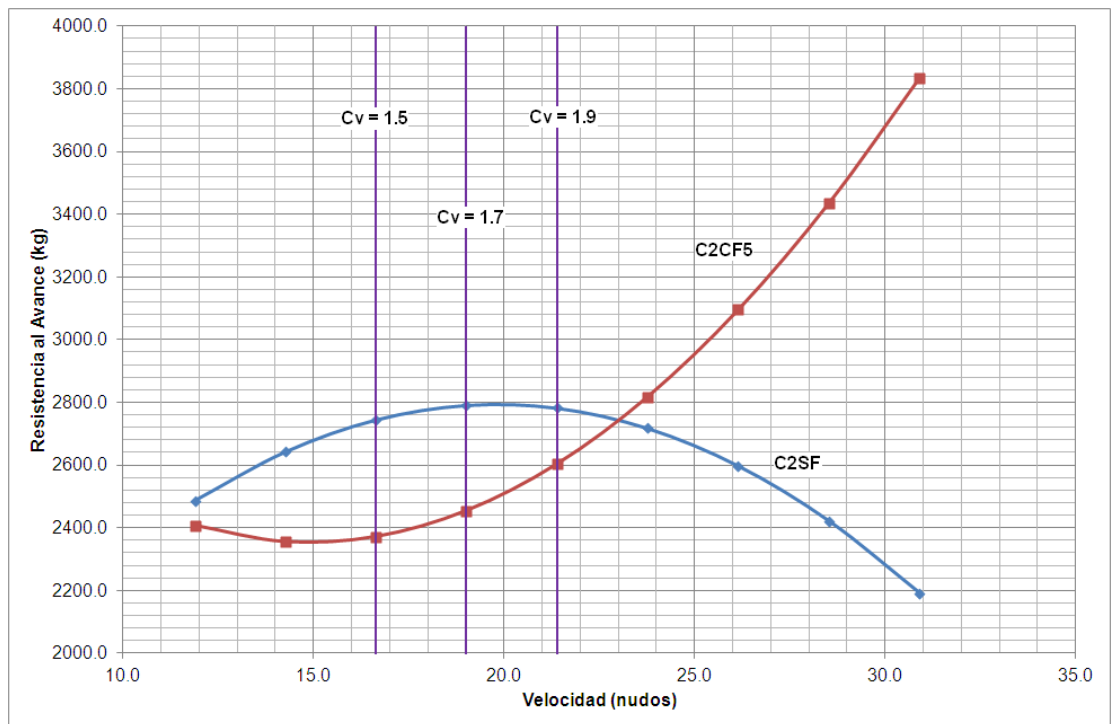


Figura No. 36 Resultados de Resistencia al Avance de Lancha Planeadora Prototipo con Condición de Carga 2 (15.3 toneladas)

En el gráfico de Resistencia de la Condición de Carga 2, se puede observar que la instalación de los flaps a 5° es conveniente en un rango de velocidad de 12 a 23 nudos. A partir de los 23 nudos, la Resistencia de la lancha con los flaps montados aumenta drásticamente. En la curva de la Resistencia de la lancha sin flaps, el "hump", o valor máximo, se encuentra entre los Coeficientes de Velocidad 1.7 y 1.9; en la curva de la lancha con los flaps instalados a 5° parece que esto ocurrió antes de los 10 nudos.

CONCLUSIONES

En este trabajo se calculó de manera semiempírica y experimental la influencia de flaps sobre la Resistencia al Avance de un modelo de una lancha planeadora de 11 metros de eslora. Los resultados calculados empíricamente se obtuvieron del programa "Savitsky64Flaps", que se basa en el método de Savitsky, [3]; los resultados experimentales se obtuvieron en pruebas de arrastre realizadas en una zona de aguas tranquilas halando el modelo desde una lancha. Finalmente, se compararon los resultados empíricos con los experimentales del modelo, y, mediante un análisis dimensional se determinó la influencia de los flaps en la Resistencia al Avance de la lancha prototipo. Luego de esto, se concluyó que:

1. El Método de Savitsky para estimar la Resistencia de botes planeadores incluyendo la influencia de flaps es de fácil aplicación y fue implementado exitosamente en el Programa "Savitsky64Flaps". Las variables que más influyen en los resultados de este método son: el peso, el ángulo de astilla muerta, la posición del centro de gravedad longitudinal (LCG), y, las características del flap (área y el ángulo de inclinación).

2. En general, la Resistencia al Avance y Asiento obtenidos empíricamente con el programa "Savistky64Flaps" disminuyen al instalar los flaps en el modelo. Específicamente, la instalación del flap a un determinado ángulo de inclinación (entre 0 y 10 grados) respecto del fondo del casco resulta ser beneficioso para un rango de coeficiente de velocidad, C_v , entre 1 y 2. Por encima de ese valor, la Resistencia al Avance de la embarcación planeadora incrementa drásticamente. El Ángulo de Asiento también disminuye considerablemente en los cálculos del modelo cuando se instalan los flaps; tal cómo menciona Savitsky, [3], el "hump", o valor máximo, de las curvas de Asiento se encuentra en un rango de C_v entre 1.5 y 2.

3. El proceso experimental para medir la Resistencia halando el modelo desde un bote en el lago del Campus Prosperina en ciertas pruebas tuvo las siguientes dificultades: corta longitud de prueba para altas velocidades, e, ingreso de agua al modelo por el choque de las estelas del modelo y de la lancha. Sin embargo, en términos generales se considera que este proceso resultó exitoso porque los resultados adquiridos muestran consistencia entre sí y significa costos muy bajos respecto de la construcción de un Tanque de Pruebas.

4. Las curvas de tendencia polinómica obtenidas a partir de los resultados experimentales de Asiento y Resistencia al Avance, del modelo sin y con flaps a 5° , tienen tendencia similar con las calculadas empíricamente. Ambos resultados presentan un valor máximo, llamado "hump" y luego se reduce. Este valor máximo se asocia según Savitsky, [3], con la presencia de las fuerzas dinámicas de sustentación. De manera que la instalación de los flaps es una opción que puede ser considerada por los Ingenieros al momento de diseñar un bote planeador.

5. Durante las pruebas del Modelo con los flaps a 10° , las estelas del bote y modelo chocaban fuertemente entre sí. Esto producía una

influencia en el comportamiento hidrodinámico del modelo, además de que permitía el ingreso de agua. Por ello se concluyó que los datos adquiridos durante estas pruebas resultaron poco confiables y no se discuten en este trabajo.

RECOMENDACIONES

1. Durante las pruebas del modelo con los flaps a 10° se tuvo un ingreso de agua, de manera que sería apropiado contar para futuros estudios con un modelo que sea totalmente cerrado. Respecto a la interacción que se produce entre la estela de la lancha y la del modelo durante dichas pruebas, sería recomendable tomar en cuenta otras consideraciones como: colocar el brazo de arrastre más hacia la proa de la lancha, aumentar la distancia entre la lancha y el modelo, y, disminuir la eslora del modelo (aunque esto afecta la confiabilidad de los resultados).

2. Para tener una mayor confiabilidad en los resultados durante las pruebas experimentales de Resistencia, podría adquirirse una celda de carga de mayor precisión. También sería conveniente buscar una forma de “uniformar” el ángulo de halado del modelo. Como recomendación adicional sería adecuado adquirir un equipo para obtener un registro continuo de la velocidad y luego promediar de mejor forma la velocidad de cada prueba.

ANEXOS

ANEXO A

CONSTRUCCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE MODELO DE LANCHA PLANEADORA

El modelo de la lancha planeadora construido para este proyecto tiene una eslora máxima de 2 metros y para hacerlo se utilizó madera “Cedro de Castilla”. Una vez que el casco estuvo terminado, se le instaló un flap del ancho de la semimanga de la china en cada banda con facilidades para cambiar su ángulo de operación. Posteriormente, se procedió a levantar las Líneas de Formas del modelo final, que tiene 32 kg de peso ligero, y a realizar sus cálculos hidrostáticos. El Centro de Gravedad Longitudinal, LCG, del modelo ligero es de 0.81 m, medido desde la popa.

El rango de velocidad que alcanzaría la lancha de aluminio que arrastra el modelo, v , es de 3 a 14 nudos, con un motor fuera de borda de 40 HP. La velocidad máxima del prototipo, V_p , es de 32 nudos y su eslora, L , 11 metros; por lo que la eslora del modelo se determinó con la igualdad del Número de Froude:

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gL}} = \frac{v}{\sqrt{gl}}$$

$$l = L * \left(\frac{V}{V}\right)^2 = 11 * \left(\frac{14}{32}\right)^2 = 2.1 \text{ m}$$

Con este resultado, se decidió que el modelo sería de 2 metros y el plano original de la lancha prototipo se redujo a una escala de 1:5.5.

El modelo de una embarcación para las pruebas de Resistencia al Avance debe ser liviano para facilidad de traslado y resistente para que durante las pruebas no se dañe. Es por esto que, para la construcción del modelo se decidió utilizar madera “Cedro de Castilla”, la cual aparte de cumplir dichos requerimientos tiene propiedades que hacen que sea más fácil trabajar con herramientas manuales.

Para la manufactura del modelo de la embarcación se contrató a un ebanista, a quién se le entregó el Plano de Líneas de Formas del modelo con escala 1:1. Se empezó construyendo 2 mamparos transversales de 45 mm de espesor, uno en el espejo y otro hacia la proa, y para unirlos se instalaron los paneles de los costados en ambas bandas. A continuación, se colocaron tiras de madera de 5 cm de ancho formando el fondo del modelo, véase la Figura No. 37.



Figura No. 37 Construcción de Modelo de Lancha Prototipo

Luego, se procedió a proteger la madera con barniz y pintura, y en la parte interior se le aplicó una capa de fibra con resina para asegurar la estanqueidad del modelo. Una vez construido el casco se instalaron dos flaps, cada uno del ancho de la semimanga a la china y con longitud de cuerda de 13 cm. Para el montaje de éstos se utilizaron bisagras y templadores, de manera que puedan ser removidos, y, que se pueda variar el ángulo de los mismos fácilmente, véase la Figura No. 38.



Figura No. 38 Modelo con Flaps, visto desde la Popa

Finalmente, se procedió a levantar las formas finales del modelo, cuyas dimensiones y características se presentan en la Tabla No. XXXV.

Eslora Total	2.00	metros
Manga	0.77	metros
Puntal	0.35	metros
Calado en Sección Media	0.083	metros
Peso Ligero	32.00	kilogramos
Ángulo de Astilla Muerta	16.70	grados
Longitud de Flap	0.13	metros

Tabla No. XXXV Dimensiones Principales del Modelo y de los Flaps

Debido a la poca experiencia en la construcción de modelos en el medio, la relación entre las dimensiones del mismo y la lancha prototipo resultaron diferentes, siendo el mayor efecto sobre el ángulo de astilla muerta: 16.7° en el modelo y 13° en el prototipo. Las rodas del modelo y prototipo son distintas, ya que tienen un ángulo de inclinación respecto de la vertical en proa de 30° y 39° , respectivamente, véase la Figura No. 39. En esta Figura también se puede observar que el modelo final tiene un cambio brusco de sección en la roda, pero debe recordarse que esta zona del casco estará fuera del agua durante las pruebas. Ninguna de estas diferencias afectó a los objetivos del presente trabajo ya que se tomaron las formas y características finales del modelo para realizar los cálculos de Resistencia al Avance.

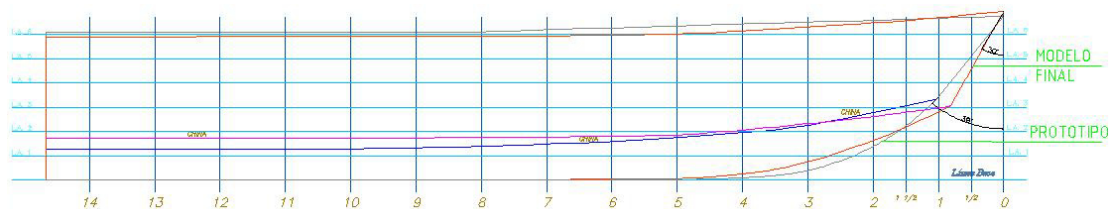


Figura No. 39 Vista Longitudinal de Modelo y Prototipo

Con las dimensiones y características del modelo se generaron las formas usando los programas Maxsurf, [8], y GFormas, [9]; con este último se obtuvo la Tabla de Puntos para posteriormente ejecutar el programa SHCP, [10], y obtener los cálculos hidrostáticos. En las Figuras No. 38 y 39 se puede

observar el modelo y el Plano de Líneas de Formas del mismo, obtenidos de [8].

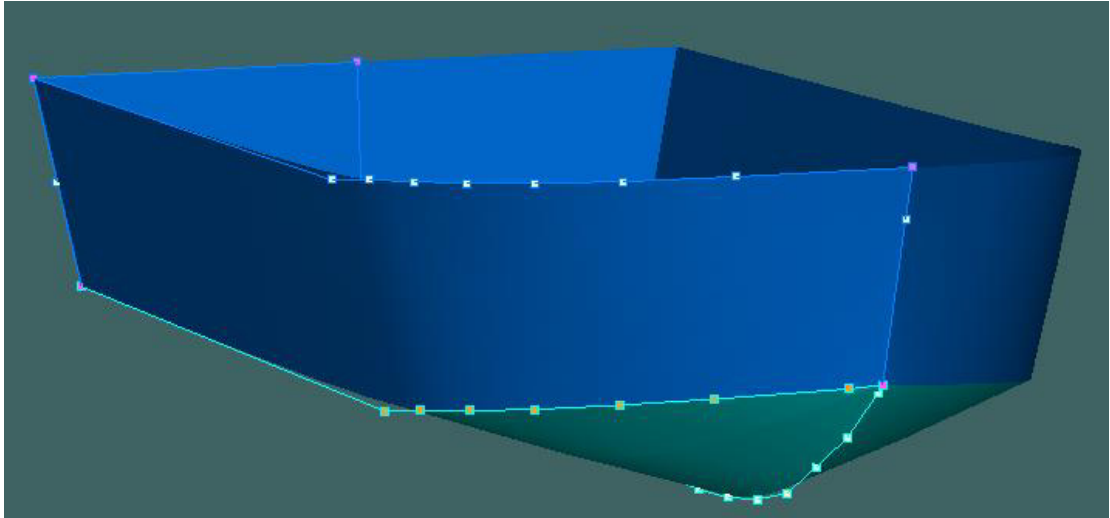


Figura No. 40 Modelo realizado en Maxsurf

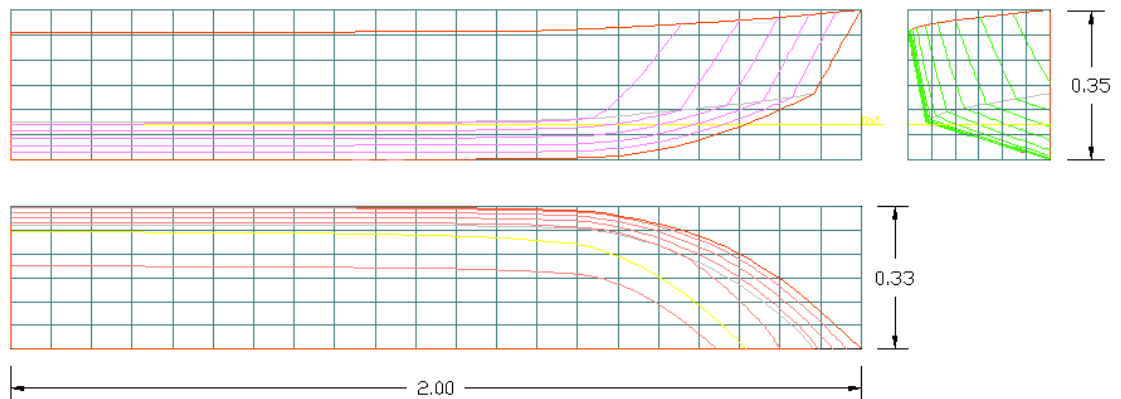


Figura No. 41 Plano de Líneas de Formas del Modelo

En la Figura No. 42 se presentan las Curvas Hidrostáticas resultantes, utilizando [11], con un asiento de -2.74 cm en la Condición Ligera (32 kg). De estas curvas tenemos que, el calado para la Condición de Carga 1, de 70.1 kg es de 12.3 cm y el de la Condición de Carga 2, de 91.9 kg, de 14.5 cm.

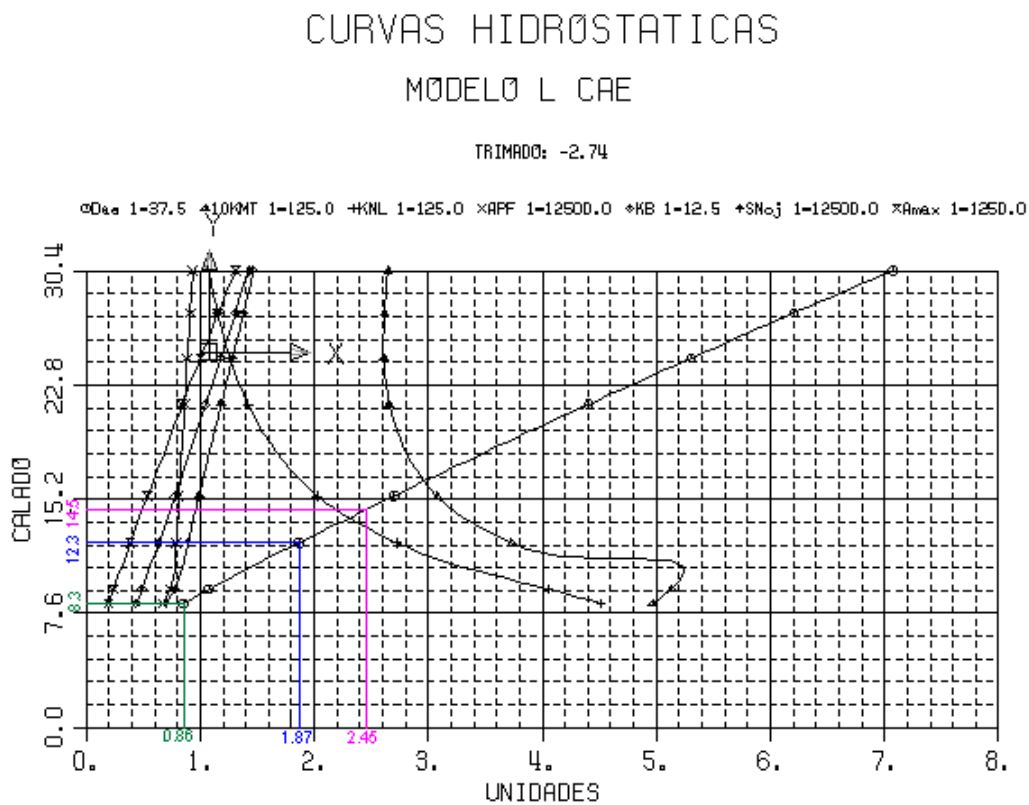


Figura No. 42 Curvas Hidrostáticas del Modelo

Para determinar el Centro de Gravedad Longitudinal (LCG) del Modelo Ligero se utilizó el método de equilibrio de momentos, para lo cual se suspendió el

modelo con balanzas digitales y se registraron las Fuerzas requeridas. Posteriormente, se realizó un Diagrama de Fuerzas, véanse las Figuras No. 41 y 42, y se determinó el LCG.



Figura No. 43 Peso de Modelo con Balanzas Digitales

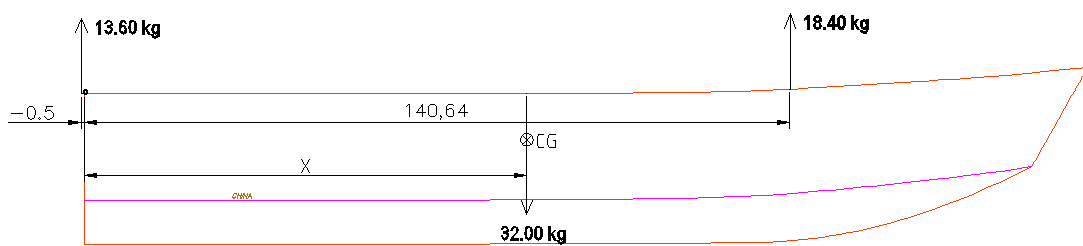


Figura No. 44 Diagrama de Fuerzas de Modelo

Luego de realizar los cálculos por el método antes mencionado se determina que el LCG es 0.81 m, medido desde el origen, es decir, desde la popa del modelo.

El Centro de Gravedad Longitudinal (LCG) para las dos Condiciones de Carga se lo cálculo con SHCP, [10]; siendo 0.71 m para la primera, 71.1 kg, y 0.75 m para la segunda, 91.9 kg. Los pesos colocados para llegar a las Condiciones de Carga fueron calibrados y marcados, véase la Figura No. 45.



Figura No. 45 Pesos calibrados para las Pruebas Experimentales

En las Figuras 44 y 45 se observa el Modelo con los pesos colocados a 0.5, 0.7 y 0.9 metros medidos desde el espejo, para alcanzar cada Condición de Carga.



Figura No. 46 Modelo con Condición de Carga 1, 71.1 kg



Figura No. 47 Modelo con Condición de Carga 2, 91.9 kg

El Centro de Gravedad Vertical (VCG) del modelo de la embarcación prototipo se lo determinó por similitud entre la lancha planeadora y el modelo. Sabiendo que el factor de escala, λ , es de 5.5, y el VCG de la embarcación prototipo es 0.9 m, [6], se tiene que el VCG del modelo es de 16 cm medido desde la Línea Base.

Para comprobar el efecto del VCG en los cálculos de Resistencia se analizó la influencia de distintos valores de VCG para una condición de carga de 84.1 kg. Se escogieron las siguientes alturas desde la quilla: 8 cm, 16 cm y 24 cm, y se ejecutó el programa "Savitsky64Flaps". Los resultados finales mostraron que alrededor de los 7 nudos existe una diferencia máxima de 1.80% en el ángulo de asiento y 1.42% en la Resistencia Total entre las condiciones del VCG extremos, véanse las Figuras No. 43 y 44. Después de analizar estos resultados, se llegó a la conclusión que este parámetro tiene poca influencia en los resultados del ángulo de inclinación y de la resistencia total al avance al aumentar la velocidad del modelo.

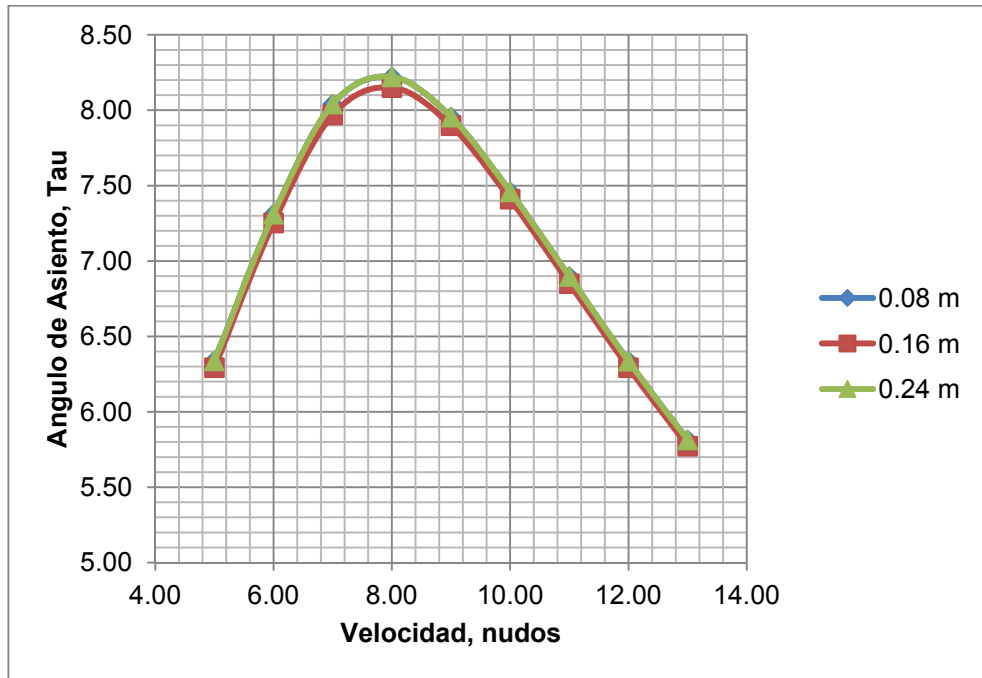


Figura No. 48 Influencia de VCG en el Ángulo de Asiento, τ

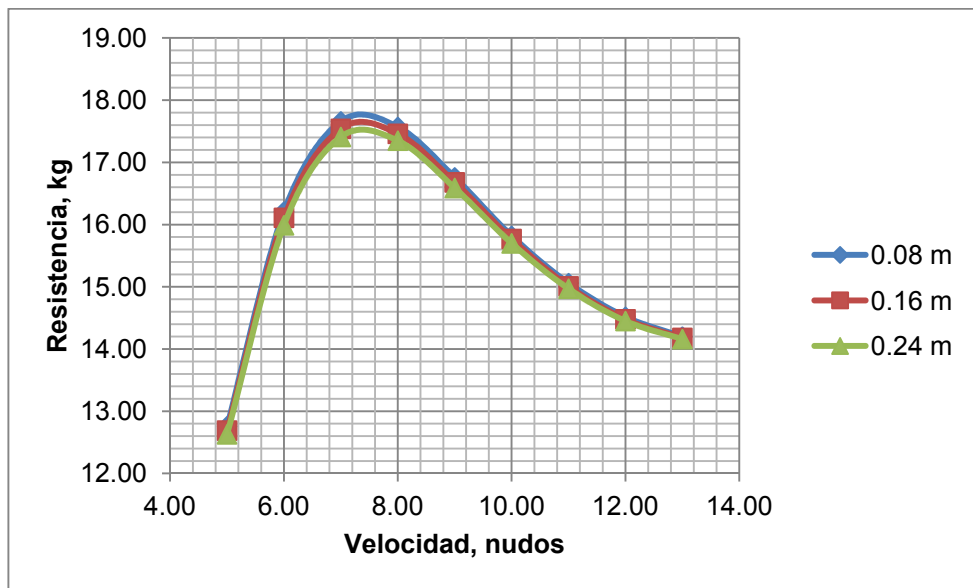


Figura No. 49 Influencia de VCG en la Resistencia Total al Avance

ANEXO B

CONSTRUCCIÓN Y ACOPLA DE BRAZO DE ARRASTRE

El brazo para arrastrar al modelo desde la lancha tiene una longitud de 3.2 metros, para que las olas producidas por la lancha de aluminio no afecten el comportamiento del modelo durante las pruebas. Se construyó de aluminio para facilidad de traslado y maniobrabilidad, y es adaptable a la regala de embarcaciones pequeñas. La ESPOL facilitó la lancha y el motor de 40 HP a utilizar para las pruebas de arrastre del modelo.

En las primeras pruebas, realizadas en Puerto Hondo, se utilizó un brazo de arrastre de 2 m de longitud y un modelo, pertenecientes al Laboratorio de Ingeniería Naval; el arrastre fue realizado por una canoa con un motor de 8 HP. Como conclusiones de esta prueba preliminar se obtuvo que el brazo debía tener la posibilidad de adaptarse al ángulo adecuado y que la longitud del mismo debería ser mayor para que las olas producidas por la canoa no afecten el modelo, véase la Figura No. 50.



Figura No. 50 Pruebas Preliminares con Brazo de Arrastre de 2 m de Longitud

Para la construcción del brazo de arrastre a utilizar en las Pruebas Experimentales de este trabajo se utilizaron 3 metros de tubo rectangular de aluminio, una "C" de acero para adaptarlo a la regala, un tubo de diámetro 25 mm y un vástago roscado. Para adaptarse al ángulo de navegación del modelo tiene una bisagra que permite la libertad de acomodación del mismo. El arrastre del modelo se realizó con este brazo de aluminio, el cuál tiene una

longitud final de 3.20 metros, suficiente para que las olas de ambos (lancha y modelo) no influyan en los resultados obtenidos, véase la Figura No. 51.



Figura No. 51 Brazo de Arrastre de 3.2 m acoplado a Lancha de Aluminio

Para las pruebas experimentales se utilizó una lancha de 4.34 metros de eslora y 1.6 metros de manga máxima, perteneciente a la Facultad de Ingeniería Marítima (FIMCBOR) de la ESPOL. Para la propulsión de esta lancha se utilizó un motor fuera de borda Yamaha de 40 HP.

ANEXO C

DETALLE DE EQUIPOS

Los equipos requeridos para calcular la Resistencia Total al Avance del Modelo y el Ángulo de Inclinación del mismo durante las pruebas son una celda de carga y un inclinómetro, respectivamente. Adicionalmente, se requirieron los siguientes equipos y/o accesorios: tarjeta de adquisición de datos, medidor de velocidad del agua, anemómetro, densímetro, batería de 12V, inversor, una fuente de poder y un computador portátil.

PODER ELÉCTRICO

Para la alimentación eléctrica de la celda de carga, el inclinómetro y el computador portátil se utilizó lo siguiente:

- 1 Batería Conauto (12 Voltios)
- 1 Inversor Black and Decker (Salida 115 Voltios y 60 Hz)
- 1 Fuente de Poder Cosel (12 V y 1.3 A)



Figura No. 52 Batería de 12 V e Inversor

ADQUISICIÓN DE DATOS

Para obtener los resultados salientes del inclinómetro y de la celda de carga se usó la tarjeta de adquisición de datos Omega, Modelo OMB-DAQ-3000, véase la Figura No. 53, y el software de la misma: Daqview. Se estableció que la razón de datos adquiridos (“scan rate”) durante las pruebas sería de 120. Para la comprobación del funcionamiento de todo el conjunto se realizó una prueba preliminar en el laboratorio de Ingeniería Naval. En esa ocasión se colocaron y removieron pesos conocidos en la celda en un determinado tiempo y a su vez se midió la inclinación longitudinal y transversal con ángulos ya conocidos, véase la Figura No. 54, dónde se muestran las gráficas obtenidas en cada caso.



Figura No. 53 Tarjeta de Adquisición OMEGA con cables de Celda de Carga conectados a la misma y a la Fuente de Poder

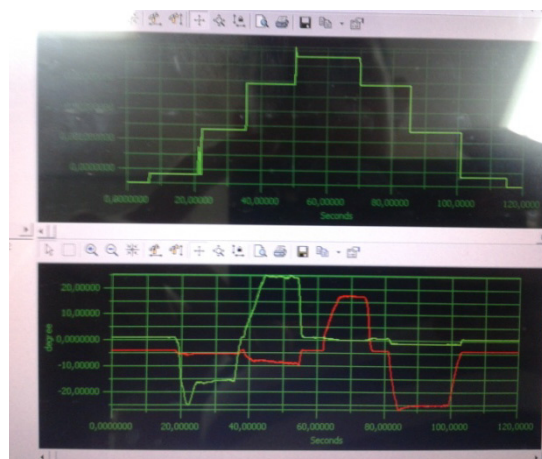


Figura No. 54 Arriba: Curva de Tensión. Abajo: Curvas de Inclinación Biaxial

INCLINÓMETRO

El medidor de inclinación biaxial, Marca Carbo, Modelo 900-H, se utilizó para obtener el asiento y la escora del modelo durante las pruebas, véase la Figura No. 55. Para proteger el sensor, éste fue colocado dentro de una caja de plástico estanca y se lo fijó a la cara superior del mamparo del modelo.



Figura No. 55 Inclinómetro

El Inclinómetro proporciona dos señales en Voltios, la inclinación del modelo longitudinal (asiento) y la inclinación transversal (escora). Los valores del asiento (y) y los de escora (x) obtenidos se convierten a grados con las siguientes ecuaciones:

$$\text{Asiento } [^\circ] = 10.438 * (y[\text{V}]) + 0.2263$$

$$\text{Escora } [^\circ] = 10.363 * (x[\text{V}]) + 0.1136$$

CELDA DE CARGA

La Celda de Carga, Marca AmCells, Modelo STL-50lb, mide la Fuerza de Tensión y Compresión en mV aplicada a los extremos de la misma. Un lado de la celda se fijó a una “Tee” colocada en la proa del modelo y el otro lado se lo amarró con cabo al vástago del brazo de arrastre, véase la Figura No. 56.

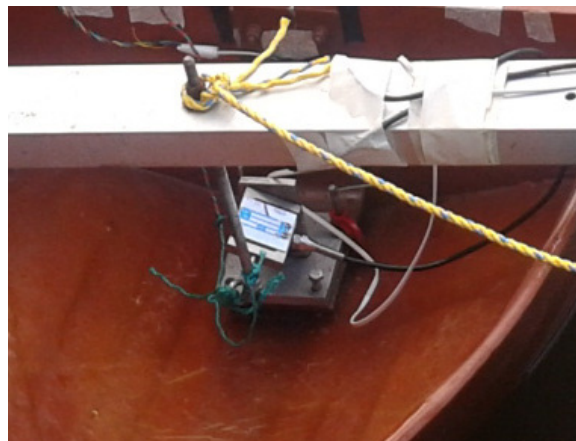


Figura No. 56 Celda de Carga adaptada a “Tee” fija al Modelo

En el caso de las pruebas, los datos obtenidos de arrastre (tensión), se convirtieron a kilogramos utilizando la fórmula brindada por el fabricante de la celda:

$$\text{Tensión [kg]} = (x[\text{mV}] * (50/2.9941 * V))/2.205$$

Donde:

x Voltaje resultante de Fuerza de Tensión, milivoltios

V Voltaje de alimentación de la Celda de Carga, voltios

MEDIDOR DE VELOCIDAD DE LANCHA

El medidor de velocidad (véase la Figura No. 57) utilizado en las pruebas se fijó en la proa de la lancha y durante las mismas una persona se encargó de anotar las velocidades mostradas en el medidor. Este equipo puede medir velocidades desde 0.03 a 7.5 m/s (0.06 a 14.6 nudos) y utiliza una batería de 9V.



Figura No. 57 Medidor de Velocidad Swoffer, Modelo 2100

ANEMÓMETRO

El anemómetro, véase la Figura No. 58, utilizado durante las pruebas puede medir velocidades del viento desde 0 a 34 m/s. Se obtuvo un resultado de velocidad promedio por prueba realizada.



Figura No. 58 Anemómetro, Marca Ambient Weather, Modelo AR816A

DENSÍMETRO

Para determinar la densidad del agua del lago de la Universidad se tomó una muestra en un envase vacío y limpio. La densidad obtenida fue de 1 gr/cm^3 , véase la Figura No. 59.



Figura No. 59 Densímetro con agua de lago de ESPOL

ANEXO D

PROTOCOLO PARA LAS PRUEBAS

Para las pruebas realizadas los días 08 y 12 de julio se elaboró una lista de chequeo que serviría para que durante las mismas se tenga la menor cantidad de inconvenientes. Esta lista de chequeo es el resultado de una acumulación de las experiencias adquiridas en pruebas preliminares, véase la Tabla No. XXXVI.

Durante las pruebas se utilizó la Tabla No. XXXVII para anotar los datos de velocidad de la lancha, velocidad del viento, tensión e inclinación inicial (0 nudos), temperatura del agua, y tiempo de duración de la prueba obtenidos. Estos valores fueron anotados por la persona sentada en la proa de la lancha. Los datos de Asiento y Resistencia almacenados en el computador portátil se revisarían una vez terminadas las pruebas.

Descripción	Check	Observaciones
Estado de lancha adecuado		
Disponibilidad motor de 40 HP y tanque		
Combustible motor de 40 HP		
Aceite de motor de 4T		
Alambre para sujetar winche		
Tacos de madera		
Llaves de ajuste de pernos		
Cabo para amarrar extremo de brazo a proa de lancha		
Cabo para amarrar celda a brazo		
Celda de carga		
Perno de Ajuste a "Tee"		
Gancho para arrastre		
Inclinómetro y cables adicionales		
Batería de 12V		
Inversor		
Regleta		
Fuente de poder		
Tarjeta Omega y cable		
Computador portátil		
Pantalla		
Pernos de Base y llaves de ajuste		
Cámara		
Calculadora		
Tablas para llenar los datos		
Masking tape		
Cinta doble faz		
Destornillador plano pequeño		
Anemómetro		
Pesos de modelo		
Flexómetro		
Cronómetro		
Multímetro		
Termómetro		
Tijera		

Tabla No. XXXVI Lista de Chequeo para Pruebas Experimentales

CONDICIÓN DE CARGA 1 (70.1 kg) SIN FLAPS						
Temperatura del Agua:				°C		
Inclinación Inicial:			X (asiento):			
			Y (escora):			
Tensión Inicial:					mV	
Velocidad Lancha Referencial [m/s]	Velocidad Lancha Real [m/s]				Tiempo de Duración [s]	Velocidad Viento [m/s]
2.57						
3.09						
3.60						
4.12						
4.63						
5.14						
5.66						
6.17						
6.69						
<i>Notas Adicionales:</i>						

Tabla No. XXXVII Datos a adquirir durante las Pruebas

ANEXO E

Resultados de las Pruebas Experimentales

El 08 de julio se realizaron las Pruebas Experimentales para determinar el cambio en el Asiento y Escora de un modelo de una lancha planeadora. Estos resultados se graficaron en el ejecutable "EasyPlot" y se promediaron los datos obtenidos en voltios en un intervalo de velocidad constante.

Los valores iniciales de Escora y Asiento (Velocidad = 0), véase la Tabla No. XXXVIII, se restaron de cada valor obtenido durante las pruebas. En las siguientes Figuras, se muestran los datos obtenidos (curva azul), el rango constante considerado (curva roja) y el promedio de ambas curvas, en diferentes pruebas de Asiento y Escora.

Prueba	Asiento Inicial (V)	Escora Inicial (V)
C1SF	-0.80	0.04
C1CF5	-0.50	0.05
C1CF10	-0.46	0.02
C2SF	-0.90	0.10
C2CF5	-0.50	0.04
C2CF10	-0.45	0.02

Tabla No. XXXVIII Valores Iniciales de Asiento y Escora

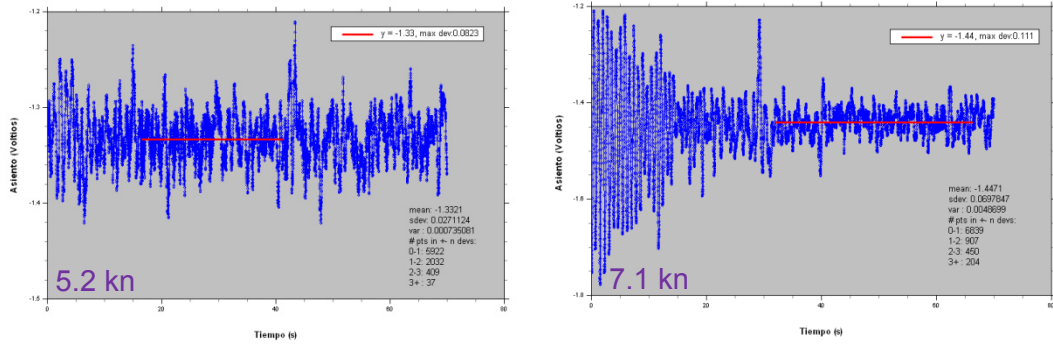


Figura No. 60 Resultados de Asiento del Modelo sin flaps con Condición de Carga 1

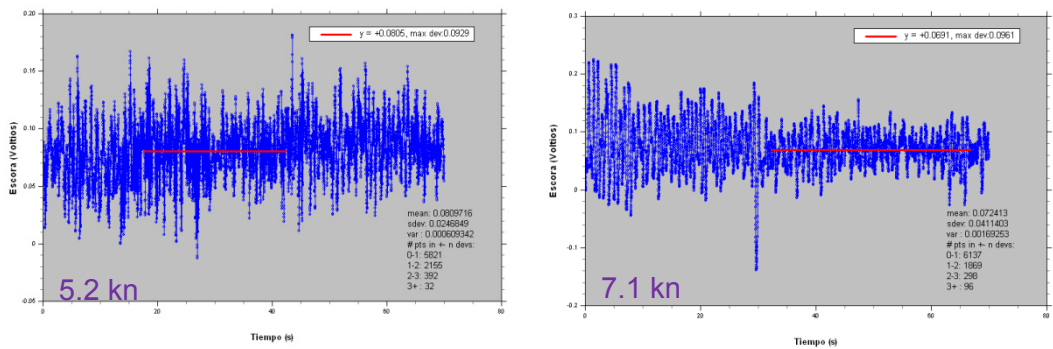


Figura No. 61 Resultados de Escora del Modelo sin flaps con Condición de Carga 1

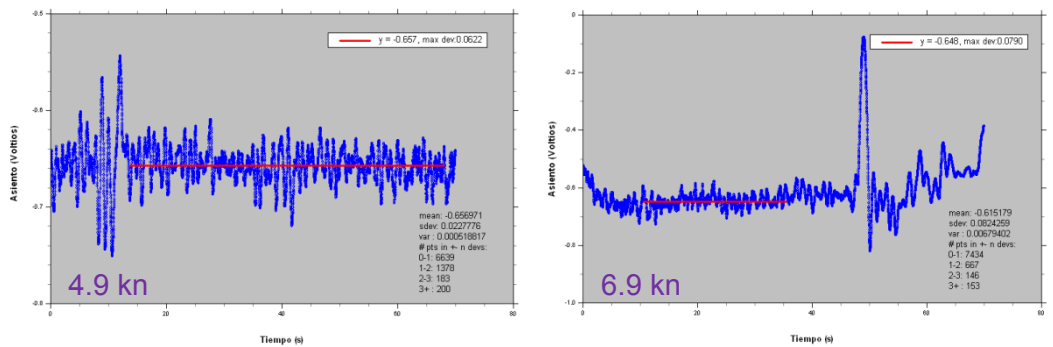


Figura No. 62 Resultados de Asiento del Modelo con flaps a 5° con Condición de Carga 1

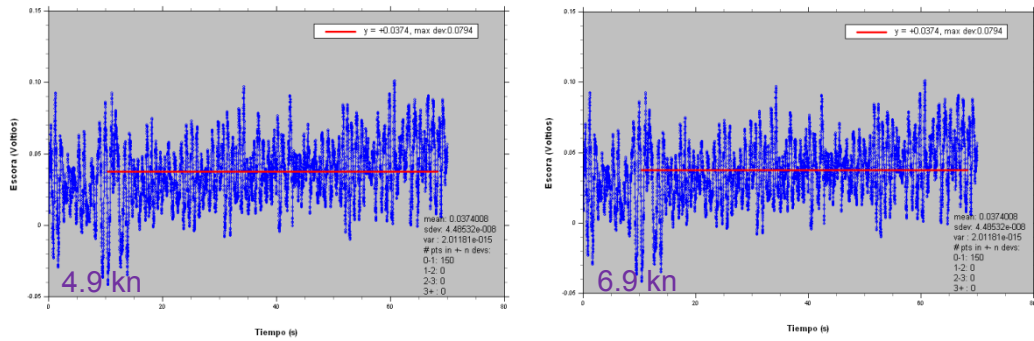


Figura No. 63 Resultados de Escora del Modelo con flaps a 5° con Condición de Carga 1

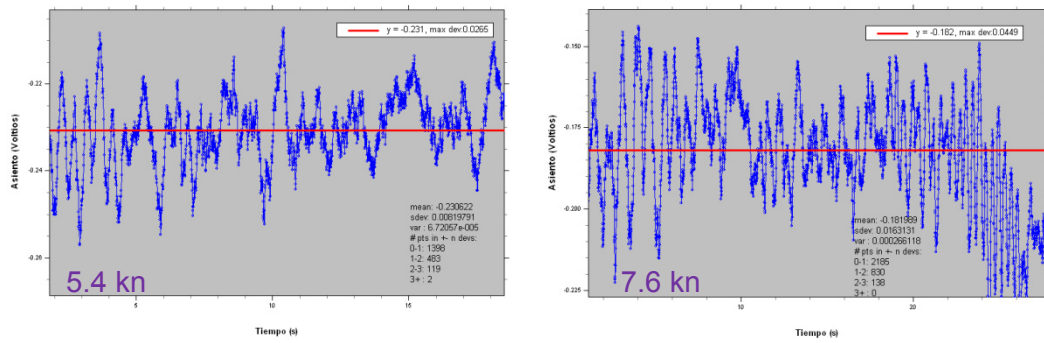


Figura No. 64 Resultados de Asiento del Modelo con flaps a 10° con Condición de Carga 1

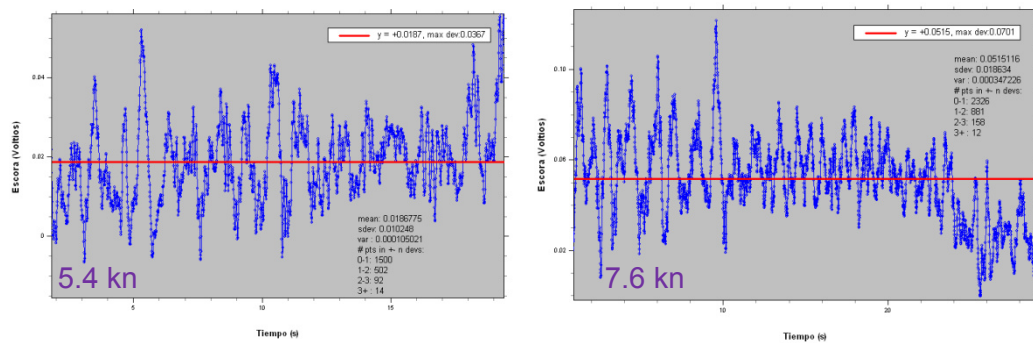


Figura No. 65 Resultados de Escora del Modelo con flaps a 10° con Condición de Carga 1

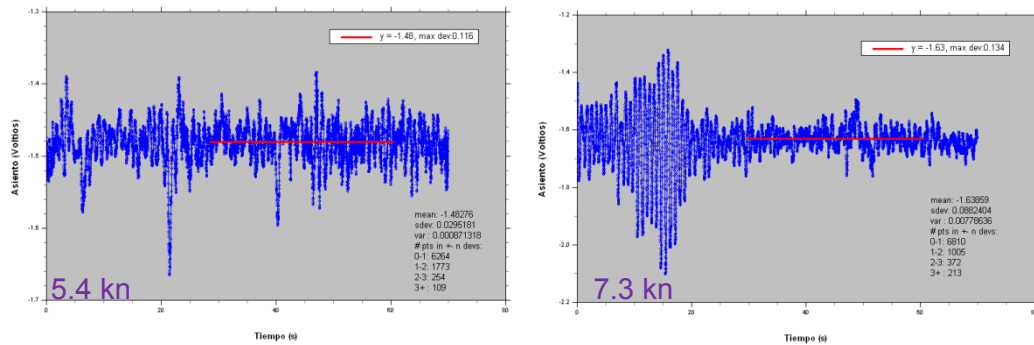


Figura No. 66 Resultados de Asiento del Modelo sin flaps con Condición de Carga 2

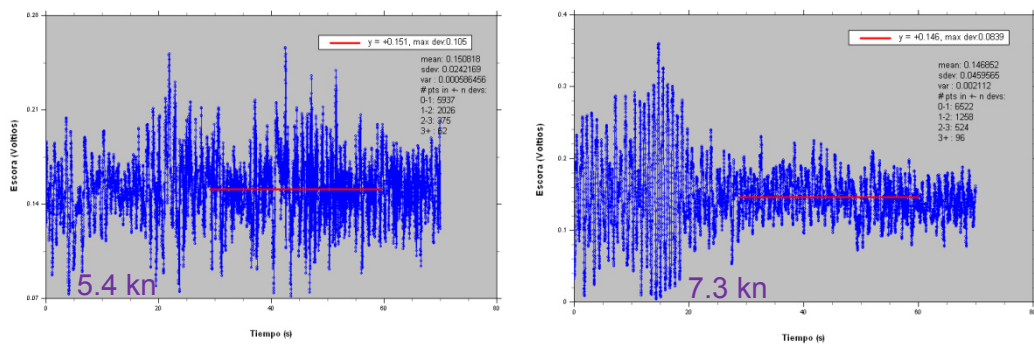


Figura No. 67 Resultados de Escora del Modelo sin flaps con Condición de Carga 2

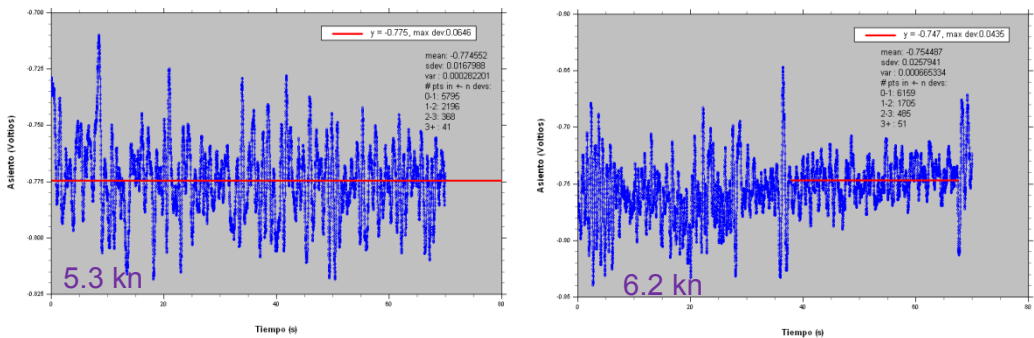


Figura No. 68 Resultados de Asiento del Modelo con flaps a 5° con Condición de Carga 2

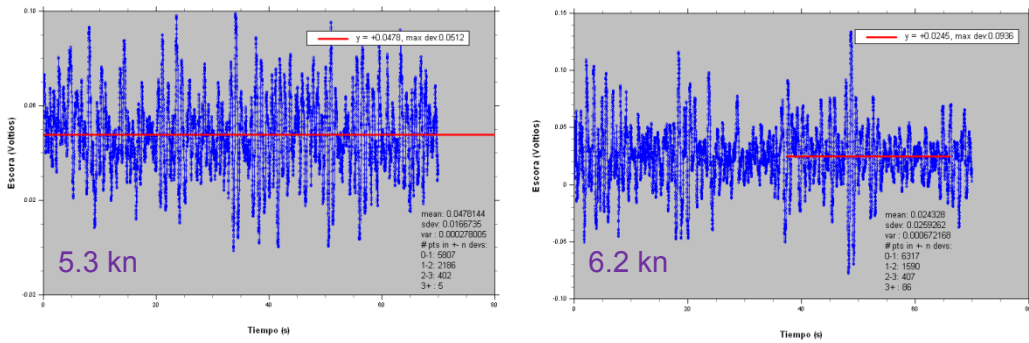


Figura No. 69 Resultados de Escora del Modelo con flaps a 5° con Condición de Carga 2

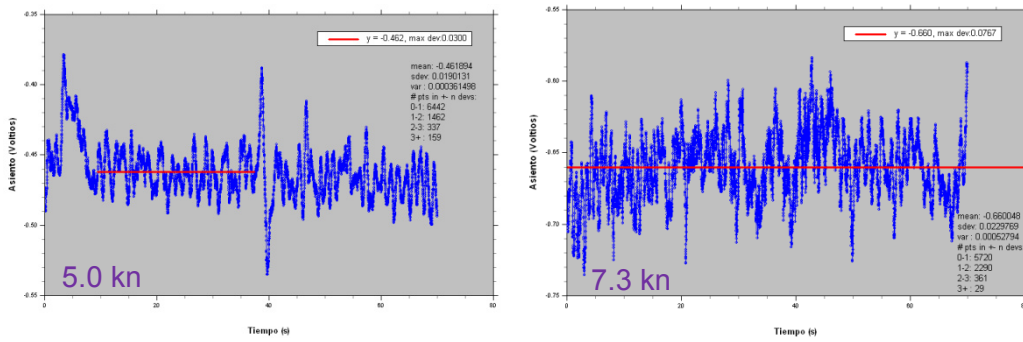


Figura No. 70 Resultados de Asiento del Modelo con flaps a 10° con Condición de Carga 2

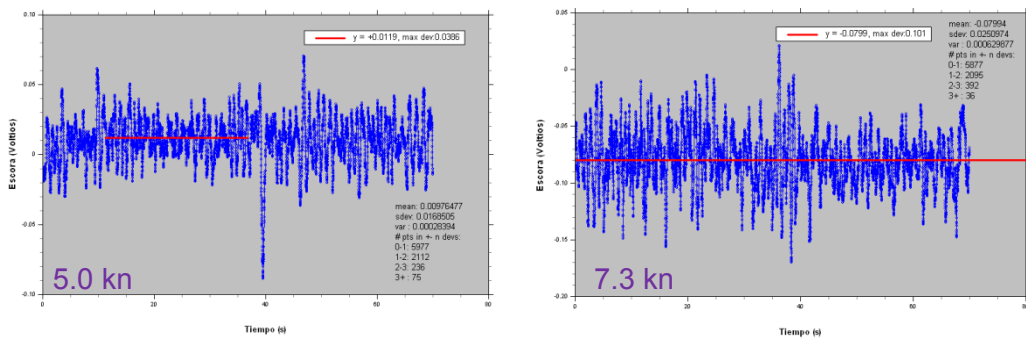


Figura No. 71 Resultados de Escora del Modelo con flaps a 10° con Condición de Carga 2

El jueves 12 de julio se realizaron las pruebas de Resistencia al Avance. Los resultados adquiridos se graficaron en el Programa "EasyPlot" y se promediaron los datos obtenidos en milivoltios en un intervalo de velocidad constante.

Los valores iniciales de Resistencia (Velocidad = 0), véase la, se restaron de cada valor obtenido durante las pruebas. En las siguientes Figuras, se muestran los datos obtenidos (curva azul), el rango constante considerado (curva roja) y el promedio de ambas curvas, en diferentes pruebas de Resistencia.

Prueba	Resistencia Inicial (mV)
C1SF	0.20
C1CF5	3.00
C1CF10	13.00
C2SF	0.20
C2CF5	3.00
C2CF10	13.00

Tabla No. XXXIX Inicial en Pruebas Resistencia

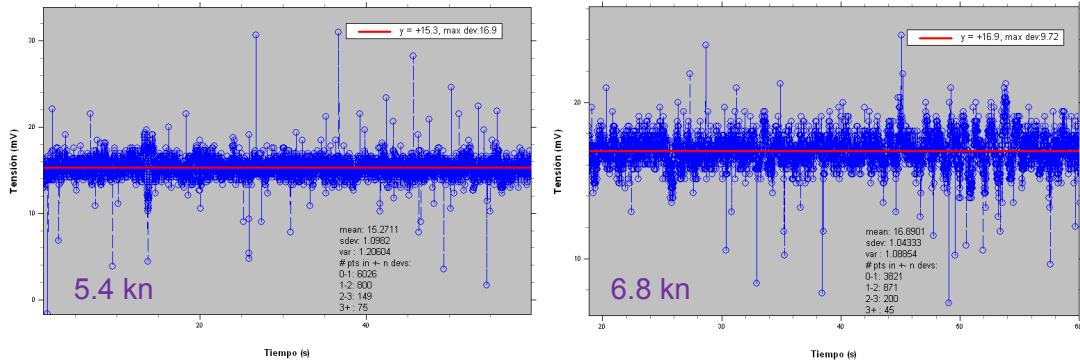


Figura No. 72 Resultados de Resistencia al Avance del Modelo sin Flaps con Condición de Carga 1

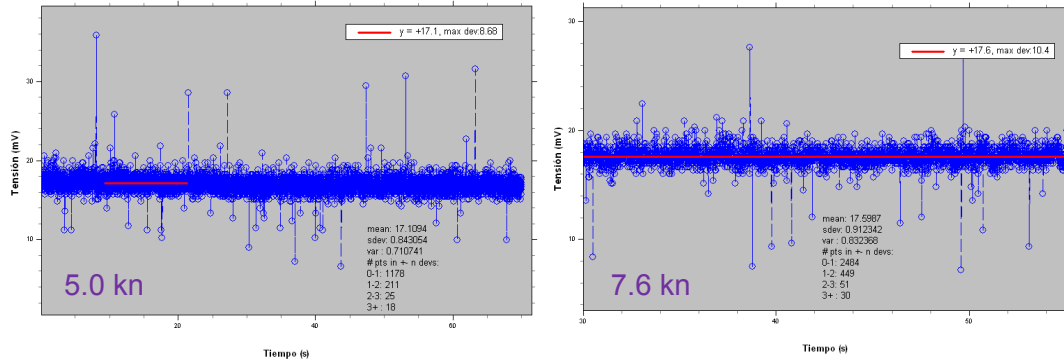


Figura No. 73 Resultados de Resistencia al Avance del Modelo con Flaps a 5° con Condición de Carga 1

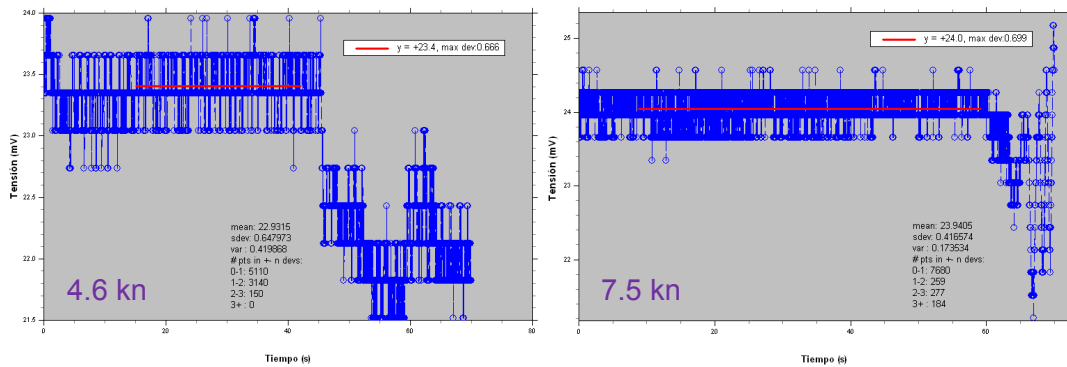


Figura No. 74 Resultados de Resistencia al Avance del Modelo con Flaps a 10° con Condición de Carga 1

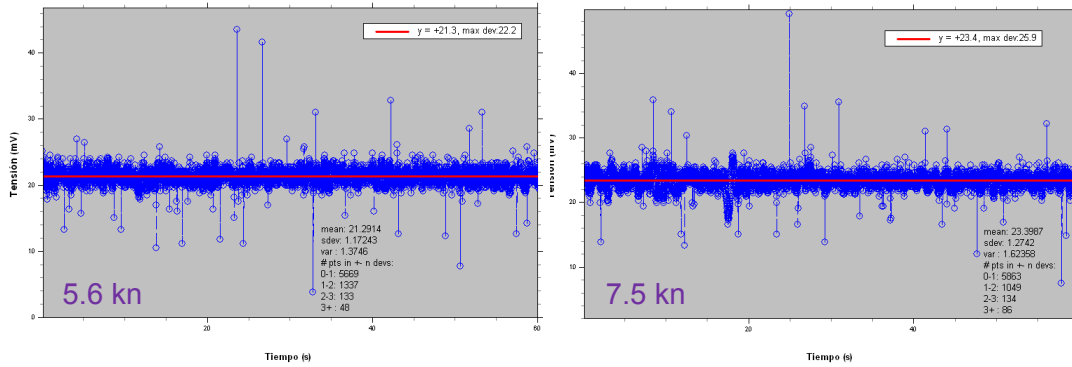


Figura No. 75 Resultados de Resistencia al Avance del Modelo sin Flaps con Condición de Carga 2

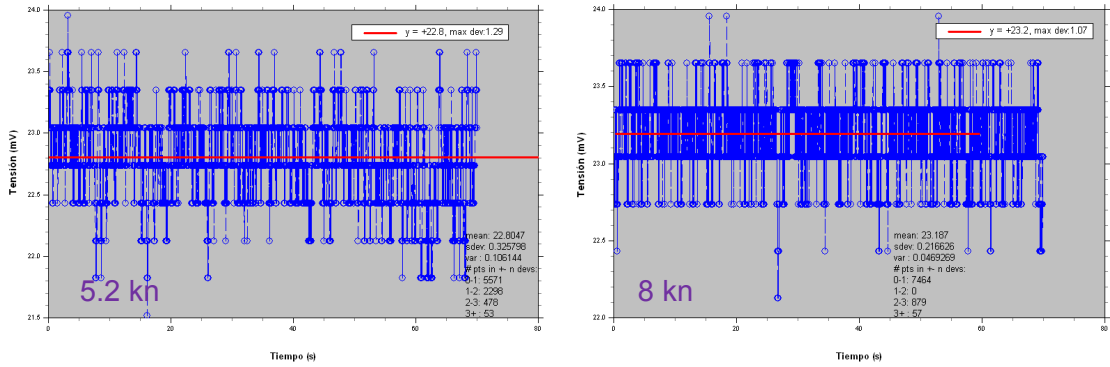


Figura No. 76 Resultados de Resistencia al Avance del Modelo con Flaps a 5° con Condición de Carga 2

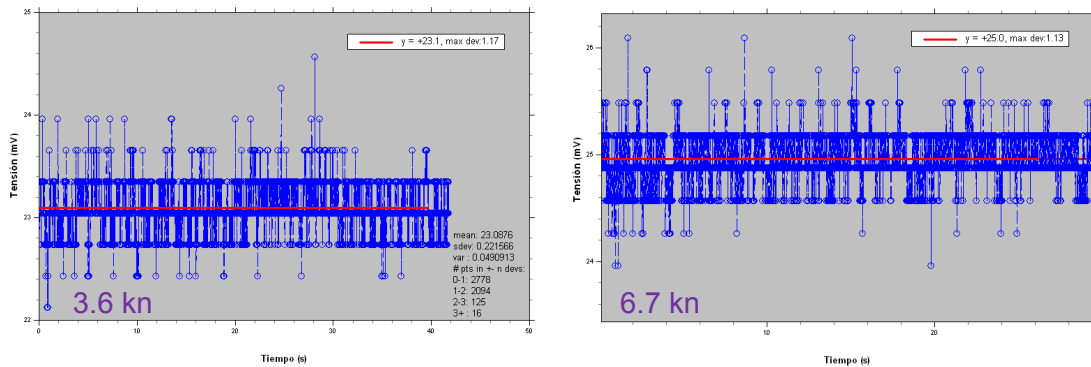


Figura No. 77 Resultados de Resistencia al Avance del Modelo con Flaps a 10° con Condición de Carga 2

BIBLIOGRAFÍA

- [1] FALTINSEN, Odd M., Hydrodynamics of High-Speed Marine Vehicles, Cambridge University Press, 2005.
- [2] SAVITSKY, Daniel, Hydrodynamic Design of Planing Hulls, Marine Technology Vol. I, 1964.
- [3] SAVITSKY D. y BROWN W., Procedures for Hydrodynamic Evaluation of Planing Hulls in Smooth and Rough Water, Marine Technology Vol 13, No.4, 1976.
- [4] LORD L., Naval Architecture of Planing Hulls, Cornell Maritime Press, Inc., 1963.
- [5] VAN MANEN, J.D. y VAN OOSSANEN P., Resistance, Capítulo 5, Principles of Naval Architecture Vol II, editado por E. Lewis, SNAME, 1988.
- [6] ASTINAVE, Departamento de Nuevas Construcciones, Memoria técnica de las Lanchas para la CAE, Astinave, 2010.

- [7] SALAZAR P., PORRAS J. y SÁNCHEZ L., “Savitsky64” Program, Proyecto del curso Programación Aplicada I, FIMCBOR-ESPOL, 2010.
- [8] FORMSYS, MAXSURF, Academic Program, 2011.
- [9] MARÍN J.R., GFORMAS, Programa para Generación de Formas de Buques, 2001.
- [10] US-NAVY, SHCP, Ship Hull Characteristics Program, 1965.
- [11] HAMILTONJET, Manual de Diseño de la Serie HJ de Hidrojets.