

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar**

Evaluación del rendimiento propulsivo de una lancha Guardacosta con  
velocidad máxima de 50 nudos

**PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

**Ingeniera Naval**

Presentado por:

Andrea Talhie Gaona Viteri

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2021

## DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico a mis padres José y Amanda por su apoyo y confianza en cada paso que doy y a mis hermanos Leidi y Jefferson, que han sido mi pilar para no rendirme y demostrarles que el esfuerzo de noches de desvelos valen la pena.

A mi tía Angelita y prima Wendy por acompañarme en mi etapa universitaria y por toda la ayuda que me han brindado.

Y a mis ángeles abuelita Andrea y tío Segundo que desde niña me enseñaron a no rendirme y aunque ya no están físicamente sé que desde el cielo celebran conmigo, este gran logro.

# AGRADECIMIENTOS

A Dios y la Virgen del Cisne por guiarme e iluminarme a lo largo de cada etapa de mi vida y a mis padres por su sacrificio a diario para que yo estudie y por su amor incondicional.

A mis profesores a lo largo de mi etapa universitaria, los cuales compartieron sus conocimientos y a portaron a mi formación académica.

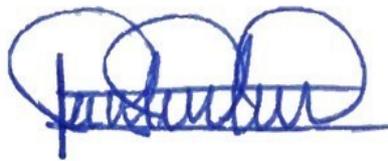
A mis tutores él Ph.D. Rubén Paredes y al Ph.D. José R. Marín por su dedicación y orientación a lo largo de este trabajo.

Al Capitán Iván Arias, por su predisposición en colaborar con el proyecto.

A mis amigos por su apoyo y paciencia a diario en la aulas que lograron que esta etapa universitaria sea más divertida.

## DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, me corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Andrea Talhie Gaona Viteri* doy mi consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

A handwritten signature in blue ink, consisting of several overlapping loops and a horizontal line at the bottom, representing the name Andrea Talhie Gaona Viteri.

Andrea Talhie Gaona Viteri

# EVALUADORES



Firmado electrónicamente por:  
**NADIA ROSENDA  
MUNOZ AGILA**

---

**Nadia Muñoz, M.Sc.**

PROFESOR DE LA MATERIA



Firmado electrónicamente por:  
**RUBEN JOSE  
PAREDES  
ALVARADO**

---

**Rubén J. Paredes, Ph.D.**

PROFESOR TUTOR

Firmado digitalmente por  
**JOSE ROLANDO MARIN  
LOPEZ**  
Fecha: 2021.05.21 13:45:41  
-05'00'

---

**José R. Marín, Ph.D.**

PROFESOR CO-TUTOR

## RESUMEN

En este trabajo se evalúa la conveniencia de recuperar las lanchas interceptoras de 11 metros debido al incremento de actos ilícitos en el territorio marítimo del país. Se usa métodos semi-empíricos para aproximar las características operativas reales de estas embarcaciones. Se empezó identificando los requerimientos del Cuerpo de Guardacostas (CG) de la Armada del Ecuador y se enfatizó en el operativo denominado "Perro de Caza" que contaba con siete lanchas interceptoras que alcanzaban velocidades de 50 nudos. Estas embarcaciones tenían dos motores diesel estacionarios de 350 HP conectados a hélices Surface Piercing (SPP). Luego se evaluó la resistencia y asiento dinámico de una lancha simplificada usando el método de Savitsky incluyendo el efecto de los flaps. Se procedió luego con el análisis de la estabilidad, cumpliendo con todos los criterios a diferentes condiciones de carga. Para el análisis de la eficiencia de las hélices, se implementaron polinomios disponibles en la literatura para aproximar el rendimiento de las hélices similares tipo SPP y se comparó con propulsores convencionales de la serie B de Wageningen.

Se obtuvieron resultados de eficiencia propulsiva del 59%, con las dos hélices SPP acopladas. Considerando las especificaciones de los motores instalados se estimó que la lancha alcanzaría una velocidad de 46 nudos, 8% menor que la registrada en la prueba de mar realizada el año 2015. Finalmente, se concluye que empleando estimaciones semi-empíricas para la resistencia, estas lanchas alcanzan la velocidad requerida por el CG, pero no cumplen con el tiempo mínimo de navegación de ocho horas.

**Palabras Clave:** Lanchas interceptoras, Velocidad, Hélices Surface Piercing, Eficiencia propulsiva

## **ABSTRACT**

*This work evaluates the convenience of recovering 11-meter interceptor craft due to the increase of illicit acts in the country's maritime territory. Semi-empirical methods are used to approximate the real operational characteristics of these crafts. We began by identifying the requirements of the Coast Guard in the Navy (CG) of the Ecuadorian Navy and emphasized the operation called "Perro de Caza", which had seven interceptor craft that reached speeds of 50 knots. These craft had two 350 HP stationary diesel engines connected to Surface Piercing Propellers (SPP). The dynamic drag and trim of a simplified boat was then evaluated using Savitsky's method including the effect of the flaps. Stability analysis was then performed, fulfilling all criteria at different loading conditions. For the propeller efficiency analysis, polynomials available in the literature were implemented to approximate the performance of similar SPP type propellers and compared with conventional Wageningen B series propellers.*

*Propulsive efficiency results of 59% were obtained, with the two SPP propellers coupled. Considering the specifications of the installed engines, it was estimated that the boat would reach a speed of 46 knots, 8% lower than that recorded in the sea trial conducted in 2015. Finally, it is concluded that using semi-empirical estimates for endurance, these launches reach the speed required by the CG, but do not meet the minimum navigation time of eight hours.*

**Keywords:** *Interceptor craft, Speed, Surface Piercing propellers, Propulsive efficiency*

# ÍNDICE GENERAL

|   |     |
|---|-----|
| RESUMEN.....  | I   |
| ABSTRACT .....  | II  |
| ÍNDICE GENERAL .....  | III |
| ABREVIATURAS.....   | V   |
| SIMBOLOGÍA .....  | VI  |
| ÍNDICE DE FIGURAS .....   | VII |
| ÍNDICE DE TABLAS.....   | X   |
| CAPÍTULO 1.....   | 1   |
| 1. Introducción.....  | 1   |
| 1.1 Descripción del problema .....  | 2   |
| 1.2 Justificación del problema .....  | 2   |
| 1.3 Objetivos .....   | 3   |
| 1.3.1 Objetivo General .....  | 3   |
| 1.3.2 Objetivos Específicos.....  | 3   |
| 1.4 Marco teórico.....  | 4   |
| 1.4.1 Lanchas Planeadoras y sus características .....                         | 4   |
| 1.4.2 Métodos Semi-empíricos para estimaciones hidrodinámicas .....           | 9   |
| 1.4.3 Inestabilidad Vertical "Porpoising".....                                | 14  |
| 1.4.4 Criterios de Estabilidad Intacta según las regulaciones de la OMI ..... | 15  |
| 1.4.5 Estabilidad dinámica transversal – Roll .....                           | 15  |
| CAPÍTULO 2.....   | 17  |
| 2. Metodología.....   | 17  |
| 2.1 Descripción del Comando de Guardacostas .....                             | 17  |
| 2.1.1 Escuadrón: Lanchas Oceánicas .....                                      | 18  |

|                 |  |    |
|-----------------|--|----|
| 2.1.2           | Escuadrón: Lanchas Ribereñas .....   | 19 |
| 2.1.3           | Escuadrón: Lanchas Interceptoras .....                                     | 20 |
| 2.1.4           | Necesidades presentes en el Comando Guardacostas .....                     | 21 |
| 2.2             | Evaluación del comportamiento dinámico de lanchas rápidas .....            | 22 |
| 2.2.1           | Descripción del programa "Savitsky64Flaps" .....                           | 22 |
| 2.2.2           | Características de lancha interceptora LG-613 Río Macará .....             | 24 |
| 2.2.3           | Modelo geométrico de la lancha Interceptora .....                          | 27 |
| 2.2.4           | Aplicación de "Savitsky64" con flaps.....                                  | 32 |
| 2.2.5           | Análisis de la estabilidad de la lancha Interceptora .....                 | 35 |
| 2.3             | Rendimiento de la Hélice tipo "Surface Piercing" .....                     | 44 |
| 2.3.1           | Geometría de la hélice.....  | 44 |
| 2.3.2           | Implementación de las series sistemáticas de las hélices SPP .....         | 47 |
| 2.3.3           | Curvas características de hélices Surface piercing en aguas abiertas ..... | 49 |
| CAPÍTULO 3..... |  | 55 |
| 3.              | Resultados y análisis.....   | 55 |
| 3.1             | Hélices Wageningen Series B .....  | 57 |
| 3.2             | Comparación de las curvas características de las hélices .....             | 58 |
| 3.2.1           | Rendimiento del sistema propulsivo .....                                   | 60 |
| 3.2.2           | Valoración de requisitos del Comando Guardacostas .....                    | 67 |
| CAPÍTULO 4..... |  | 70 |
| 4.              | Conclusiones y recomendaciones.....  | 70 |
| 4.1             | Conclusiones.....  | 70 |
| 4.2             | Recomendaciones.....   | 73 |

## BIBLIOGRAFÍA

## APÉNDICES

## **ABREVIATURAS**

|       |  |
|-------|--|
| ESPOL | Escuela Superior Politécnica del Litoral |
| OMI   | Marítima Internacional                   |
| SPP   | Surface Piercing Propeller               |
| ITTC  | International Towing Tank Conference     |
| CM    | Cuerpo de Guardacostas                   |

## SIMBOLOGÍA

|                |                       |
|----------------|-----------------------|
| M              | Metro                 |
| Kg             | Kilogramos            |
| N              | Newton                |
| Deg            | Grados                |
| HP             | Horsepower            |
| Ton            | Toneladas             |
| Knots          | Nudos                 |
| m <sup>3</sup> | Volumen               |
| Lt             | Litro                 |
| H              | Hora                  |
| RPM            | Revolución por minuto |
| Pulg           | Pulgada               |
| Atm            | Presión atmosférica   |
| SHP            | Shaft horsepower      |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1.1 Fuerzas que actúan sobre el casco [3].....   | 4  |
| Figura 1.2 Casco en V con rieles [5].....   | 5  |
| Figura 1.3 Casco escalonado y steps [5].....  | 6  |
| Figura 1.4 Arreglo propulsivo básico usando motores estacionarios [6].....  | 7  |
| Figura 1.5 Tipo de propulsores según el rango de velocidad de trabajo [7] .....                                       | 7  |
| Figura 1.6 Hélice tipo "Surface Piercing" de 5 aspas [9].....   | 8  |
| Figura 1.7 Fuerzas que actúan sobre una lancha planeadora [3].....  | 9  |
| Figura 1.8 Embarcación planeadora con flaps [11] .....  | 11 |
| Figura 1.9 Limite de inestabilidad de un casco planeador prismático [3].....  | 14 |
| Figura 2.1 Patrullera de altura LG-41 Isla San Salvador [14] .....  | 19 |
| Figura 2.2 Lanchas Ribereñas [14].....  | 19 |
| Figura 2.3 Lancha Interceptora [14].....  | 21 |
| Figura 2.4 Esquema con las variables de ingreso en programa.....  | 23 |
| Figura 2.5 Esquema del Sistema Propulsivo (Linea de babor).....   | 26 |
| Figura 2.6 Vista en planta - frontal Perfil del casco de la lancha Interceptora. ....                                 | 28 |
| Figura 2.7 Escalones en el fondo en línea de crujía.....  | 28 |
| Figura 2.8 Flaps instalados en la lancha Interceptora. ....   | 29 |
| Figura 2.9 Casco Simplificado – Casco Real de la lancha Interceptora .....  | 30 |
| Figura 2.10 Cuaderna en sección media.....  | 30 |
| Figura 2.11 Sección transversal - vista de perfil del casco simplificado .....  | 31 |
| Figura 2.12 Esquema de la referencia del flap [11] .....  | 33 |
| Figura 2.13 Resistencia al avance con flaps en condición al 100% de carga .....                                       | 34 |
| Figura 2.14 Con flaps- Asiento dinámico vs velocidad en cond al 100% de carga.....                                    | 35 |
| Figura 2.15 Vista de perfil – transversal de la lancha Interceptora sin flotadores.....                               | 36 |
| Figura 2.16 Curva de brazos adrizantes - Sin flotadores al 100% de carga.....   | 37 |
| Figura 2.17 Vista de perfil de la lancha Interceptora con flotadores .....  | 37 |
| Figura 2.18 Curva de brazos adrizantes - Con flotadores al 100% de carga .....  | 39 |
| Figura 2.19 Zonas de Inestabilidad en el plano vertical de la lancha interceptora con ángulo de los flaps de 0° ..... | 40 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 2.20 Zonas de Inestabilidad en el plano vertical de la lancha planeadora con ángulo de los flaps de 2° .    | 41 |
| Figura 2.21 Zonas de Inestabilidad en el plano vertical de la lancha planeadora con ángulo de los flaps de 4° .    | 41 |
| Figura 2.22 Zonas de Inestabilidad en el plano vertical de la lancha planeadora con ángulo de los flaps de 6° .    | 42 |
| Figura 2.23 Momento dinámico transversal en función de la velocidad  | 43 |
| Figura 2.24 Implementos para obtener la geometría de la hélice   | 44 |
| Figura 2.25 Vista en planta de la hélice - Cara de presión (Superior) -Cara de succión (Inferior)                  | 45 |
| Figura 2.26 Secciones transversales de una de las aspas de la hélice   | 46 |
| Figura 2.27 Plano 2D de las secciones transversales y área expandida de una aspa                                   | 46 |
| Figura 2.28 Ejecutable para generar las curvas de hélices propulsores [19]   | 48 |
| Figura 2.29 Curvas características de la hélice $\sigma=\text{atm}$ a $h/D= 30\%$                                  | 50 |
| Figura 2.30 Curvas características de la hélice $\sigma= 0.2$ $h/D= 30\%$  | 50 |
| Figura 2.31 Curvas características de la hélice $\sigma=\text{atm}$ a $h/D= 40\%$                                  | 51 |
| Figura 2.32 Curvas características de la hélice $\sigma=0.2$ a $h/D= 40\%$   | 51 |
| Figura 2.33 Curvas características de la hélice $\sigma=\text{atm}$ a $h/D= 47.7\%$                                | 52 |
| Figura 2.34 Curvas características de la hélice $\sigma=0.2$ a $h/D= 47.7\%$                                       | 52 |
| Figura 2.35 Curvas características de la hélice $\sigma=\text{atm}$ a $h/D= 58\%$                                  | 53 |
| Figura 2.36 Curvas características de la hélice $\sigma=0.2$ a $h/D= 58\%$   | 53 |
| Figura 3.1 Esquema de la lancha interceptora navegando a 50 nudos 3.49° con ángulo de flaps a 0°                   | 55 |
| Figura 3.2 Vista transversal de la lancha con el porcentaje de sumersión y vista de perfil del sistema propulsivo. | 56 |
| Figura 3.3 Curvas características de la hélice serie "B" - Z=5 - P/D=1.46 - Ae/Ao=0.80                             | 58 |
| Figura 3.4 Curvas características de las hélices series 'B' y las "SPP" al $h/D=58\%$ $\sigma=\text{atm}$          | 59 |
| Figura 3.5 Curvas características de las hélices series 'B' y las "SPP" al $h/D=58\%$ $\sigma=0.2$                 | 59 |
| Figura 3.6 Resistencia total incluyendo olas de la lancha interceptora en cond 100% de carga                       | 61 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 3.7 Asiento dinámico de la lancha interceptora .....  | 62 |
| Figura 3.8 Torque requerido por hélice SPP al 58% h/D .....  | 62 |
| Figura 3.9 Velocidad de rotación de la hélice SPP [RPM] .....  | 63 |
| Figura 3.10 Potencia en cada eje del sistema propulsor .....   | 63 |
| Figura 3.11 Eficiencia propulsiva con interacción casco-hélice a $\sigma=0.2$ y porcentaje de cavitación a 30, 40 y 50 nudos ..... | 65 |
| Figura 3.12 Curva de potencia del motor + reductor + hélice .....  | 66 |
| Figura 3.13 Curva del torque del motor + reductor + hélice .....   | 67 |
| Figura 5.1 Vista en planta de la distribución de todos los pesos de la Interceptora .....  | 86 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| Tabla 2.1 Clasificación del Comando de Guardacostas [14] .....                           | 18 |
| Tabla 2.2 Características de las lanchas Interceptoras [14] .....                        | 20 |
| Tabla 2.3 Necesidades del Comando de Guardacostas .....                                  | 21 |
| Tabla 2.4 Datos de ingreso en el programa Savitsky64flaps .....                          | 23 |
| Tabla 2.5 Especificaciones técnicas de la lancha Interceptora [16].....                  | 25 |
| Tabla 2.6 Especificaciones del sistema propulsivo [16].....                              | 27 |
| Tabla 2.7 Dimensiones del modelo simplificado obtenidas de Maxsurf [18].....             | 31 |
| Tabla 2.8 Datos de ingreso en condición de carga al 100%.....                            | 32 |
| Tabla 2.9 Criterios de estabilidad a condición de carga al 100% - Sin flotadores [18] .. | 36 |
| Tabla 2.10 Criterios de estabilidad a condición de carga al 100% Con flotadores [18] .   | 38 |
| Tabla 2.11 Criterios de estabilidad a condición de carga al 50% - Con flotadores [18] .  | 39 |
| Tabla 2.12 Especificaciones técnicas de la hélice marca Rolla .....                      | 44 |
| Tabla 2.13 Características de la hélice.....   | 47 |
| Tabla 2.14 Datos de entrada para hélices con rango de valides .....                      | 48 |
| Tabla 2.15 Valores iniciales para determinar el coeficiente de empuje [J] .....          | 49 |
| Tabla 2.16 Coeficiente de avance para la hélice Surface Piercing.....                    | 54 |
| Tabla 3.1 Resultados de los coeficientes de la hélice a 58% h/D.....                     | 56 |
| Tabla 3.2 Características de hélice Wageningen .....                                     | 57 |
| Tabla 3.3 Coeficientes de la hélice serie "B" .....                                      | 58 |
| Tabla 3.4 Datos de entrada en el programa "Eficpro" .....                                | 60 |
| Tabla 3.5 Numero de Cavitación en la lancha Interceptora .....                           | 64 |
| Tabla 3.6 Resultados de la velocidad máxima mediante formulación empíricas.....          | 66 |
| Tabla 3.7 Valoración de los requisitos del Escuadrón de las lanchas interceptoras.....   | 67 |
| Tabla 3.8 Características Operacionales de la lancha Interceptora .....                  | 68 |
| Tabla 5.1 Características de las patrulleras Clase 6 de Diciembre. ....                  | 78 |
| Tabla 5.2 Características de las patrulleras Clase Stan Patrol 2009.....                 | 79 |
| Tabla 5.3 Características de las patrulleras Guardacostas Marítima Clase Manta .....     | 79 |
| Tabla 5.4 Características de las patrulleras Guardacostas Marítima Clase Espada .....    | 80 |
| Tabla 5.5 Características de las patrulleras Guardacostas Marítima Clase Point .....     | 80 |
| Tabla 5.6 Características de las patrulleras Guardacostas Marítima Clase 71 .....        | 81 |
| Tabla 5.7 Características de las patrulleras G. M. Clase 10 de agosto .....              | 81 |

|   |    |
|---|----|
| Tabla 5.8 Características de las Unidades Costeras Clase Puyango.....           | 82 |
| Tabla 5.9 Lanchas Guardacostas Ribereñas: Clase Esmeraldas.....                 | 83 |
| Tabla 5.10 Lanchas Guardacostas Ribereñas: Tipo Albatros "1100" .....           | 83 |
| Tabla 5.11 Lanchas Guardacostas Ribereñas: Tipo Albatros "830" .....            | 84 |
| Tabla 5.12 Lanchas Guardacostas Ribereñas: Tipo Albatros "730" .....            | 84 |
| Tabla 5.13 Lanchas Guardacostas Ribereñas: Tipo Albatros "630" .....            | 85 |
| Tabla 5.14 Lanchas Guardacostas Ribereñas: Tipo Yate clase "Rinker" .....       | 85 |
| Tabla 5.15 Distribución de pesos de la lancha Interceptora .....                | 86 |
| Tabla 5.16 Tiempo de navegación en las condiciones de carga del 50 y 100% ..... | 87 |

# CAPÍTULO 1

## 1. Introducción

Las lanchas guardacostas interceptoras son embarcaciones planeadoras de eslora menores a 30 metros y diseñadas para alcanzar velocidades de hasta 60 nudos. Típicamente, estas patrulleras son utilizadas por las fuerzas navales para interceptar a embarcaciones sospechosas de realizar actos ilícitos.

En Ecuador el Comando de Guardacostas de la Armada tiene siete lanchas interceptoras que fueron diseñadas por la empresa Italiana FB Design, con un desplazamiento de 6.7 toneladas alcanzando velocidades de hasta 50 nudos y con flaps ubicados en popa. Se caracterizan por tener flotadores flexibles en cada banda, para mejorar su estabilidad transversal. Además, su sistema propulsor cuenta con dos motores estacionarios diésel con 350 HP cada uno y hélices de tipo "SPP" [1]. Lamentablemente, estas unidades se encuentran fuera de servicio. Por ello es necesario evaluar la factibilidad de reactivar estas lanchas o adquirir unas nuevas de diferente clase para cubrir las necesidades del CG.

Generalmente, el análisis del sistema propulsivo de embarcaciones planeadoras incluye pruebas en tanques de remolque hidrodinámico usando modelos a escala basadas en los procedimientos recomendados por el ITTC [2]. A pesar de que este método proporcionan datos útiles para el diseñador naval, se necesita generalizar el procedimiento propuesto para analizar embarcaciones planeadoras utilizando métodos semi-empíricos.

El objetivo de este proyecto es evaluar el rendimiento propulsivo usando los métodos semi-empíricos desarrollados por el Laboratorio Davidson del Instituto Tecnológico Stevens de Hoboken y aproximar el rendimiento de la hélice SPP utilizando los resultados de propulsores similares. Finalmente, con las necesidades de potencia se podrá evaluar el cumplimiento de las necesidades del CG para este tipo de lanchas.

## **1.1 Descripción del problema**

En Ecuador, el Comando de Guardacostas de la Armada del Ecuador tiene aproximadamente 50 unidades, que en su mayoría se encuentran fuera de servicio, esto se debe a que al momento de adquirirlas no evaluaron las necesidades operativas reales de cada reparto. Actualmente, los oficiales encargados del Comando de Guardacostas e Inteligencia han establecido la importancia de tener entre su flota activa, a las siete lanchas interceptoras. Esto debido al incremento de los actos ilícitos en el territorio marítimo y que cada vez estos hechos son realizados lo más alejado del perfil costanero. Entonces considerando que actualmente las lanchas interceptoras están inhabilitadas, se requiere analizar la conveniencia de repararlas.

## **1.2 Justificación del problema**

Las lanchas planeadoras generalmente son analizadas utilizando modelos a escala, que son probados en tanques de remolques hidrodinámicos. En este trabajo se propone realizar el análisis del comportamiento dinámico de las lanchas interceptoras del CG de la Armada del Ecuador, pero usando métodos semi-empíricos considerando las formulaciones desarrolladas por el Laboratorio Davidson del Instituto Tecnológico Stevens de Hoboken y para el rendimiento de la hélice utilizando datos de propulsores similares tipo Surface Piercing. Con este análisis se pretende aproximar las características operativas reales de este tipo de lanchas.

Este estudio va a generar beneficios al Comando de Guardacostas ya que se determinan las necesidades y se propone el uso de un indicador porcentual de posibilidad de recuperación de las lanchas interceptoras en su primera fase. Además, contribuye al desarrollo local en la Academia en el ámbito de la Ingeniería Naval con el análisis de hélices tipo Surface piercing, poco conocidas en el medio, que podrá ser aplicado en otros tipos de lanchas.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo General**

Evaluar el rendimiento de la interceptora LG-613 Río Macará mediante un análisis semi-empírico del conjunto motor – reductor - hélice para la valoración del cumplimiento de las necesidades del Comando de Guardacostas de la Armada del Ecuador.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

Para evaluar el rendimiento propulsivo de la lancha interceptora, se plantean los siguientes objetivos:

1. Identificar las necesidades operativas del Comando de Guardacostas de la Armada del Ecuador para la evaluación de futuras adquisiciones.
2. Evaluar el comportamiento dinámico de una embarcación planeadora simplificada utilizando el método semi-empírico desarrollado por el Laboratorio Davidson del Instituto Tecnológico Stevens de Hoboken, EE UU.
3. Aproximar el rendimiento de una hélice tipo Surface Piercing utilizando resultados de un propulsor similar.
4. Valorar el cumplimiento de las necesidades específicas del Comando Guardacostas para la lancha interceptora.

## 1.4 Marco teórico

### 1.4.1 Lanchas Planeadoras y sus características

Todo cuerpo sumergido en un fluido que se encuentra en movimiento experimenta fuerzas hidrodinámicas de reacción que intentan detenerlo. Por ejemplo, en una embarcación planeadora se ejercen fuerzas producidas de origen hidrostático e hidrodinámico, que provocan la aceleración de las partículas del agua cercanas al casco, produciendo una fuerza de igual sentido y dirección que la generada por el casco. Combinando estas con las fuerzas generadas por el propulsor y el peso de la embarcación y provocan el levantamiento de la embarcación tal como se muestra en la siguiente Figura 1.1:

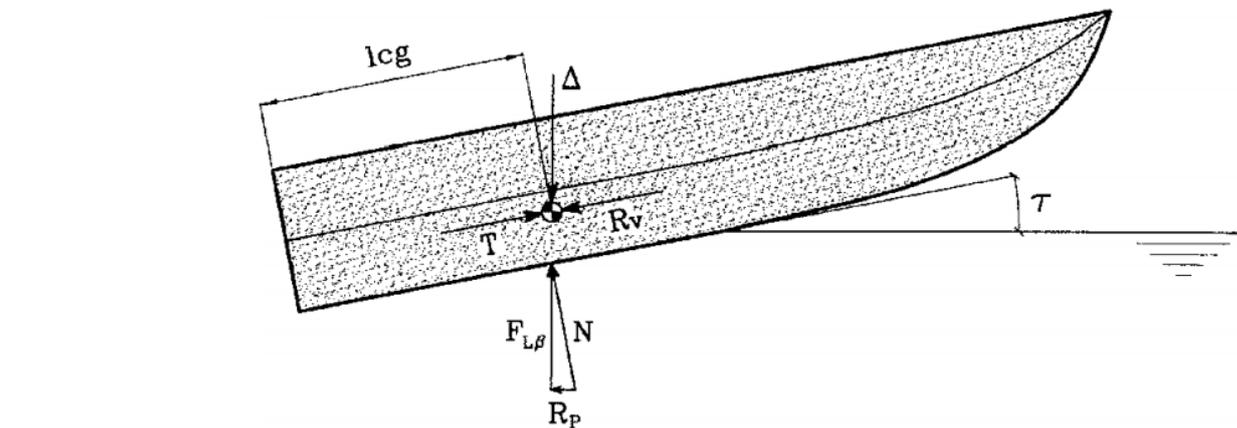


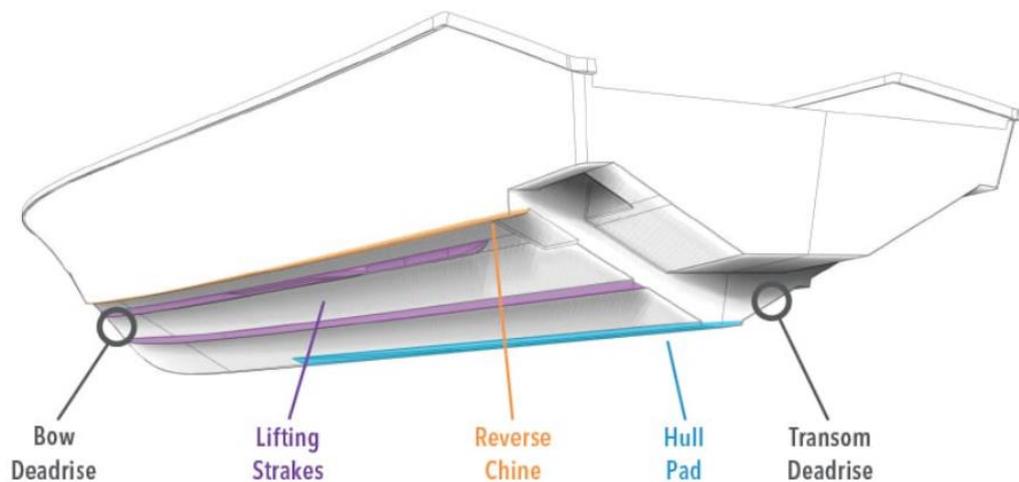
Figura 1.1 Fuerzas que actúan sobre el casco [3]

Típicamente se usa al número de Froude que relaciona la velocidad y eslora de la embarcación como un indicador para determinar el régimen de desplazamiento de una embarcación. Se considera como embarcaciones de planeo aquellas con número de Froude mayor a 1,2. En este caso, la sustentación hidrodinámica incrementa considerablemente [4] y causa cambios importantes en el calado medio y asiento de la lancha.

### 1.4.1.1 Lanchas Guardacostas Interceptoras

Son embarcaciones planeadoras con eslora reducida construidas para alcanzar muy altas velocidad. Normalmente son menores a 30 metros y construidas en materiales de fibra de vidrio o aluminio para obtener cascos de poco peso. Sin embargo, poseen un arreglo estructural bastante resistente para soportar sus operaciones extremas con velocidades entre 35 a 60 nudos.

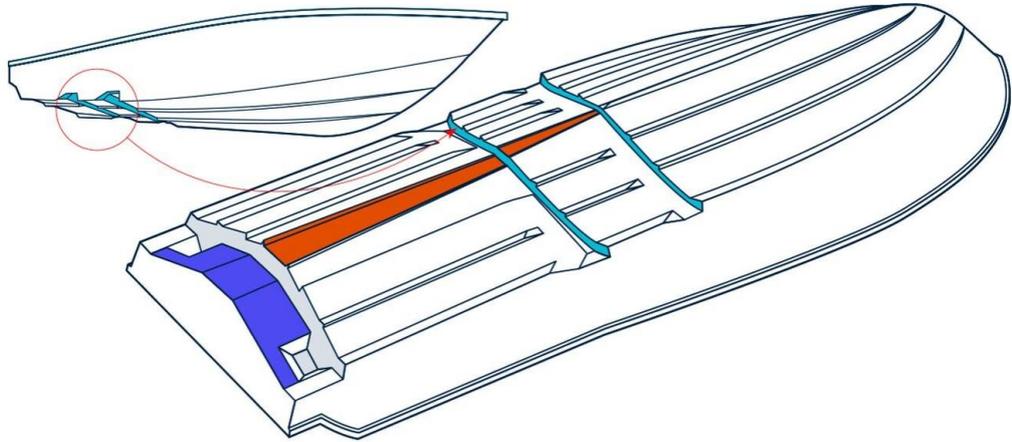
- **Cascos sin steps y con rieles**



**Figura 1.2 Casco en V con rieles [5]**

Los cascos que incluyen rieles sirven para mejorar el rendimiento de planeo o semi-planeo, reduciendo la resistencia al avance. Estos rieles son colocados de manera longitudinal a lo largo de la eslora y contribuyen a desviar el agua produciendo una pequeña fuerza adicional al empuje generado en la embarcación. Estas lanchas son más eficientes hasta los 35 nudos de velocidad [5].

- **Cascos con steps y con rieles**

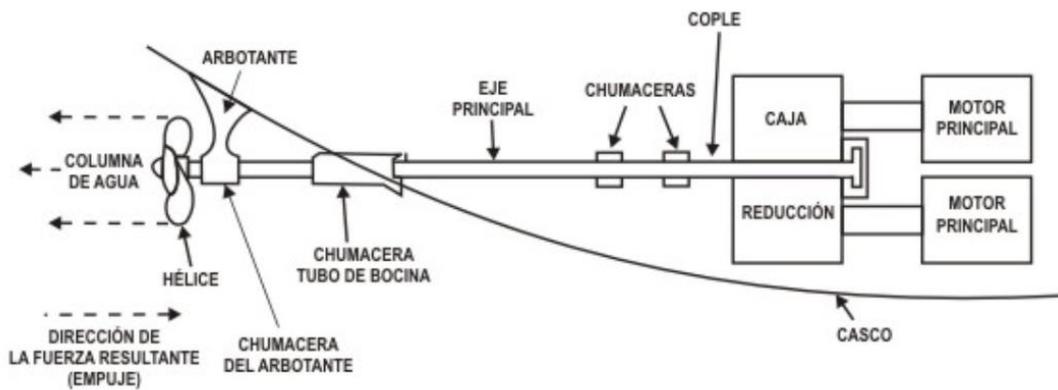


**Figura 1.3 Casco escalonado y steps [5]**

Un casco escalonado se aplica para lanchas muy rápidas y estos steps se observan como desniveles con rieles longitudinales. De esta forma al sobrepasar un rango de velocidad, la superficie sobre la que actúa la fricción en el fondo se reduce drásticamente y la presión hidrodinámica reduce el ángulo de asiento de operación. Cuando están funcionando correctamente, reducen considerablemente la resistencia al avance [5].

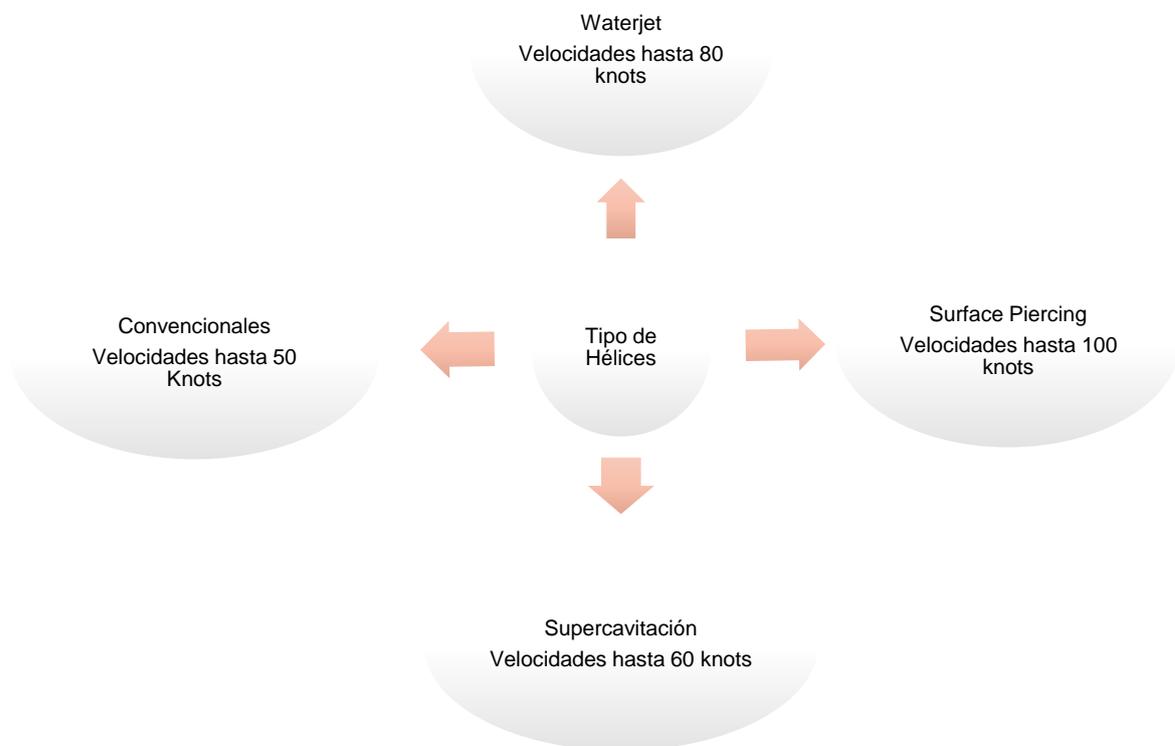
#### **1.4.1.2 Sistema Propulsivo**

El sistema propulsivo de las embarcaciones planeadoras utilizan motores fuera de borda o motores estacionarios. La interceptora analizada en este trabajo posee motores estacionarios conectados por medio de sus respectivos ejes propulsores. Además, en algunos casos se utilizan la caja reductora para reducir la velocidad de rotación y mejorar la eficiencia operativa [6].



**Figura 1.4 Arreglo propulsivo básico usando motores estacionarios [6]**

Existen diferentes modelos y formas de las hélices marinas dependiendo del tipo de embarcación en las que serán instaladas. El tipo de propulsor para embarcaciones rápidas es seleccionado dependiendo de la velocidad que necesitan alcanzar [7].



**Figura 1.5 Tipo de propulsores según el rango de velocidad de trabajo [7]**

Como se ve en la Figura 1.5 las hélices convencionales son comúnmente usados en la industria naval local. Se espera que la hélice opere completamente sumergida en el agua. En cambio, las lanchas planeadoras de muy alta velocidad como las Guardacostas Interceptoras utilizan las hélices tipo "Surface Piercing" debido a que las lanchas reducen su calado y los propulsores operan parcialmente fuera del agua.

#### 1.4.1.2.1 Hélices tipo "Surface Piercing"

Este tipo de hélices, desarrolladas originalmente para propulsar lanchas de carrera, actualmente son usadas para lanchas patrullas y yates de alta velocidad [8]. Su característica principal es que operan parcialmente sumergidos y sus bordes principales tienen forma de cimitarra es decir una especie de sable de hoja curva y con un solo filo que se va ensanchando a partir de la empuñadura y se diseñan para cortar el agua con la resistencia mínima [9].



**Figura 1.6 Hélice tipo "Surface Piercing" de 5 aspas [9]**

Además, estas hélices están sometidos a tensiones muy altas y se debe fabricar con tolerancias que varíen muy poco del tamaño original. Estos propulsores deben ser dinámicamente equilibrados y son comúnmente construidas con material de bronce o acero inoxidable [10].

## 1.4.2 Métodos Semi-empíricos para estimaciones hidrodinámicas

### 1.4.2.1 Método de Savitsky para la estimación de la resistencia

Este método establece las características elementales hidrodinámicas para superficies de plano prismáticas [3] y su formulación es implementada para estimar la resistencia al avance y potencia requerida en embarcaciones planeadoras.

#### Caso 1: Embarcaciones Planeadoras sin flaps

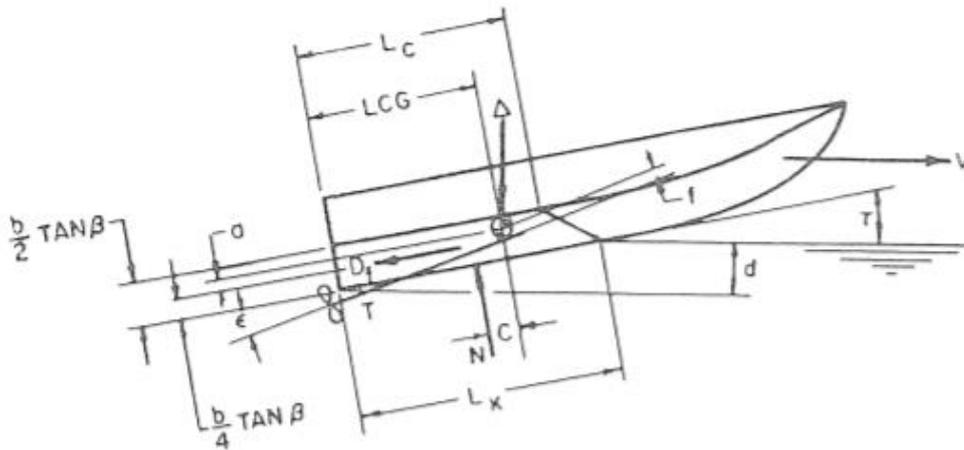


Figura 1.7 Fuerzas que actúan sobre una lancha planeadora [3]

Se calcula en forma iterativa el ángulo de asiento o trimado, tratando de satisfacer las ecuaciones de equilibrio de fuerzas y momentos:

Equilibrio de fuerzas vertical

$$\sum F_z = 0, \Delta = N \cos(\tau) + T \sin(\tau + \epsilon) - D_f \sin(\tau) \quad (1.1)$$

Equilibrio de fuerzas horizontal

$$\sum F_x = 0, T \cos(\tau + \epsilon) = D_f \cos(\tau) + N \cos(\tau) \quad (1.2)$$

Equilibrio de momento en cabeceo

$$\sum M_Y = 0, 0 = D_f * a - T_f \quad (1.3)$$

Donde:

$\Delta$  = desplazamiento en [kg]

N= Fuerza normal sobre la superficie de planeo en [kg]

T= Empuje de la hélice en [kg]

$D_f$ = Resistencia friccional, kg

$\epsilon$ = Inclinación de la línea de propulsión en grados

f= Distancia entre T y CG, medido perpendicularmente a T, m

$\tau$ = Angulo de trimado, grados.

Por lo tanto, la resistencia friccional se calcula:

$$D_f = \frac{\rho * V m^2 * \lambda * b^2 * (C_f + \Delta C_f)}{2 * \cos(\beta) * \cos(\lambda) * g} \quad (1.4)$$

Finalmente, la resistencia al avance es:

$$D = \frac{D_f}{\cos(\tau) - \Delta \sin(\tau)} \quad (1.5)$$

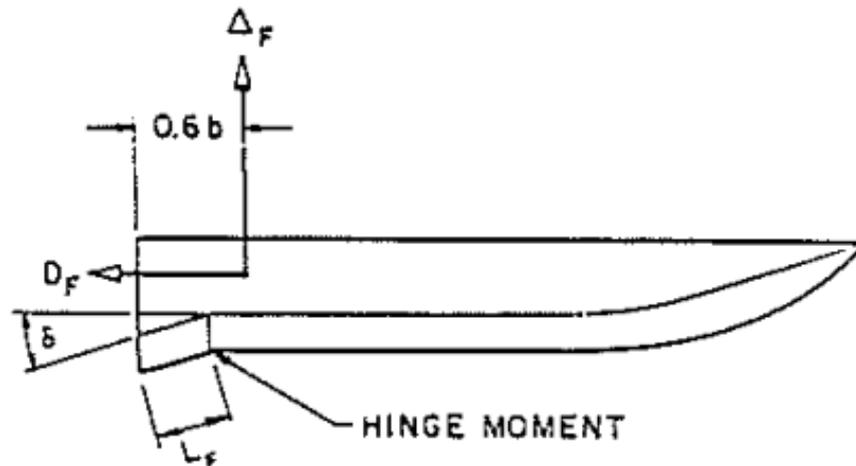
## Caso 2: Embarcaciones Planeadoras con flaps

Los flaps son apéndice ubicados en el espejo y están instalados con un pequeño ángulo respecto del fondo, de manera que generan una fuerza hidrodinámica similar a la que actúa en el fondo de la lancha. En embarcaciones planeadoras los flaps son implementados para contribuir a la reducción de la resistencia al avance y se debe considerar las siguientes características:

Lf = Longitud de cuerda entre el 0 a 10% de LWL.

$\delta$ = Angulo de inclinación del flap entre el 0 a 15° con respecto a la línea base.

$\sigma$ = Razón del ancho del flap a la manga



**Figura 1.8 Embarcación planeadora con flaps [11]**

La fuerza desarrollada por un flap corresponde a un incremento en la sustentación y Savitsky junto con Brown [11] plantearon las siguientes ecuaciones para estimar la fuerza generada y el movimiento efectivo del centro de gravedad por efecto de dicha fuerza:

$$\Delta_F = 0.046 * L_F * \delta * \sigma * b * \left(\frac{\rho}{2} * V^2\right) \quad (1.6)$$

Donde, el peso efectivo es:

$$\Delta_e = \Delta - \Delta_F \quad (1.7)$$

Así mismo, la posición del centro de gravedad virtual se debe a la influencia de la posición longitudinal del centroide de la fuerza hidrodinámica desarrollada por el flap.

$$LCG_e = \frac{(\Delta(LCG) - 0.6 * b * \Delta_F)}{\Delta_e} \quad (1.8)$$

Luego mediante un proceso iterativo se busca el equilibrio de las fuerzas variando el ángulo de asiento. Finalmente, la resistencia total con la influencia del flaps está dada por la siguiente ecuación:

$$D = \Delta * \tan(\tau) + \frac{C_f * \lambda * \rho * V^2 * b^2}{2 * \cos(\tau) * \cos(\beta)} + 0.0052 * \Delta_F * (\tau + \delta) \quad (1.9)$$

Donde:

$C_f$  = Coeficiente de resistencia friccional, según ATTC

$\rho$  = Densidad del agua kg/m<sup>3</sup>

#### 1.4.2.2 Rendimiento Propulsivo

Para determinar la eficiencia del sistema propulsivo de una embarcación se define primero la potencia efectiva necesaria para alcanzar la velocidad (V) con la siguiente formulación:

$$P = V * D \quad (1.10)$$

Rendimiento del casco

$$\eta_H = \frac{EHP}{THP} \quad (1.11)$$

Rendimiento Mecánico

$$\text{Eficiencia del sistema de trasmisión} = \frac{DHP}{SHP} \quad (1.12)$$

Rendimiento de la hélice en aguas abiertas

$$\eta_o = \frac{THP}{DHP} = \frac{J * KT}{2 * \pi * KQ} \quad (1.13)$$

Donde:

J= Coeficiente de avance

KT= Coeficiente de empuje

KQ= Coeficiente de torque

Coeficiente Quasipropulsivo: Es la relación entre la potencia efectiva y la potencia entregada a la hélice.

$$QCP = \frac{EHP}{DHP} = \eta d = \eta h * \eta r * \eta o \quad (1.14)$$

Por lo tanto, la eficiencia propulsiva es: el producto de la eficiencia de transmisión por la eficiencia quasipropulsiva.

$$\eta = \eta t * \eta d \quad (1.15)$$

Cavitación: Es el fenómeno que produce burbujas de vapor alrededor de los propulsores provocando que el rendimiento de la hélice sea afectado y debe tenerse en cuenta en el proceso de diseño. Este fenómeno físico se produce en zonas de baja presión y suelen ser inofensivas. Sin embargo, cuando las cavidades se colapsan, pueden producirse graves daños. Para analizar la influencia de la cavitación, se utiliza el número de cavitación, que se lo expresa mediante la relación de la diferencia de presiones estáticas y presión dinámica, dividida para el término inercial.

$$\sigma = \frac{P_o - P_v}{\frac{1}{2} * \rho * Vr^2} = \frac{P_a + P_h - P_v}{\frac{1}{2} * \rho * Vr^2} \quad (1.16)$$

Donde:

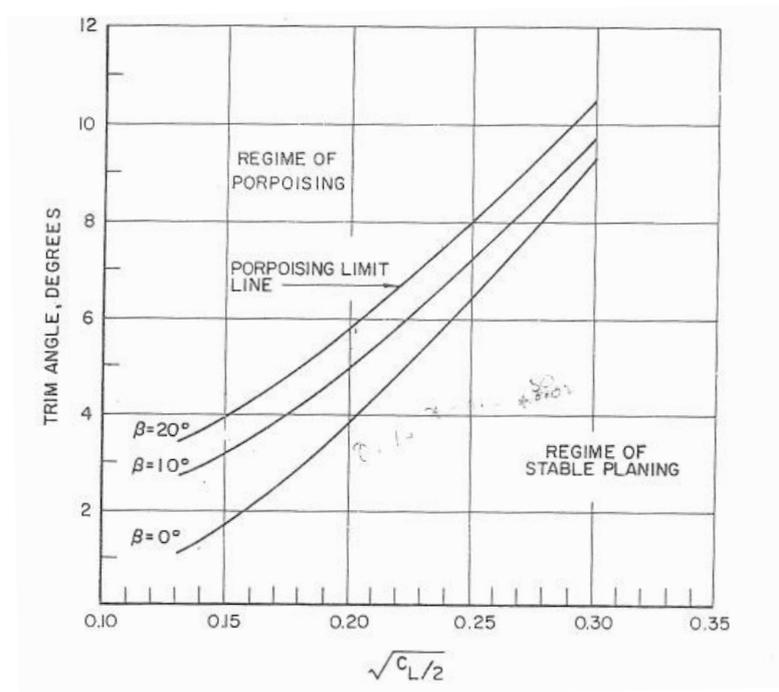
$P_a$  = Presión atmosférica

$P_h = \rho * g * h$

$P_v$  = Presión de vapor

### 1.4.3 Inestabilidad Vertical "Porpoising"

El porpoising es la inestabilidad de una embarcación en el plano vertical<sup>1</sup>, que se produce debido a una distancia inadecuada entre el centro de gravedad y el centro de presión dinámica. Su resultado son oscilaciones combinadas de la embarcación en cabeceo y levantamiento. Savitsky [3] incluye una figura para de manera directa estimar la posibilidad de alcanzar esta inestabilidad.



**Figura 1.9 Limite de inestabilidad de un casco planeador prismático [3]**

En la Figura 1.9 el límite de porpoising se presenta en función del coeficiente de sustentación y el ángulo de planeo, para diferentes ángulos de astilla muerta del casco. El coeficiente de sustentación se define como:

$$C_{L\beta} = \frac{\Delta}{\frac{1}{2} \rho V^2 b^2} \quad (1.17)$$

<sup>1</sup> Plano Vertical: Combinación entre los movimientos de cabeceo y levantamiento de la embarcación.

donde,

$C_{L\beta}$  = Coeficiente de Sustentación

$\Delta$  = Peso [N]

$\rho$  = Densidad [kg/m<sup>3</sup>]

V = Velocidad [m/s]

b = manga de la china [m]

#### **1.4.4 Criterios de Estabilidad Intacta según las regulaciones de la OMI**

Los criterios de estabilidad según la OMI [12], A.749(18) Ch3, son estatutos de diseño aplicados para ser cumplidos por todo tipo de buques. Los criterios respecto a la curva de brazos adrizantes son los siguientes:

- El área bajo la curva de brazos adrizantes no será inferior a 0.055 m-rad hasta un ángulo de escora de 30°, ni inferior a 0.09 m-rad hasta un ángulo de 40°.
- El área bajo la curva de brazos adrizantes entre ángulos de escora de 30° y 40°, no será inferior a 0.03 m-rad.
- El brazo adrizante máximo corresponderá a un ángulo de escora no inferior de 25°.
- La altura metacéntrica inicial GMT, no será inferior a 0.15 m.

#### **1.4.5 Estabilidad dinámica transversal – Roll**

Lewadowsky [13] desarrolló un método semi-empírico para predecir el momento restaurador del balance en función de la velocidad, el ángulo de trimado y otras características de la lancha planeadora. Por lo que en el método se inicia con las ecuaciones de movimiento y para el análisis transversal se trabaja con la ecuación que gobierna las pequeñas perturbaciones del balanceo.

El momento restaurador del balance que actúa en el casco se evalúa considerando las contribuciones estáticas y dinámicas y la ecuación del momento de balanceo descrita a continuación:

$$K = \frac{\partial}{\partial t} (I_x p - I_{xy} q - I_{zx} r) - R(I_y q - I_{yz} r - I_{xy} p) \quad (1.18)$$

Donde:

$K$ , es el momento de balanceo.

$R$ , es la velocidad angular en Yaw.

$I_{i,j}$ , son los momentos producto de la inercia relativa al eje del plano de agua.

$p, q, r$ , son la velocidad angular componentes sobre los ejes fijos del cuerpo.

Es posible determinar la altura del centro de gravedad máximo para que la lancha sea estable, usando la siguiente formulación:

$$\frac{KG}{b_{max}} = \frac{0,8 * \pi}{8 * \text{sen}(\beta) * \text{cos}(\beta)} \quad (1.19)$$

Donde:

$KG$ , centro de gravedad, m.

$\beta$ , ángulo de astilla muerta, grados.

$b$ , manga de la china, m.

# CAPÍTULO 2

## 2. Metodología

Para evaluar el rendimiento de la lancha interceptora se propone seguir un procedimiento que permita una adecuada valoración mediante formulaciones empíricas. Este trabajo comienza con (i) identificar las necesidades operativas del Comando de Guardacostas, en la que se incluya la descripción de las funciones desarrolladas por esta Unidad y sus Subcomandos. Luego (ii) evaluar el comportamiento dinámico de la embarcación planeadora, para lo cual es necesario definir las características principales y el modelo geométrico simplificado de la interceptora para poder estimar la resistencia al avance y el asiento dinámico utilizando el método semi-empírico de Savitsky incluyendo el efecto de los flaps que están instalados en la lancha. Se continúa (iii) determinado el rendimiento de las hélices tipo Surface Piercing, que incluye la generación de la geometría del propulsor y el uso de características en aguas abiertas de un propulsor similar disponible en la literatura para aproximar el rendimiento propulsivo considerando el conjunto motor - reductor - hélice. Estos resultados son comparados con las predicciones de la eficiencia de la serie de propulsores B-Wageningen con características similares, y predecir la velocidad máxima que podría alcanzar esta embarcación interceptora. Finalmente, (iv) realizar un cuadro comparativo entre los resultados obtenidos y las necesidades del Comando Guardacostas para identificar los requerimientos que cumple esta lancha interceptora. De esta forma se podrá obtener el índice porcentual de cumplimiento para saber si es posible continuar analizado la recuperación de las lanchas interceptoras.

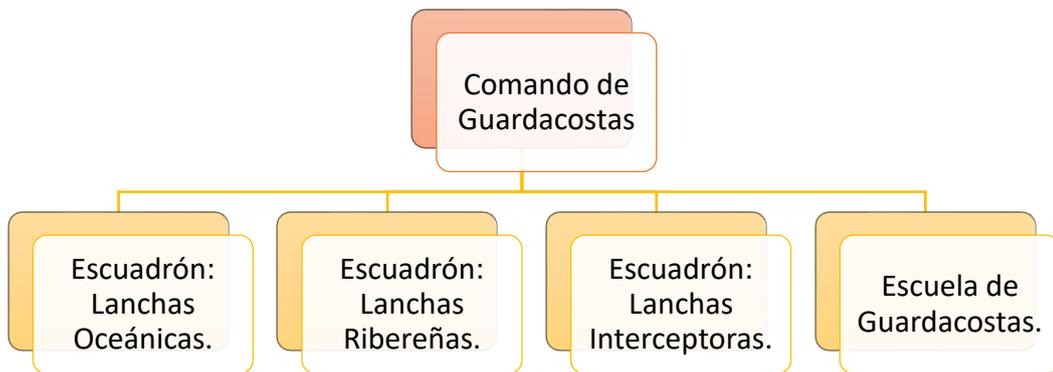
### 2.1 Descripción del Comando de Guardacostas

El comando de Guardacostas, uno de los departamentos de la Armada Ecuatoriana tiene su principal reparto en la Base Naval Sur de la ciudad de Guayaquil y tiene a su mando distintos subcomandos en varios puntos a lo largo del perfil Costanero y Región Insular del Ecuador [14]. La función principal de esta unidad es controlar las actividades en la zona marítima del país y se enumeran a continuación:

- Precautelar la vida humana en el mar.
- Combatir las actividades ilícitas: Pesca ilegal, contrabando de combustible, transporte ilegal de narcóticos, tráfico de armas, migrantes ilegales entre otros.
- Contribuir a la Prevención del ambiente marino y costero mediante operaciones coordinadas.
- Brindar seguridad en altamar.

A continuación, se muestra la Organización de Comando:

**Tabla 2.1 Clasificación del Comando de Guardacostas [14]**



### 2.1.1 Escuadrón: Lanchas Oceánicas

Estas embarcaciones prestan servicio con una larga estancia en el mar para vigilancia en toda la zona exclusiva del país, las Islas Galápagos y aguas internacionales. Se caracterizan por tener una autonomía mayor a 5 días y están conformadas por las lanchas guardacostas oceánicas (P.G.O) netamente para vigilancia y las patrulleras guardacostas marítimas (P.G.M) para vigilancia y defensa costera [14].



**Figura 2.1 Patrullera de altura LG-41 Isla San Salvador [14]**

En este escuadrón cuentan con las siguientes clases cuyas características principales se adjuntan en el Apéndice A ver en la Tabla 5.1, Tabla 5.2, Tabla 5.3, Tabla 5.4, Tabla 5.5, Tabla 5.6, Tabla 5.7 y Tabla 5.8

### **2.1.2 Escuadrón: Lanchas Ribereñas**

Estas lanchas son utilizadas para operaciones en áreas como los ríos, esteros navegables y a lo largo del litoral con alcance máximo de control de hasta 15 millas de la costa como se muestra en la Figura 2.2 . Están conformadas por las lanchas UTB y patrulleras ribereñas, con el propósito de mantener el control del sistema fluvial en esta zona con periodos de patrullaje de entre 24 a 48 horas y cuenta con varias clases de lanchas.



**Figura 2.2 Lanchas Ribereñas [14]**

La clasificación y características principales de estas lanchas según su clase se adjuntan en el Apéndice A ver en la Tabla 5.9, Tabla 5.10, Tabla 5.11, Tabla 5.12, Tabla 5.13 y Tabla 5.14.

### 2.1.3 Escuadrón: Lanchas Interceptoras

Este tipo de lanchas se caracterizan por operar a altas velocidades, utilizadas para interceptar lanchas sospechosas de actos ilícitos en mar abierto y este escuadrón cuentan con siete lanchas que en la actualidad están fuera de servicio y son las siguientes:

- LG-611 Río Verde
- LG-612 Río Bulu Bulu
- LG-613 Río Macará
- LG-614 Río Yaguachi
- LG-615 Río San Miguel
- LG-616 Río Quinindé
- LG-617 Río Catamayo

Las características principales de las lanchas Interceptoras son mostradas en la siguiente tabla:

**Tabla 2.2 Características de las lanchas Interceptoras [14]**

| Características                 |             | Unidades |
|---------------------------------|-------------|----------|
| Eslora                          | 11.53       | m        |
| Manga con flotadores            | 2.81        | m        |
| Puntal                          | 1.5         | m        |
| Calado de diseño                | 0.9         | m        |
| Desplazamiento a calado de 0.62 | 6.7         | Ton      |
| Autonomía                       | 128         | Millas   |
| Tripulación                     | 4           | Personas |
| Velocidad máxima                | 52          | Nudos    |
| País y Comisionado              | Italia 2008 |          |



**Figura 2.3 Lancha Interceptora [14]**

### 2.1.4 Necesidades presentes en el Comando Guardacostas

De acuerdo con reuniones mantenidas con los oficiales del CG, en la actualidad el Comando de Guardacostas necesitan:

**Tabla 2.3 Necesidades del Comando de Guardacostas**

| <b>Escuadrón</b>         | <b>Necesidades</b>  | <b>Requisitos</b>  | <b>Beneficios</b>  |
|--------------------------|---|--|--|
| <b>Lanchas Oceánicas</b> | Adquirir un Lancha OPV:<br><br>Capaz de llevar a bordo al menos dos lanchas rápidas.<br><br>Tener un helipuerto | Eslora 55 a 60 m<br><br>Manga 9 a 11 m<br><br>Velocidad máxima 25 knots<br><br>Autonomía 20 días   | Mejorar el control en la zona marítima del país y en zonas de interés internacional en colaboración con otros países.  |
| <b>Lanchas Ribereñas</b> | Adquirir más lanchas rápidas para operar a lo largo del perfil costanero, en ríos y esteros navegables.         | Eslora 10 a 14 m<br><br>Manga 3 a 5 m<br><br>Velocidad máxima 40 knots<br><br>Autonomía 2 a 3 días | Para que tengan un mayor control, con patrullajes en horarios estratégicos y brindar seguridad a los pescadores artesanales que son los más afectados por robos. |

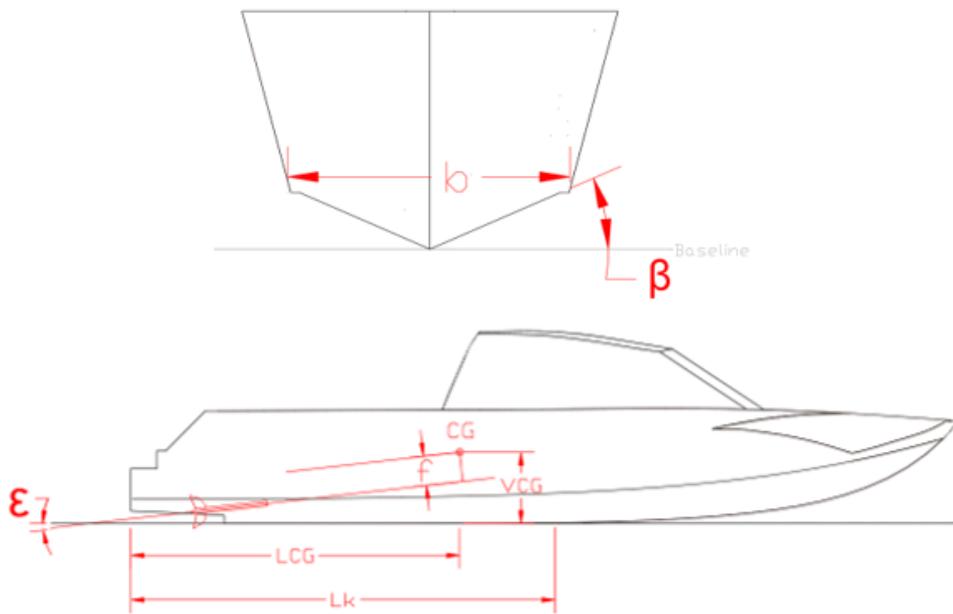
| Escuadrón                    | Necesidades  | Requisitos   | Beneficios   |
|------------------------------|--|--|--|
| <b>Lanchas Interceptoras</b> | <p>Recuperar las 7 lanchas interceptoras.</p> <p>O adquirir unas nuevas lanchas que tenga una autonomía de 250 millas.</p> | <p>Eslora 11 a 14 m</p> <p>Velocidad entre 50 a 60 knots.</p> <p>Fácil de remolcar en mar abierto.</p> <p>Fácil de abastecer de combustible en altamar.</p> <p>De preferencia que tengan motores a diesel</p> <p>Asientos amortiguados para la tripulación.</p> <p>Autonomía máximo 250 millas náuticas.</p> | <p>Para tener mayor eficiencia en los operativos en mar abierto y optimizar el uso de embarcaciones con mayor eslora que provocan más gastos al ser utilizadas para interceptar lanchas sospechosas de actos ilícitos.</p> |

## 2.2 Evaluación del comportamiento dinámico de lanchas rápidas

Para evaluar el comportamiento dinámico de embarcaciones rápidas, es posible utilizar experimentos en tanques de prueba utilizando modelos a escala, métodos semi-empíricos o simulaciones numéricas usando CFD. En el presente trabajo se implementó el método semi empírico desarrollado por el Laboratorio Davidson del Instituto Tecnológico Stevens de Hoboken, EE. UU. Que se encuentra vigente desde el año de 1960. Con este método es posible analizar la embarcación en aguas tranquilas y determinar la resistencia al avance, el asiento dinámico y finalmente la potencia requerida. Además, se evalúa la estabilidad estática y dinámica de la embarcación usando formulaciones empíricas desarrolladas por Lewadowsky [13].

### 2.2.1 Descripción del programa "Savitsky64Flaps"

El programa Savitsky64Flaps [15] contiene la implementación de FORTRAN del método de Savitsky [3] descrito en las secciones anteriores y que permite la estimación de la resistencia al avance en lanchas planeadoras. Esta aplicación tiene opción a considerar flaps en sus cálculos [11] . Las variables de ingreso al programa se muestran en la siguiente Figura 2.4.



**Figura 2.4 Esquema con las variables de ingreso en programa.**

En la siguiente tabla, se muestra la definición de cada variable de entrada y las unidades esperadas por el programa:

**Tabla 2.4 Datos de ingreso en el programa Savitsky64flaps**

| Datos de Entrada |   |
|------------------|---|
| $\beta$          | Ángulo de astilla muerta, grados.                                       |
| $b$              | Manga de la china, m.   |
| $\nabla$         | 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, Knots.   |
| $\epsilon$       | Inclinación de la línea de propulsión respecto a la quilla, grados.     |
| $\rho$           | Densidad, $kg/m^3$  |
| $\nu$            | Viscosidad, $m^2/s$ .   |
| $f$              | Distancia de la línea del propulsor al centro de gravedad, m.           |

| Datos de Entrada |   |
|------------------|---|
| LF               | Longitud de cuerda del flap, m.                       |
| $\sigma$         | Razón de Aspectro (Ancho del flap/ manga de la china) |
| $\delta$         | Ángulo del flap, grados.                              |

Los resultados obtenidos para cada velocidad son:

- $\tau$ , ángulo de planeo.
- $\lambda$ , Razón de longitud mojada media y manga
- D, Resistencia total al avance

### 2.2.2 Características de lancha interceptora LG-613 Río Macará

De las siete lanchas interceptoras que tiene el Comando Guardacostas que actualmente están fuera de servicio, se seleccionó a la lancha LG-613 Río Macará, para realizar el análisis del sistema propulsivo. Esta lancha seleccionada era la única con toda la información necesaria para el presente análisis. Además, la geometría del casco de las demás lanchas son similares, excepto por la ubicación de la superestructura, la que se encuentra más hacia proa.

Unas de las principales causas de inoperatividad de estas unidades se deben a los continuos daños del sistema propulsivo. Por lo que, se analiza en detalle todas las componentes del sistema propulsivo y a continuación se empieza describiendo todas las características de la lancha interceptora seleccionada. Luego se determina si cumple con los criterios de estabilidad, estimar resistencia y asiento dinámico a velocidades entre 15 a 52 nudos.

Estas lanchas interceptoras se caracterizan por tener un casco escalonado para reducir resistencia al avance y navegar con mayor velocidad. Esta embarcación utiliza dos motores estacionarios y tanto el casco como la superestructura es de fibra de vidrio y balsa. Además, consta de dos flotadores tanto a babor como estribor de la embarcación para aumentar la manga y así tener una mejor estabilidad transversal.

## Especificaciones técnicas generales

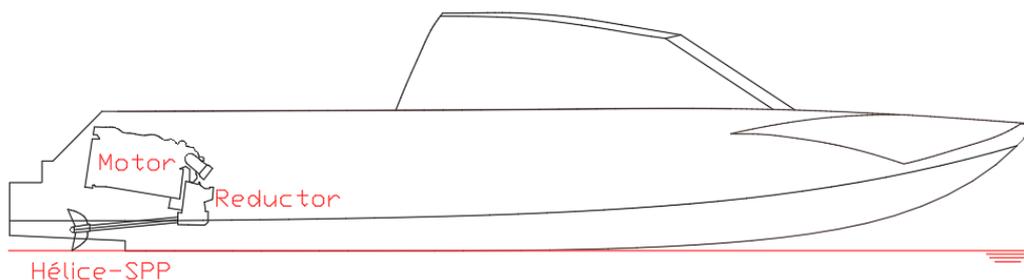
A continuación, en la Tabla 2.5 se muestran las dimensiones y especificaciones principales de la unidad tipo Interceptora LG-613 Río Macará:

**Tabla 2.5 Especificaciones técnicas de la lancha Interceptora [16]**

| <b>Tipo: Lancha Interceptora</b>                  |                               | <b>Clase: FB<br/>DESIGN<br/>38"</b> |
|---|-------------------------------|-------------------------------------|
| <b>Características</b>                            |                               | <b>Unidades</b>                     |
| <b>Eslora</b>                                     | 11.53                         | M                                   |
| <b>Manga sin flotadores</b>                       | 2.31                          | M                                   |
| <b>Manga con flotadores</b>                       | 2.81                          | m                                   |
| <b>Puntal</b>                                     | 1.5                           | M                                   |
| <b>Calado de diseño</b>                           | 0.90                          | M                                   |
| <b>Calado a cond. 100% de carga</b>               | 0.64                          | m                                   |
| <b>Desplazamiento en condición al 100% carga</b>  | 6700                          | Kg                                  |
| <b>Material</b>                                   | Fibra de vidrio y balsa       | -                                   |
| <b>Velocidad máxima</b>                           | 52                            | Nudos                               |
| <b>Velocidad máxima sostenida (@ 2750rpm)</b>     | 50                            | Nudos                               |
| <b>Velocidad económica</b>                        | 31                            | Nudos                               |
| <b>Tripulación</b>                                | 4                             | Personas                            |
| <b>Capacidad de almacenamiento de combustible</b> | 640 (2 tanques de 320 litros) | Litros                              |

|  |     |                                     |
|--|-----|-------------------------------------|
| <b>Tipo: Lancha Interceptora</b>                               |     | <b>Clase: FB<br/>DESIGN<br/>38"</b> |
| <b>Características</b>   |     | Unidades                            |
| <b>Capacidad de almacenamiento de agua</b>                     | 100 | Litros                              |
| <b>Tiempo máximo para navegar a velocidad máxima sostenida</b> | 6   | Horas                               |
| <b>Tiempo máximo para navegar a velocidad económica</b>        | 8   | Horas                               |
| <b>Consumo de combustible a velocidad económica</b>            | 70  | Litros/hora                         |
| <b>Consumo de combustible a velocidad máxima</b>               | 100 | Litros/hora                         |

### 2.2.2.1 Descripción del sistema propulsivo



**Figura 2.5 Esquema del Sistema Propulsivo (Linea de babor)**

El sistema propulsivo de este tipo de embarcaciones consta de dos motores de combustión interna, cada uno acoplado a un reversible que cumple la función de un reductor. Luego, se encuentra el amortiguador de vibraciones, el cual está

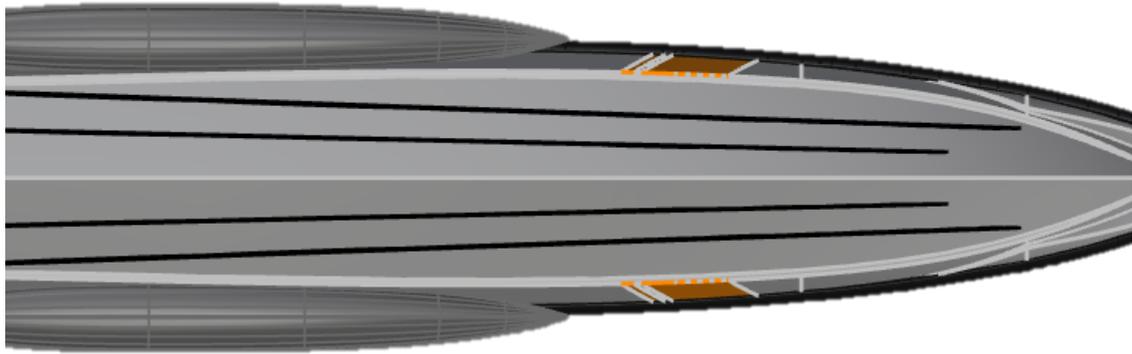
acoplado a los dos ejes del sistema y finalmente se conectan a las hélices tipo Surface Piercing, como se observa en la Figura 2.5 y en la Tabla 2.6 se describen los equipos con sus respectivas marcas que tiene el sistema propulsivo de las interceptoras.

**Tabla 2.6 Especificaciones del sistema propulsivo [16]**

| <b>Equipos del Sistema Propulsivo</b> |                    |                        |                                |
|---------------------------------------|--------------------|------------------------|--------------------------------|
| <b>Cantidad</b>                       | <b>Descripción</b> | <b>Características</b> |                                |
|                                       |                    | <b>Marca</b>           | <b>Modelo</b>                  |
| <b>2</b>                              | Motor Principal    | Cummins                | QSB6.9 355 HP                  |
| <b>2</b>                              | Reductor           | ZF HURT<br>Marine      | ZF 85 IVR--<br>Relación 1:1.15 |
| <b>2</b>                              | Hélices            | Rolla 5 aspas          | D 18.5" P 27"                  |

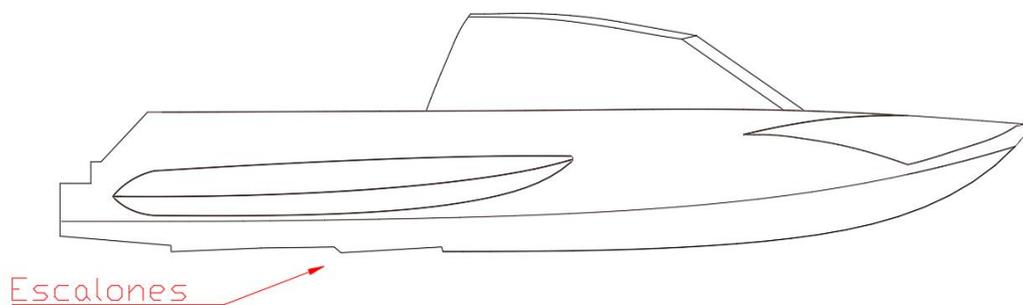
### **2.2.3 Modelo geométrico de la lancha Interceptora**

La embarcación posee múltiples rieles y excelente estabilidad debido al uso del concepto STAB, es decir usa flotadores a cada banda de la lancha desde sección media a popa, como se observa en la siguiente Figura 2.6.



**Figura 2.6 Vista en planta - frontal Perfil del casco de la lancha Interceptora.**

Además, en el fondo en crujía tiene escalones pequeños desde sección media hacia popa, esto brinda un rendimiento superior y con la presencia de los escalones ayuda a disminuir la resistencia al avance [17].



**Figura 2.7 Escalones en el fondo en línea de crujía.**

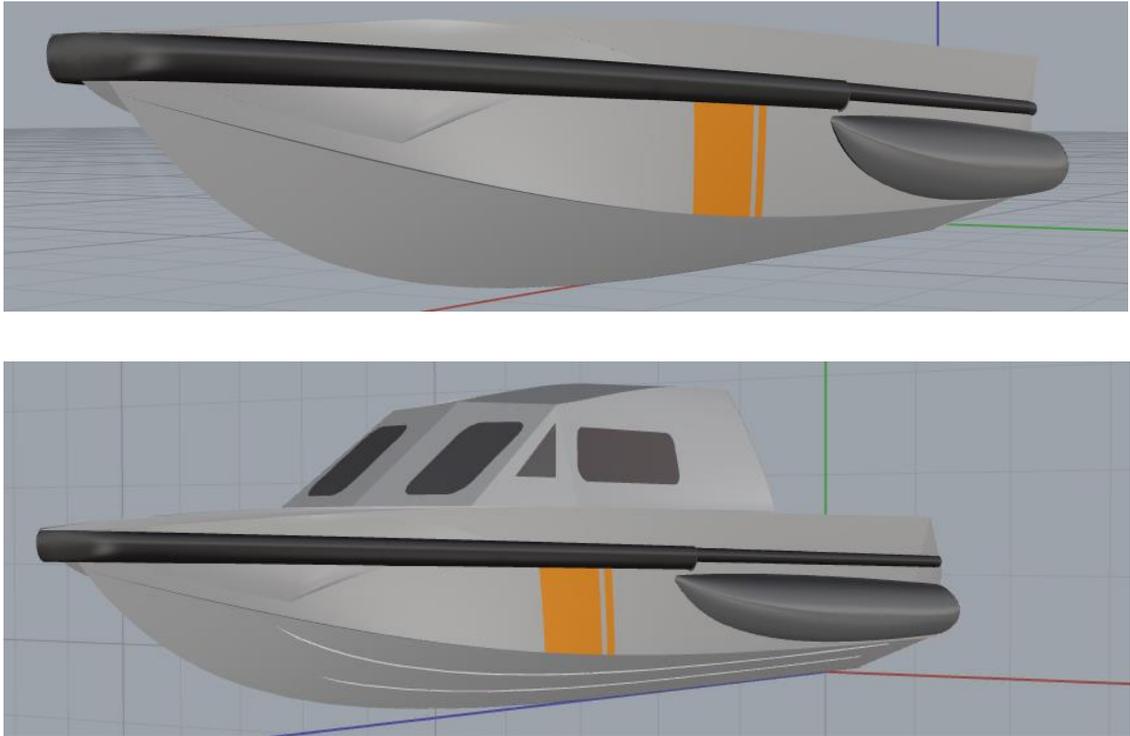
Esta, embarcación interceptora tiene dos flaps estabilizadores en popa, uno a cada lado. Estos flaps tienen un ancho de 0.27 m y una longitud de 0.71 m y pueden operar a diferentes ángulos, de acuerdo con el operador.



**Figura 2.8 Flaps instalados en la lancha Interceptora.**

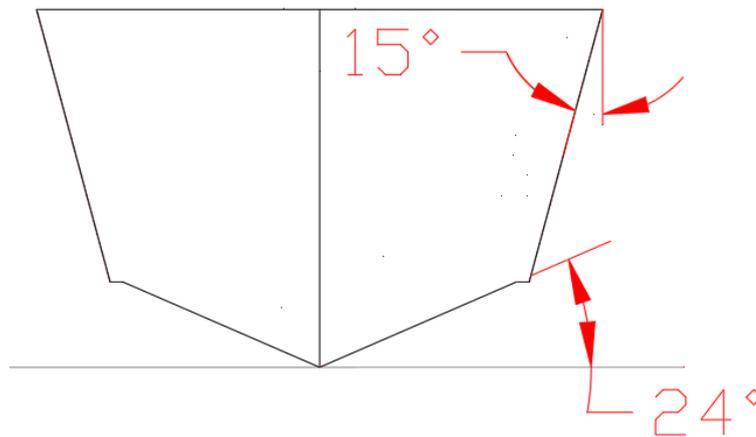
### ***2.2.3.1 Modelo simplificado para aplicar los métodos semi-empíricos***

Uno de los estudios relacionado con lanchas planeadoras, desarrollados por el Laboratorio Davidson del Instituto Tecnológico Stevens de Hoboken, EE. UU. se resumen en Savitsky y Brown [11]. Este método semi-empírico determina la resistencia y asiento dinámico con la influencia de flaps de lanchas planeadoras con formas prismáticas. Por lo que en este caso se simplificó el casco escalonado de la lancha interceptora usando una sola china que es la más representativas como se observa en la siguiente figura:



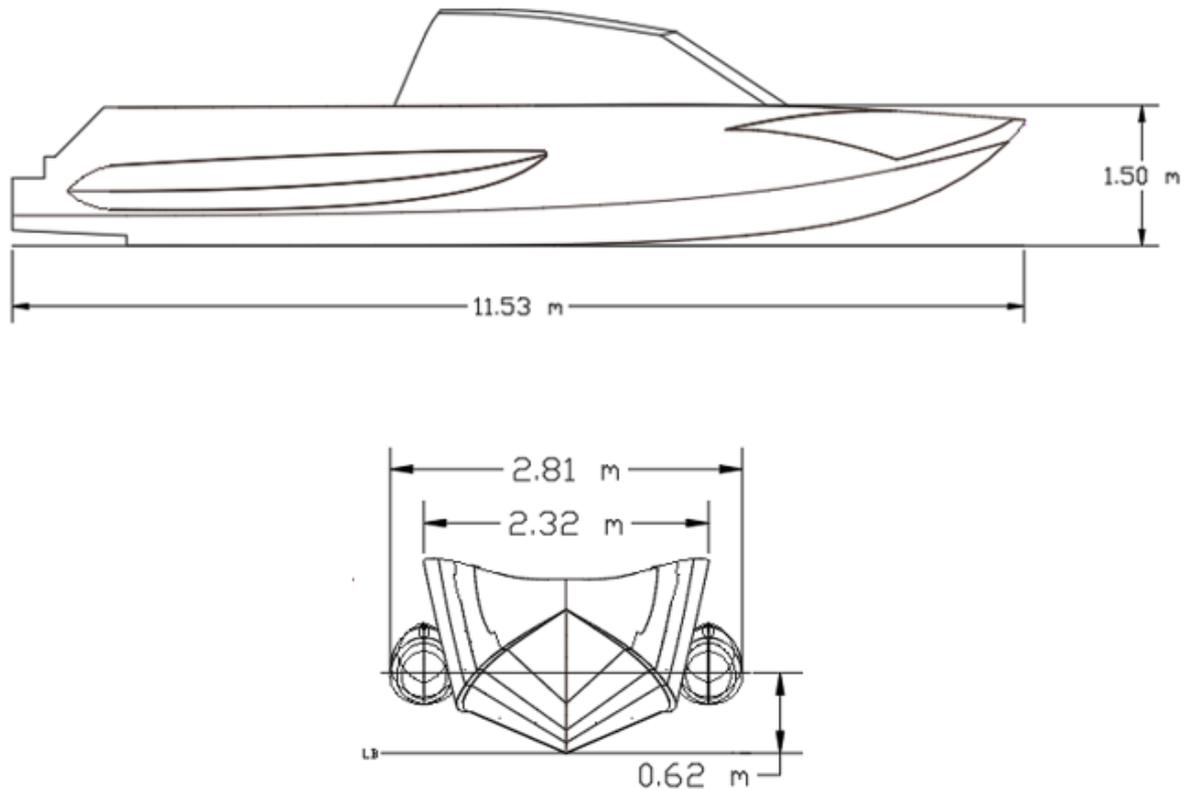
**Figura 2.9 Casco Simplificado – Casco Real de la lancha Interceptora**

Respecto a la vertical el ángulo de costado es de  $15^\circ$  y según el líneas de formas el ángulo de astilla muerta es de  $24^\circ$ , como se observa en la Figura 2.10.



**Figura 2.10 Cuaderna en sección media**

Se presenta la parte de perfil y vista transversal del casco simplificado en la siguiente figura:



**Figura 2.11 Sección transversal - vista de perfil del casco simplificado**

Y mediante el programa de Maxsurf [18] se tiene las siguientes dimensiones principales:

**Tabla 2.7 Dimensiones del modelo simplificado obtenidas de Maxsurf [18]**

| <b>Características</b>      | <b>Unidades</b> |   |
|-----------------------------|-----------------|---|
| <b>Eslora total</b>         | 11.53           | m |
| <b>Eslora de flotación</b>  | 10.86           | m |
| <b>Manga sin flotadores</b> | 2.31            | m |
| <b>Manga con flotadores</b> | 2.81            | m |
| <b>Puntal</b>               | 1.5             | m |

| Características                    |       | Unidades |
|------------------------------------|-------|----------|
| Calado de diseño                   | 0.90  | m        |
| Calado a cond. 100% de carga       | 0.62  | m        |
| Desplazamiento en cond. 100% carga | 6.572 | Ton      |

#### 2.2.4 Aplicación de "Savitsky64" con flaps

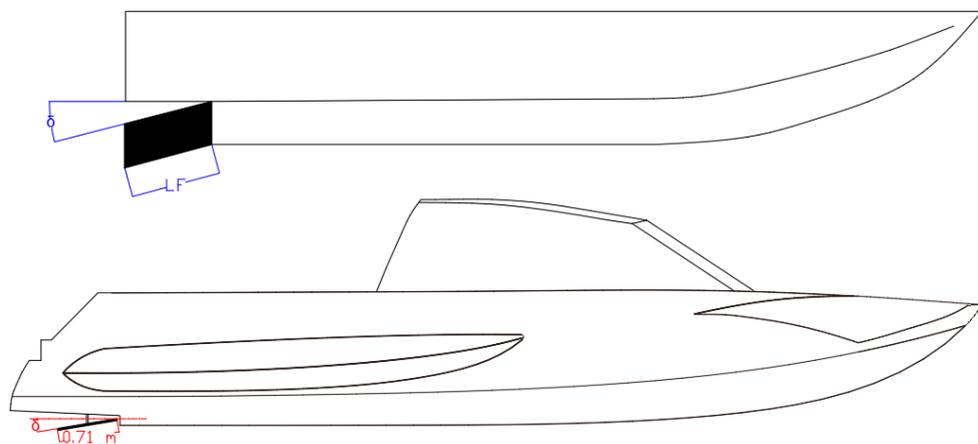
De acuerdo con la velocidad de operación de la lancha Interceptora, el rango de análisis en el presente trabajo empieza en 25 hasta 60 nudos debido a que en ese rango la embarcación se encuentra planeando. Además, el programa de Savitsky64flaps es válido para cascos planeadores con  $C_v$  superior a 1.5 [11]. Se analizó la condición de 100% de carga que es de 6488 kg. En esta condición se utilizaron los siguientes datos de entrada:

**Tabla 2.8 Datos de ingreso en condición de carga al 100%**

| Datos de Entrada |          |                   |
|------------------|----------|-------------------|
| $\beta$          | 24       | °                 |
| b                | 1.662    | m                 |
| $\nabla$         | 6.572    | m <sup>3</sup>    |
| LCG              | 4.554    | m                 |
| VCG              | 0.992    | m                 |
| $\epsilon$       | 6        | °                 |
| $\rho$           | 1025     | kg/m <sup>3</sup> |
| v                | 9.39E-07 | m <sup>2</sup> /s |
| f                | 0.4105   | m                 |

| Datos de Entrada |      |     |
|------------------|------|-----|
| LF               | 0.71 | m   |
| $\sigma$         | 0.3  | m/m |

Los cálculos se desarrollan a diferentes ángulos de flaps y se considera el siguiente esquema, proporcionado por Savitsky [11], véase en la siguiente Figura 2.12.



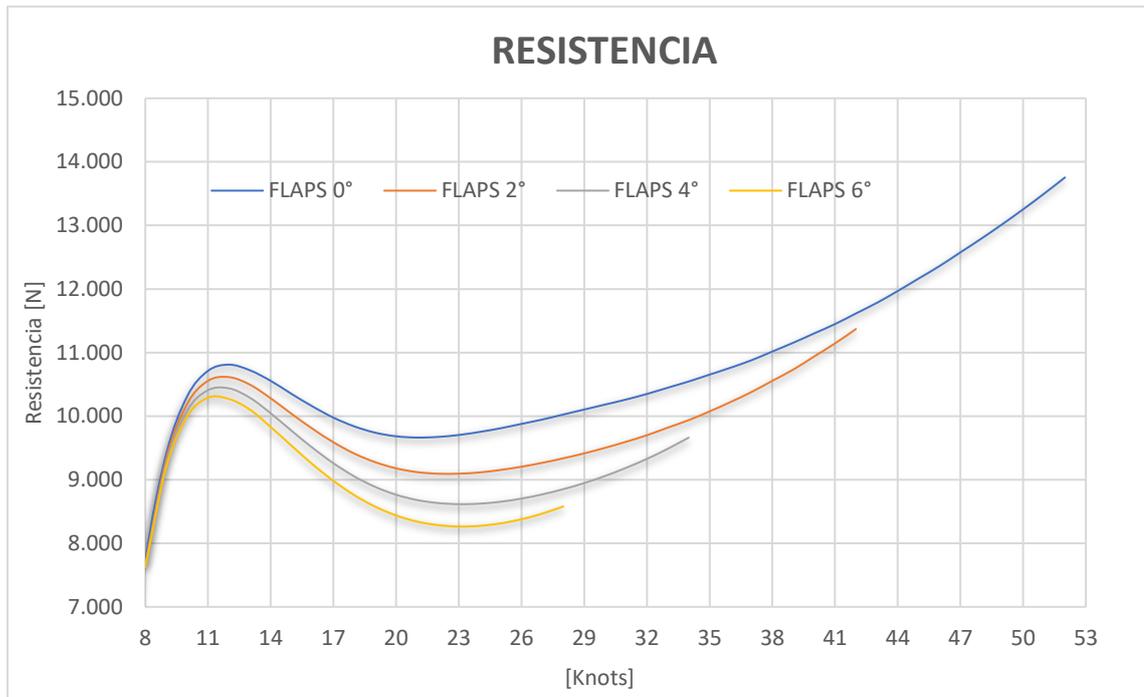
**Figura 2.12 Esquema de la referencia del flap [11]**

Los flaps de la embarcación, antes de operar siempre están a un ángulo inicial de  $10^\circ$ , por lo que para estimar la resistencia al avance y el asiento dinámico se analizó a ángulos pequeños de  $0^\circ$ ,  $2^\circ$ ,  $4^\circ$  y  $6^\circ$  respecto a la referencia al giro del flap, cuando está a  $0^\circ$  se encuentran paralelos a la línea base.

#### **2.2.4.1 Resistencia y asiento dinámico en aguas tranquilas**

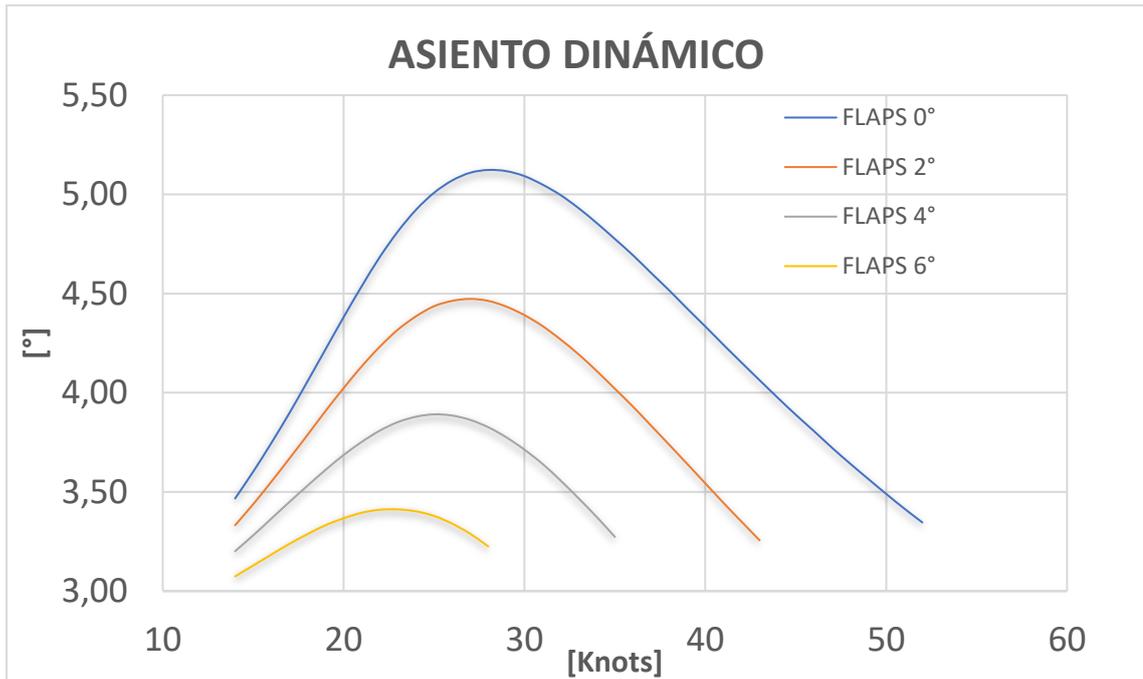
Se aplicó el método descrito anteriormente [11], para estimar la resistencia al avance y asiento dinámico en aguas tranquilas sin incluir apéndices de la interceptora con un desplazamiento en condición de carga al 100%. Se empieza a una velocidad de 15 nudos que corresponde a un coeficiente de velocidad de

1.78 es decir cuando ya la lancha está en el régimen de planeo. Además, de acuerdo con la velocidad de operación, 50 nudos, se analiza hasta 55 nudos. Con resultados obtenidos del programa Savitsky64flaps, se prepara los siguientes gráficos de Resistencia al avance y asiento dinámico versus la velocidad.



**Figura 2.13 Resistencia al avance con flaps en condición al 100% de carga**

En la Figura 2.13, se muestran las curvas de resistencia al avance con flaps a 0°, 2°, 4° y 6°. Se nota que la resistencia es mayor con flaps a 0°, es decir cuando no están operando. Además, es posible identificar que el "Hump" o valor de resistencia máximo disminuye al aumentar la inclinación de los flaps, es más el máximo se presenta a un valor de 11 nudos y desde 18 nudos en adelante cuando las curvas empiezan a crecer nuevamente, la embarcación se encuentra planeando.



**Figura 2.14 Con flaps- Asiento dinámico vs velocidad en cond al 100% de carga**

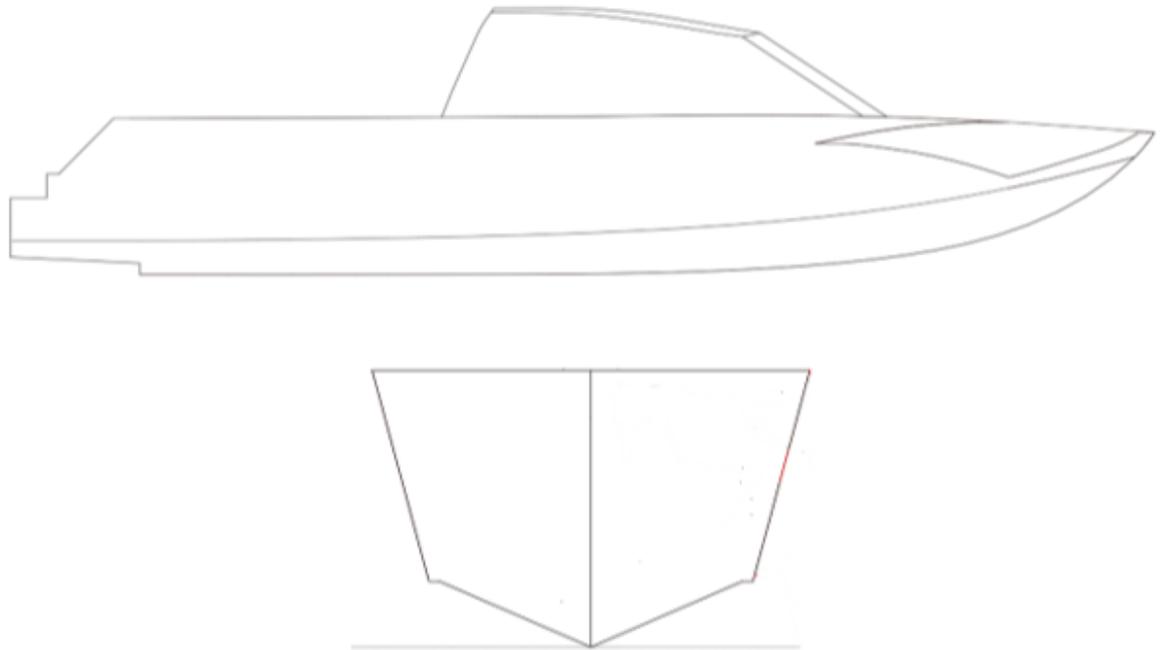
En la Figura 2.14, se puede observar que la curva del asiento dinámico de la lancha disminuye a medida que el ángulo de los flaps se incrementa. Las curvas se desplazan a la izquierda. Para una velocidad de 50 nudos el asiento dinámico es de  $3.49^\circ$  cuando los flaps están a cero grados.

## 2.2.5 Análisis de la estabilidad de la lancha Interceptora

### 2.2.5.1 Estabilidad Estática Intacta

Se realizó el análisis de estabilidad intacta considerando dos escenarios, considerando que las lanchas interceptoras utilizan flotadores a cada banda y se sospecha que su función es el mejorar la estabilidad. Para esto se validó el cumplimiento de los criterios de estabilidad proporcionado por la OMI [12] para la lancha sin flotadores y con flotadores utilizando el software Maxsurf [18] considerando analizar la condición de carga al 100%. En el módulo Stability de Maxsurf [18] se ingresó todas las cargas (Pesos concentrados) en sus diferentes posiciones para obtener las curvas hidrostáticas y aplicar los criterios de estabilidad [12], obteniendo los siguientes resultados:

2.2.5.1.1 Lancha sin flotadores



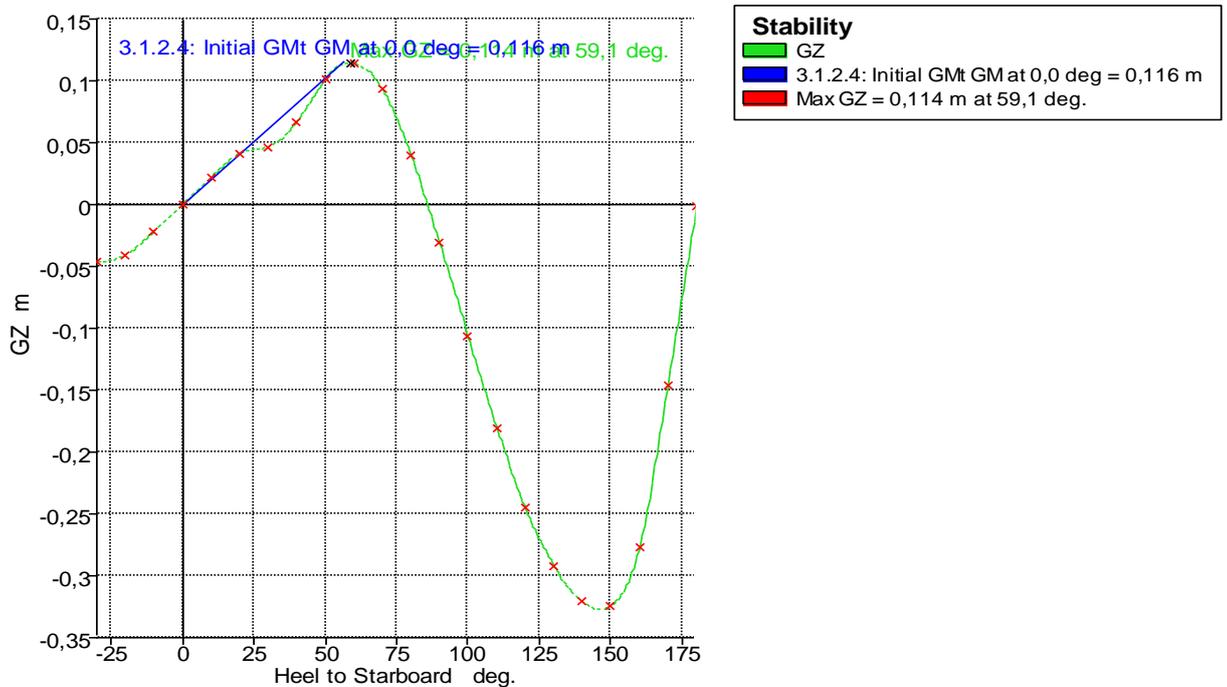
**Figura 2.15 Vista de perfil – transversal de la lancha Interceptora sin flotadores**

Al no utilizar la disposición STAB, es decir sin flotadores se tiene una manga de 2.31 metros y en la siguiente tabla se muestra la evaluación de los criterios de estabilidad:

**Tabla 2.9 Criterios de estabilidad a condición de carga al 100% - Sin flotadores [18]**

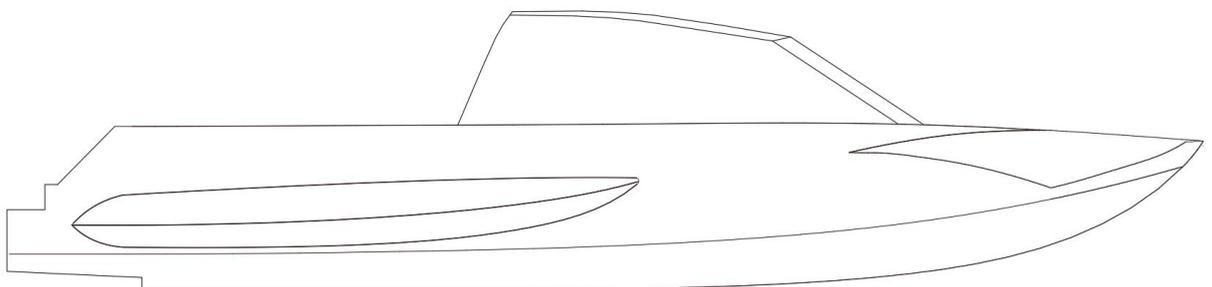
|  | <b>Código</b> | <b>Criterio</b>              | <b>Valor</b> | <b>Unidades</b> | <b>Actual</b> | <b>Estado</b> |
|--|---------------|------------------------------|--------------|-----------------|---------------|---------------|
| <i>A.749(18) Ch3 -<br/>Design criteria<br/>applicable to all<br/>ships</i> |               | 3.1.2.1: Area 0 to 30        | 3,1513       | m.deg           | 1,1722        | <b>Fail</b>   |
|  |               | 3.1.2.1: Area 0 to 40        | 5,1566       | m.deg           | 1,9926        | <b>Fail</b>   |
|  |               | 3.1.2.1: Area 30 to 40       | 1,7189       | m.deg           | 0,8204        | <b>Fail</b>   |
|  |               | 3.1.2.3: Angle of maximum GZ | 25           | deg             | 58,2          | <b>Pass</b>   |
|  |               | 3.1.2.4: Initial GMt         | 0,15         | m               | 0,144         | <b>Fail</b>   |

En la Tabla 2.9 se tiene que el único criterio que cumple es en que el ángulo de escora no sea menor a 25° y los demás fallan demostrando inestabilidad en la lancha al no tener los flotadores a cada banda. A continuación, se reporta la curva de brazos adrizantes dada por Maxsurf [18].



**Figura 2.16 Curva de brazos adrizantes - Sin flotadores al 100% de carga**

### 2.2.5.1.2 Lancha con flotadores



**Figura 2.17 Vista de perfil de la lancha Interceptora con flotadores**

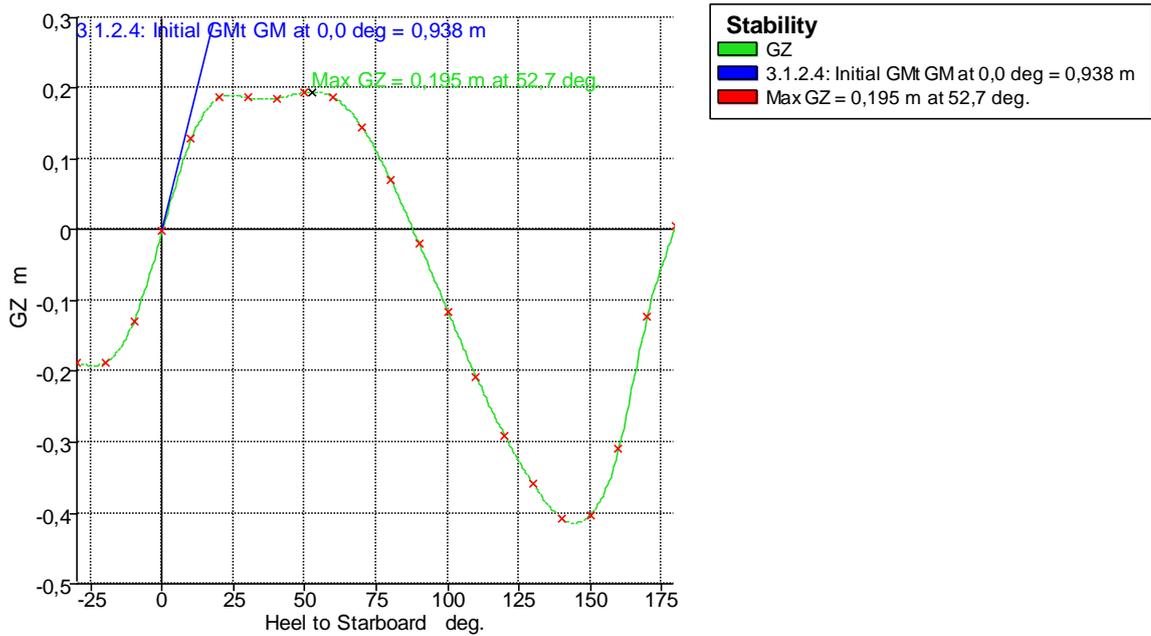
En la Figura 2.17 se tiene la lancha interceptora con el flotador en una de las bandas, el tener estos flotadores aumentan la manga teniendo una manga total de

la embarcación de 2.81 m y para analizar en el Software se cambia la geometría incluyendo los flotadores. Además, se evaluó el cumplimiento de los criterios de estabilidad detallados a continuación:

**Tabla 2.10 Criterios de estabilidad a condición de carga al 100% Con flotadores [18]**

| <b>Código</b>  | <b>Criterio</b>              | <b>Valor</b> | <b>Unidades</b> | <b>Actual</b> | <b>Estado</b> |
|--|------------------------------|--------------|-----------------|---------------|---------------|
| <i>A.749(18) Ch3 -<br/>Design criteria<br/>applicable to all ships</i> | 3.1.2.1: Area 0 to 30        | 3,1513       | m.deg           | 4,2182        | <b>Pass</b>   |
|  | 3.1.2.1: Area 0 to 40        | 5,1566       | m.deg           | 6,0678        | <b>Pass</b>   |
|  | 3.1.2.1: Area 30 to 40       | 1,7189       | m.deg           | 1,8496        | <b>Pass</b>   |
|  | 3.1.2.3: Angle of maximum GZ | 25           | deg             | 52,7          | <b>Pass</b>   |
|  | 3.1.2.4: Initial GMt         | 0,15         | m               | 0,938         | <b>Pass</b>   |

En la Tabla 2.10 se observa que todos los criterios de estabilidad establecidos por la Organización Marítima Internacional (OMI), para todos los buques cumple a condición del 100% de carga y la curva de brazos adrizantes en esta condición es:



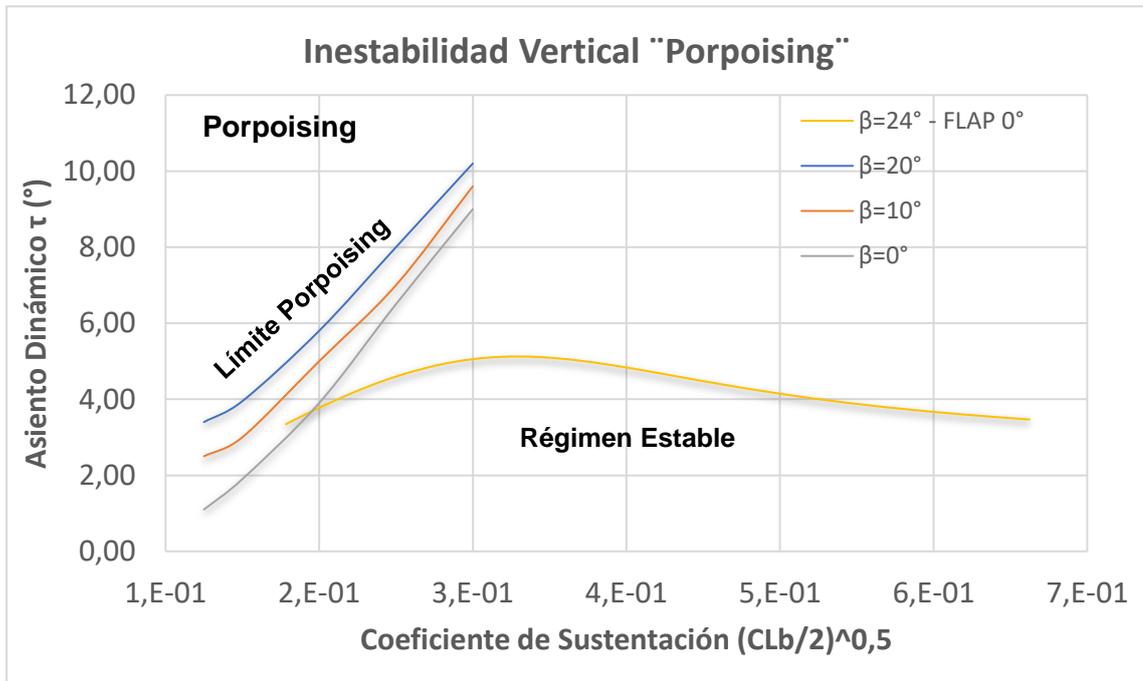
**Figura 2.18 Curva de brazos adrizantes - Con flotadores al 100% de carga**

A continuación, se analiza también a condición de carga al 50% :

**Tabla 2.11 Criterios de estabilidad a condición de carga al 50% - Con flotadores [18]**

| Código   | Criterio                  | Valor  | Unidades | Actual | Estado      |
|--|---------------------------|--------|----------|--------|-------------|
| <i>A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships</i> | 3.1.2.1:<br>Area 0 to 30  | 3,1513 | m.deg    | 3,9481 | <b>Pass</b> |
|  | 3.1.2.1:<br>Area 0 to 40  | 5,1566 | m.deg    | 5,5983 | <b>Pass</b> |
|  | 3.1.2.1:<br>Area 30 to 40 | 1,7189 | m.deg    | 1,7502 | <b>Pass</b> |
|  | 3.1.2.4:<br>Initial GMt   | 0,15   | m        | 0,911  | <b>Pass</b> |

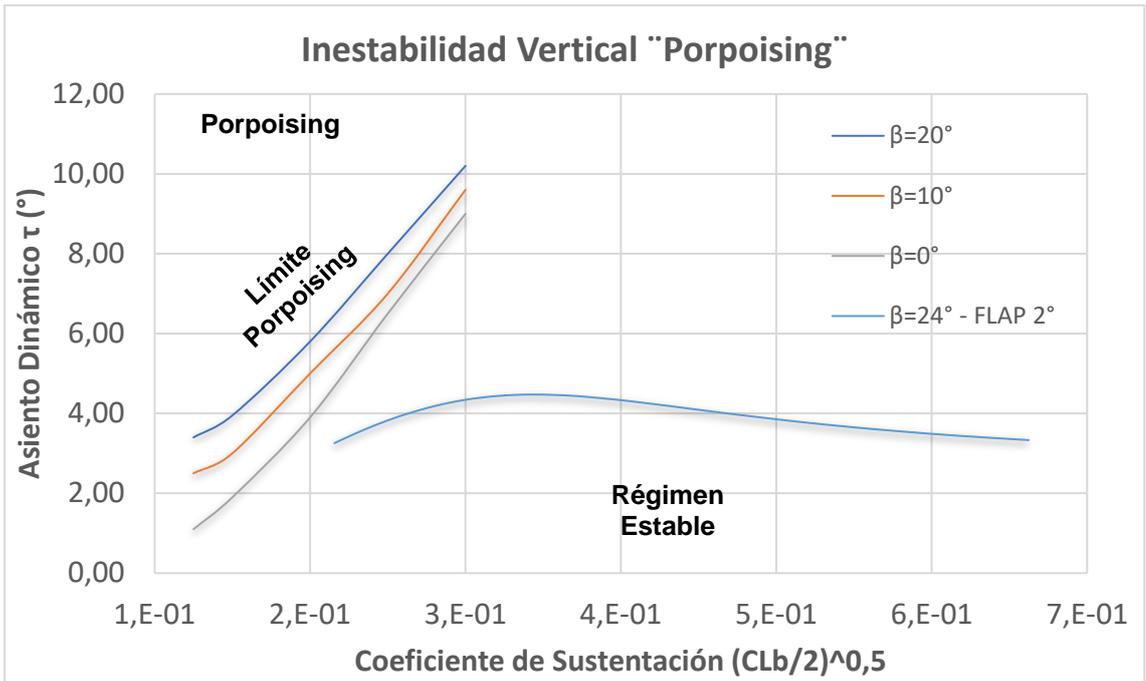
### 2.2.5.2 Inestabilidad Vertical en la lancha Interceptora



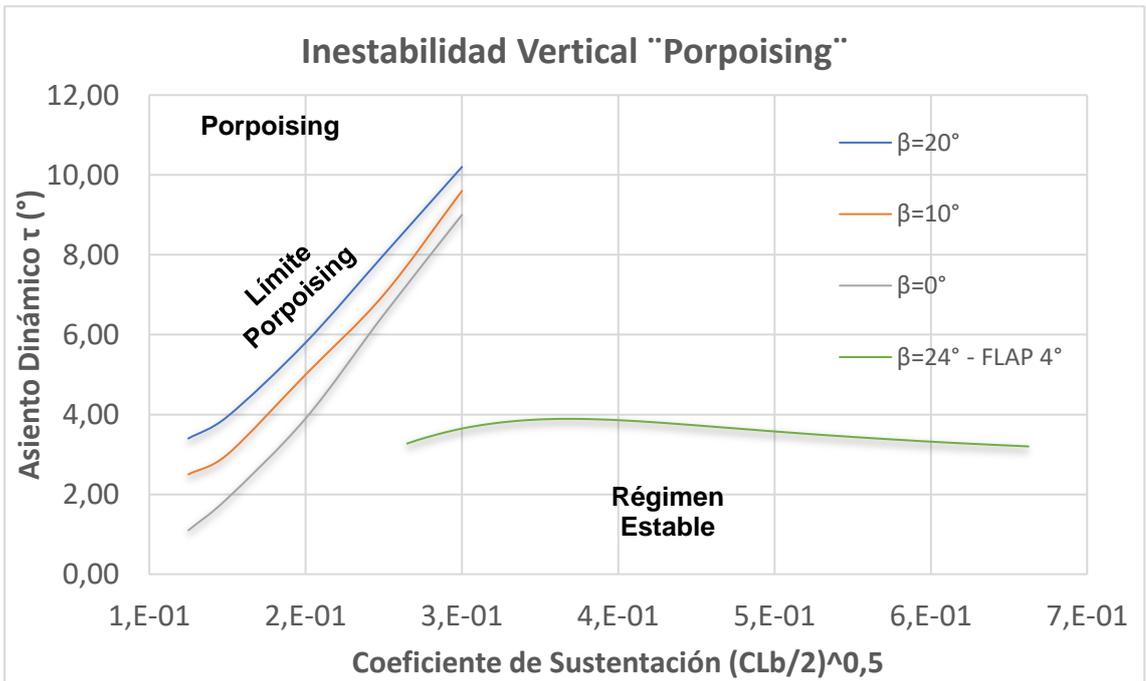
**Figura 2.19 Zonas de Inestabilidad en el plano vertical de la lancha interceptora con ángulo de los flaps de  $0^\circ$**

En la Figura 2.19, se incluyó las curvas proporcionadas por Savitsky [3] y se agregó la variación del ángulo de astilla muerta de la lancha interceptora simplificada. Se muestra que el coeficiente de sustentación se reduce conforme aumenta la velocidad. Además, se nota que la curva para la lancha con ángulo de astilla muerta de  $24^\circ$  está en el régimen estable, en el rango de velocidad de 15 a 52 nudos para un ángulo de inclinación de  $0^\circ$  de los flaps.

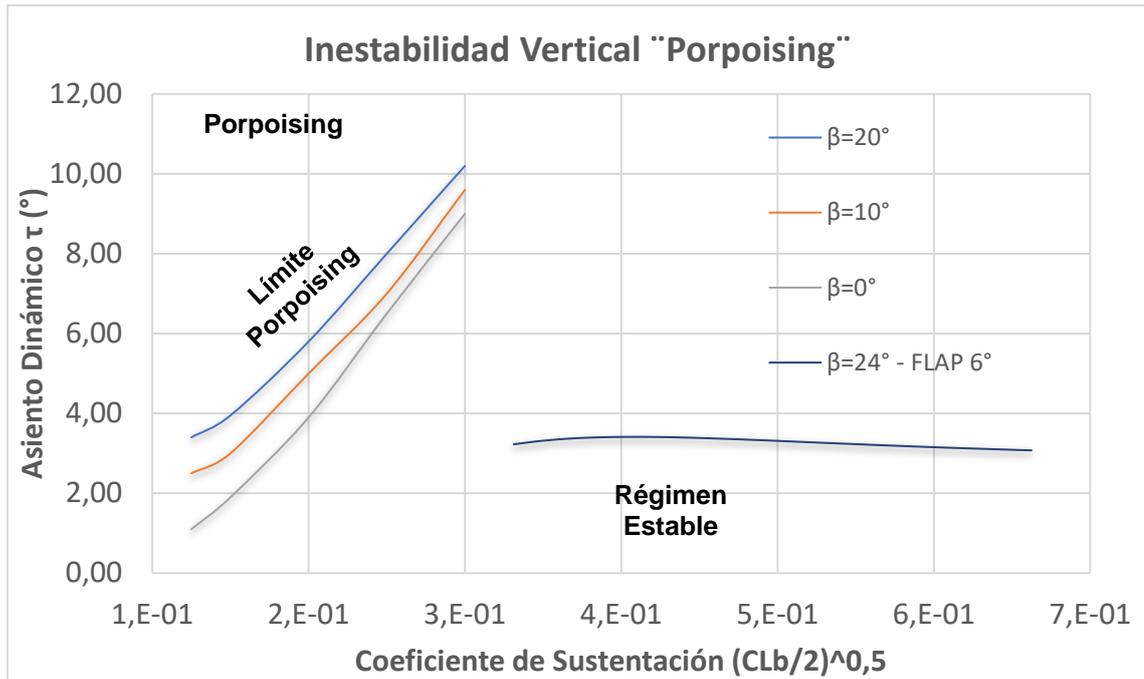
A continuación, en las Figura 2.20, Figura 2.21, Figura 2.22, se analizó la operación con ángulo de flaps a  $2^\circ$ ,  $4^\circ$  y  $6^\circ$  y las tres curvas se encuentran en la zona estable, además el aumentar el ángulo del flap las curvas se desplazan hacia la derecha es decir a la zona más estable.



**Figura 2.20** Zonas de Inestabilidad en el plano vertical de la lancha planeadora con ángulo de los flaps de  $2^\circ$ .



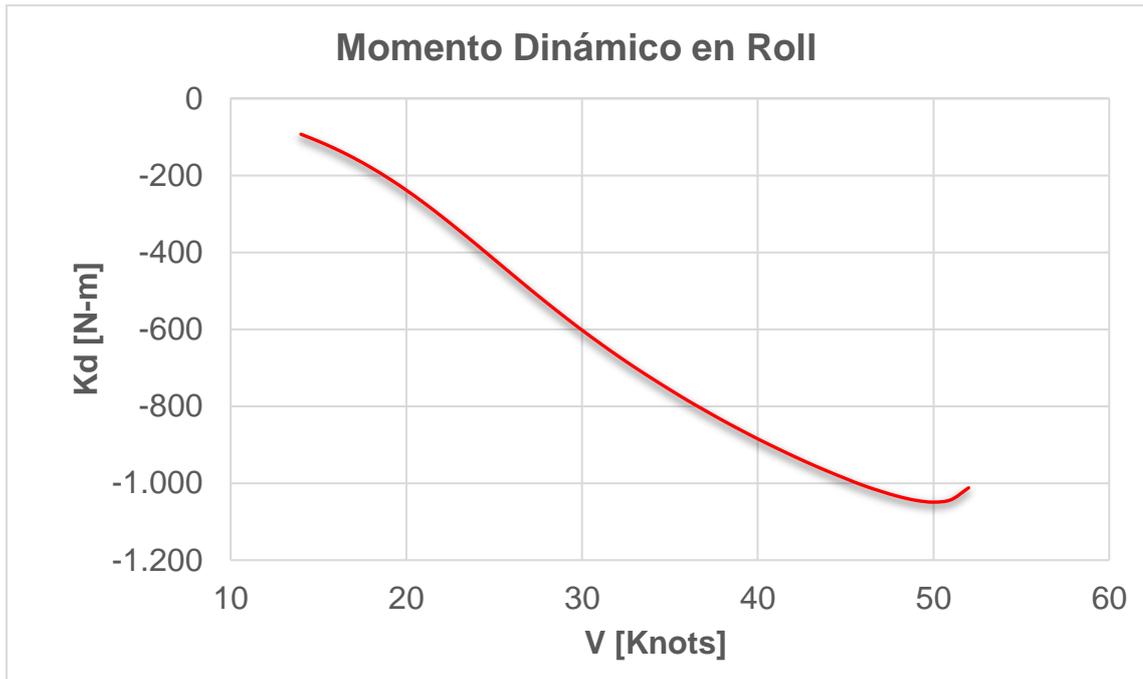
**Figura 2.21** Zonas de Inestabilidad en el plano vertical de la lancha planeadora con ángulo de los flaps de  $4^\circ$ .



**Figura 2.22 Zonas de Inestabilidad en el plano vertical de la lancha planeadora con ángulo de los flaps de  $6^\circ$ .**

### **2.2.5.3 Estabilidad dinámica transversal**

Se analizó la estabilidad dinámica en movimiento de balance de la interceptora utilizando el trabajo de Lewadowsky [13] sobre embarcaciones planeadoras. La Figura 2.23, muestra la variación del momento en roldo en función de la velocidad de navegación, es evidente que los valores de los momentos son negativos conforme se aumenta la velocidad de navegación. Estos resultados sugieren que la lancha es estable.



**Figura 2.23 Momento dinámico transversal en función de la velocidad**

Con los resultados obtenidos, se determina la altura del centro de gravedad máximo usando la formulación (1.19).

$$\frac{KG}{b_{max}} = 0,84$$

$$KG_{max} = 1,405 \text{ m}$$

Como el valor máximo del centro de gravedad es 1.405 metros este valor es mayor al determinado a condición del 100% de carga, por lo que está en el rango de estabilidad y el valor KG es 0.992 metros, ver en anexo B.

## 2.3 Rendimiento de la Hélice tipo "Surface Piercing"

### 2.3.1 Geometría de la hélice

Para determinar la geometría de la hélice, se considera los siguientes datos que están marcados por el fabricante en la hélice :

**Tabla 2.12 Especificaciones técnicas de la hélice marca Rolla.**

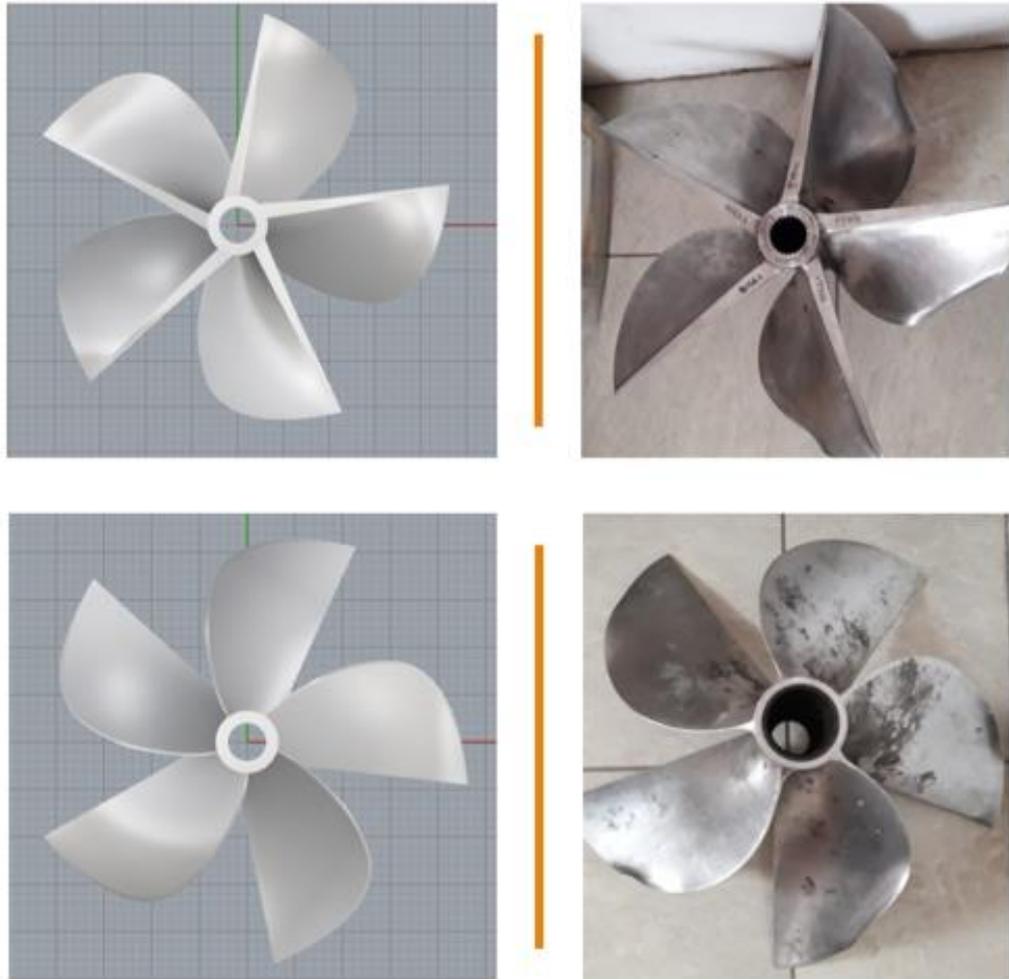
|          |      |      |
|----------|------|------|
| Z        | 5    |      |
| Diámetro | 18,5 | pulg |
| Paso     | 27   | pulg |
| P/D      | 1,46 |      |

Con estos datos, se dibujaron círculos concéntricos considerando el diámetro de la hélice y disminuyendo progresivamente en intervalos de 10%D. Posteriormente se utilizaron los implementos mostrados en la Figura 2.24 y se determinó la geometría de una sola aspa midiendo diferentes puntos a lo largo del perfil para cada círculo concéntrico.



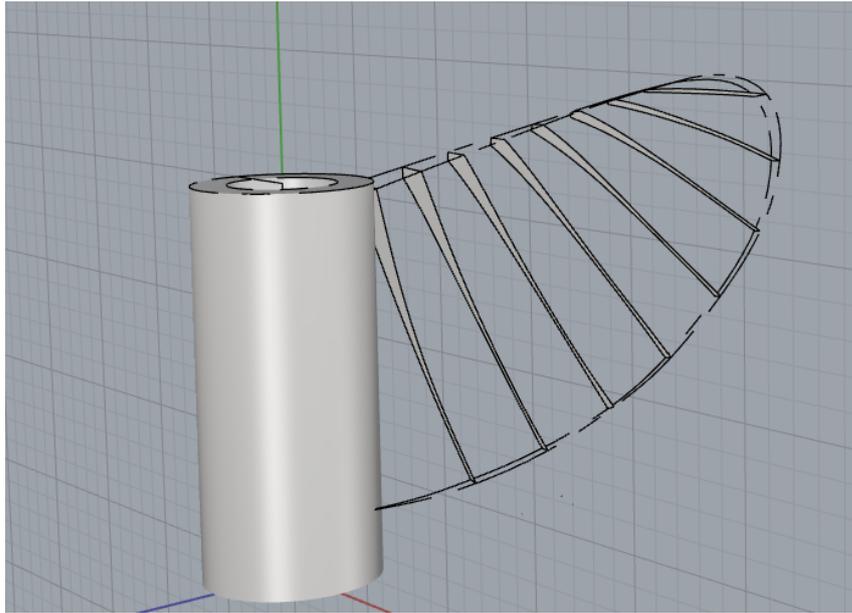
**Figura 2.24 Implementos para obtener la geometría de la hélice**

Con estos puntos encontrados, se generó un archivo CAD 3D utilizando el programa Rhino 3D como se muestra a continuación:



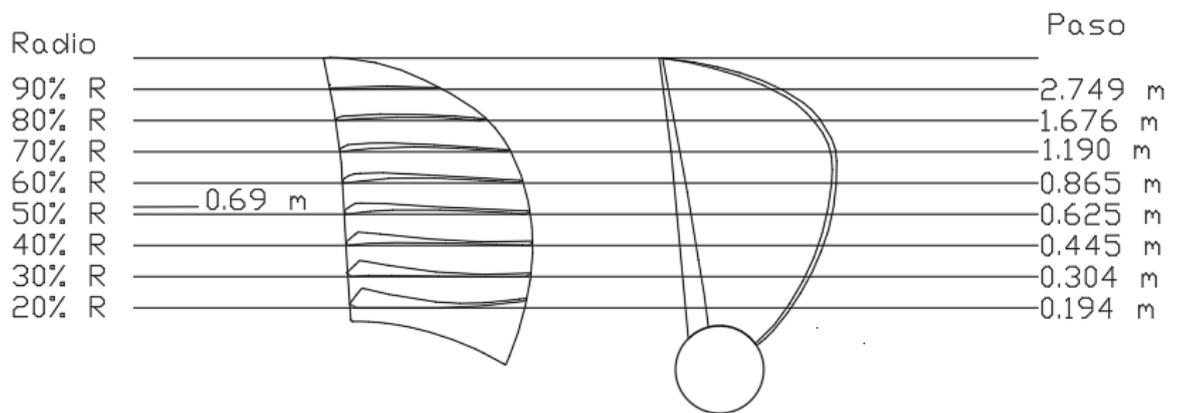
**Figura 2.25 Vista en planta de la hélice - Cara de presión (Superior) -Cara de succión (Inferior)**

Con la geometría obtenida en 3D en el programa, pasamos a obtener otros datos importantes y analizar sus secciones transversales de las aspas de la hélice como se observa a continuación:



**Figura 2.26 Secciones transversales de una de las aspas de la hélice.**

Además, se encontró el área expandida de las aspas de la hélice y se graficó un plano en 2d, mostrando una de las palas de la hélice como se observa a continuación:



**Figura 2.27 Plano 2D de las secciones transversales y área expandida de una aspa**

Y finalmente se obtuvo las siguientes características de las hélices necesarias para determinar la eficiencia en aguas abiertas:

**Tabla 2.13 Características de la hélice**

|       |       |                |
|-------|-------|----------------|
| Z     | 5,000 | Palas          |
| D     | 0,470 | m              |
| P     | 0,686 | m              |
| P/D   | 1,459 | ---            |
| Ao    | 0,173 | m <sup>2</sup> |
| Ae    | 0,139 | m <sup>2</sup> |
| Ae/Ao | 0,80  | ---            |

### 2.3.2 Implementación de las series sistemáticas de las hélices SPP

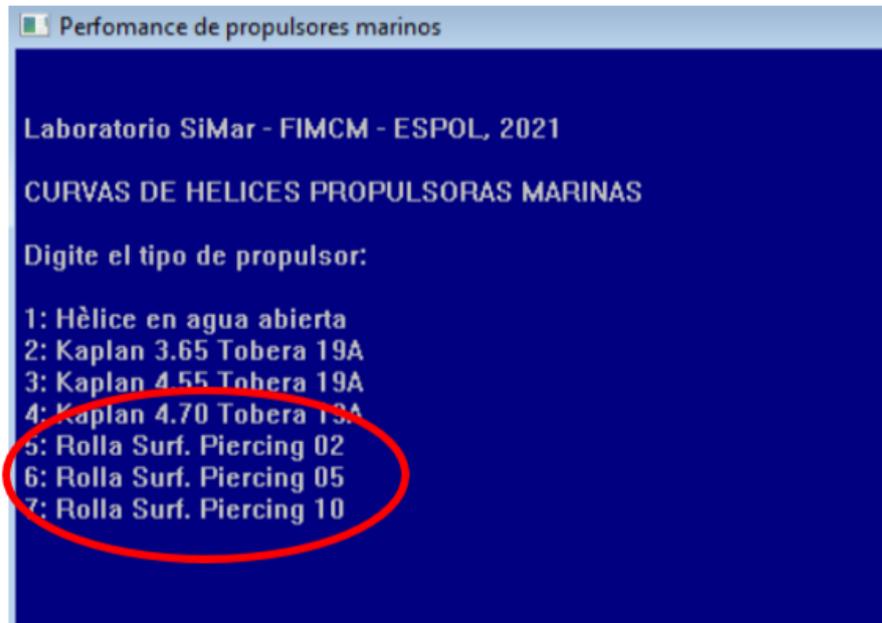
Para generar las curvas características de la hélice se usaron los datos presentados por Radojic [8] en colaboración con la empresa Rolla. Estos coeficientes están dados para diferentes números de cavitación y las ecuaciones para los coeficientes de empuje y torque se generan de la siguiente manera:

$$K_T = \sum_1^n C_T * \left(\frac{h}{D}\right)^x * \left(\frac{P}{D}\right)^y * J^z \quad (2.1)$$

$$K_Q = \sum_1^m C_Q * \left(\frac{h}{D}\right)^x * \left(\frac{P}{D}\right)^y * J^z \quad (2.2)$$

Para cada número de cavitación se digitan los polinomios empleando los valores para los parámetros:  $n$ ,  $m$ ,  $C_T$ ,  $C_Q$ ,  $x$ ,  $y$ ,  $z$ . Además, mediante programación en

lenguaje Visual Fortran se prepararon subrutinas con cada serie y finalmente se ejecución se presenta de la siguiente manera:



**Figura 2.28 Ejecutable para generar las curvas de hélices propulsores [19]**

Con este programa se tiene la opción de generar curvas para hélices convencionales, en toberas y la de superficie. En este caso las opciones con las que se trabaja es la opción 5 y 7. Además, los datos de entrada para las hélices de superficie son los siguientes:

**Tabla 2.14 Datos de entrada para hélices con rango de valides.**

| Datos de entrada  |
|-------------------|
| P/D (0.9 a 1.6)   |
| h/D (0.30 a 0.58) |

Es así, que se generaron curvas considerando diferentes porcentajes de inmersión de la hélice.

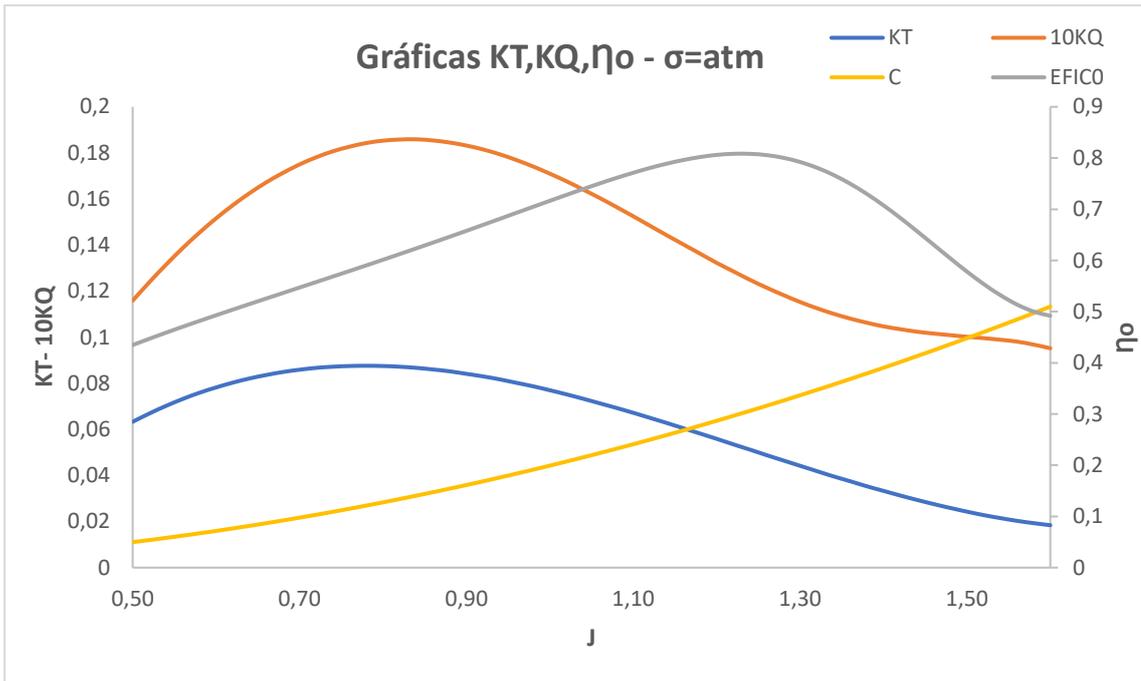
### 2.3.3 Curvas características de hélices Surface piercing en aguas abiertas

Para graficar las curvas características de la hélice SPP, se debe determinar el coeficiente de estela y la fracción de deducción de empuje usando las formulaciones 1.19 y 1.20, pero en este caso ambos valores se consideran cero. Teniendo como resultado los siguientes valores:

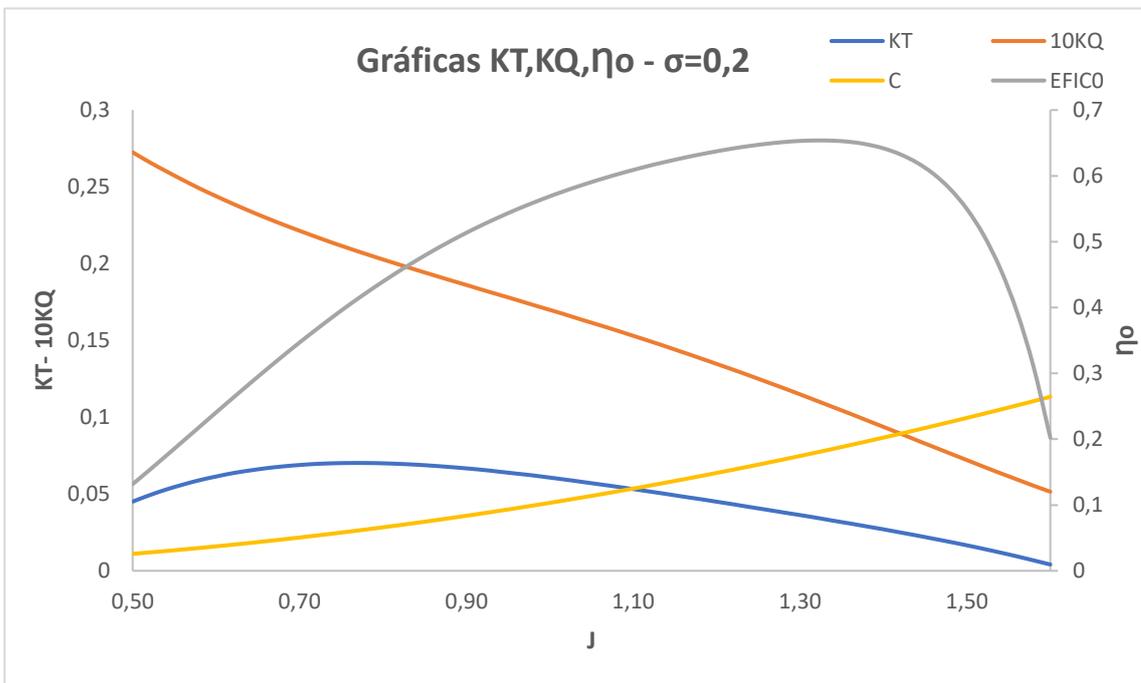
**Tabla 2.15 Valores iniciales para determinar el coeficiente de empuje [J]**

|  |               |          |       |
|--|---------------|----------|-------|
| Coeficiente de estela                    | <b>W_T</b>    | 0,00     | ---   |
| Coeficiente de deducción de empuje       | <b>T</b>      | 0,00     | ---   |
| Velocidad Requerida                      | <b>Vs</b>     | 25,72    | [m/s] |
| Velocidad Avance                         | <b>Va</b>     | 25.72    | [m/s] |
| Empuje Requerido del Conjunto de Hélices | <b>T</b>      | 13253.31 | [N]   |
| Empuje cada hélice                       | <b>T1h</b>    | 6626.66  | [N]   |
| C  | <b>Kt/J^2</b> | 0,04     | ---   |

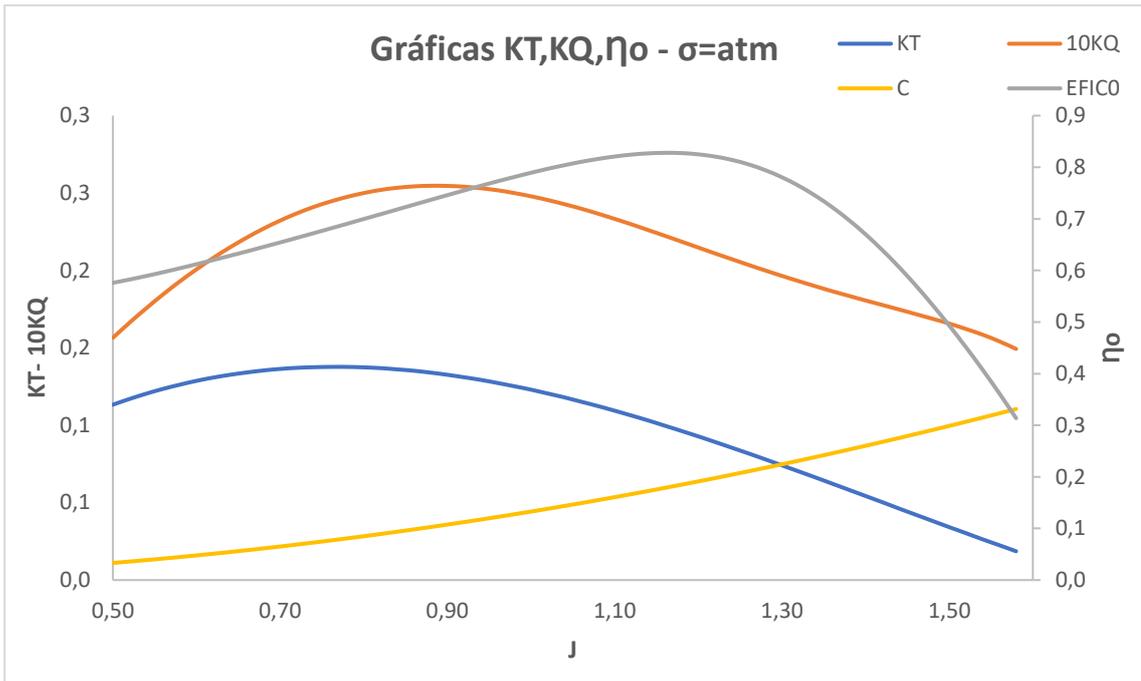
Además, se determina la velocidad de avance, el empuje de la hélice y la relación  $kt/J^2$  respectivamente, con estos valores se obtiene las siguientes graficas:



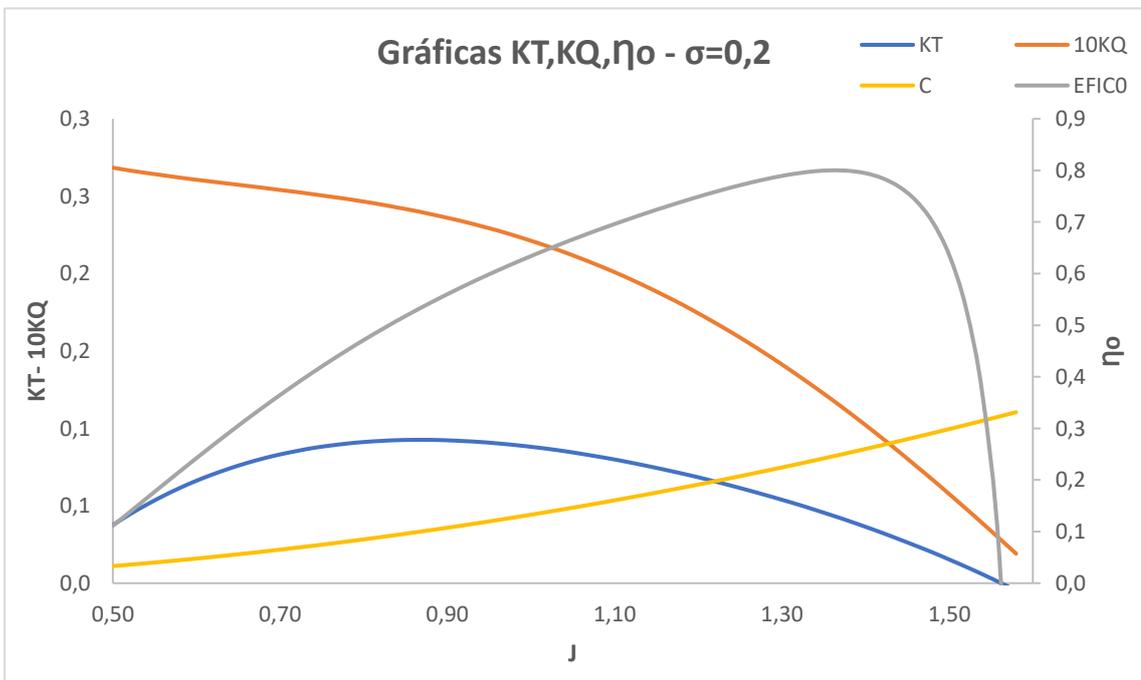
**Figura 2.29 Curvas características de la hélice  $\sigma=atm$  a  $h/D= 30\%$**



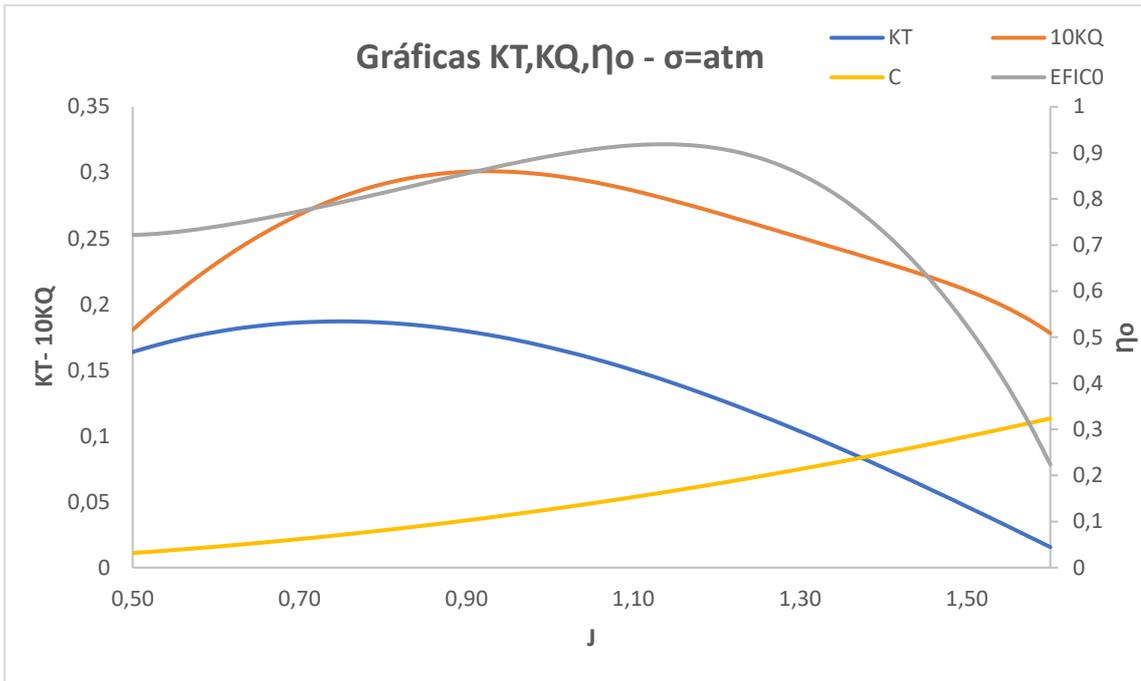
**Figura 2.30 Curvas características de la hélice  $\sigma= 0.2$   $h/D= 30\%$**



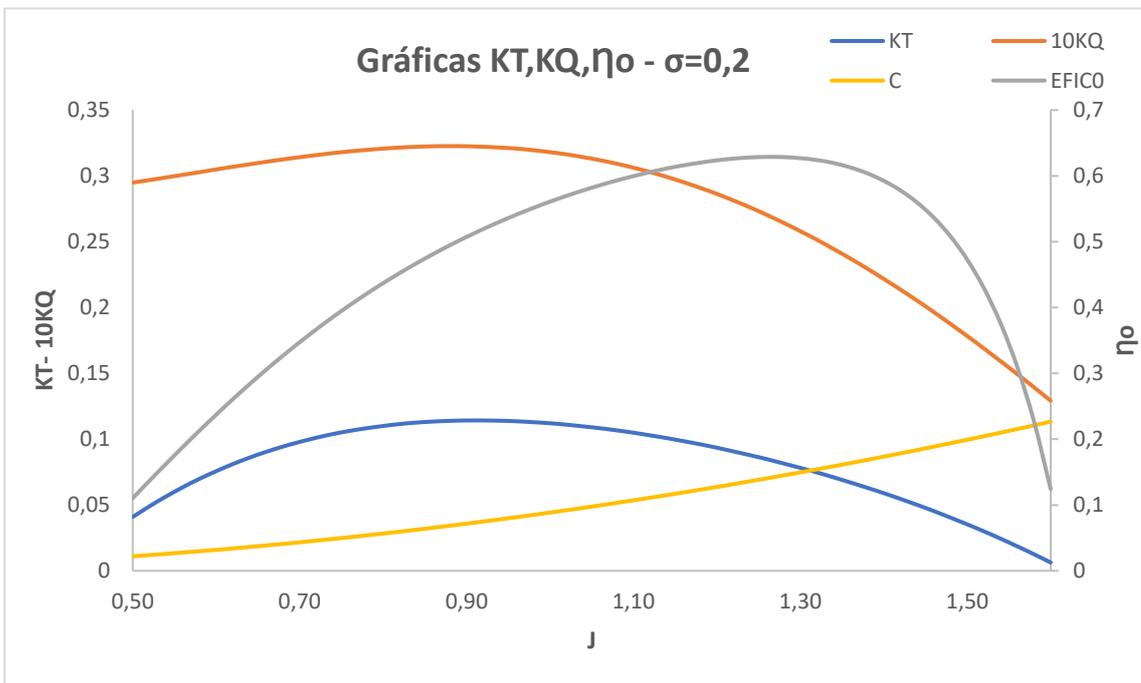
**Figura 2.31 Curvas características de la hélice  $\sigma=atm$  a  $h/D= 40\%$**



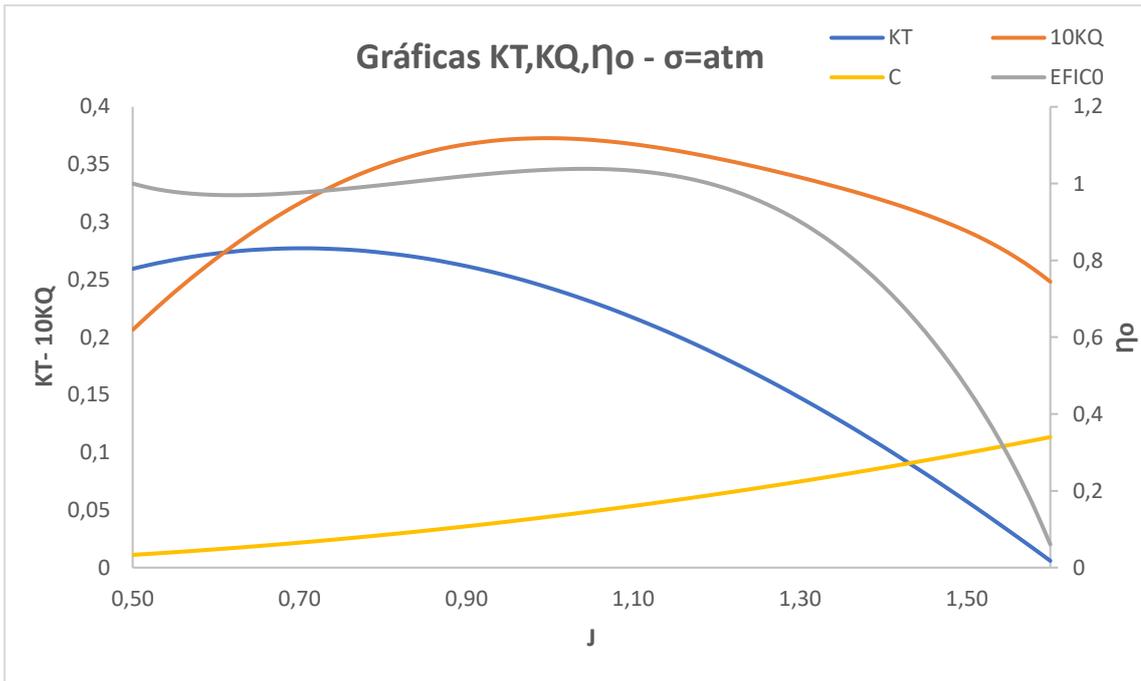
**Figura 2.32 Curvas características de la hélice  $\sigma=0.2$  a  $h/D= 40\%$**



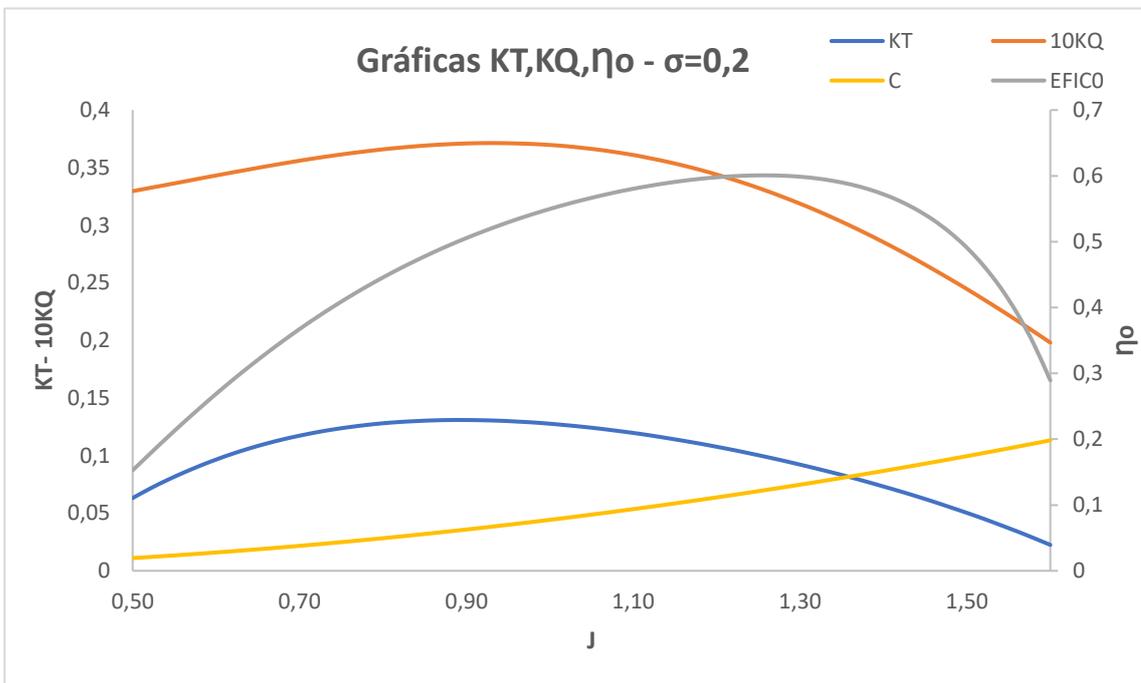
**Figura 2.33 Curvas características de la hélice  $\sigma=atm$  a  $h/D= 47.7\%$**



**Figura 2.34 Curvas características de la hélice  $\sigma=0.2$  a  $h/D= 47.7\%$**



**Figura 2.35 Curvas características de la hélice  $\sigma=atm$  a  $h/D= 58\%$**



**Figura 2.36 Curvas características de la hélice  $\sigma=0.2$  a  $h/D= 58\%$**

En las gráficas anteriores se tiene curvas de los coeficientes de empuje, torque, eficiencia en aguas abiertas y la relación  $kt/J^2$  que se representa con la letra "C". Por lo que en la intersección entre el  $Kt$  y  $C$  se seleccionó el valor del coeficiente de avance ( $J$ ). Con ese coeficiente se determinó la velocidad de rotación de la hélice a la que va a operar para que la embarcación alcance la velocidad de 50 nudos. Es así como los valores de coeficiente de avance ( $J$ ) son los siguientes:

**Tabla 2.16 Coeficiente de avance para la hélice Surface Piercing**

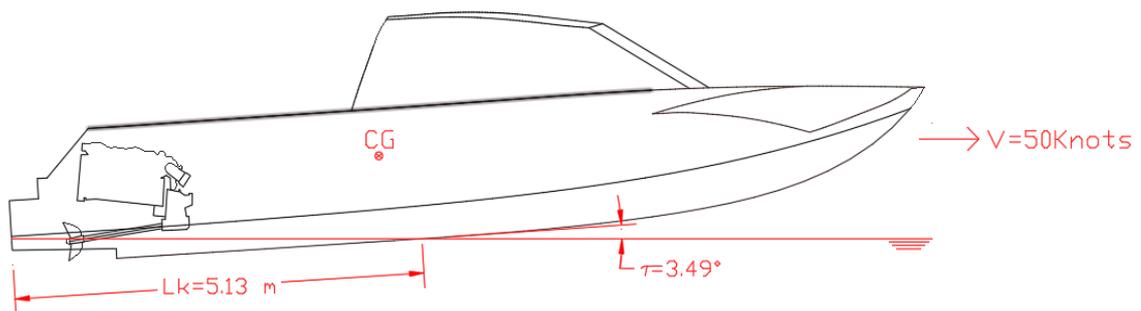
| % h/D | $\sigma = \text{atm}$ | $\sigma = 0,2$ |
|-------|-----------------------|----------------|
|       | J                     |                |
| 30    | 1,16                  | 1,10           |
| 40    | 1,30                  | 1,22           |
| 47,4  | 1,38                  | 1,32           |
| 58    | 1,44                  | 1,36           |

Con estos valores obtenidos de coeficiente de avance para los diferentes números de cavitación y porcentajes de sumersión. En el siguiente capítulo se seleccionará según el esquema del sistema propulsivo de la lancha interceptora el porcentaje que se encuentra de sumergida la hélice y a qué número de cavitación operan las hélices de la lancha.

# CAPÍTULO 3

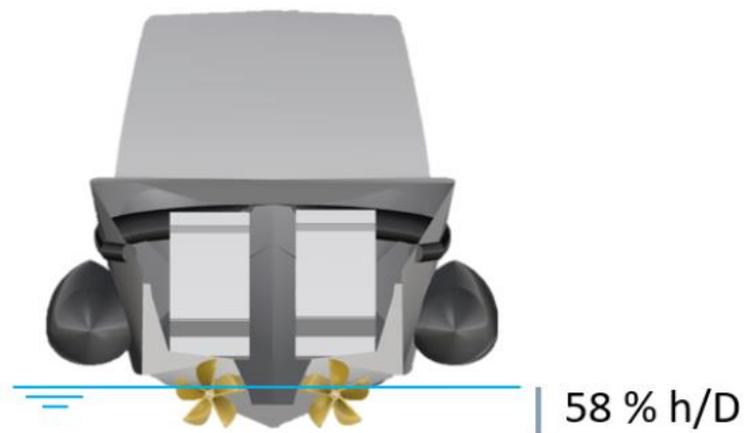
## 3. Resultados y análisis

Los resultados empíricos descritos, en el capítulo anterior de la lancha interceptora en la condición de carga del 100% con hélice tipo "Surface Piercing" a diferentes porcentajes de sumersión, son comparadas en esta sección con las hélices convencionales Serie B Wageningen. Luego estos resultados son usados para determinar la eficiencia del sistema propulsivo. Para esto se generó el siguiente esquema de la lancha con el sistema propulsivo:



**Figura 3.1 Esquema de la lancha interceptora navegando a 50 nudos  $3.49^\circ$  con ángulo de flaps a  $0^\circ$**

El asiento dinámico esquematizado en la Figura 3.1 corresponde al obtenido con el equilibrio dinámico calculado siguiendo el método propuesto por Savitsky [11] cuando la interceptora navega a 50 nudos. Esta condición corresponde a una longitud mojada de la quilla de 5.13 metros, siendo menor a la eslora de flotación de 10.86 metros; confirmando que la embarcación está planeando. Además, en la Figura 3.2 se muestra que la altura de sumersión de la hélice es de 0.273 metros que corresponde al 58% del diámetro de la hélice. Con ello para determinar los coeficientes de torque y empuje se utilizó las gráficas 2.35 y 2.36 y los valores obtenidos fueron los que se detallan a continuación, considerando el caso de que la resistencia es en aguas tranquilas.



**Figura 3.2 Vista transversal de la lancha con el porcentaje de sumersión y vista de perfil del sistema propulsivo.**

Por lo tanto, los resultados para el 58% de altura sumergida se resumen a continuación:

**Tabla 3.1 Resultados de los coeficientes de la hélice a 58% h/D**

| Resultados                       |          |         |
|----------------------------------|----------|---------|
| Resistencia en aguas tranquilas  | 13253.31 | [N]     |
| Velocidad                        | 50       | [Knots] |
| Eficiencia del casco             | 1.00     | ---     |
| Eficiencia Rotativa de la hélice | 0.99     | ---     |
| Eficiencia mecánica              | 0.98     | ---     |

| Resultados                         |       |       |     |
|------------------------------------|-------|-------|-----|
| Número de cavitación               | 0.2   | Atm   | --- |
| Coefficiente de avance             | 1.36  | 1.44  | --- |
| Coefficiente de empuje             | 0.081 | 0.086 | --- |
| Coefficiente de torque             | 0.300 | 0.309 | --- |
| Eficiencia Propulsiva de la hélice | 0.587 | 0.640 | --- |
| Eficiencia Cuasipropulsiva         | 0.575 | 0.627 | --- |

Es así como la eficiencia cuando la embarcación se encuentra en aguas tranquilas para los números de cavitación de 0.2 y atm son de 0.575 y 0.627 respectivamente.

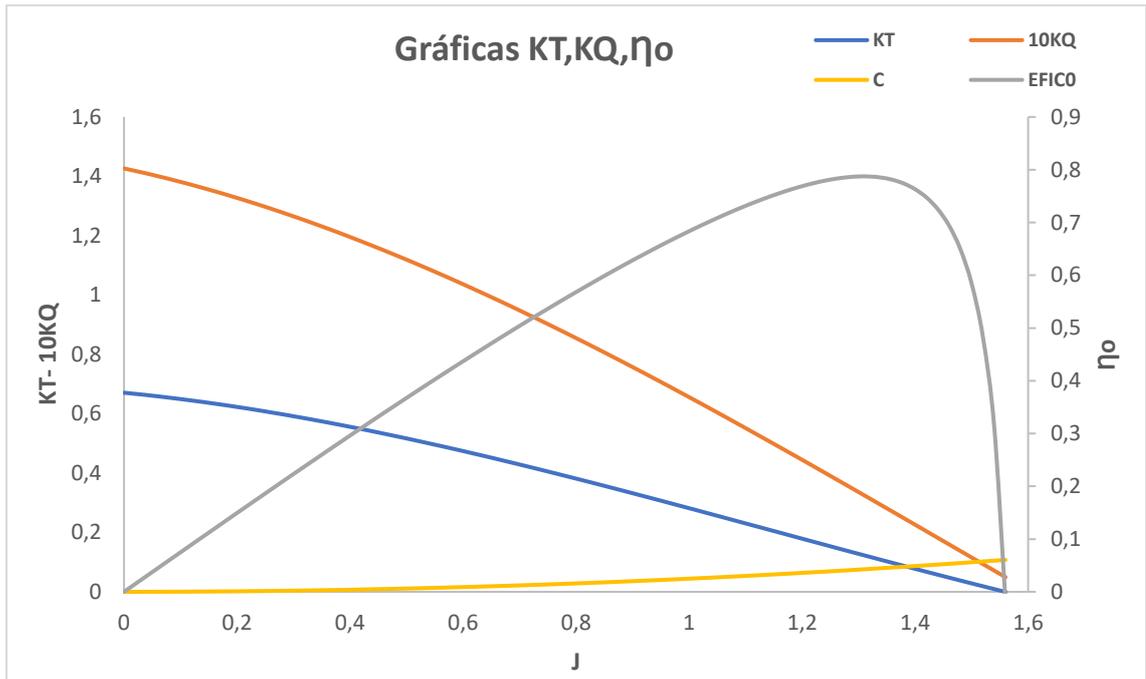
### 3.1 Hélices Wageningen Series B

En Ecuador las hélices más utilizadas son las que operan sumergidas y se las asume que corresponden a las de tipo B Wageningen. Para efectos de comparación se evaluó la eficiencia de este tipo de propulsores con las mismas características de la hélice " surface piercing " cómo se detalla a continuación:

**Tabla 3.2 Características de hélice Wageningen**

|           |          |     |
|-----------|----------|-----|
| Z         | 5        | --- |
| $A_e/A_o$ | 0.80     | --- |
| D         | 0.47     | m   |
| P/D       | 1.46     | --- |
| Rn        | 1.29E+07 | --- |

Con estos datos se generan las curvas de los coeficiente y eficiencia que se presenta a continuación:



**Figura 3.3 Curvas características de la hélice serie "B" - Z=5 - P/D=1.46 - Ae/Ao=0.80**

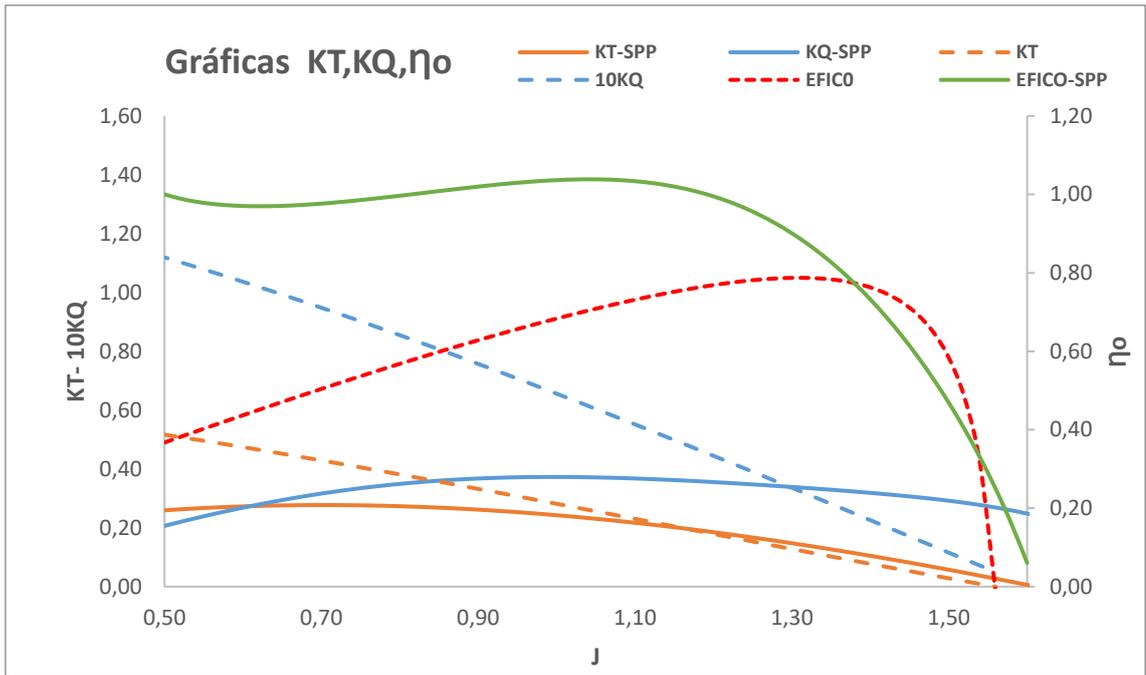
Además, en la Figura 3.3 se anexó la curva C que es igual a  $kt/J^2$  obtenida de igual forma considerando la resistencia en aguas tranquilas, en donde el coeficiente de avance corresponde al valor de 1.38 y es así como los coeficientes de la hélice son los siguientes:

**Tabla 3.3 Coeficientes de la hélice serie "B"**

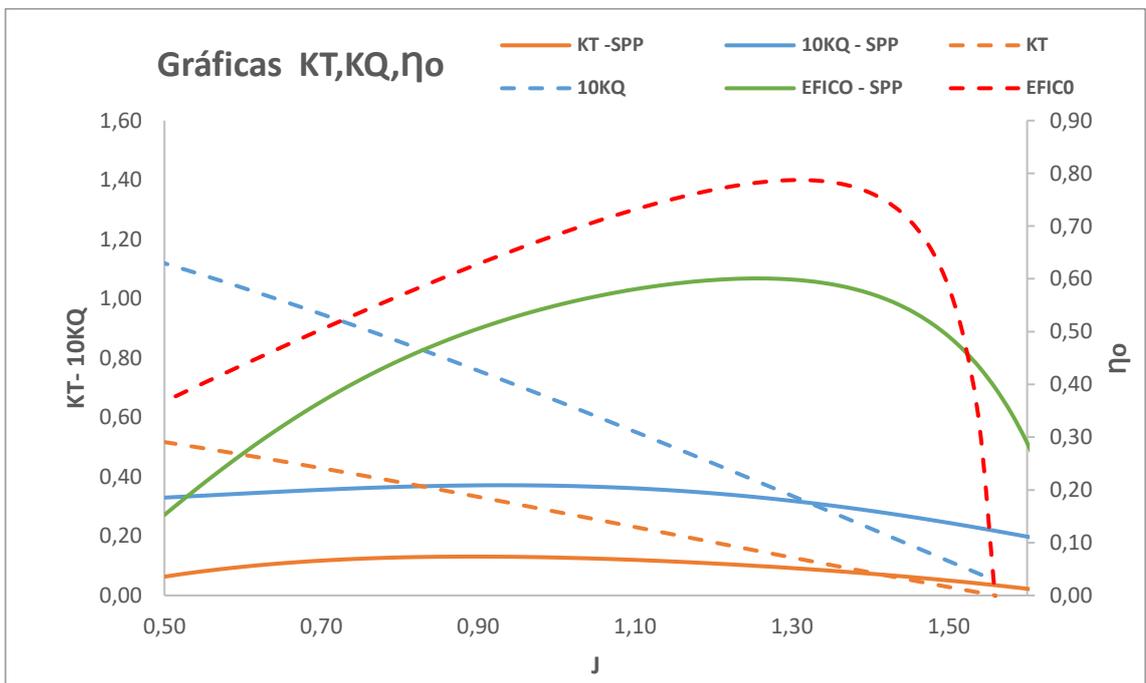
|                                    |       |
|------------------------------------|-------|
| Coeficiente de avance              | 1.38  |
| Coeficiente de empuje              | 0.087 |
| Coeficiente de torque              | 0.248 |
| Eficiencia Propulsiva de la hélice | 0.774 |
| Eficiencia Cuasipropulsiva         | 0.758 |

### 3.2 Comparación de las curvas características de las hélices

Se consideró adjuntar en una sola gráfica las curvas de ambos propulsores dando como resultado:



**Figura 3.4** Curvas características de las hélices series 'B' y las "SPP" al  $h/D=58\%$   
 $\sigma=atm$



**Figura 3.5** Curvas características de las hélices series 'B' y las "SPP" al  $h/D=58\%$   
 $\sigma=0.2$

En las Figura 3.4, Figura 3.5, se observa que los valores de la eficiencia en aguas abiertas para hélices de superficie son menores a 0.6. Además, en la primer grafica con  $\sigma = \text{atm}$  se observa que la eficiencia para la hélice de superficie es mayor que la de la hélice convencional hasta un valor de coeficiente de avance de 1.38 que desde ese punto decrece y la eficiencia de la hélice de la series B Wageningen es mayor. En cambio, para la gráfica con número de cavitación de 0.2 ocurre lo contrario la eficiencia es mayor en el caso de hélices tipo "B" hasta un valor de coeficiente de avance de 1.54 en donde la curva cambia y empieza a decrecer y de ahí en adelante la eficiencia es mayor para las hélice de superficie.

### 3.2.1 Rendimiento del sistema propulsivo

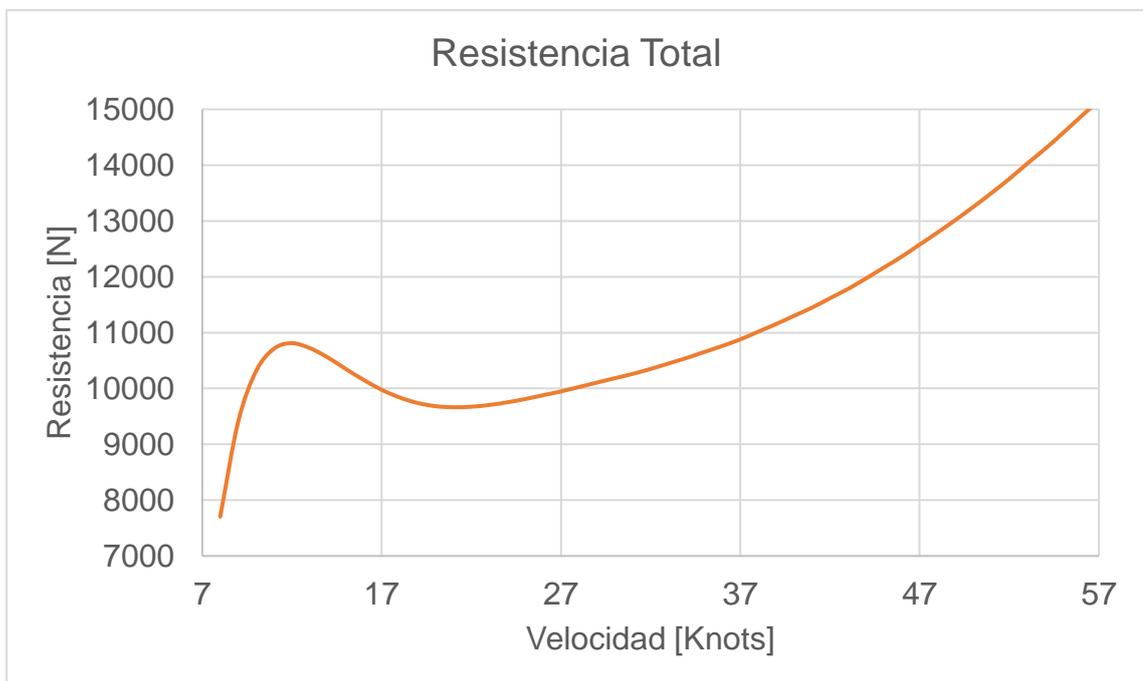
Para obtener la eficiencia propulsiva del sistema de la lancha interceptora se considera recalcular la resistencia y agregar la resistencia por olas y de esa manera obtener el rendimiento. Para ello se implementó un programa de nombre "EFICPRO" [19], usando el lenguaje de Visual Fortran en el cual se provee un archivo de entrada con los siguientes datos:

**Tabla 3.4 Datos de entrada en el programa "Eficpro"**

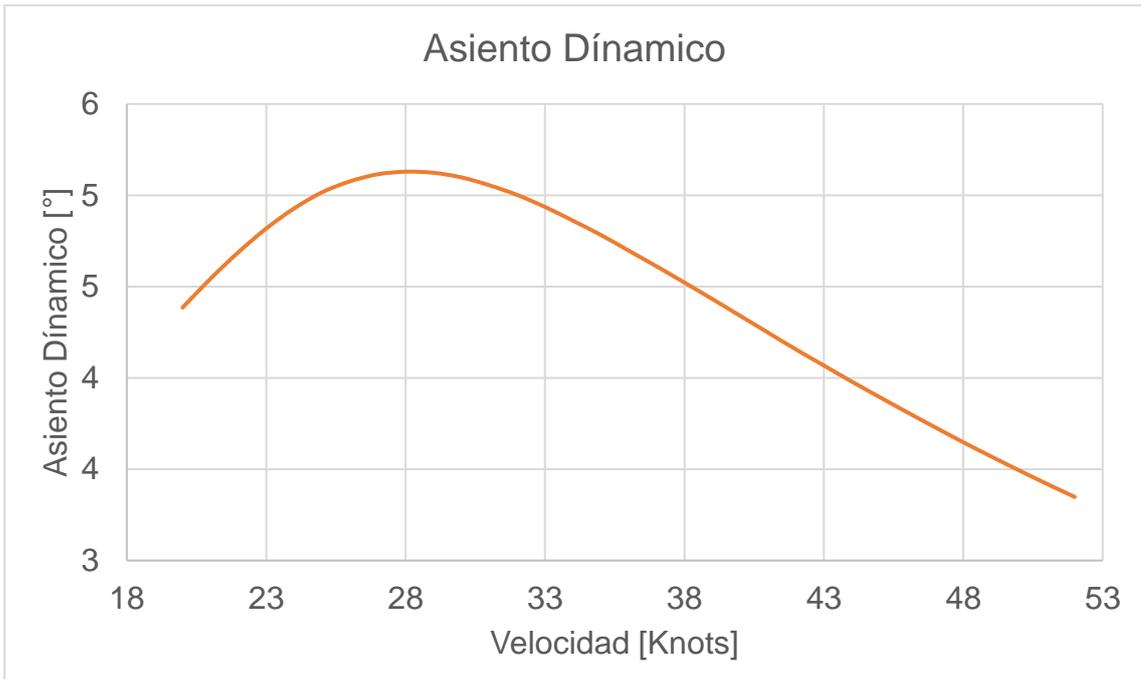
|          |        |                |
|----------|--------|----------------|
| Eslora   | 11,530 | m              |
| Manga    | 2,810  | m              |
| Calado   | 0,620  | m              |
| Volumen  | 6,570  | m <sup>3</sup> |
| Smoj     | 25,471 | m <sup>2</sup> |
| Cb       | 0,341  | ---            |
| Cp       | 0,639  | ---            |
| Cm       | 0,533  | ---            |
| Cwl      | 0,646  | ---            |
| Eficeje  | 0,980  | ---            |
| Hinm 58% | 0,273  | m              |

|             |        |                |
|-------------|--------|----------------|
| Lchina_proy | 11,240 | m              |
| A_proy      | 16,713 | m <sup>2</sup> |
| Manga_china | 1,660  | m              |
| LCG         | 4,550  | m              |
| Beta        | 24,000 | °              |
| VCG         | 0,990  | m              |
| Epsilon     | 6,000  | °              |
| f_distance  | 0,392  | m              |

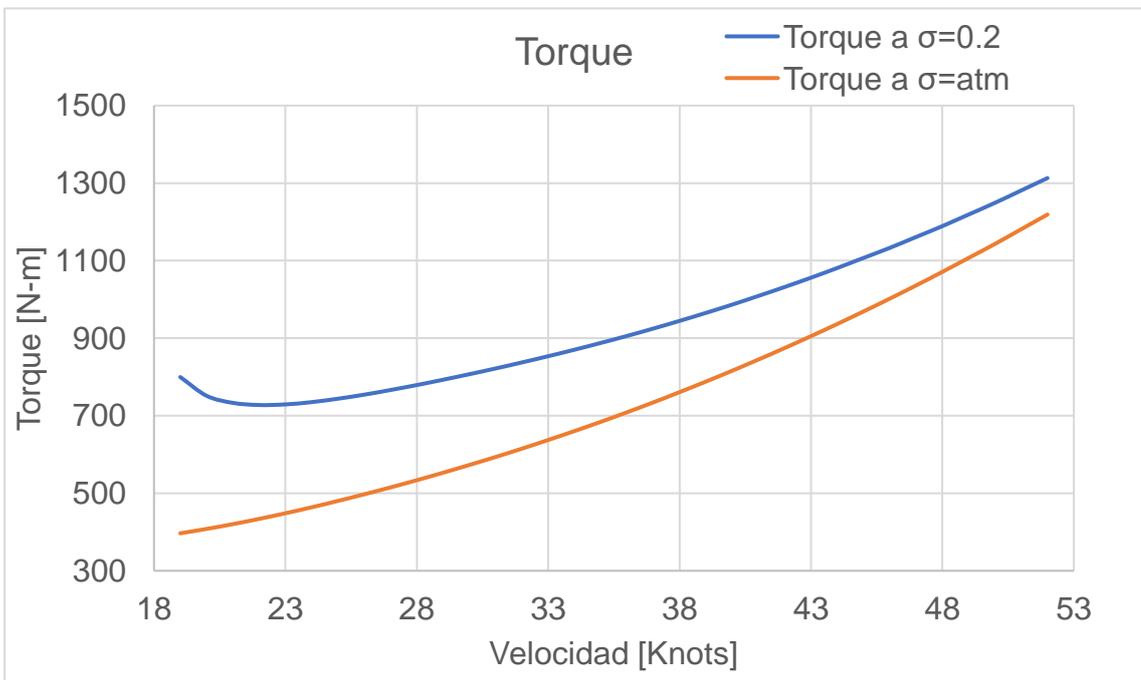
Por lo tanto, considerando un porcentaje de altura del 58% de inmersión de la hélice con un rango de velocidad de 20 a 52 nudos se tiene los siguientes resultados:



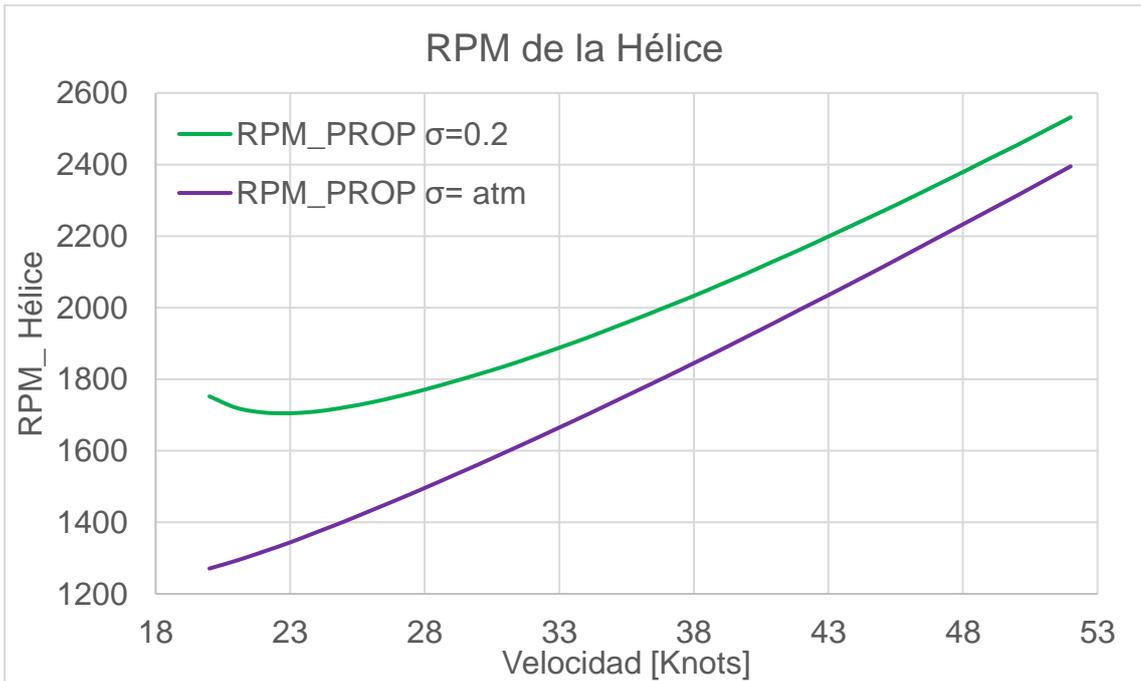
**Figura 3.6 Resistencia total incluyendo olas de la lancha interceptora en cond 100% de carga**



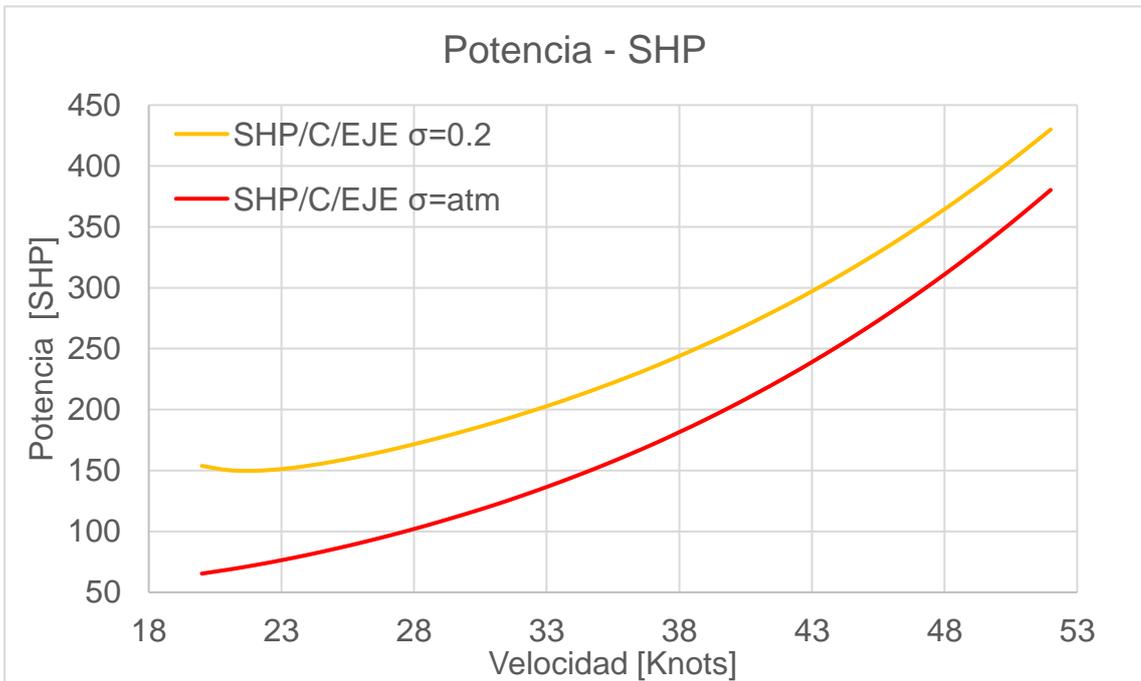
**Figura 3.7 Asiento dinámico de la lancha interceptora**



**Figura 3.8 Torque requerido por hélice SPP al 58% h/D**



**Figura 3.9 Velocidad de rotación de la hélice SPP [RPM]**



**Figura 3.10 Potencia en cada eje del sistema propulsor**

Haciendo uso del programa "EficProp" se generó las gráficas de la resistencia al avance, en la que observa que el "Hump" se presenta a una velocidad de 12 nudos y cuando la embarcación empieza a planear la resistencia decrece para luego empezar a incrementarse conforme la velocidad aumenta. También se graficó el asiento dinámico en el mismo rango de velocidad. Luego en la Figura 3.8 se graficó el torque en número de cavitación de 0.2 y atm. Se muestra que para el número de cavitación de 0.2 se requiere mayor torque conforme aumenta la velocidad en comparación con el número de cavitación de 1 atm.

En la Figura 3.9 se graficó la velocidad de rotación que necesita la hélice en función de la velocidad de la embarcación en la que al igual que el torque. Se determinó que para el número de cavitación de 0.2 se requiere mayor RPM que para el número de cavitación atmosférico.

Además, en la Figura 3.10 se graficaron las curvas de potencia en función de la velocidad de la embarcación de igual manera para los dos número de cavitación considerados en este análisis.

Después, se calculó a que número de cavitación está operando la embarcación para ello se tiene:

$$\sigma = \frac{P_o - P_v}{\frac{1}{2} * \rho * Vr^2}$$

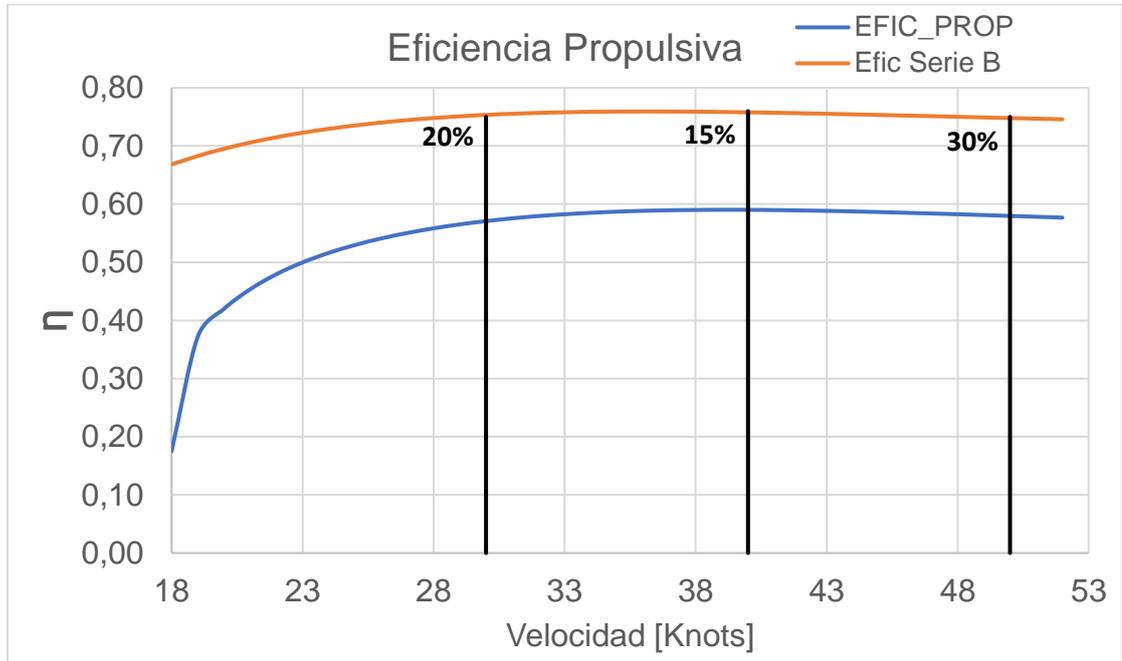
Donde:

**Tabla 3.5 Numero de Cavitación en la lancha Interceptora**

|      |        |                     |
|------|--------|---------------------|
| Pv   | 3058   | [N/m <sup>2</sup> ] |
| Patm | 101325 | [N/m <sup>2</sup> ] |
| hgρ  | 316.7  | [N/m <sup>2</sup> ] |
| Vr   | 40.55  | [m/s]               |
| σ    | 0.13   |                     |

Con respecto a los valores de presión se asumió una temperatura de 23° y Vr velocidad de corriente uniforme que atraviesa la hélice al 70% del radio del propulsor y h es la inmersión del eje propulsor. Dando como resultado un valor de 0.13 y lo que nos llevó a utilizar el valor más próximo que en este caso es de σ=0.2.

Con esto también se gráfica la eficiencia propulsiva tanto para las hélices de superficie y hélices serie "B" en función de la velocidad de la embarcación:



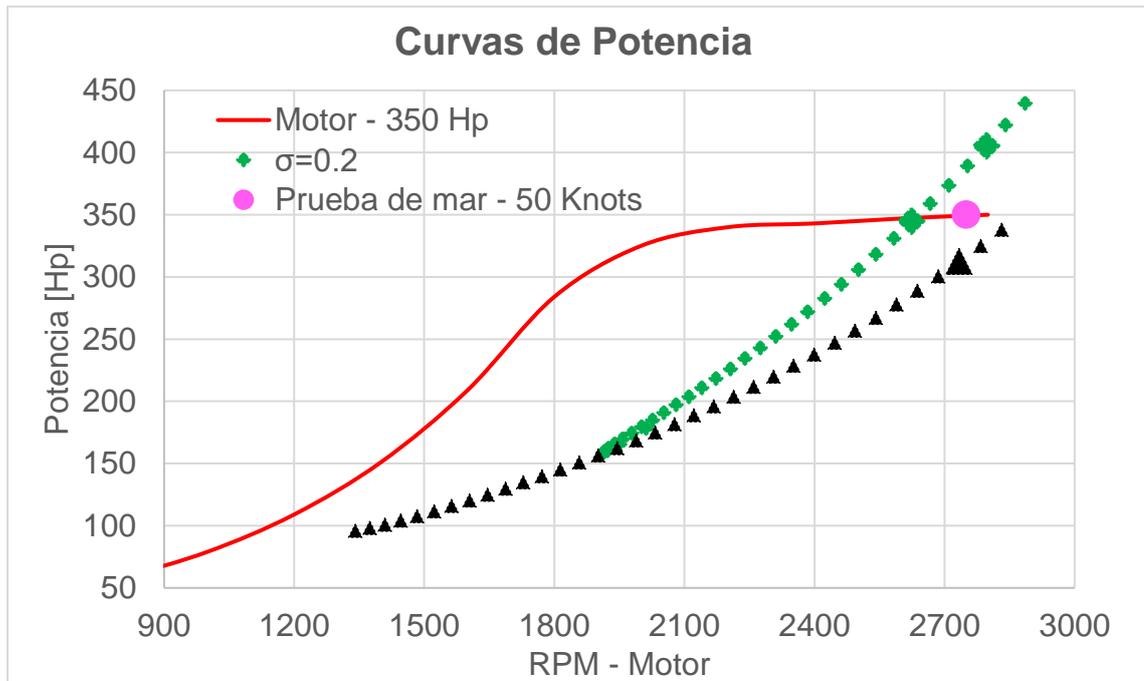
**Figura 3.11 Eficiencia propulsiva con interacción casco-hélice a  $\sigma=0.2$  y porcentaje de cavitación a 30, 40 y 50 nudos**

La curva de eficiencia propulsiva de las hélices series "B", considera la inclinación del eje para asegurar que se encuentre completamente sumergida ni el efecto de cavitación, lo que explicaría mayor valor con respecto al propulsor de superficie (SPP) de navegación y al llegar a 50 nudos se tiene que su porcentaje es del 30% lo que provocaría una reducción considerable de eficiencia. Por lo que se concluye que las hélices de superficie en altas velocidades son más eficientes que propulsores convencionales.

### **3.2.1.1 Curvas características de potencia y torque**

En la Figura 3.12 se muestra la potencia del Motor Cummins Mercruiser Diesel en función de la velocidad de rotación de este dada por el fabricante y las curvas de la potencia requerida por la hélice SPP y el valor en las pruebas de mar efectuadas cuando recibieron las siete lanchas interceptoras. Con estas curvas se logró

determinar que la velocidad máxima según el análisis semi-empírico realizado es de 46 nudos y según la prueba de mar es de 50 nudos con velocidad de rotación de 2750 rpm, lo que nos da una diferencia del 8% al comparar ambos resultados.



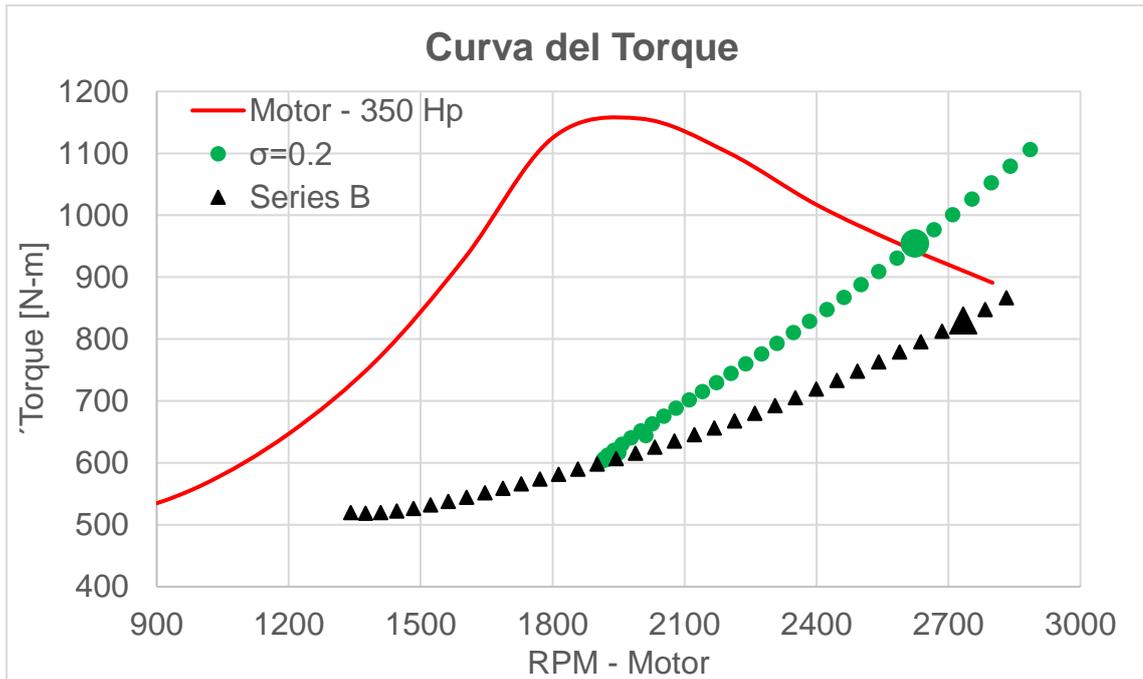
**Figura 3.12 Curva de potencia del motor + reductor + hélice**

A continuación, se detalla la potencia y eficiencia propulsiva obtenida a la velocidad máxima según el análisis realizado:

**Tabla 3.6 Resultados de la velocidad máxima mediante formulación empíricas**

| $\sigma$ | Velocidad | RPM_Hélice | RPM_Motor | Potencia [SHP] | Eficiencia_Prop |
|----------|-----------|------------|-----------|----------------|-----------------|
| 0.2      | 46        | 2282,00    | 2624,30   | 344,7          | 0,59            |

Además, en la misma Figura 3.12 también se graficó la curva de la hélice convencional para efectos de comparación, debido a que esta curva no considera los efectos de cavitación y en la que no se intercepta con la curva del motor de 350 HP. A continuación, en la Figura 3.13 se graficó las curvas del torque tanto del motor, de la hélices SPP y de las hélices convencionales.



**Figura 3.13 Curva del torque del motor + reductor + hélice**

### 3.2.2 Valoración de requisitos del Comando Guardacostas

Para la valoración de las necesidades actuales del Comando de Guardacostas con respecto al escuadrón de las lanchas interceptoras se muestran en una tabla en la que se compara con los resultados obtenidos del análisis empírico y se evaluó el cumplimiento en cada uno de los requisitos más importantes de la Armada que harán que los operativos en el territorio marítimo del Ecuador sean más efectivos. Es así como a continuación se detalló los resultados obtenidos:

**Tabla 3.7 Valoración de los requisitos del Escuadrón de las lanchas interceptoras**

| Requisitos                 | Resultados  | Cumplimiento |
|----------------------------|---|--------------|
| Velocidad mayor a 45 nudos | Velocidad máxima con el motor instalado es de 46 nudos a $\sigma=0.2$ | ok           |
| Motor a diesel             | Se analizó con el motor de 350 HP a diesel.                           | ok           |

| <b>Requisitos</b>                 | <b>Resultados</b>                            | <b>Cumplimiento</b> |
|-----------------------------------|--|---------------------|
| Tiempo de navegación<br>8 horas   | Tiempo de navegación máxima<br>6,44 h        | ----                |
| Autonomía máxima de<br>250 millas | Autonomía de 146,94 millas a<br>$\sigma=0.2$ | ----                |

Según la Tabla 3.7 el requerimiento que no se puede cumplir es el tiempo de navegación que según lo que el Cuerpo de Guardacostas de la Armada necesita es de al menos 8 horas, pero lo máximo que puede llegar es de 6.44 horas; el cálculo se detalla en el Anexo C, ver en la Tabla 5.16. Además, con respecto a las demás necesidades están dentro del rango, aunque se pueden mejorar si se redistribuye el arreglo del sistema propulsivo y con estos resultados se considera un porcentaje de cumplimiento del 70%. En la Tabla 3.8 se muestran las características operacionales con respecto a la prueba de mar y los resultados obtenidos mediante el proceso empírico y se tiene:

**Tabla 3.8 Características Operacionales de la lancha Interceptora**

| <b>Características</b>                    | <b>Pruebas de mar</b> | <b><math>\sigma=0.2</math></b> | <b>Unidades</b> |
|---|-----------------------|--------------------------------|-----------------|
| Velocidad máxima                          | 50                    | 46                             | knots           |
| Velocidad económica                       | 31                    | 31                             | knots           |
| Consumo de combustible a velocidad máxima | 96,15                 | 83,57                          | Lt/h            |

| <b>Características</b>                        | <b>Pruebas de mar</b> | <b><math>\sigma=0.2</math></b> | <b>Unidades</b> |
|---|-----------------------|--------------------------------|-----------------|
| Consumo de combustible a velocidad económica  | 70,00                 | 52.60                          | Lt/h            |
| Autonomía a velocidad máxima                  | 143,00                | 146,944                        | Millas          |
| Tiempo máximo para navegar a velocidad máxima | 6                     | 6,44                           | Horas           |
| Tiempo máximo para navegar a velocidad econ.  | 8                     | 8,76                           | Horas           |
| Velocidad de Rotación máxima -Motor           | 2750                  | 2624,30                        | RPM             |

Mediante la comparación de las características operacionales de la lancha interceptora se observa poca diferencia de los resultados obtenidos con respecto a la prueba de mar, lo que nos reafirma que el procedimiento realizado es confiable con valores coherentes en todas las características.

# CAPÍTULO 4

## 4. Conclusiones y recomendaciones

En este trabajo se calculó de manera semi-empírica el rendimiento propulsivo de una lancha interceptora de 11.53 metros de eslora, evaluando la satisfacción de las necesidades operativas actuales del Comando de Guardacostas de la Armada del Ecuador. Los resultados fueron calculados con el programa "Savitsky64Flaps" [19] que se basa en el método de Savitsky [11] para analizar la resistencia al avance de embarcaciones planeadoras. Luego se aproximaron las curvas características de la hélice tipo "Surface Piercing" con datos desarrollados para un propulsor de la misma clase y se compararon con propulsores convencionales como las hélices series "B" de Wageningen. Finalmente, mediante un análisis gráfico se obtuvo la velocidad máxima de operación de la lancha, los resultados difieren un 8% , de los resultados de las pruebas de mar.

### 4.1 Conclusiones

1. Se identificaron los requerimientos operativos para cada escuadrón del Comando de Guardacostas de la Armada del Ecuador, para operar efectivamente en el territorio marítimo del país. Estos requerimientos sirven para que en futuros proyectos el CG conozca de manera general que embarcaciones pueden adquirir según su clase. Para las lanchas interceptoras los requerimientos para satisfacer las funciones del CG es que la velocidad de estas embarcaciones este entre 50 a 60 nudos, sean fáciles de remolcar, con asientos amortiguados para la tripulación y que tengan una autonomía de hasta 250 millas náuticas.
2. Se evaluó el comportamiento dinámico de la lancha Rio Macará, realizando simplificaciones a la embarcación, es decir sin considerar los steps y rieles presentes en el casco, estos disminuyen la resistencia al avance. Con estas simplificaciones se pudo usar el método de Savitsky para estimar la resistencia y asiento dinámico estos resultados dependen de la influencia del ángulo de

astilla muerta, el desplazamiento de la embarcación, la posición del centro de gravedad longitudinal (LCG) y dimensiones de los flaps, que también contribuyen a la reducción de la resistencia y aportan estabilidad a la embarcación.

3. En las condiciones de carga analizadas (50 y 100%) los criterios de la Organización Marítima Internacional para estabilidad intacta fueron cumplidos cuando los flotadores son incluidos. Cuando dichos dispositivos no se consideran, la mayoría de los criterios mencionados no satisfacen, de manera que, para una operación segura, estas lanchas deben operar con los flotadores laterales. La evaluación de la estabilidad dinámica de la lancha, usando las formulaciones empíricas desarrolladas por Lewadowsky muestra que el momento dinámico en balance tiene sus valores negativos en todo el rango de velocidad, por lo que se afirma que la embarcación es estable durante el planeo.
4. En el proceso en el que se evaluó la estabilidad estática y dinámica de la lancha interceptora, también se analizó la posibilidad de alcanzar inestabilidad en el plano vertical fenómeno conocido como "Porpoising. Se determinó que para el rango de velocidad analizada de entre 18 a 52 nudos no sobrepasa el límite de inestabilidad, por lo que en este caso la lancha es estable dinámicamente también en el plano vertical. Se determinó también que la inclusión de los flaps permiten alejarse de la zona de inestabilidad aún más.
5. Durante el análisis para estimar el rendimiento propulsivo, primero se determinó la geometría de la hélice, debido a que su forma es diferente a la de las hélices convencionales. Sus bordes tienen la forma tipo sable de hoja curva y con un solo filo que se va ensanchando progresivamente desde la punta de la hélice hacia la raíz de la hélice. Es por eso que se seleccionó una de sus aspas para tomar puntos en el perfil y sección media del aspa. Luego mediante el programa Rhino 3D se obtuvo la geometría completa con sus 5 aspas dando características importantes para la estimación de los coeficientes de empuje y torque de estos propulsores.

6. Se comparó los resultados de las eficiencias en aguas abiertas de las hélices "Surface Piercing" con las de las series "B" Wageningen. Se obtuvo que para el caso de número de cavitación de 0.2 y porcentaje de sumersión del 58% las hélices convencionales son más eficientes, pero si la altura sumergida es del 40% sucede lo contrario las hélices SPP pueden llegar a ser más eficientes para coeficientes de avance mayor a 1.20.
7. Del análisis del funcionamiento del conjunto motor + reductor + hélice se determinó la velocidad máxima a la que puede operar la lancha en este caso se obtiene que la embarcación con ese motor alcanza una velocidad de 46 nudos con eficiencia propulsiva del 59%. Comparando estos con los resultados de una prueba de mar difiere un 8% lo que nos indica el proceso realizado mediante formulaciones empíricas y considerando las simplificaciones respectivas, es confiable.
8. Se valoró el cumplimiento de los requerimientos del escuadrón de lanchas interceptoras. Mediante las estimaciones teóricas se comprueba que estas lanchas alcanzan la velocidad requerida por el CM. Luego considerando el consumo de combustible de los motores y la capacidad de los tanques que tiene la embarcación, se tiene que el tiempo de navegación de 8 horas no se cumple ya que las lanchas alcanzan hasta 6.40 horas de navegación.

## 4.2 Recomendaciones

1. Durante el proceso de la evaluación del rendimiento propulsivo de la lancha interceptora se realizaron simplificaciones y asunciones que fueron aceptables, de acuerdo con el objetivo propuesto. Sin embargo, para futuros trabajos que utilicen hélices de tipo "Surface Piercing" se necesita actualizar las series sistemáticas haciendo pruebas con la hélice ya que se pudo obtener la geometría en 3D del propulsor.
2. Para continuar con la evaluación de la factibilidad de recuperar las siete lanchas interceptoras y ya comprobado que las embarcaciones alcanzan velocidades superiores a los 45 nudos. Se podría variar la distribución del sistema propulsivo, aumentado la capacidad de los tanques de combustible y evaluar el cambio de la velocidad máxima y así podría aumentar la autonomía de la lancha interceptora.

# BIBLIOGRAFÍA

- [1] F. DESIGN, «Fb Design products catalog,» [En línea].
- [2] ITTC, « Recommended Procedures and Guidelines- Resistance Test,» 2011.
- [3] D. Savitsky, «Hydrodynamic Design of planing hull,» 1964.
- [4] A. L. PONCE, «ESPECIALIDAD EN PROPULSIÓN Y SERVICIOS DEL BUQUE,» Septiembre 2011. [En línea].
- [5] D. L, «Hydrodynamic,» Bluewater. [En línea].
- [6] M. Paez, «Propulsión de barcos,» Rice Propulsion. [En línea].
- [7] H. Ghassemi, «Hydrodynamic characteristics of the surface piercing propellers for the planing craft,» J. Marine , 2009.
- [8] D. D. Radojic, «Regression analysis of surface piercing propeller series,» Octubre 1997. [En línea].
- [9] ROLLA, «Surface piercing propellers,» [En línea].
- [10] R. H. Zurita, «El sistema propulsivo del buque: Las hélices marinas y el fenómeno de la cavitación.,» Noviembre 2013. [En línea].
- [11] Savitsky D y Brown W, «Procedures for hydrodynamic Evaluation of planing hulls in smooth and rough water,» Marine Techonology , 1976.
- [12] Organización Marítima Internacional, «Estabilidad sin Avería,» CIMAR, 2008. [En línea]. [Último acceso: 1 Diciembre 2020].
- [13] E. Lewandowsky, «The Transverse Dynamic Stability of Hard-chine Planing Craft,» Ship and Ocean Technology, The Netherlands, 1998.
- [14] Cuerpo de Guardacostas, «Manual basico de Guardacostas,» Guayaquil, 2015.
- [15] D. B. Muñoz, «Pruebas experimentales para determinar la influencia de flaps en la resistencia al avance de una lancha planeadora de 11 metros,» ESPOL, Guayaquil, 2012.
- [16] T.-I. C. D. reza, «Propuesta para la recuperación de las lanchas tipo interceptoras pertenecientes al Comando de Guardacostas.,» Guayaquil, 2017.

- [17] J. Carlton, *Marine Propellers and Propulsion*, New York : Global head of Marine technology , 2007.
- [18] Maxsurf, «Manual Stability - Maxsurf,» 2019.
- [19] J.R.Marín, *Programas para Análisis Propulsivo en Fortran*, Espol: Laboratorio SIMAR, FIMCM, 2021.
- [20] SEMAR, «Catalogo de unidades de la Armada de Mexico,» 2017. [En línea].
- [21] R. Mege, «Clase de Hidrodinamica,» 2018. [En línea].
- [22] L. V. S. Miranda, *Propulsive Performance Analysis of a Stepped Hull by model test results and sea trial data*, Napoli, 2014.
- [23] D.Benites; J.Marín, «Pruebas experimentales para determinar la influencia de flaps en la resistencia al avance de Avance de la lancha palaneadora de 11 metros,» 2012. [En línea].
- [24] Interceptoras, «DAMEN - Defensa y seguridad,» [En línea].
- [25] D. L. B. a. R. J. BARTEE, «Design of propulsion systems for high speed craft,» Marine Technology, USA, 1997.

# APÉNDICES

## APÉNDICE A

Las características principales y la clasificación de las lanchas Oceánicas según su clase se muestran a continuación:

- Clase 6 de diciembre
  - LG-39 Isla Fernandina
  - LG-40 Isla Española
  - LG-41 Isla San Salvador
  
- Stan Patrol 5009
  - LG-30 Isla San Cristóbal
  - LG-31 Isla Isabela
  
- Clase Manta
  - LG-37 Isla de la Plata
  - LG-38 Isla Santa Clara
  
- Clase Espada
  - LG-35 Isla Santa Rosa
  - LG-36 Isla Puná
  
- Stan Patrol 2606
  - LG-42 Isla Marchena
  - LG-43 Isla Santa Cruz
  - LG-44 Isla Pinta
  - LG-45 Isla Baltra
  
- Clase Point class
  - LG-32 Isla Seymor
  
- Clase 71
  - LG-31 Isla Isabela

- Clase 10 de agosto
  - LG-33 Isla Santa Cruz
  - LG-34 Isla San Cristóbal
  
- Clase "Puyango"
  - LG-111 Río Puyango
  - LG-112 Río Mataje
  - LG-113 Río Zarumilla
  - LG-114 Río Chone
  - LG-115 Río Daule
  - LG-116 Río Babahoyo

**Tabla 5.1 Características de las patrulleras Clase 6 de Diciembre.**

| Características        |             | Unidades |
|------------------------|-------------|----------|
| Eslora                 | 45.00       | m        |
| Manga                  | 10.00       | m        |
| Puntal                 | 5.00        | m        |
| Calado                 | 2.50        | m        |
| País y año Comisionado | España,2005 |          |
| Desplazamiento máximo  | 380         | Ton      |
| Tripulación            | 27          | Personas |
| Velocidad máxima       | 25          | Nudos    |

**Tabla 5.2 Características de las patrulleras Clase Stan Patrol 2009.**

| Características            |              | Unidades |
|----------------------------|--------------|----------|
| Eslora                     | 50           | m        |
| Manga                      | 9.41         | m        |
| Puntal                     | 4.30         | m        |
| Calado                     | 3.50         | m        |
| País y año de construcción | Ecuador,2014 |          |
| Tripulación                | 26           | Personas |
| Velocidad máxima           | 22           | Nudos    |

**Tabla 5.3 Características de las patrulleras Guardacostas Marítima Clase Manta**

| Características       |               | Unidades |
|-----------------------|---------------|----------|
| Eslora                | 36.20         | m        |
| Manga                 | 5.8           | m        |
| Calado máximo         | 2.20          | m        |
| Desplazamiento máximo | 140           | Ton      |
| País y comisionado    | Alemania 1971 |          |
| Tripulación           | 19            | Personas |
| Velocidad Máxima      | 22            | Nudos    |

**Tabla 5.4 Características de las patrulleras Guardacostas Marítima Clase Espada**

| Características       |             | Unidades |
|-----------------------|-------------|----------|
| Eslora                | 34.14       | m        |
| Manga                 | 6.86        | m        |
| Calado máximo         | 2.13        | m        |
| Desplazamiento máximo | 225         | Ton      |
| País -Comisionado     | EE. UU.1991 |          |
| Tripulación           | 23          | Personas |
| Velocidad máxima      | 18          | Nudos    |

**Tabla 5.5 Características de las patrulleras Guardacostas Marítima Clase Point**

| Características       |             | Unidades |
|-----------------------|-------------|----------|
| Eslora                | 25.24       | m        |
| Manga                 | 5.35        | m        |
| Calado máximo         | 2.00        | m        |
| Desplazamiento máximo | 65          | Ton      |
| País -Comisionado     | EE. UU.1967 |          |
| Tripulación           | 10          | Personas |
| Velocidad máxima      | 17          | Nudos    |

**Tabla 5.6 Características de las patrulleras Guardacostas Marítima Clase 71**

| Características       |             | Unidades |
|-----------------------|-------------|----------|
| Eslora                | 34.14       | m        |
| Manga                 | 4.30        | m        |
| Calado máximo         | 2.13        | m        |
| Desplazamiento máximo | 110         | Ton      |
| País -Comisionado     | EE. UU.1965 |          |
| Tripulación           | 23          | Personas |
| Velocidad máxima      | 12          | Nudos    |

**Tabla 5.7 Características de las patrulleras G. M. Clase 10 de agosto**

| Características       |               | Unidades |
|-----------------------|---------------|----------|
| Eslora                | 23.40         | m        |
| Manga                 | 4.10          | m        |
| Calado máximo         | 1.86          | m        |
| Desplazamiento máximo | 35            | Ton      |
| País -Comisionado     | Alemania.1954 |          |
| Tripulación           | 7             | Personas |
| Velocidad máxima      | 12            | Nudos    |

**Tabla 5.8 Características de las Unidades Costeras Clase Puyango**

| Características       |                           | Unidades |
|-----------------------|---------------------------|----------|
| Eslora                | 13.41                     | m        |
| Manga                 | 4.12                      | m        |
| Calado máximo         | 1.5                       | m        |
| Desplazamiento máximo | 16                        | Ton      |
| País -Comisionado     | EE. UU.1986 Ecuador, 1988 |          |
| Tripulación           | 5                         | Personas |
| Velocidad máxima      | 10                        | Nudos    |

Clasificación y características principales de las lanchas Ribereñas:

- Lanchas Guardacostas Ribereñas Clase Esmeraldas  
LG-121 Río Esmeralda  
LG-122 Río Santiago
- Lanchas Guardacostas Ribereñas Tipo Albatros "1100"  
LG-601 Río Jubones
- Lanchas Guardacostas Ribereñas Tipo Albatros "830"  
LG-161 Río Coangos  
LG-162 Río Muisne  
LG-163 Río Tangare
- Lanchas Guardacostas Ribereñas Tipo Albatros "730"  
LG-171 Río Tena  
LG-172 Río Puyo  
LG-173 Río Portoviejo  
LG-174 Río Manta

- Lanchas Guardacostas Ribereñas Tipo Albatros "630"  
 LG-181 Río Zamora  
 LG-182 Río Palora
- Lanchas Guardacostas Ribereñas Tipo yate clase Rinker  
 LG-191 Río Tiputini  
 LG-191 Río Aguarico

**Tabla 5.9 Lanchas Guardacostas Ribereñas: Clase Esmeraldas**

| Características                   |                         | Unidades |
|-----------------------------------|-------------------------|----------|
| Eslora                            | 13.5                    | m        |
| Manga                             | 3.5                     | m        |
| Calado                            | 0.5                     | m        |
| Desplazamiento máximo             | 17.7                    | Ton      |
| Velocidad máxima                  | 21                      | Nudos    |
| Tripulación                       | 4                       | Personas |
| Capacidad de alejarse de la costa | Solo Navegación fluvial |          |
| País y Comisionado                | EE. UU. 1992            |          |

**Tabla 5.10 Lanchas Guardacostas Ribereñas: Tipo Albatros "1100"**

| Características                   |            | Unidades |
|-----------------------------------|------------|----------|
| Eslora                            | 11         | m        |
| Manga                             | 3.2        | m        |
| Calado                            | 1 m        | m        |
| Desplazamiento máximo             | 3.5        | Ton      |
| Velocidad máxima                  | 40         | Nudos    |
| Tripulación                       | 5          | Personas |
| Capacidad de alejarse de la costa | 50         | Millas   |
| País y Comisionado                | Chile 2007 |          |

**Tabla 5.11 Lanchas Guardacostas Ribereñas: Tipo Albatros "830"**

| Características                   |            | Unidades |
|-----------------------------------|------------|----------|
| Eslora                            | 8.3        | M        |
| Manga                             | 2.59       | M        |
| Calado                            | 1          | M        |
| Desplazamiento máximo             | 2          | Ton      |
| Velocidad máxima                  | 40         | Nudos    |
| Tripulación                       | 5          | Personas |
| Capacidad de alejarse de la costa | 30         | Millas   |
| País y Comisionado                | Chile 2007 |          |

**Tabla 5.12 Lanchas Guardacostas Ribereñas: Tipo Albatros "730"**

| Características                   |                         | Unidades |
|-----------------------------------|-------------------------|----------|
| Eslora                            | 7.30                    | m        |
| Manga                             | 2.30                    | m        |
| Calado                            | 0.75                    | m        |
| Desplazamiento máximo             | 0.95                    | Ton      |
| Velocidad máxima                  | 35                      | Nudos    |
| Tripulación                       | 4                       | Personas |
| Capacidad de alejarse de la costa | Solo Navegación fluvial |          |
| País y Comisionado                | Chile 2006              |          |

**Tabla 5.13 Lanchas Guardacostas Ribereñas: Tipo Albatros "630"**

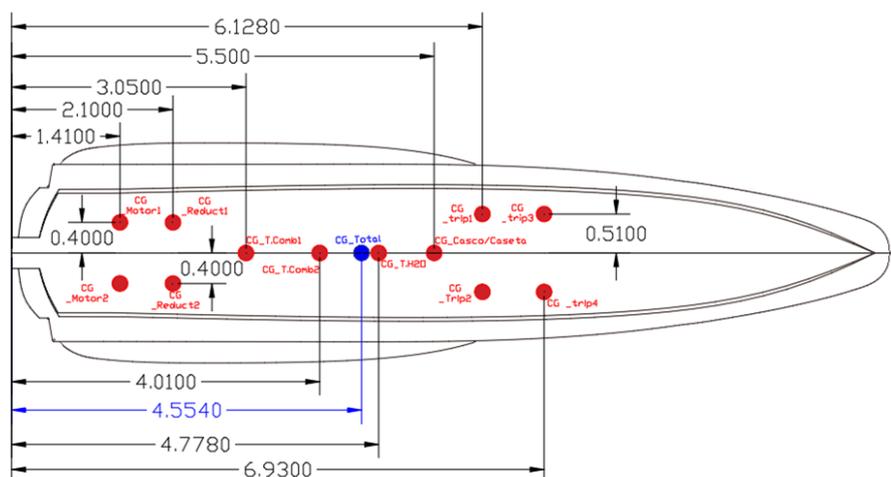
| Características                   |                         | Unidades |
|-----------------------------------|-------------------------|----------|
| Eslora                            | 6.30                    | m        |
| Manga                             | 2.20                    | m        |
| Calado                            | 0.75                    | m        |
| Desplazamiento máximo             | 0.95                    | Ton      |
| Velocidad máxima                  | 30                      | Nudos    |
| Tripulación                       | 4                       | Personas |
| Capacidad de alejarse de la costa | Solo Navegación fluvial |          |
| País y Comisionado                | Chile 2005              |          |

**Tabla 5.14 Lanchas Guardacostas Ribereñas: Tipo Yate clase "Rinker"**

| Características                   |                         | Unidades |
|-----------------------------------|-------------------------|----------|
| Eslora                            | 7.50                    | m        |
| Manga                             | 2.40                    | m        |
| Calado                            | 0.75                    | m        |
| Desplazamiento máximo             | 2.5                     | Ton      |
| Velocidad máxima                  | 38                      | Nudos    |
| Tripulación                       | 4                       | Personas |
| Capacidad de alejarse de la costa | Solo Navegación fluvial |          |
| País y Comisionado                | EE. UU. 2002            |          |

## APÉNDICE B

Distribución de pesos en la lancha interceptora, como se observa en la siguiente figura:



**Figura 5.1 Vista en planta de la distribución de todos los pesos de la Interceptora**

Además, se detallada los pesos y posiciones para obtener la altura del centro de gravedad en la siguiente tabla:

**Tabla 5.15 Distribución de pesos de la lancha Interceptora**

| Descripción             | Peso (Ton) | Volumen(m3) | X                            | Y      | Z     | Mx           | My      | Mz           |
|-------------------------|------------|-------------|------------------------------|--------|-------|--------------|---------|--------------|
| Casco y Superestructura | 4,286      |             | 5,500                        | 0,000  | 1,090 | 23,5730      | 0,0000  | 4,6717       |
| Motor 1                 | 0,588      |             | 1,410                        | 0,400  | 0,820 | 0,8291       | 0,2352  | 0,4822       |
| Motor 2                 | 0,588      |             | 1,410                        | -0,400 | 0,820 | 0,8291       | -0,2352 | 0,4822       |
| Reductor 1              | 0,086      |             | 2,100                        | 0,400  | 0,460 | 0,1806       | 0,0344  | 0,0396       |
| Reductor 2              | 0,086      |             | 2,100                        | -0,400 | 0,460 | 0,1806       | -0,0344 | 0,0396       |
| Tripulante 1            | 0,075      |             | 6,128                        | 0,510  | 1,760 | 0,4596       | 0,0383  | 0,1320       |
| Tripulante 2            | 0,075      |             | 6,128                        | -0,510 | 1,760 | 0,4596       | -0,0383 | 0,1320       |
| Tripulante 3            | 0,075      |             | 6,930                        | 0,510  | 1,760 | 0,5198       | 0,0383  | 0,1320       |
| Tripulante 4            | 0,075      |             | 6,930                        | -0,510 | 1,760 | 0,5198       | -0,0383 | 0,1320       |
| Tank de comb 1          | 0,2688     | 0,320       | 3,050                        | 0,000  | 0,435 | 0,8198       | 0,0000  | 0,1169       |
| Tank de comb 2          | 0,2688     | 0,320       | 4,010                        | 0,000  | 0,435 | 1,0779       | 0,0000  | 0,1169       |
| Tank agua               | 0,1        | 0,100       | 4,778                        | 0,000  | 0,435 | 0,4778       | 0,0000  | 0,0435       |
| Total                   | 6,572      | 0,740       |                              |        |       | 29,927       | 0,000   | 6,521        |
|                         |            |             |                              |        |       | <b>4,554</b> | 0,0000  | <b>0,992</b> |
| KG , [m]                | 0,992      |             | Referencia: popa -línea base |        |       |              |         |              |

## APÉNDICE C

Cálculo de tiempo de navegación para número de cavitación de 0.2, en la que el fabricante del motor de 350 HP nos da un consumo de combustible para la velocidad de rotación de 2624.30 y se obtiene el tiempo de navegación para las dos condiciones de carga como se detalla a continuación:

**Tabla 5.16 Tiempo de navegación en las condiciones de carga del 50 y 100%**

| $\sigma$ | RPM              | Consumo L/Hr |
|----------|------------------|--------------|
| 0,2      | 2624,30          | 49,69        |
| Cond     | Tanques Comb, Lt | Hr           |
| 50%      | 160              | 2,90         |
| 100%     | 320              | 6,44         |