

# Pruebas Experimentales para determinar la influencia de Flaps en la Resistencia al Avance de una Lancha Planeadora de 11 metros

J. R. Marín<sup>1</sup>, D. Benites<sup>2</sup>

Facultad de Ingeniería Marítima, Ciencias Biológicas, Oceánicas y de Recursos Naturales  
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)  
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral  
Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador  
[jrmarin@espol.edu.ec](mailto:jrmarin@espol.edu.ec)<sup>1</sup>, [dbenites@espol.edu.ec](mailto:dbenites@espol.edu.ec)<sup>2</sup>

## 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, se puede mejorar el comportamiento hidrodinámico de embarcaciones planeadoras con el uso de flaps. En el año 2010 se construyeron cuatro lanchas planeadoras de 11 metros y para el desarrollo de este trabajo se elaboró un modelo de 2 m. Se implementó el Programa "Savitsky64Flaps", que permite calcular la Resistencia al Avance del modelo con la influencia de flaps. Para las pruebas experimentales se haló el modelo desde una lancha en una zona de aguas tranquilas. A continuación, se compararon los resultados empíricos y experimentales del modelo. Las tendencias de las curvas experimentales resultaron bastante similares a las curvas empíricas; se observa la presencia de un valor máximo, alrededor de un Coeficiente de Velocidad de 1.5, lo que concuerda con lo establecido por 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.*

**Palabras Claves:** Lancha Planeadora, Modelo, Resistencia, Pruebas Experimentales, Flaps, Asiento, Savitsky.

## Abstract

*A vessel is planing when the Froude number is higher than 1.2 and in this condition, the weight of the vessel is mainly supported by hydrodynamic pressure. Also, the hydrodynamic performance of planing boats can be improved with the use of Flaps. In 2010 there were built 4 planing vessels of 11 meters and for the development of this work it was made a model of it of 2 m. The program "Savitsky64Flaps" was implemented, which included the Flaps in the Resistance calculations of planing boats. For the experimental tests the model was pulled from a boat in a calm water zone. Then, it was made a comparison of the empirical and experimental results, concluding that both curves had the same trend. A maximum value was observed around a 1.5 of Speed Coefficient, this according to what was established by Savitsky. Finally, dimensional analysis led to calculate the Total Resistance of the prototype, and it can be observed that the performance of the hull where improved with the Flaps at 5°, in a speed range of 12 to 23 knots.*

**Keywords:** Planing Boat, Model, Resistance, Experimental Tests, Flaps, Trim, Savitsky.

## 1. 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 cuales 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.

## 2. Descripción de Lancha Prototipo y del Modelo

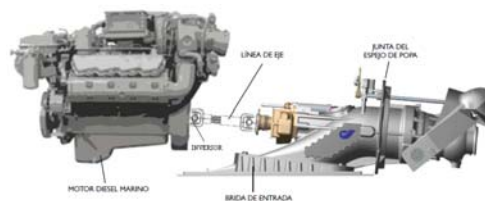
La lancha planeadora prototipo a ser analizada en este trabajo está destinada a realizar labores de patrullaje en el Puerto de Guayaquil. Esta embarcación posee formas prismáticas desde la Sección Media, una china y ángulo de astilla muerta de 13°; además en el espejo tiene instalados dos extensiones 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 la Tabla 1 se muestran las dimensiones y características principales de la embarcación mencionada:

**Tabla 1.** Características Principales de Lancha Prototipo

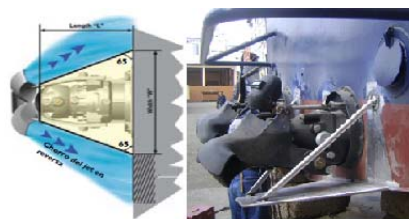
Eslora Total	11	metros
Manga Moldeada	3.80	metros
Puntal Moldeado	1.70	metros
Calado a Máxima Carga	0.74	metros
Desplazamiento Máximo	14.9	toneladas
Asiento	0.20	metros
Velocidad de Servicio	32	nudos

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 1.



**Figura 1.** Esquema de Instalación de Sistema Propulsor

En las primeras pruebas, la lancha no alcanzó la velocidad requerida y por esto se le colocaron dos flaps en el espejo, con la intención de mejorar el rendimiento del mismo, véase la Figura 2.



**Figura 2.** Flaps instalados en Lancha Prototipo

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].

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 la sección 5 de este trabajo. A continuación, se muestran las dimensiones generales del modelo:

**Tabla 2.** Características Principales del Modelo

Eslora Total	2.00	m
Manga	0.67	m
Puntal	0.30	m
Desplazamiento CC1	70.10	kg
Desplazamiento CC2	91.90	kg
Asiento Ligero	-0.02	m
Ángulo de Astilla Muerta	16.70	°
Longitud de Cuerda de Flap	0.13	m
Ancho de Flap	0.31	m
Razón de Aspecto (ancho de flap y manga)	1.00	m/m

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 y para los cálculos empíricos 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.

### 3. Implementación de Programa “Savitsky64Flaps”

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. 3 y 4.

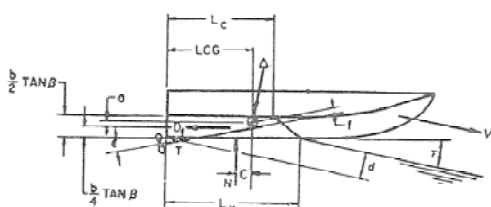


Figura 3. Fuerzas y Momentos que actúan en una Lancha Planeadora, [1]

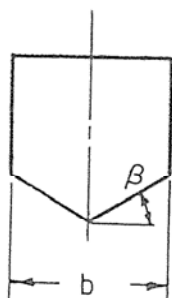


Figura 4. Ángulo de astilla muerta β, [1]

El método utilizado en [1] asume diferentes valores de ángulo de planeo ( $\tau$ ) 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:

$\Delta$	Desplazamiento, kg
$N$	Fuerza Normal perpendicular a la superficie de planeo, kg
$T$	Empuje de la hélice, kg
$D_f$	Resistencia friccional, kg
$\varepsilon$	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.

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

Finalmente, la Resistencia Total al Avance es la siguiente:

$$D = \frac{D_f}{\cos \tau - \Delta \sin \tau}$$

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:

$\beta$	Ángulo de astilla muerta de superficie de plano, grados
$b$	Manga de la china, m
$\nabla$	Volumen, m <sup>3</sup>
$LCG$	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:

$\tau$	Ángulo de planeo, grados
$\lambda$	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 5, tomada de la referencia mencionada:

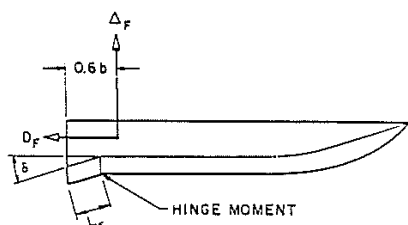


Figura 5. Embarcación Planeadora con flap

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

$L_F$	Longitud de cuerda con valores de 0 a 10% de $L_{pp}$
$\delta$	Ángulo de inclinación del flap con valores de 0 a 15°
$\sigma$	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:

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

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:

$C_f$	Coefficiente de resistencia friccional, según ATTC
$\rho$	Peso específico del agua, kg/m <sup>3</sup>

#### 4. Resistencia al Avance de Modelo de Lancha Planeadora (Cálculo Empírico)

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.

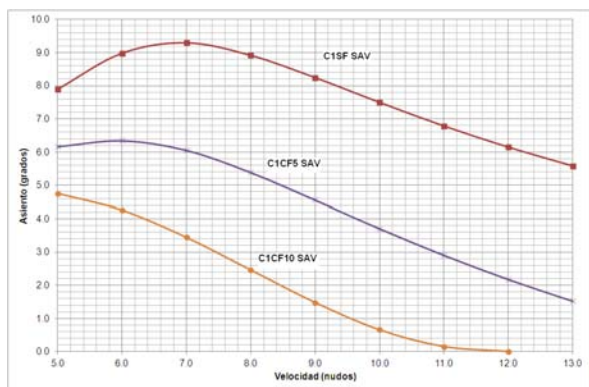
El programa de computación “Savitsky64Flaps” puede ser aplicado cuando el valor del coeficiente de velocidad  $C_v$ , calculado para cascos planeadores, es superior a 1.5, [3]. En las dos condiciones de carga se observa que esto se presenta alrededor de los 7 nudos de velocidad, de manera que se espera 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 3 se presentan los datos de ingreso al programa “Savitsky64Flaps”:

**Tabla 3.** Datos de Ingreso para la Condición de Carga 1, (70.1 kg)

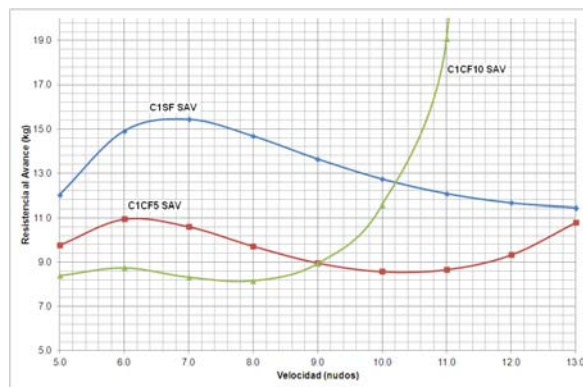
V	0.0701	m <sup>3</sup>	Volumen
b	0.5840	m	Manga de China en el Espejo
$\beta$	16.7	°	Angulo de Astilla Muerta
LCG	0.72	m	Posición de Centro de Gravedad Longitudinal medido desde el Espejo
VCG	0.16	m	Posición de Centro de Gravedad Vertical
$\epsilon$	4.31	°	Ángulo empuje/quilla
f	0.28	m	Distancia Línea propulsión al CG
$\rho$	1000	kg/m <sup>3</sup>	Densidad
$\nu$	0.939e-6	m <sup>2</sup> /s	Viscosidad Cinemática

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 6) y Resistencia Total con la Velocidad (Figura 7).



**Figura 6.** Velocidad vs. Ángulo de Asiento, (70.1 kg)

En la Figura 6, 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.

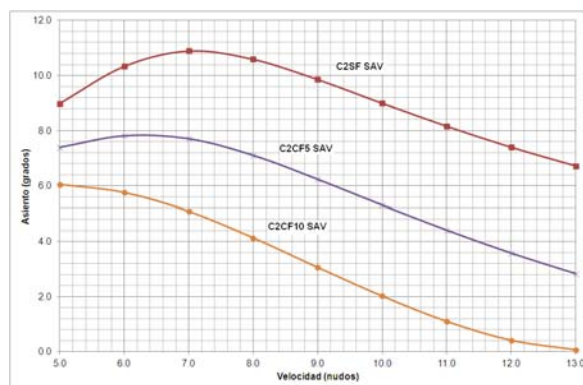


**Figura 7.** Velocidad vs. Resistencia al Avance (70.1 kg)

En la Figura 7, 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.

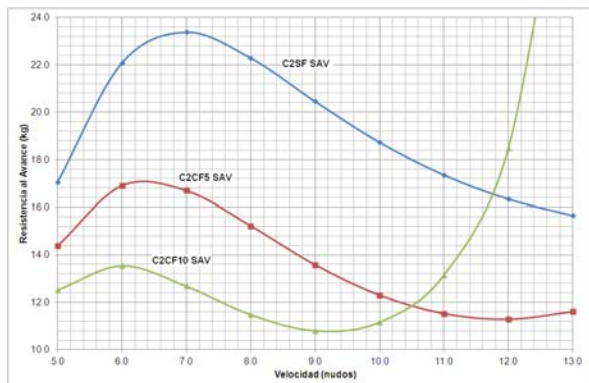
Para la segunda condición de carga analizada, 91.9 kg, se considera el modelo sin y con flaps a 5° y 10° de inclinación. Los datos de ingreso al programa “Savitsky64Flaps” para esta Condición varían en el volumen (0.0919 m<sup>3</sup>) y en la Posición del Centro de Gravedad Longitudinal, LCG (0.75 m), en la Tabla 3.

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 8) y Resistencia Total con la velocidad (Figura 9).



**Figura 8.** Velocidad vs. Ángulo de Asiento, (91.9 kg)

En la Figura 8, 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 9.** Velocidad vs. Resistencia al Avance, (91.9 kg)

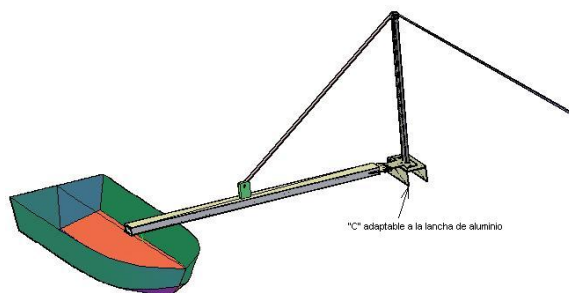
En la Figura 9, las curvas de la Resistencia Total con el flap a 5° y 10° respecto de la curva del modelo sin el mismo, muestran que el rendimiento del casco mejora hasta los 12 nudos de velocidad. La Resistencia con flaps a 10° sobrepasa la curva del modelo sin ellos alrededor de los 12 nudos. Al igual 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.

## 5. Descripción de la Prueba Experimental

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 este trabajo. 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 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.

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, 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 10. Se instaló también un cable para graduar la inclinación del brazo y controlar la dirección de halado.

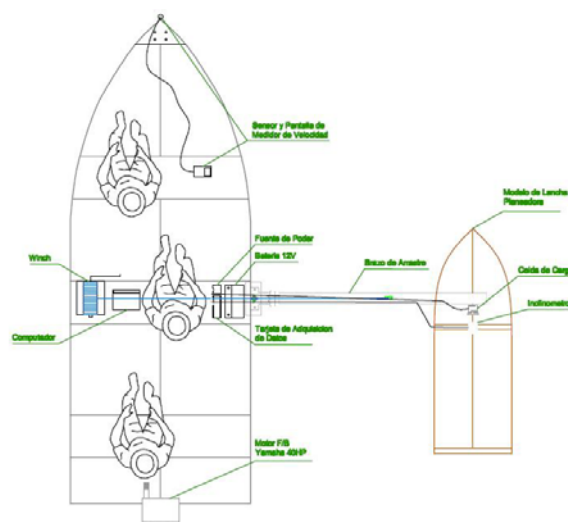


**Figura 10.** Conjunto de Brazo de Arrastre y Modelo para las Pruebas Experimentales

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.

En la Figura 11 se presenta un esquema del sistema armado para las Pruebas Experimentales:



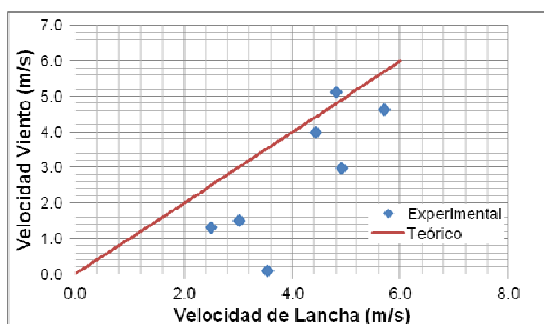
**Figura 11.** Esquema de Accesorios y Equipos

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.

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.

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 12. Con estas gráficas para cada condición se pudo concluir que el viento no afectó los resultados de resistencia adquiridos en las pruebas experimentales.

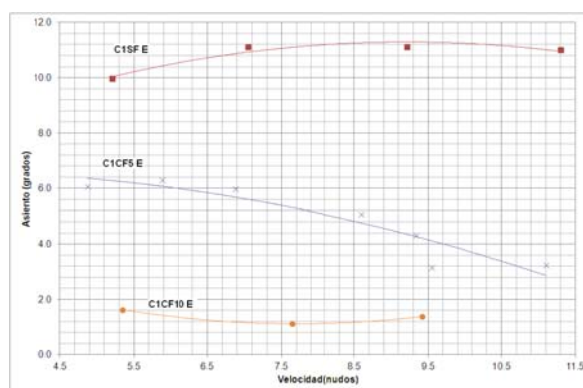


**Figura 12.** Velocidad de Lancha vs. Velocidad de Viento, Condición de Carga 1 con Flaps a 5°

## 6. Resultados de Asiento y Resistencia al Avance (Pruebas Experimentales)

Las pruebas experimentales se realizaron con el modelo sin los flaps y con ellos a 5 y 10 grados en las Condiciones de Carga 1 y 2, 70.1 kg y 91.9 kg, en un rango de velocidad desde 5 hasta 12 nudos que corresponden a 12 y 29 nudos del prototipo.

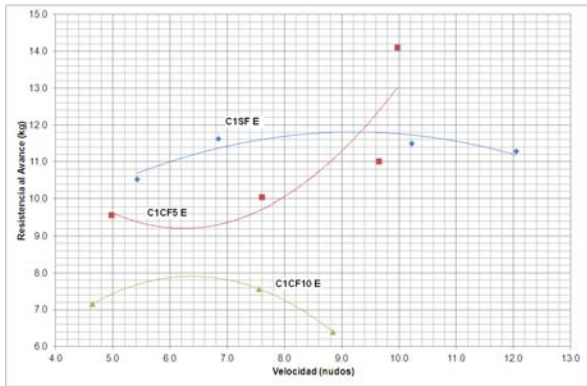
En la Figura 13 se muestran los resultados experimentales y las curvas de tendencias polinómicas obtenidas del Ángulo de Asiento durante las pruebas en la Condición de Carga 1 (70.1 kg) en un rango de velocidad de 4 a 12 nudos de velocidad. En esta gráfica se puede observar que mientras mayor es el ángulo del flap los ángulos de asiento son menores, y que incluso a 10 grados, estos valores se mantienen pequeños (entre 1 y 2 grados).



**Figura 13.** Velocidad vs. Ángulo de Asiento, (70.1 kg)

En la misma figura 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.

En la Figura 14 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.



**Figura 14.** Velocidad vs. Resistencia al Avance, (70.1 kg)

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°.

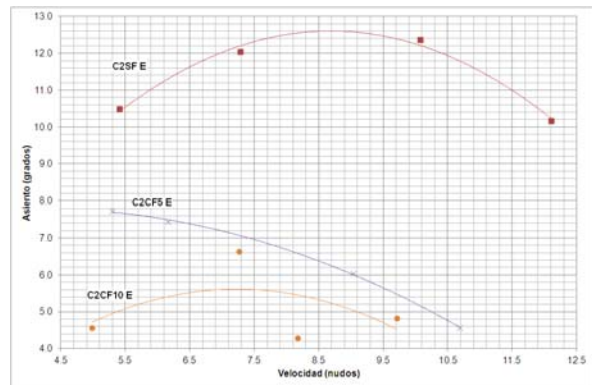
En la Figura 15 se muestra la prueba sin flaps; en las cuales se aprecia el aumento del ángulo de asiento al aumentar la velocidad. A 9.2 nudos la elevación e incremento del ángulo de asiento del modelo hacen que el agua ingrese recién en la Sección Media.



**Figura 15.** Prueba Experimental del Modelo sin Flaps con Condición de Carga 1 (70.1 kg)

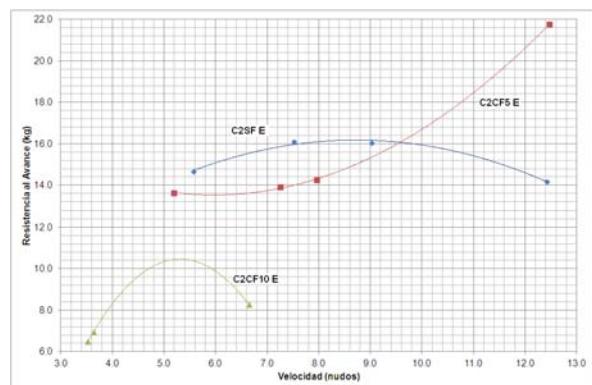
En la Figura 16 se muestran las curvas de Asiento vs. Velocidad del modelo con Condición de Carga 2, obtenidas durante el primer día de pruebas. En esta gráfica se verifica que mientras mayor es el ángulo de los flaps instalados, menor es el ángulo de asiento. El valor máximo, o “hump”, en la prueba 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 16.** Velocidad vs. Ángulo de Asiento, (91.9 kg)

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 17. 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 17.** Velocidad vs. Resistencia al Avance, (91.9 kg)

En la Figura 18 se muestra la prueba sin flaps, donde se puede apreciar el alto valor del asiento consistente con la Figura 16; en este caso la interferencia de la estela de la lancha con el modelo a altas velocidades no se presenta.





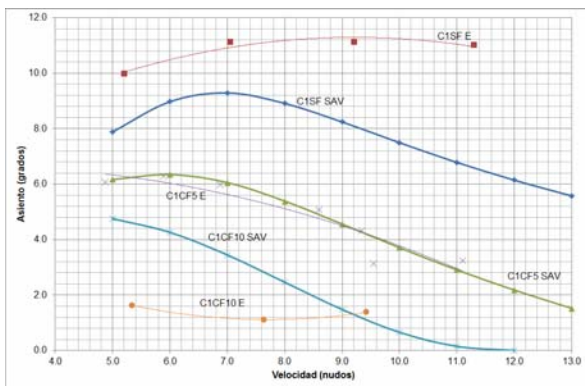
**Figura 18.** Prueba Experimental del Modelo sin Flaps con Condición de Carga 2 (91.9kg)

## 7. Comparación de Resultados Empíricos vs. Experimentales

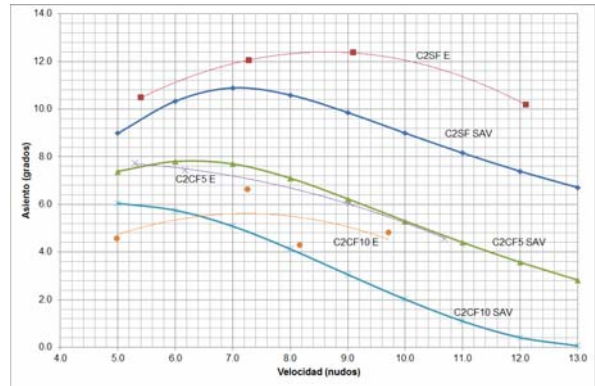
Los resultados empíricos (Método de Savitsky) calculados previamente y los experimentales obtenidos en las pruebas, para las dos Condiciones de Carga (70.1 kg y 91.9 kg) se comparan en esta sección.

A continuación, se presentan las curvas de Asiento, empíricas y experimentales, del Modelo en ambas Condiciones de Carga véanse las Figura 19 y 20. 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 estas gráficas también se observa que los valores obtenidos experimentalmente con el flap a 5° son bastante cercanos a los calculados empíricamente.

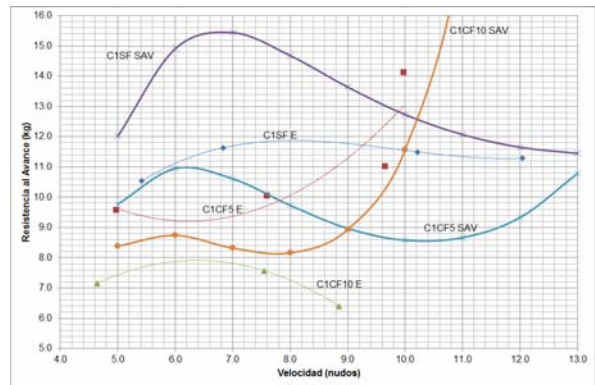


**Figura 19.** Resultados Empíricos y Experimentales de Ángulo de Asiento del Modelo con Condición de Carga 1, (70.1 kg)

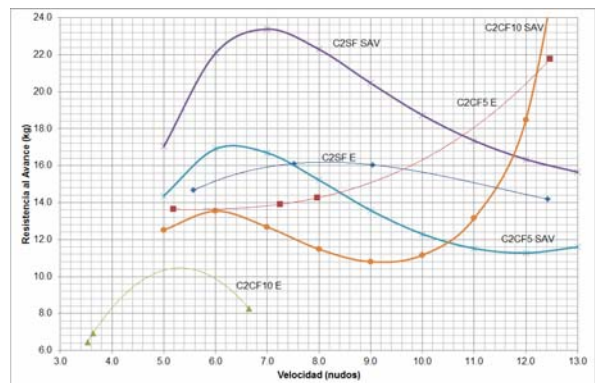


**Figura 20.** Resultados Empíricos y Experimentales de Ángulo de Asiento del Modelo con Condición de Carga 2, (91.9 kg)

Para analizar la Resistencia al Avance empírica y experimental del modelo en ambas condiciones de carga, se usaron las Figuras 21 y 22. En estas gráficas 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.



**Figura 21.** Resultados Empíricos y Experimentales de la Resistencia al Avance del Modelo con Condición de Carga 1, (70.1 kg)



**Figura 22.** Resultados Empíricos y Experimentales de la Resistencia al Avance del Modelo con Condición de Carga 2, (91.9 kg)

Al ser analizados los resultados de Asiento y Resistencia obtenidos durante las pruebas con los flaps a  $10^\circ$  se observó que éstos fueron afectados por las dificultades presentadas en las mismas. El Asiento del Modelo con los flaps a  $10^\circ$  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  $10^\circ$ .

## 8. 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:

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).

En general, la Resistencia al Avance y Asiento obtenidos empíricamente con el programa "Savitsky64Flaps" 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 como 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.

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.

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  $5^\circ$ , 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.

Durante las pruebas del Modelo con los flaps a  $10^\circ$ , 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.

## 9. Referencias

- [1] Savitsky, Daniel, Hydrodynamic Design of Planing Hulls, Marine Technology Vol. I, 1964.
- [2] Lord L., Naval Architecture of Planing Hulls, Cornell Maritime Press, Inc., 1963.
- [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] Faltinsen, Odd M., Hydrodynamics of High-Speed Marine Vehicles, Cambridge University Press, 2005.
- [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.