



Università Degli Studi Di Trieste



Universidad Politécnica de Cartagena

FACULTAD DE INGENIERÍA

Departamento de Ingeniería e Arquitectura Naval

Departamento de Tecnología Naval

PROYECTO FIN DE CARRERA

“Estudio Experimental de una carena de semi-planeo
con perfiles alares”

Nombre: Miguel Ángel Restoy Pérez

Tutor Erasmus: Igor Zotti

Tutor: Domingo García López

Año: 2012/2013

Indice

▪ Introducción:	2
▪ Cascos de sustentamiento hidrodinamico:	4
▪ Perfiles alares:	8
▪ El modelo:	15
▪ Estudio Experimental:	24
▪ Las pruebas en el Canal:	30
▪ Extrapolación de los datos al buque:	44
▪ Conclusión:	47
▪ Bibliografía:	49

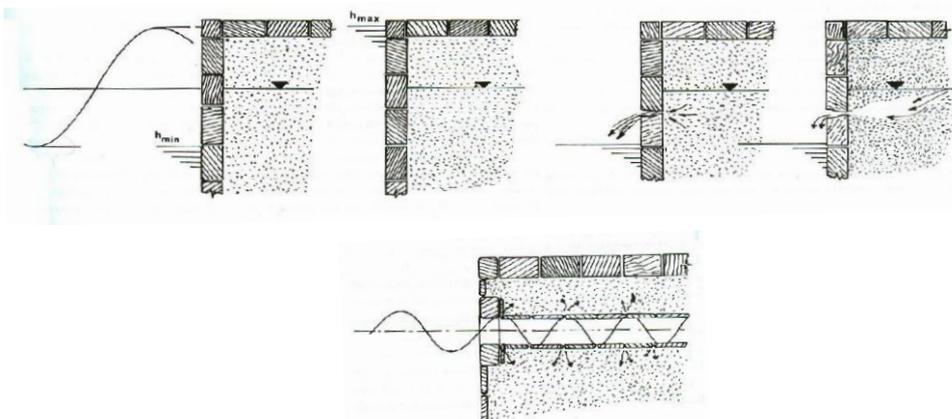
Introducción

Venecia y el oleaje.

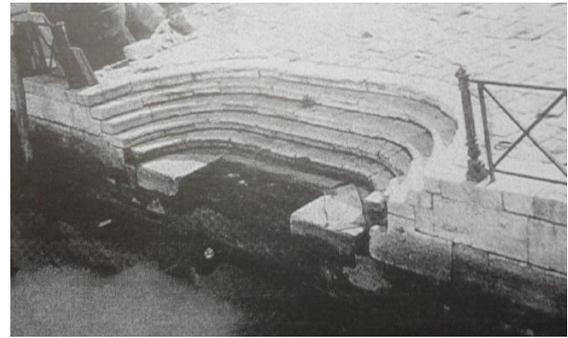
La logística del transporte siempre ha sido un tema de vital importancia en nuestras vidas. En toda ciudad que se precie ha sido siempre el tema del transporte de pasajeros de relevante importancia ya que el aglomerado de tales personas requiere un sistema de transferencia. Ya en la antigua Roma hubo un Reglamento sobre el tránsito de carros para el transporte dentro de las murallas de la ciudad, por tanto la causa de un aumento de los ciudadanos en la ciudad es un problema en el tráfico, y en este caso una ciudad como Venecia no es una excepción.

La regulación de tráfico, hoy en día aparece por la necesidad de descongestionar las calles de la ciudad y mantener bajo control la contaminación generada por estos medios de transporte por los niveles de generación de oleaje que causan. Además de estos factores, una característica importante que existe en la ciudad de Venecia es el movimiento continuo del agua, que produce un movimiento ondulatorio del mar y el provocado por el movimiento de las embarcaciones existentes, características de esta ciudad.

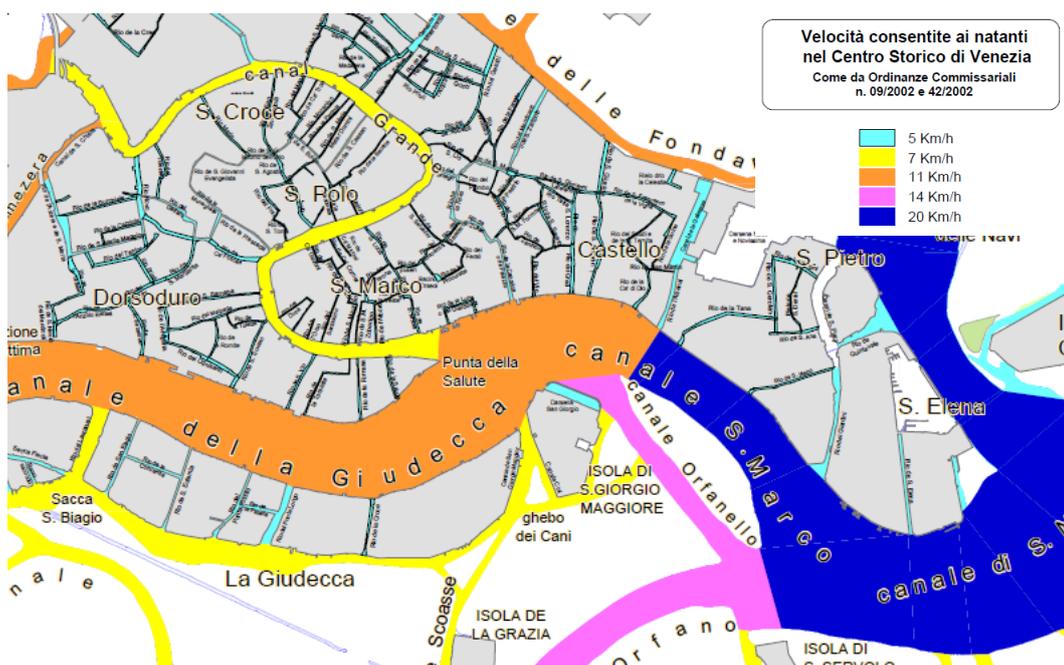
En la edad media, cuando fue construida la ciudad de Venecia, se constituyo en una serie de construcciones sobre las islas, que al día de hoy son muy distintas. Los primeros barcos que navegaron en la laguna de Venecia eran a vela y a remo. Hoy esto es diferente porque el 94% de los barcos existentes son a motor y la mayoría de ellos son pequeñas embarcaciones con un potente motor lo que genera un enorme tráfico. Esta generación de olas puede parecer un problema inherente al ahorro de energetico, pero si los vemos en profundidad podemos descubrir que no es así. Las olas erosionan y lentamente debilitan las estructuras externas de los edificios de la ciudad. Un grave problema es el de la erosión porque, una vez superada la estructura exterior, el agua, portadora de contaminantes corrosivos, empieza a dañar la estructura interna.



Además, en el campo ambiental, las olas generadas sobre la superficie de la laguna, operando aguas poco profundas y pequeños canales, provocan el levantamiento de fango y el arranque de las algas. Además, causan problemas significativos a sistema de tuberías existentes en el mar, generando alta presión que al final termina por debilitar la estructura.



De todo esto, la regulación del tráfico en Venecia viene controlada por tres entidades: la ciudad de Venecia, la capitania del puerto y el magistrado de las aguas. Dentro de la Laguna hay un límite de velocidad que depende de la zona de la ciudad donde nos encontremos. A continuación se muestra un mapa con el límite de velocidad en los diferentes canales.



Cascos de sustentamiento hidrodinámico

Historia.

Retrocediendo un poco en la historia de la tecnología, una de las cosas que han sido inventadas por el hombre que han tenido un impacto significativo en estos años es la invención de la máquina de vapor a finales del siglo XVIII en Inglaterra, dando origen a la revolución industrial. Este hecho ha permitido a las embarcaciones a liberarse de la limitación de los medios de propulsión, que previamente fueron vela o remo. Esta nueva tecnología ha hecho posible construir cascos de mayor velocidad, más grandes y con mayor seguridad.

Sin embargo, las embarcaciones no habían sufrido cambios conceptuales excesivos, fueron diseñadas con la misma forma y los mismos principios que han caracterizado durante siglos antes de esto hecho. Este desarrollo a hecho que los armadores y la Armada pidieran barcos más rápidos, pero hasta un cierto límite, ya que un aumento en la velocidad provoca un aumento en la resistencia al avance, pero en otros casos un incremento es útil en caso de mal tiempo. Para resolver este problema se comenzó a cambiar las líneas tradicionales de la carena.

La primera idea de casco hidrodinámico convencional se atribuye al francés *E.D. Farcot*, quien en 1869 en Inglaterra, depositó la patente de un barco con sustentamiento hidrodinámico parcial. Sin embargo fueron *Crocco* y *Forlanini* que en 1907 en sus estudios por separado produjeron la patente de un barco con sustentamiento hidrodinámico total, sentando las bases para el actual Hidroala.

Un año más tarde, un prototipo de hidroala con ala sumergida y hélice aérea creado por *Crocco* y *Ricaldone* fue probado sobre el “*lago de Bracciano*”. En 1911, un prototipo alcanzó velocidades de 44 nudos con un motor de 120 HP creado por *Forlanini*.

Más tarde, en el 1919, otro prototipo fue probado por estadounidense Graham Bell. Su idea de hidroala fue muy innovadora, pero no encontró ningún interés por la Armada y Armadores. Poco después, antes de la segunda guerra mundial, los alemanes *Von Schertel* y *Sachsenberg* continuaron con la idea de *Crocco* y *Forlanini* realizando algunos hidroalas con alas a diedro, que sin embargo no dieron resultados satisfactorios. El primer hidroala experimental no se hizo hasta enero de 1956. Este podía llevar a bordo unos 70 pasajeros a una velocidad de 35 nudos, navegando por la ruta *Messina - Reggio di Calabria*

Más tarde otros hidroalas vinieron realizando otras rutas diferentes en el sur de Italia y en 1958 empezaron a importarse este tipo de hidroalas alrededor de todo el mundo, primero en Venezuela y luego en Gran Bretaña, Dinamarca, Finlandia, Noruega, Grecia, Yugoslavia, Japón, Corea, Nueva Zelanda, las Filipinas, Brasil...

Carenas de Planeo.

Visualmente una carena de planeo y una carena de desplazamiento se diferencian principalmente por la forma angular que presentan, a causa del principio físico en que se basan para navegar sobre el agua.

Un barco con un casco de desplazamiento flota por el empuje generado por el principio de *Arquímedes*. En las carenas de planeo esto es obviamente cierto cuando el buque se encuentra parado pero cuando está en movimiento las formas con las cuales está construido van a deformar la superficie libre, generando nuevas fuerzas de naturaleza hidrodinámica.

Cuando una carena de planeo se mueve a baja velocidad, se produce un descenso del centro de gravedad y un aumento de la resistencia al avance, se asimila así a un casco de desplazamiento. Esto indica que la carena se mueve en un surco de agua generado por el casco por sí mismo.

Sin embargo, aumentando la velocidad, se puede observar que el centro de gravedad se levanta para pasar la cuota relativa para embarcaciones paradas y la resistencia al avance tiene una significativa caída. En esta condición el casco comienza a planear, no se mueve dentro del agua, sino que se desliza sobre ella, sustentado por las fuerzas hidrodinámicas que sus formas particulares generan.



Hidroalas

El hidroala fue inventado para lograr mayores embarcaciones de velocidad que, gracias a la menor resistencia del agua sobre el casco, aumenta su velocidad. Para elevar el casco en la superficie del agua se recurre a medios de sustentamiento que se basan en alas submarinas, si logra así una disminución en la resistencia del buque y un aumentó considerablemente su velocidad.

En lo que se refiere a la navegación, cuando las condiciones meteorológicas son desfavorables, la embarcación puede navegar como un casco de desplazamiento normal; en estas circunstancias, las alas tienen una ventaja en la amortiguación de los movimientos de la embarcación.

La configuración más común de alas es la poligonal, con forma en “V” tiene la característica de ser auto-estabilizante respecto a la generación de movimiento que se produce en régimen de desplazamiento. Por ejemplo, cuando la embarcación se encuentra con una carga menor a la de proyecto, en situación de navegación, la fuerza de sustentación generada, a la velocidad de crucero, por las alas superaría el peso, luego se levanta mayormente del agua con la consecuencia de una emersión de partes de las alas; como resultado se tiene que el sustentamiento generado se reduce a la condición de equilibrio.

Sin embargo, si se produce una escora causada por la traslado de pesos a bordo, balance o cualquier otra causa de escora, se obtiene un configuración alar asimétrica, provocando un estado de equilibrio en un lado más que en otro, las fuerzas tienden a adrizar la embarcación para asegurar la estabilidad de la plataforma.

Un uso diferente de la configuración de estas alas es un sistema en el cual se producen cambios en la inclinación de las mismas, cuando no poseen la auto-estabilización de la embarcación. Con este sistema tendrá una mejor inmersión y emersión de las alas, obteniendo un mejor control de la embarcación y un mejor rendimiento.

Esto se traduce en la necesidad de desarrollar soluciones más complejas y costosas y, como es comprensible, este tipo de configuración tiene sólo aplicaciones militares, incluyendo sólo la primera configuración para aplicaciones exclusivamente comerciales.

Independientemente de la configuración de ala utilizada, vamos a ver cómo se distribuyen los pesos de la nave sobre las alas. Indicado con una "x" la distancia entre el centro de gravedad del hidroala y la proa, y con la "L" la distancia del ala hacia popa, vienen definidas como:

- Ad aereo se $0.00 < x/L < 0.35$
- Tándem se $0.35 < x/L < 0.65$
- Canard se $0.65 < x/L < 1.00$

Más tarde, habrá una distinción diversa si el sistema alar tiene una única definición (non Split) o doble (Split).



Gliding Hydrofoil Craft

En los últimos años ha sido objeto de estudio un nuevo tipo de buque, un híbrido entre el hidroala y carena de planeo: el "*Gliding Hydrofoil Craft*". Este tipo de carena es hecha de un casco de planeo, pero diferenciada de esta por la presencia de un hidroala que colocado geométricamente provoca una fuerza hacia arriba en el centro de gravedad de la embarcación. En este tipo de embarcación la resistencia oscila de un 5% a 10% menos que en una carena de planeo a la misma velocidad. El 60% de la nave será levantada por hidroala y el resto lo será por la superficie del casco.

Esta unión entre los dos cuerpos se ha sido creada con el objetivo de producir un nuevo casco con una resistencia al avance baja a alta velocidad y un buen rendimiento en el mar. La carena de planeo tiene buen rendimiento a alta velocidad, pero no cuando no encontramos con mal tiempo en el mar. Los hidroalas, por otro lado, tienen una baja resistencia, pero el sistema de propulsión y el sistema de control de las alas deben asegurar una buena maniobrabilidad de la embarcación, pero hacen subir excesivamente el coste de los mismos.

Por esta razón, esta fusión entre los dos hace que el *Gliding Hydrofoil Craft* sea la mejor opción entre los dos. Simplificando, una carena de planeo que en la cual se desea mejorar el comportamiento en mar en movimiento y reducir la resistencia mediante la instalación de un ala. En términos generales, es como si para un hidroala, quitamos las alas popa para aver un mejor sistema de propulsión.

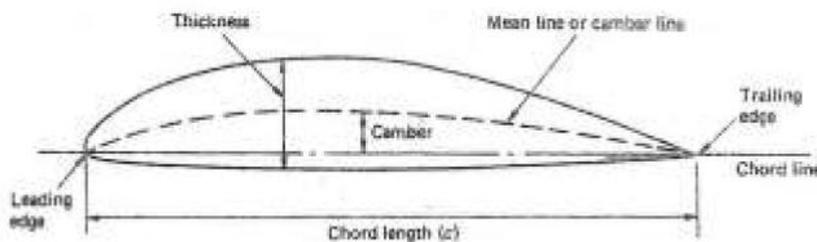


Perfiles alares

Dentro de los vehículos de la marinos y aeronáuticos, en la construcción mecánica y en otros aspectos de la construcción, la fuerza de sustentación viene realizada por el movimiento de estas superficies de sustentación, que podemos ver en un embarcación en el timón, en la quilla, en las velas de un velero, hidroalas, patines,...

A principios del siglo XX, la falta de un avance en la teoría de eficiencia sobre las alas causó un gran comienzo en los estudios y pruebas experimentales en este campo, por parte *Eiffel* y la *Royal Air Force* (RAF). Más tarde, después de estos análisis, se ha desarrollado la teoría de los perfiles de sustentación que consiste en la determinación de la velocidad dentro del campo del fluido y la relación de esta velocidad con su movimiento.

Los perfiles alares son figuras planas bidimensionales utilizadas en el sector naval y aeronáutico. Se utilizan principalmente para la producción de palas de hélices marinas, timones, superficies de sustentación de hidroalas, palas de bombas centrifugas, alabes de turbinas de gas o vapor...



Perfil alar.

Un perfil se define a través de una línea media, alrededor del cual se distribuyen espesores simétricos. Dispone de una cuerda (la distancia rectilínea entre el borde de entrada y el borde de salida), un espesor máximo, formas de tipo circular en la entrada y en la salida de punta. La línea media presenta normalmente una curvatura, definida como la distancia entre la cuerda y la misma línea media. Los extremos requieren redondeo para mayor resistencia mecánica y resistencia al impacto.

Las superficies superiores (upper) y inferiores (lower) de un perfil pueden ser definidas analíticamente; con referencia a la figura, $y_t = t_x/2$ es el espesor a la línea media de ambos lados, las expresiones que identifican $P_u(x_u, y_u)$ e $P_L(x_L, y_L)$ son:

$$x_u = x_c - y_t \sin \gamma$$

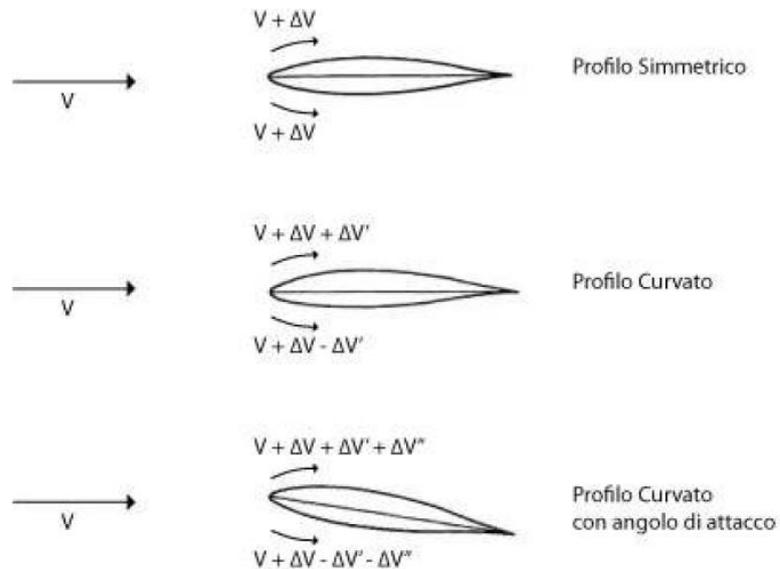
$$y_u = y_c - y_t \cos \gamma$$

$$x_L = x_c + y_t \sin \gamma$$

$$y_L = y_c - y_t \cos \gamma$$

El comportamiento de los perfiles alares se basan en el principio de **Bernoulli**, que describe el fenómeno por el cual un fluido ideal que no realiza un trabajo, para cada aumento en la velocidad se tiene al mismo tiempo una disminución en la presión. En particular, tendremos tres contribuciones fundamentales involucradas en la generación de velocidad.

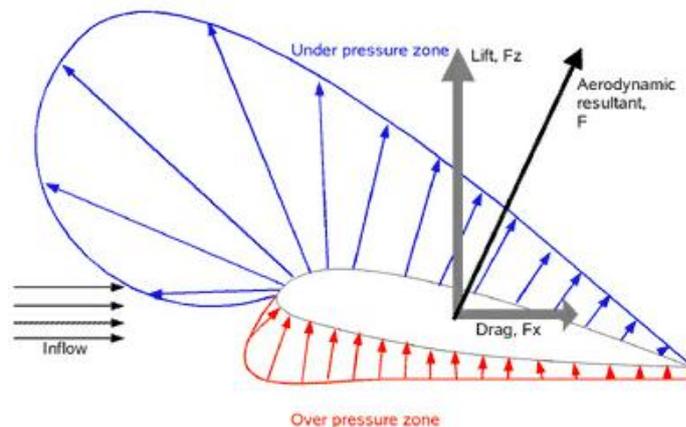
- La componente debida al perfil simétrico con ángulo de ataque cero (efecto espesor).
- La componente debida a la curvatura de la línea media, con ángulo de ataque ideal (efecto curvatura);
- La componente debida a un ángulo de ataque, diferente del ideal (efecto de incidencia);



Perfiles alares y velocidad.

Su utilización produce la generación de dos grandes fuerzas principales: sustentación y resistencia. Un perfil inmerso en un corriente fluida uniforme interactúa con esta última dando origen a dos fuerzas, una paralela a la dirección del flujo (resistencia, drag) y una perpendicular (sustentación, lift) que se componen en un resultante.

Un perfil alar genera sustentación cuando cambia la velocidad y por lo tanto la presión del fluido que pasa por encima y por debajo de ambas caras. El ángulo de incidencia y la curvatura de la línea media hacen que el fluido viaje en la superficie superior más rápidamente que en la inferior. En base a la ecuación de *Bernoulli*, la velocidad mas alta produce presiones inferiores al las del ambiente, así que la superficie superior del perfil tiende a ser aspirada y la inferior a ser empujada hacia arriba. Se puede decir en una primera aproximación que la superficie superior contribuye aproximadamente a dos tercios la sustentación total.



Distribución de presiones sobre un perfil de ala.

En el caso de un cuerpo inmerso en una corriente fluida, la fuerza hidrodinámica R puede ser descompuesta en dos componentes, una paralela y la otra perpendicular a la dirección del fluido no disturbado, definidos respectivamente como resistencia D y sustentamiento L . En los libros de texto se encuentran a menudo estas dos fuerzas expresadas en función de coeficientes adimensionales, como:

- $L = \frac{1}{2}\rho S V^2 C_L$
- $D = \frac{1}{2}\rho S V^2 C_D$

Donde ρ es la masa específica del fluido, S es la superficie del perfil, V es la velocidad relativa entre perfil y fluido no disturbado, C_L y C_D son respectivamente el coeficiente de sustentamiento y el coeficiente de resistencia del perfil.

La fuerza hidrodinámica R puede ser descompuesta en otras dos componentes directas en la dirección fija sobre el perfil: la fuerza normal R_n y la fuerza tangencial R_t respecto a la cuerda del perfil, obtenidos mediante las relaciones:

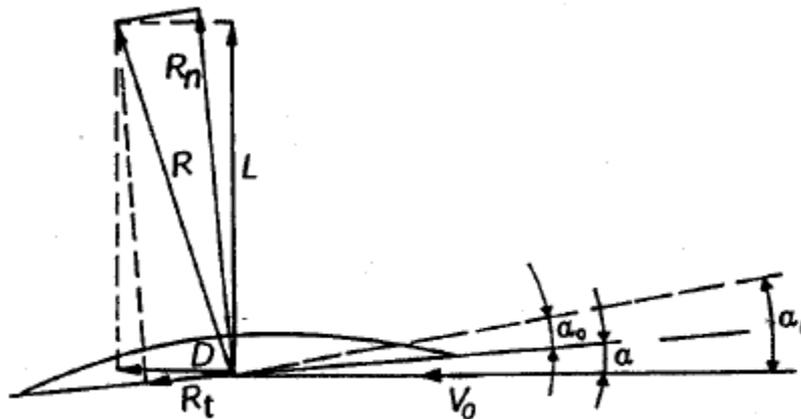
- $R_n = \frac{1}{2}\rho SV^2 C_n$
- $R_t = \frac{1}{2}\rho SV^2 C_t$

Que pueden ser fácilmente trazadas a la fuerza de sustentación y resistencia a través de las formulas:

- $R_n = D\cos(\alpha) - L\sin(\alpha)$
- $R_t = D\sin(\alpha) + L\cos(\alpha)$

O expresadas en términos de coeficientes adimensionales:

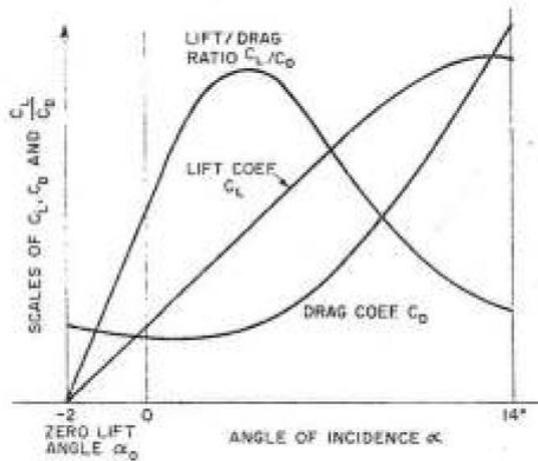
- $C_t = C_D\cos(\alpha) - C_L\sin(\alpha)$
- $C_n = C_D\sin(\alpha) + C_L\cos(\alpha)$



Distribución de las fuerzas sobre un perfil alar.

Otro elemento importante del perfil es el ángulo de ataque (α). Para evaluar cuantitativamente las dos componentes, se prueban los perfiles en galerías del viento, introduciéndolos en una corriente fluida y midiendo las fuerzas generadas, para los diferentes valores de α .

Si definen ángulo de ataque geométrico al ángulo entre la cuerda y la dirección del flujo (α), mientras ángulo de incidencia hidrodinámica (α_1) es el ángulo entre la línea de sustentación nula y la dirección del flujo.



Relación de sustentación y resistencia.

La relación C_L / C_D es dicho rendimiento de la sección y es igual a:

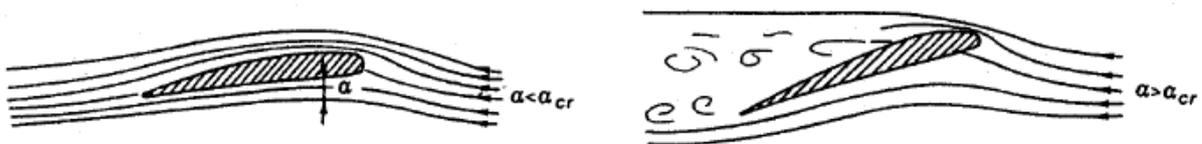
$$L/D = C_L / C_D = \tan \gamma$$

El coeficiente de sustentación C_L no varía su pendiente al variar el “Número de Reynolds”, pero varía su valor máximo.

El coeficiente de resistencia C_D , depende de la viscosidad del fluido y se puede descomponer en tres componentes debidas a:

- Presión (subíndice p)
- Fricción (subíndice f)
- Vórtices en los extremos para perfiles tridimensionales (subíndice i)

$$C_D = C_{Dp} + C_{Df} + C_{Di}$$



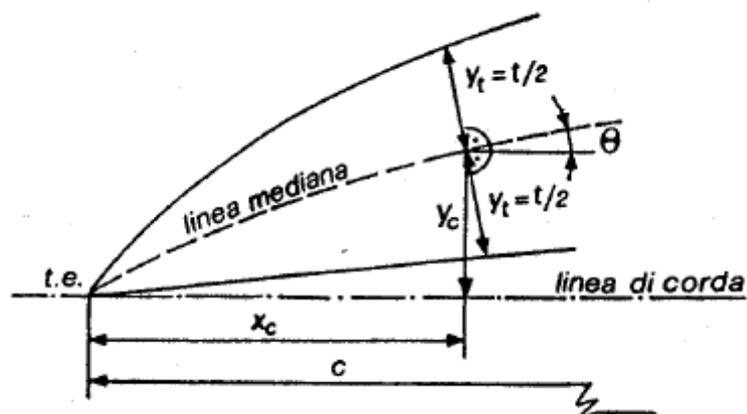
Flujo sobre un perfil que viaja por encima y por debajo del ángulo de ataque.

Los perfiles NACA.

El estudio seguido sobre perfiles ha portado una serie de familias con notables características; entre las más famosas tenemos la serie NACA (*National Advisory Committee for Aeronautics*), hoy llamado NASA. El orden con el cual han sido desarrollados es el siguiente:

- NACA a 4 cifras
- NACA a 5 cifras
- NACA a 4 o 5 cifras modificadas.
- SERIE 1 o SERIE 16.
- SERIE 6.
- SERIE 7.
- SERIE 8.

En el sector naval son a menudo utilizados perfiles con distribuciones de espesor NACA 16 y NACA 66 mod, más raramente el NACA 66 por la excesiva sutileza del borde de salida; para la línea medias han sido desarrollados sin embargo formas que tienden a retardar la aparición del a cavitación; los más comunes son con $a=0.8$ con $a=1.0$ y la NACA 65.



Diseño de un perfil NACA.

Más adelante son representados los parámetros geométricos que caracterizan a estos perfiles.

Perfiles	NACA 16	NACA 66	NACA mod
x/c (%)	y_c/t_m	y_c/t_m	y_c/t_m
0,00	0,0000	0,0000	0,0000
2,50	0,1504	0,1530	0,1466
5,00	0,2091	0,2095	0,2066
10,00	0,2881	0,2920	0,2920
15,00	0,3445	0,3530	0,3521
20,00	0,3887	0,4002	0,4000
30,00	0,4514	0,4637	0,4637
40,00	0,4879	0,4952	0,4952
50,00	0,5000	0,5000	0,4962
60,00	0,4862	0,4692	0,4653
70,00	0,4391	0,3860	0,4035
80,00	0,3499	0,2572	0,3110
90,00	0,2098	0,1108	0,1877
95,00	0,1197	0,0437	0,1143
100,00	0,0100	0,0000	0,0333

Línea mediana	a=0,8	a=1.0	NACA 65
x/c (%)	y_c/f_m	y_c/f_m	y_c/f_m
0,00	0,000	0,000	0,000
2,50	0,169	0,159	0,098
5,00	0,286	0,271	0,190
10,00	0,468	0,448	0,360
15,00	0,610	0,588	0,510
20,00	0,721	0,705	0,640
30,00	0,882	0,865	0,840
40,00	0,970	0,962	0,960
50,00	1,000	1,000	1,000
60,00	0,970	0,962	0,960
70,00	0,882	0,865	0,840
80,00	0,721	0,705	0,640
90,00	0,468	0,448	0,360
95,00	0,286	0,271	0,190
100,00	0,000	0,000	0,000

El modelo

La carena examinada en este estudio es la de un viejo modelo de taxi Veneciano. El modelo tiene una relación de escala lineal igual a $\lambda=6.667$; las medidas de la embarcación son respectivamente:

Datos embarcación y modelo:

Datos de la embarcación a plena carga:

- Eslora entre perpendiculares: 7,933 m
- Eslora de la flotación: 7,493 m
- Eslora maxima: 7,493 m
- Eslora total: 8,700 m
- Manga maxima: 2,250 m
- Manga de la flotación: 2,100 m
- Calado en proa: 0,312 m
- Calado en popa: 0,312 m
- Calado medio: 0,312 m
- Volumen de carena: 4,293 m³
- Desplazamiento: 4,380 t
- Superficie mojada de carena: 17,43814 m²



Datos del modelo a plena carga:

- Eslora entre perpendiculares: 1,190 m
- Eslora de la flotación: 1,124 m
- Eslora maxima: 1,124 m
- Eslora total: 1,305 m
- Manga maxima: 0,337 m
- Manga de la flotación: 0,315 m
- Calado en proa: 0,047 m
- Calado en popa: 0,047 m
- Calado medio: 0,047 m
- Volumen de carena: 0,014490 m³
- Desplazamiento: 14.490 Kg
- Superficie mojada de carena: 0,392319 m²



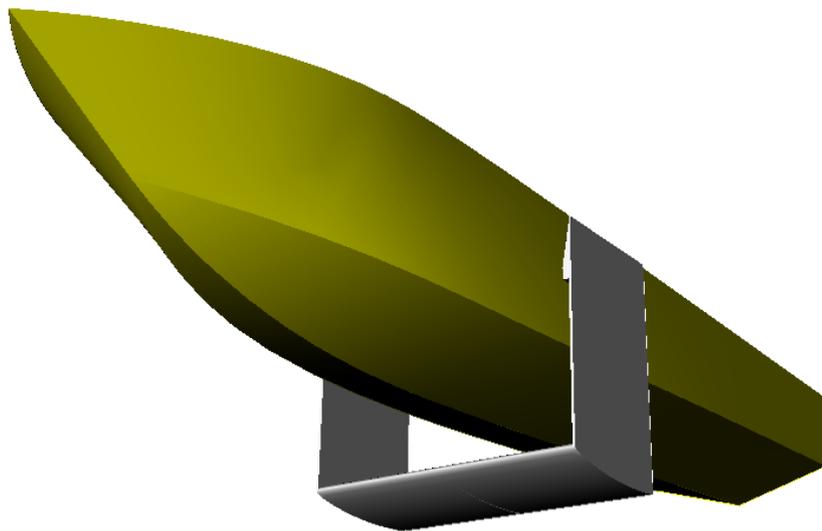
Modelo con Perfiles acoplados.

Este modelo de taxi viejo de Venecia ha sido probado a través de dos perfiles, uno de ellos en la parte trasera (popa) y el otro entre la parte delantera (proa) y la sección media. Los perfiles alares aplicados al modelo fueron definidos a través de pruebas numéricas realizadas sobre diferentes geometrías; de todos ellos ha sido elegida la forma que ha dado mejores resultados entre los probados.

Datos de los perfiles.

Perfil 1' (entre la proa y la sección media):

- Línea media. $a=0.8$
- **Distribución de los espesores:** **NACA 66 mod**
- Longitud de cuerda: $c=0.1685$ m
- Flecha máxima de la línea media: $f_M=0.003$ m
- Espesor máximo: $t_M=0.025$ mm
- Apertura alar: $l=2c$
- Distancia del perfil al punto de enganche: $d=381$ mm



Modelo con perfil N° 1'.

Perfil 1 (entre la proa y la sección media):

- Línea media: $a=0.8$
- **Distribución de los espesores:** **NACA 66 mod**
- Longitud de cuerda: $c=0.1685$ m
- Flecha máxima de la línea media: $f_M=0.003$ m
- Espesor máximo: $t_M=0.025$ m
- Apertura alar: $l=2c$
- Distancia del perfil al punto de enganche: $d=325$ mm

Perfil 2 (parte de popa)

- Longitud de la cuerda lateral: $c^{\prime}=54$ mm
- Longitud de la cuerda central: $c^{\prime\prime}=79$ mm
- Espesor máximo: $t_M=6$ mm
- Apertura alar: $L=153$ mm



Perfiles del modelo N° 1 y N° 2

El modelo, elegido de entre los disponibles en el canal de experiencias de Trieste, ha sido probado a igualdad de número de *Froude*. Como resultado se ha debido operar con números de Reynolds más bajos que en condiciones reales.

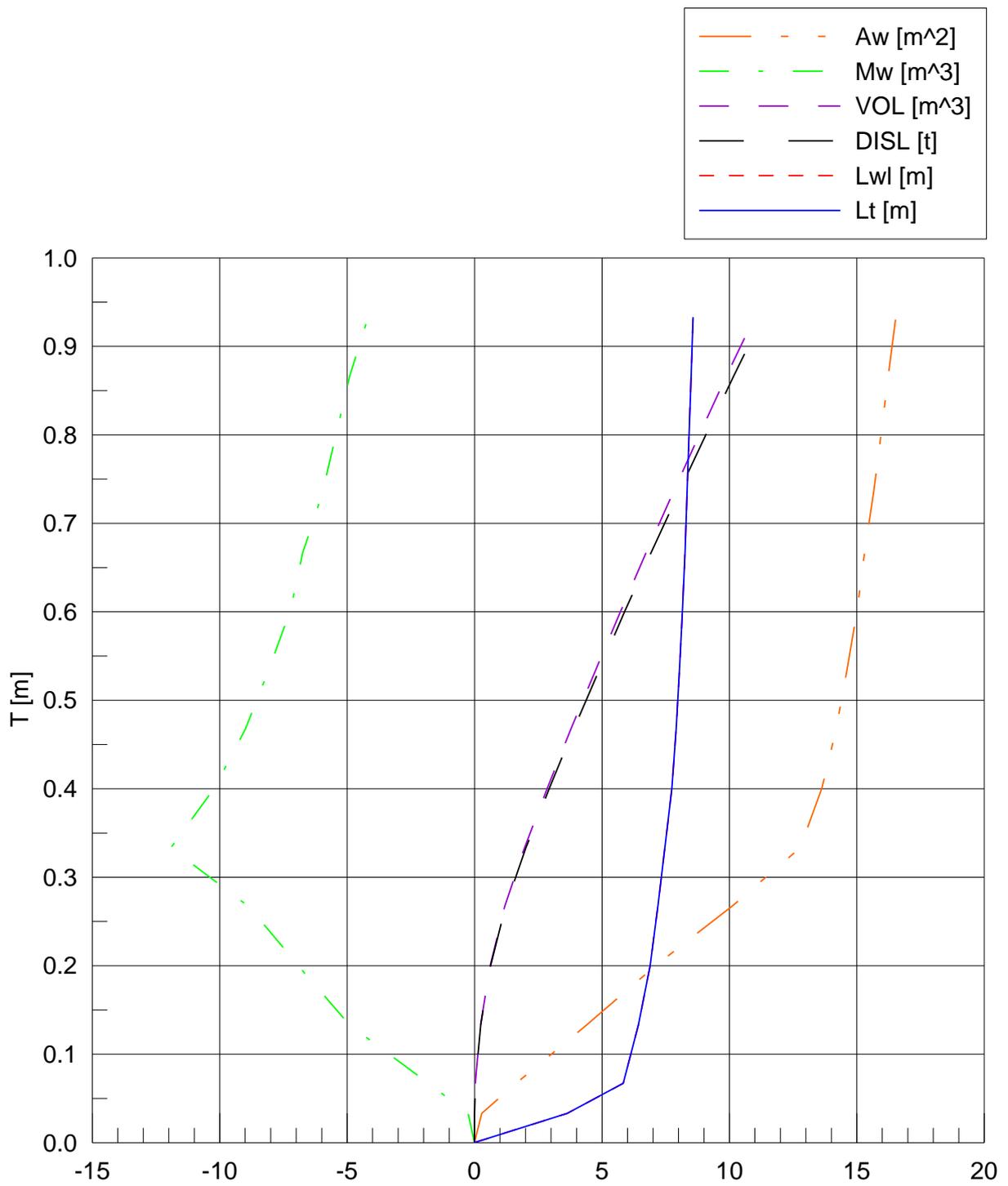
Para evitar el flujo laminar se ha aplicado sobre la ordenada 9 del modelo un estimulador de turbulencia de alambre de 0.8 mm de diámetro.

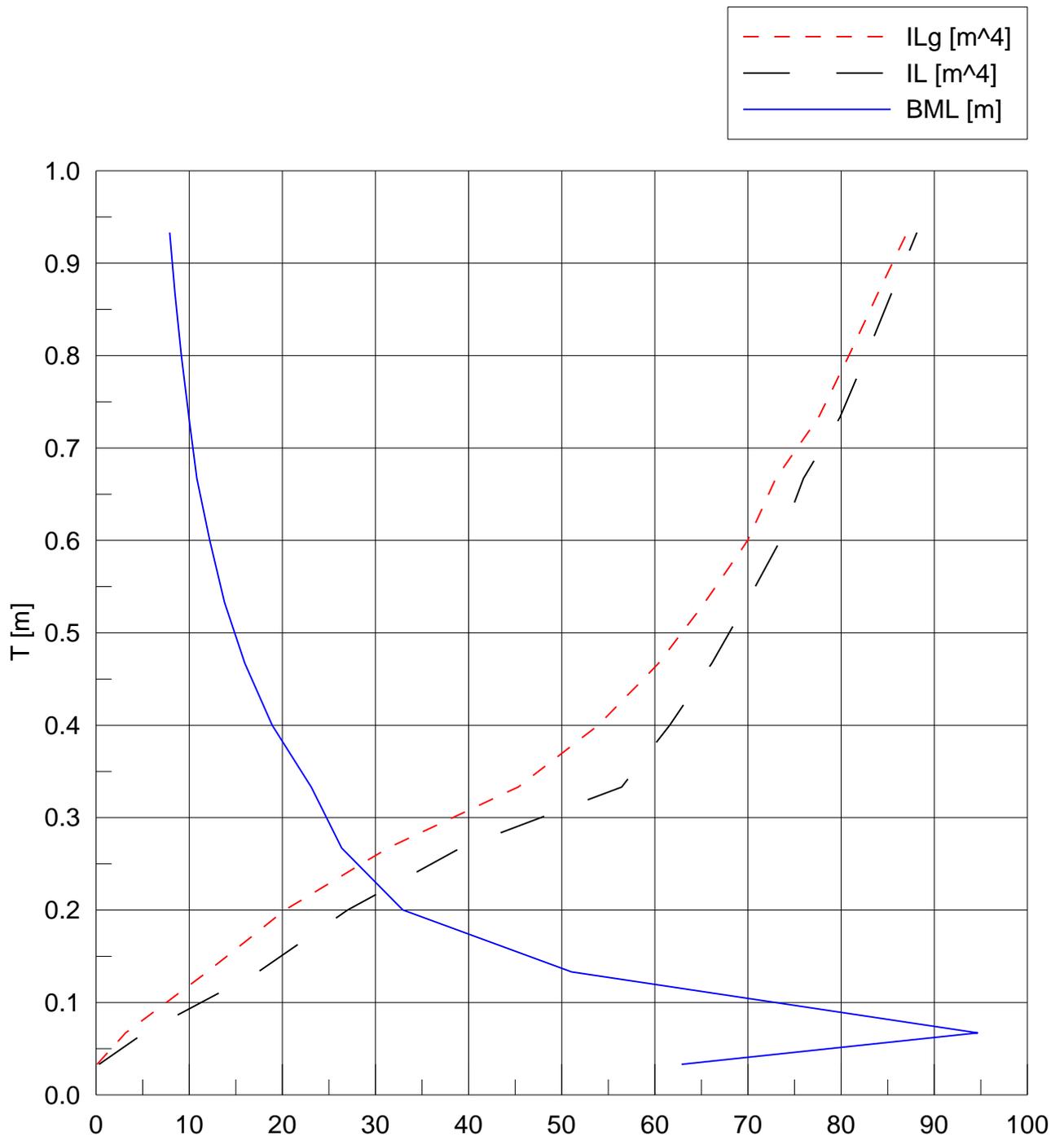
Las experiencias fueron realizadas en condición de a plena carga, ya que eran las condiciones más desfavorables. Más tarde se añadieron los perfiles alares bajo el casco teniendo en cuenta que el peso total del modelo era igual a la condición de plena carga.

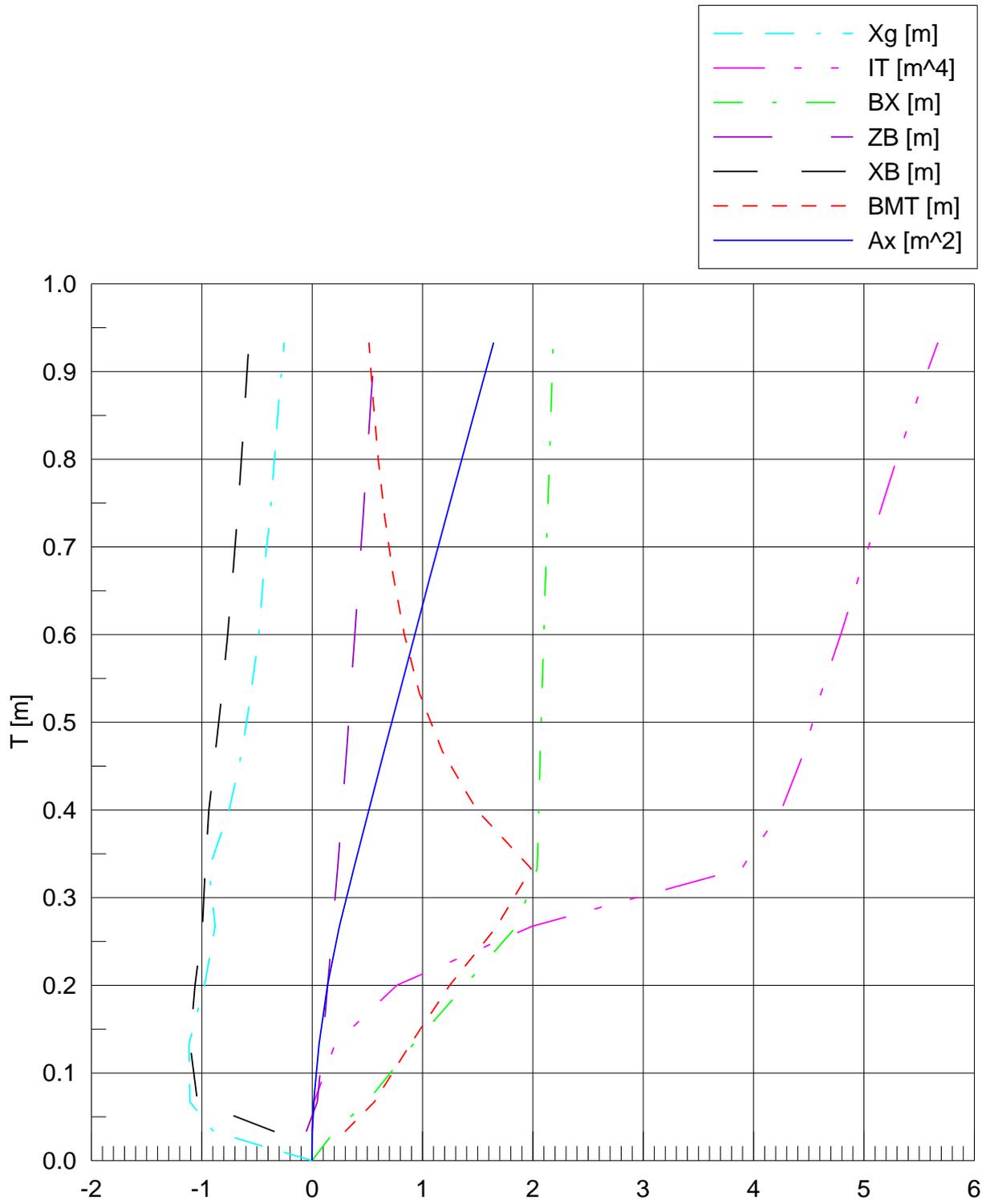
La elección de lastre se llevó a cabo con la ayuda de una balanza para mantener bajo control el peso total, mientras que la distribución a bordo se realizó con el modelo en agua moviendo las pesas hasta obtener el asiento deseado.

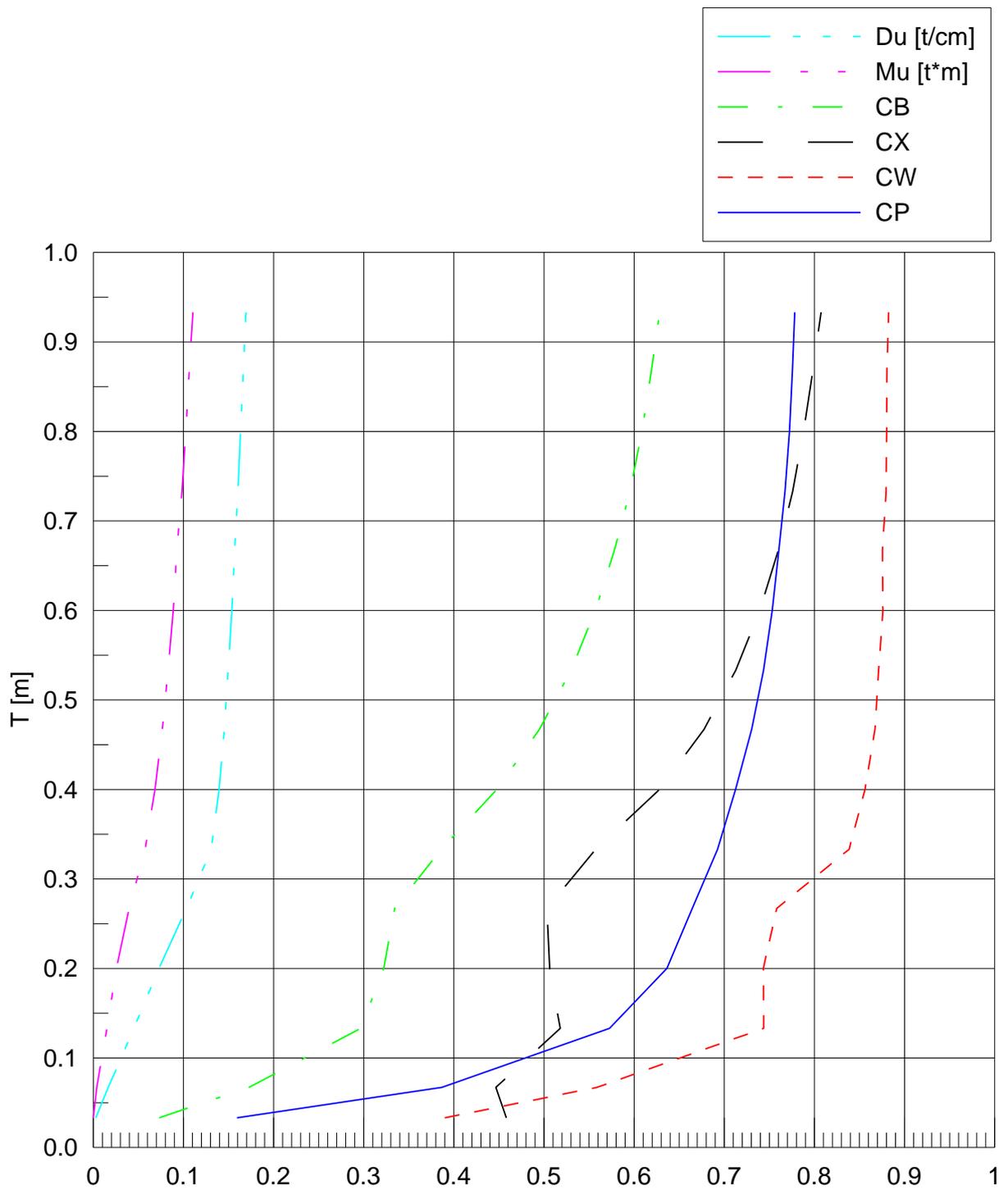
Obviamente, debido al desplazamiento constante y agregando los perfiles alares con sus respectivos soportes, se ha producido una leve inmersión del modelo; se ha elegido por tanto una flotación paralela a aquella de la configuración sin perfiles.

A continuación se relacionan los diagramas de las carenas rectas (hidrostáticas) de la embarcación.









Estudio Experimental

El Canal de Experiencias Hidrodinámicas.

Hoy en día los diseñadores navales pueden contar con innumerables herramientas que la tecnología moderna ha puesto a su disposición para ayudarles en el complejo trabajo que están llamados a realizar: medios de cálculo que permiten resolver en cual que fracción de segundo problemas que requerirían medio siglo hace días atrás, software de CAD que permiten modelar objetos en 3D o ver lugares muy complejos por medio de una visita virtual, algoritmos que permiten simular el comportamiento de fluidos y/o estructuras, etc.

En esta apoteosis de electrónica sin embargo continúa a resistirse un instrumento de la tradición naval que ni siquiera el diseñador más astuto tendría en mente de abandonar: *El canal de experiencias.*

El canal de experiencias es por lo general un canal rectilíneo construido en lugar cerrado a la protección de los agentes atmosféricos, en la cual son ensayados modelos a escala de objetos cuyo tamaño y costo hacen prácticamente imposible construir un prototipo a tamaño real.

Cuando se construye un modelo a escala se tiene siempre en consideración el teorema de *Buckingham*, el cual dice que para tener una completa similitud física entre dos objetos, se debe tener:

- *Similitud geométrica.*
- *Similitud dinámica.*
- *Similitud cinemática.*

En los canales de pruebas se estudian principalmente carenas de buques (como es fácil de intuir) y medios que se mueven sobre la interfaz aire-agua; Esto crea algunos problemas para satisfacer el teorema de *Buckingham*; de hecho, si quisiéramos ensayar en total similitud un estudio de un buque de unos 150 metros con un modelo de 3 m, deberíamos probar dicho modelo en un fluido con una viscosidad cinemática cerca de 1000 veces más pequeña que el agua de mar (dando obviamente por descontado de trabajar a la misma aceleración de la gravedad).

Lamentablemente un fluido con estas características todavía hoy no es conocido. Por la imposibilidad técnica de llegar a una similitud total, desde hace tiempo se ha establecido, la utilización de trabajar en similitud parcial según metodología de *Froude*.

La hipótesis que el ingeniero *William Froude* hizo fue la considerar que para un medio que se mueve sobre la superficie libre de un fluido, la resistencia total se puede descomponer en dos componentes, una debida a una componente de origen viscoso (función del número de Reynolds) y el otro a las olas generadas en el fluido del medio en movimiento (función el número de *Froude*).

Por muy simple y obvio, no exactamente desde un punto de vista físico, la hipótesis de Froude resultó tan fiable que aún está en uso y para ensayos de buques se trabaja siempre a igualdad de número de *Froude*.

Entre los diferentes tipos de ensayos que puede realizar en un canal de experiencias el más común es el ensayo de remolque: consiste en la sujeción mediante un carro del modelo bajo examen; el ensayo puede realizarse en aguas tranquilas o con olas generadas por un equipo especial durante la prueba, son medidos la resistencia al avance a través de un dinamómetro, la variación de asiento, el desplazamiento del centro de gravedad y de todos aquellos parámetros que pueden ser útiles para el diseñador y que son posibles medir.

En estas proyecto, las pruebas están representados por 8 series de ensayos de remolque en aguas tranquilas, realizadas con el carro rápido de el canal de experiencias hidrodinámicas de la *Università degli studi di Trieste*.



Ensayo con el modelo sobre el canal.

El Canal de Experiencias Hidrodinámica de Trieste.

Los laboratorios hidrodinámicos de la sección naval del departamento de ingeniería y arquitectura de Trieste, situado en la misma ciudad en la *Via Giorderi 6*. Están alojados en un edificio de un volumen total aproximadamente de 6000 m³, que representa sólo una parte de lo que fue pensado inicialmente para los laboratorios.

En los laboratorios se encuentran los siguientes equipos:

- Un canal de experiencias hidrodinámicas rectilíneo para ensayos de remolque de modelos en aguas tranquilas y con olas.
- Un túnel de cavitación para experimentación de hélices.
- Una balanza de estabilidad para la determinación de los brazos de estabilidad de los modelos.

Las talleres vienen utilizadas principalmente para el acabado y pintado de los modelos; para la construcción se requiere al uso de empresas externas que normalmente utilizan maquinaria de control numérico, dando la posibilidad de tener modelos con grados de precisión impensables con métodos tradicionales.

El instrumento más utilizado dentro de los laboratorios es sin duda el canal de experiencias hidrodinámicas, que tiene las siguientes dimensiones:

- *Largo:* 50.00 m
- *Ancho:* 3.10 m
- *Altura:* 1.70 m

Normalmente la altura de agua se mantiene en el nivel de 1,60 m.



El canal de experiencias hidrodinámicas de Trieste.

Desde un punto de vista geométrico, el canal es una sección rectangular, construida de acero y apoyada en el suelo sobre soportes intercaladas entre ellos por 4.00 m, consta de 12 elementos de 4,00 metros de longitud cada uno, conectados entre sí por pernos robustos y interponiendo entre los elementos juntas de goma que aseguran la estanqueidad.

En los lados cortos del canal hay hospedada una dársena de 1 m de ancho y 2 m de largo, con ojos de buey diseñados para el control del asiento y del ángulo de escora en al operación de posicionamiento del lastre sobre el modelo; la dársena hospeda al modelo durante las pruebas en la posición de reposo entre un ensayo y otro.

A los lados de la dársena está construida una plataformas artificiales de madera que tienen la misión de romper las olas generadas durante la experiencia, reduciendo drásticamente el tiempo de espera entre un ensayo y otro, necesarios en los ensayos con aguas tranquilas.

El canal posee dos carros hidrométricos, llamados "carro lento" y "carro rápido" en función de la velocidad máxima que pueden alcanzar.

El carro lento, dimensionalmente más grande y robusto, puede alcanzar una velocidad máxima de 2,2 m/s y se utiliza normalmente para experiencias particulares en las que el carro rápido no es útil. El carro lento esta constituido por estructuras muy resistentes, que soportan una plataforma que puede hospedar cómodamente a 4 o 5 personas y todos los instrumentos de medida y control de la experiencia. Se desplaza sobre dos raíles externos al canal de 54 m de largo, gracias a 4 motores eléctricos que son alimentados por la red, fijada en una de las paredes.

El carro rápido, cronológicamente es más reciente que el carro lento; se agregó posteriormente en otro momento y es capaz de alcanzar 7,5 m/s. Los raíles sobre los que se desplaza están ubicados en el borde superior del canal a ambos lados. El carro es tirado por dos cables de acero a través de un sistema de poleas movido por un motor eléctrico trifásico situado en el extremo del canal.

Están contruidos de una aleación ligera y, a diferencia del carro lento, no puede hospedar personas durante la experiencia. Se encuentra solo la instrumentación necesaria pera la toma de datos y un conjunto de baterías que los alimentan. El anclaje del modelo viene asegurado a través de un brazo dinamométrico con transductores angulares que registran, sobre una memoria RAM alojada en el carro, los datos relativos a la experiencia; al final de ensayo, cuando el carro regresa a la posición inicial de partida, los datos son descargados por medio de una conexión de infrarrojos sobre un ordenador.

:



El carro rápido (estructura gris) y el carro lento (estructura magenta).

Sobre la extremidad del canal, opuesto a la dársena, se encuentra un generador de olas de forma cuneiforme. Este es movido por un motor eléctrico a través de un sistema biela-manivela variable; este sistema logra obtener una notable flexibilidad en la generación de olas de altitud y longitud diversas.

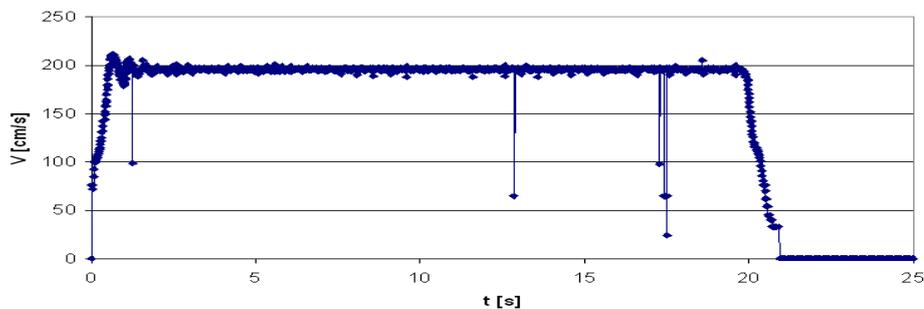


Foto del motor eléctrico.

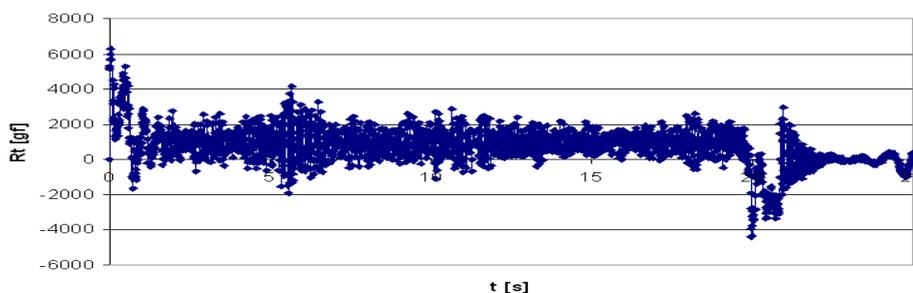
En las experiencias descritas en este proyecto, los registros obtenidos dependieron de la velocidad del ensayo a 50, 100 o 200 Hz. Una vez obtenidos los datos debemos proceder al filtrado de las medidas: de hecho, en las mediciones podemos observar tres zonas

- *Zona de Inicio de ensayo.*
- *Zona de velocidad constante.*
- *Zona de final de ensayo.*

En la primera zona se pueden observar oscilaciones con amplitud decreciente; cuando las oscilaciones llegan a ser insignificante inicia la zona a velocidad constante, que es la de nuestro interés; Por último, si el registro es suficientemente largo, se observa la zona de final de ensayo. Por supuesto las tres zonas tienen una tendencia muy irregular, característica de las mediciones experimentales; Esto es debido a errores de medición, vibraciones, imperfecciones del material y todos aquellos elementos que contribuyen a interferir con la medición. Según la teoría de errores, se hace la media de los valores medidos dentro de la zona a velocidad constante, descartando las otras dos zonas.



Ejemplo de un registro de velocidad del modelo.



Ejemplo de un registro de resistencia del modelo

Las pruebas en el canal

Toma de datos.

En este estudio se realizó sólo mediante el carro rápido, 8 serie de pruebas en el canal de experiencias de Trieste, donde cada una tenía una configuración diferente, pero siempre en condición de plena carga, se han examinado un total de 75 ensayos de remolque donde se midió la resistencia al avance, el asiento y la inmersión o emersión de modelo en prueba (variación de su centro de gravedad).

Al final del estudio, vamos a ver cómo se comporta la resistencia del modelo en su diferentes configuraciones con los perfiles y el comportamiento del sistema de olas generadas por de barco.

Antes de comenzar las experiencias se llevó a cabo una operación de planificación para probar las zonas con una configuración de mayor interés.

En la primera serie se ha probado solo la carena al desnudo, sin perfiles alares, para ver el comportamiento de la embarcación en su forma original.

En la segunda serie se probó el modelo solo con el perfil nº 1', en el cual se probó el perfil con las láminas originales y con un ángulo de ataque y una distancia del perfil de la línea de quilla igual 6° y 0.75c.

En la tercera serie se probó el modelo con sólo perfil nº 1, el cual tenía el perfil con las láminas modificada para mejorar la hidrodinámica, con un ángulo de ataque y a una distancia del perfil de la línea de quilla como igual que en la serie 2.

Sucesivamente se realizaron los ensayos con dos perfiles (nº 1 y nº 2), con ángulos de ataque y distancias a la línea de quilla determinados.

Le serie realizadas fueron:

- **Serie 1:** *Carena al desnudo.*
- **Serie 2:** *Perfil 1'* - Ángulo de ataque: 6°, Distancia: 0.75c
- **Serie 3:** *Perfil 1* - Ángulo de ataque: 6°, Distancia: 0.75c

- **Serie 4:** *Perfil 1* - Ángulo de ataque: 6°, Distancia: 0.75c
Perfil 2 - Ángulo de ataque: 0°, Distancia: 0.75c

- **Serie 5:** *Perfil 1* - Ángulo de ataque: 6°, Distancia: 0.75c
Perfil 2 - Ángulo de ataque: 2°, Distancia: 0.75c

- **Serie 6:** *Perfil 1* - Ángulo de ataque: 6°, Distancia: 0.50c

- **Serie 7:** *Perfil 1* - Ángulo de ataque: 6°, Distancia: 0.50c
Perfil 2 - Ángulo de ataque: 2°, Distancia: 0.50c

- **Serie 8:** *Perfil 1* - Ángulo de ataque: 6°, Distancia: 0.50c
Perfil 2 - Ángulo de ataque: 0°, Distancia: 0.50c

Los datos obtenidos están representados en las siguientes tablas:

Serie 1

Ensayo	V _{Modelo} (m/s)	R _T /Δ	Fn	V _{Buque} (Km/h)	Sink(mm)	Trim(°)
1	0,5539	0,003	0,17	5,1	-15,384	0,15
2	0,8077	0,008	0,24	7,5	-16,569	0,06
3	1,0737	0,018	0,32	10,0	-18,092	0,01
4	1,3476	0,038	0,41	12,5	-19,273	0,21
5	1,5974	0,067	0,48	14,8	-26,393	0,51
6	1,7752	0,092	0,53	16,5	-33,686	1,69
7	1,9517	0,106	0,59	18,1	-36,743	2,53
8	2,1400	0,115	0,64	19,9	-36,216	2,82
9	2,3065	0,123	0,69	21,4	-35,073	2,93
10	2,4861	0,133	0,75	23,1	-33,894	2,94
11	2,6603	0,144	0,80	24,7	-33,172	2,93
12	2,8533	0,157	0,86	26,5	-31,523	2,92
13	2,9867	0,167	0,90	27,8	-29,918	2,88

Serie 2

Ensayo	V _{Modelo} (m/s)	R _T /Δ	Fn	V _{Buque} (Km/h)	Sink(mm)	Trim(°)
1	1,0121	0,032	0,30	9,4	-14,569	0,10
2	1,3532	0,072	0,41	12,6	-13,557	0,18
3	1,6893	0,127	0,51	15,7	-20,051	1,66
4	1,8027	0,146	0,54	16,8	-21,902	2,70
5	1,9966	0,160	0,60	18,6	-20,484	3,46
6	2,1705	0,163	0,65	20,2	-18,882	4,40
7	2,3425	0,156	0,71	21,8	-14,554	5,41
8	2,5097	0,183	0,76	23,3	-7,627	6,54

Serie 3

Ensayo	V _{Modelo} (m/s)	R _T /Δ	Fn	V _{Buque} (Km/h)	Sink(mm)	Trim(°)
1	1,0046	0,027	0,30	9,3	-15,0582	0,13
2	1,3346	0,056	0,40	12,4	-13,9225	0,04
3	1,6575	0,114	0,50	15,4	-21,0194	1,62
4	1,8166	0,121	0,55	16,9	-24,2546	2,63
5	1,9762	0,131	0,60	18,4	-23,6374	3,48
6	2,1432	0,137	0,65	19,9	-21,2019	4,23
7	2,3026	0,137	0,69	21,4	16,2715	5,30
8	2,4728	0,155	0,74	23,0	9,828072	9,48
9	2,6508	0,166	0,80	24,6	18,53795	9,26

Serie 4

Ensayo	V _{Modelo} (m/s)	R _T /Δ	Fn	V _{Buque} (Km/h)	Sink(mm)	Trim(°)
1	1,0045	0,029	0,30	9,3	-14,573	0,15
2	1,3329	0,060	0,40	12,4	-12,414	0,09
3	1,6572	0,111	0,50	15,4	-16,461	0,09
4	1,8167	0,128	0,55	16,9	-18,640	1,62
5	1,9762	0,141	0,60	18,4	-18,183	2,25
6	2,1432	0,148	0,65	19,9	-15,672	2,93
7	2,3136	0,150	0,70	21,5	-12,304	3,70
8	2,4726	0,148	0,74	23,0	-5,402	4,35
9	2,6544	0,138	0,80	24,7	41,254	5,71

Serie 5

Ensayo	V _{Modelo} (m/s)	R _T /Δ	Fn	V _{Buque} (Km/h)	Sink(mm)	Trim(°)
1	1,0045	0,029	0,30	9,3	-13,378	0,59
2	1,3346	0,059	0,40	12,4	-12,658	0,11
3	1,6572	0,109	0,50	15,4	-16,217	0,71
4	1,8169	0,128	0,55	16,9	-18,879	1,54
5	1,9764	0,140	0,60	18,4	-18,107	2,09
6	2,1468	0,151	0,65	20,0	-15,903	2,76
7	2,3100	0,151	0,70	21,5	-12,134	3,52
8	2,4728	0,150	0,74	23,0	-5,090	3,94
9	2,6546	0,137	0,80	24,7	25,523	4,92

Serie 6

Ensayo	V _{Modelo} (m/s)	R _T /Δ	Fn	V _{Buque} (Km/h)	Sink(mm)	Trim(°)
1	1,0135	0,033	0,31	9,4	-14,712	0,05
2	1,3308	0,078	0,40	12,4	-13,796	0,14
3	1,6982	0,134	0,51	15,8	-20,562	1,53
4	1,8299	0,155	0,55	17,0	-23,356	2,46
5	1,9954	0,172	0,60	18,5	-23,273	3,17
6	2,1606	0,185	0,65	20,1	-22,391	3,81
7	2,3361	0,186	0,70	21,7	-19,184	4,51
8	2,4769	0,170	0,75	23,0	-13,541	6,30
9	2,6722	0,198	0,80	24,8	-9,113	5,91

Serie 7

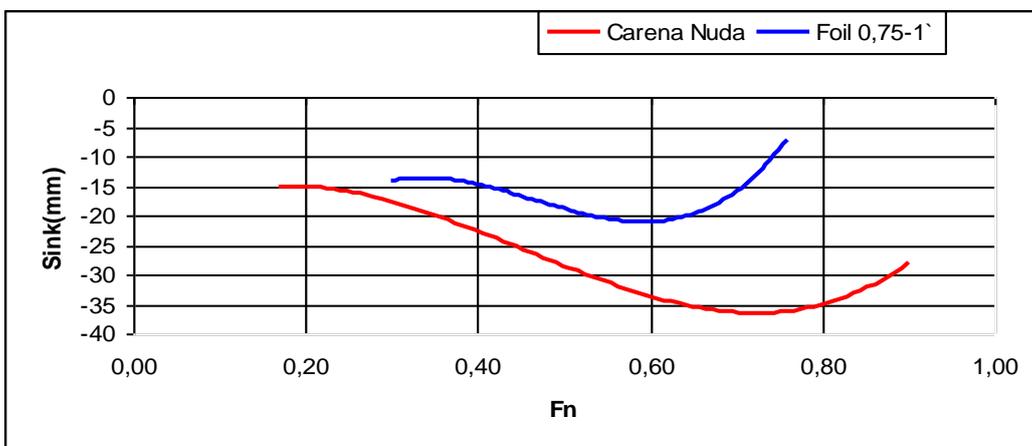
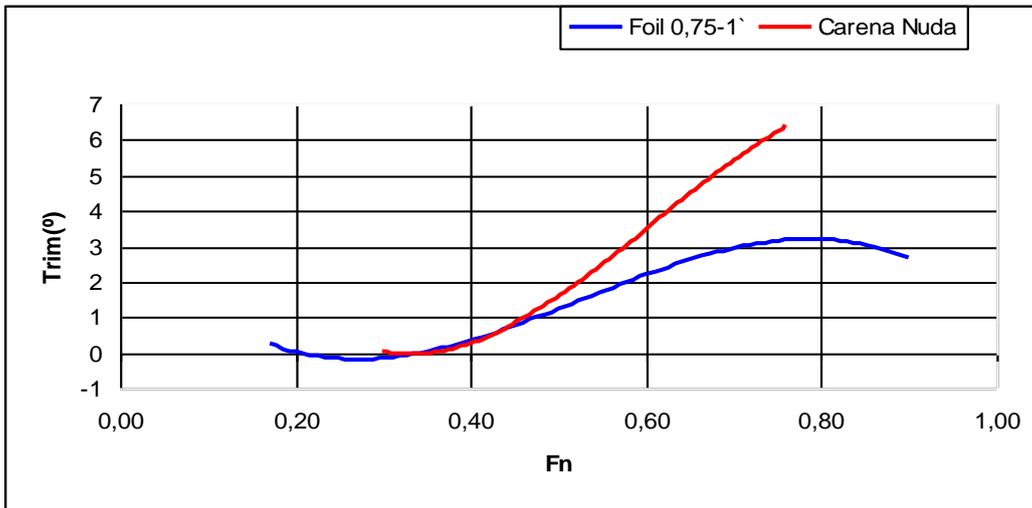
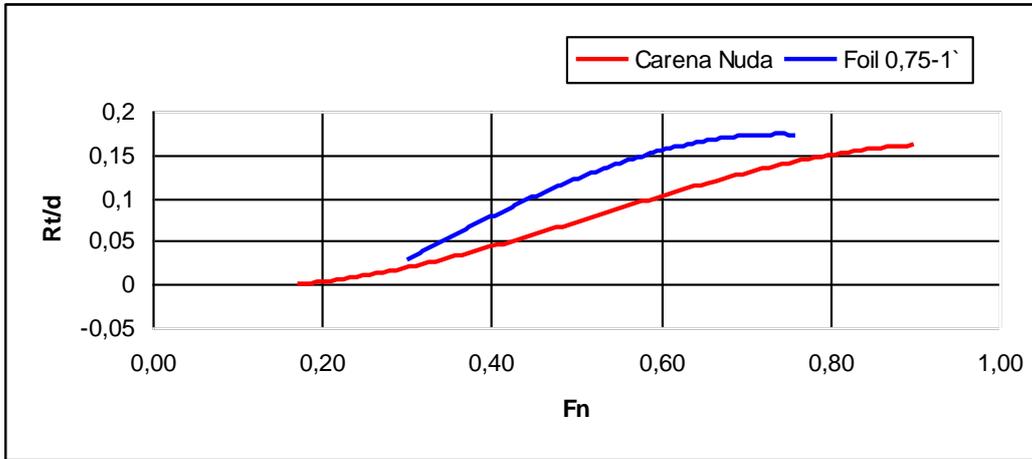
Ensayo	V _{Modelo} (m/s)	R _T /Δ	Fn	V _{Buque} (km/h)	Sink(mm)	Trim(°)
1	1,0045	0,028	0,30	9,3	-14,566	0,14
2	1,3347	0,062	0,40	12,4	-13,418	0,01
3	1,6572	0,114	0,50	15,4	-21,558	1,50
4	1,8168	0,129	0,55	16,9	-24,295	2,43
5	1,9764	0,138	0,60	18,4	-24,111	3,06
6	2,1468	0,146	0,65	20,0	-22,478	3,96
7	2,3027	0,147	0,69	21,4	-19,456	4,99
8	2,4727	0,153	0,74	23,0	-13,589	6,45
9	2,6546	0,167	0,80	24,68	3,412	9,84

Serie 8

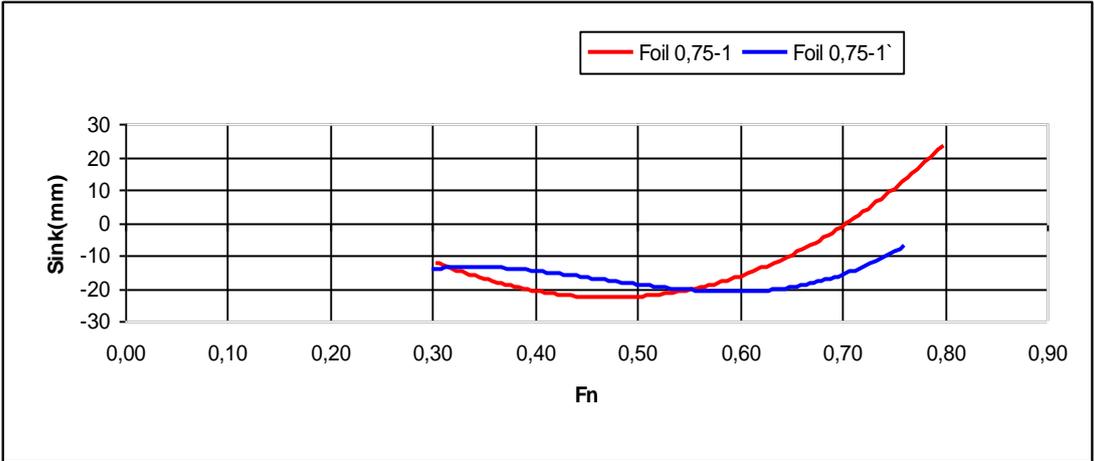
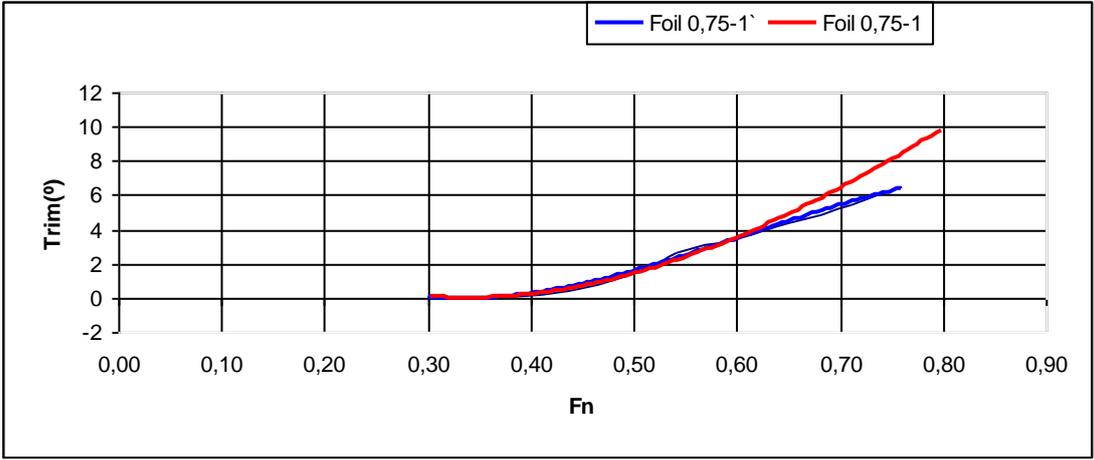
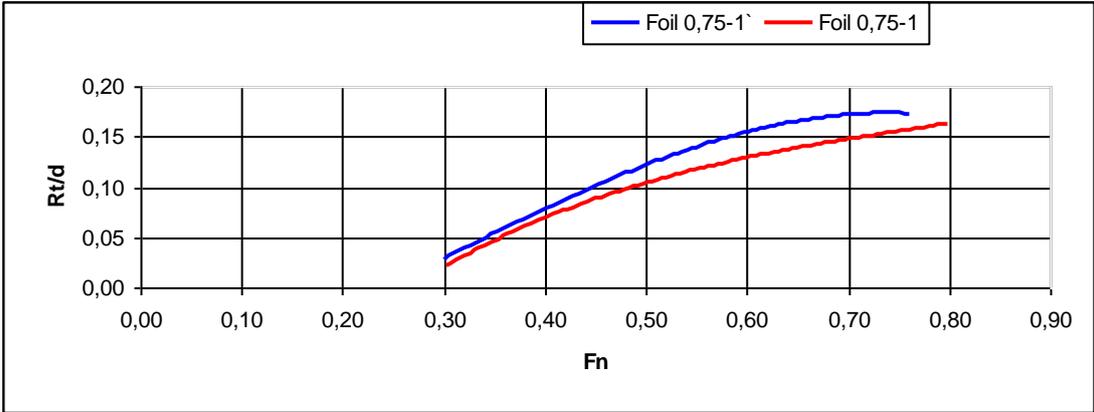
Ensayo	V _{Modelo} (m/s)	R _T /Δ	Fn	V _{Buque} (km/h)	Sink(mm)	Trim(°)
1	1,0046	0,029	0,30	9,3	-14,993	0,16
2	1,3345	0,064	0,40	12,4	-12,580	0,09
3	1,6572	0,115	0,50	15,4	-17,854	0,79
4	1,8166	0,132	0,55	16,9	-19,731	1,41
5	1,9764	0,143	0,60	18,4	-19,758	1,92
6	2,1433	0,154	0,65	19,9	-18,148	2,64
7	2,3098	0,160	0,70	21,5	-15,686	2,90
8	2,4729	0,164	0,74	23,0	-11,119	3,36
9	2,6546	0,159	0,80	24,7	-3,979	3,60

Comparaciones

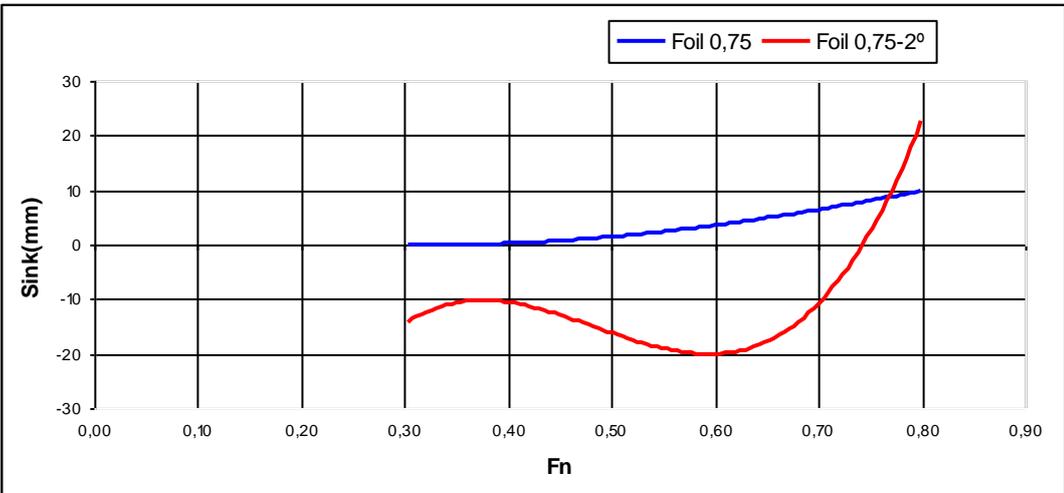
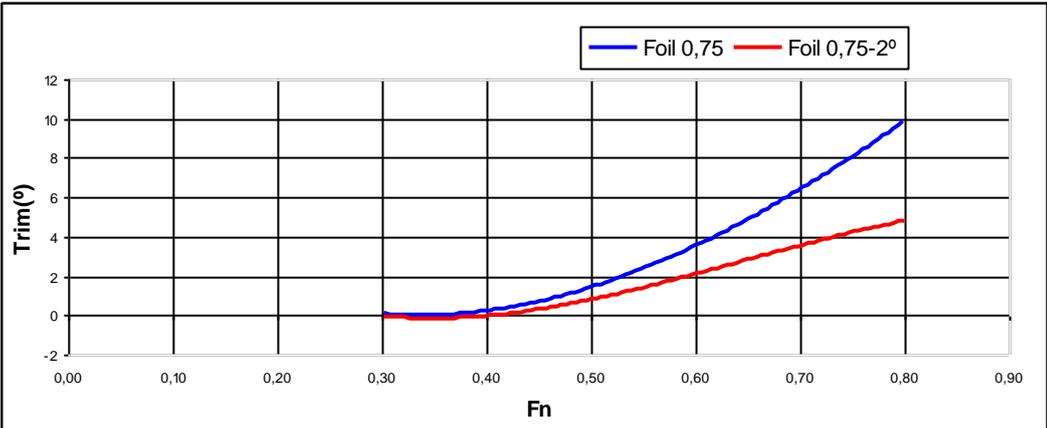
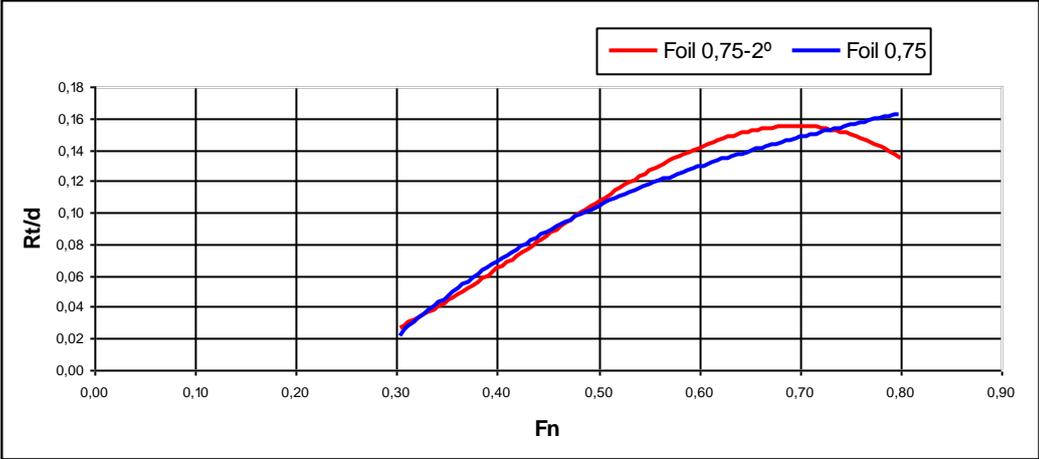
Serie 1 y Serie 2



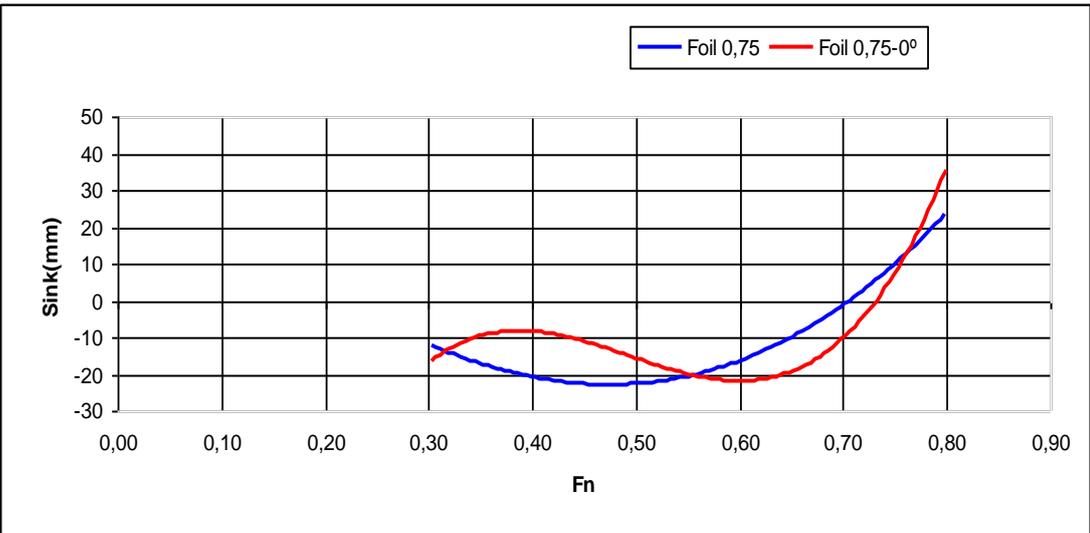
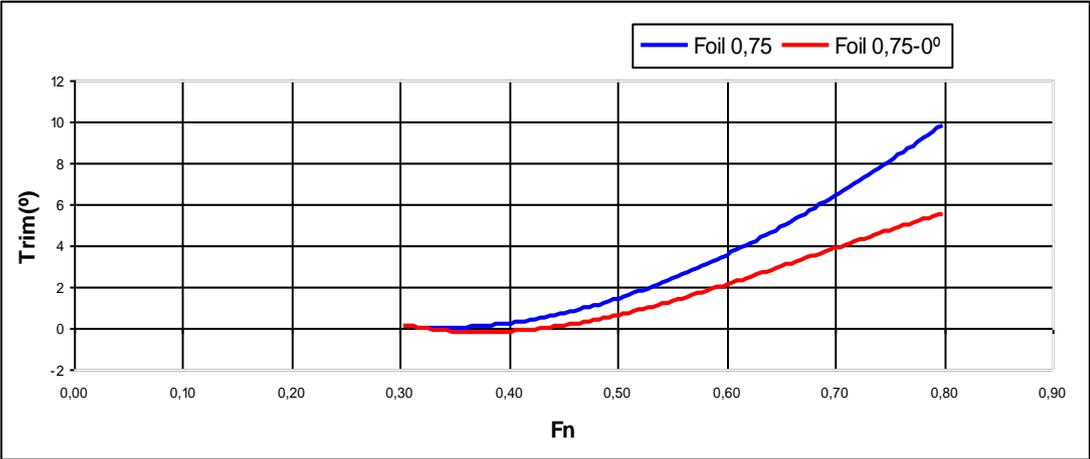
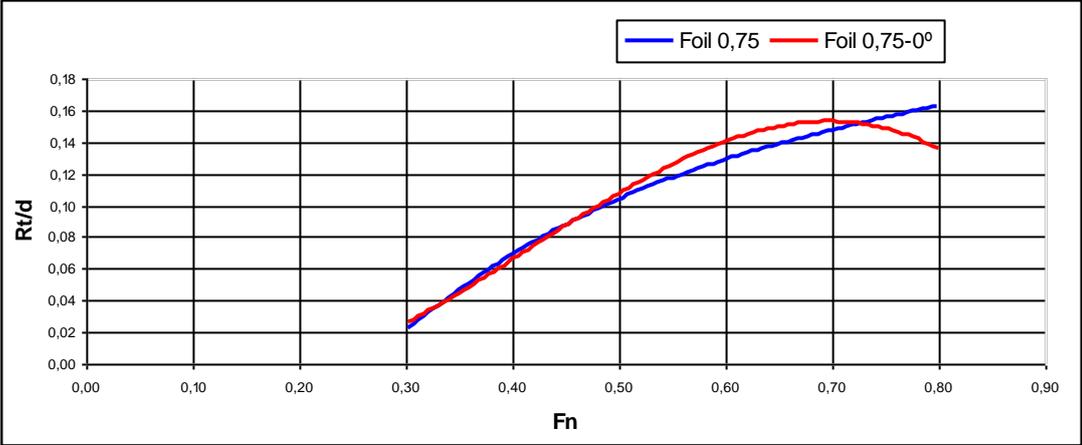
Serie 2 y Serie 3



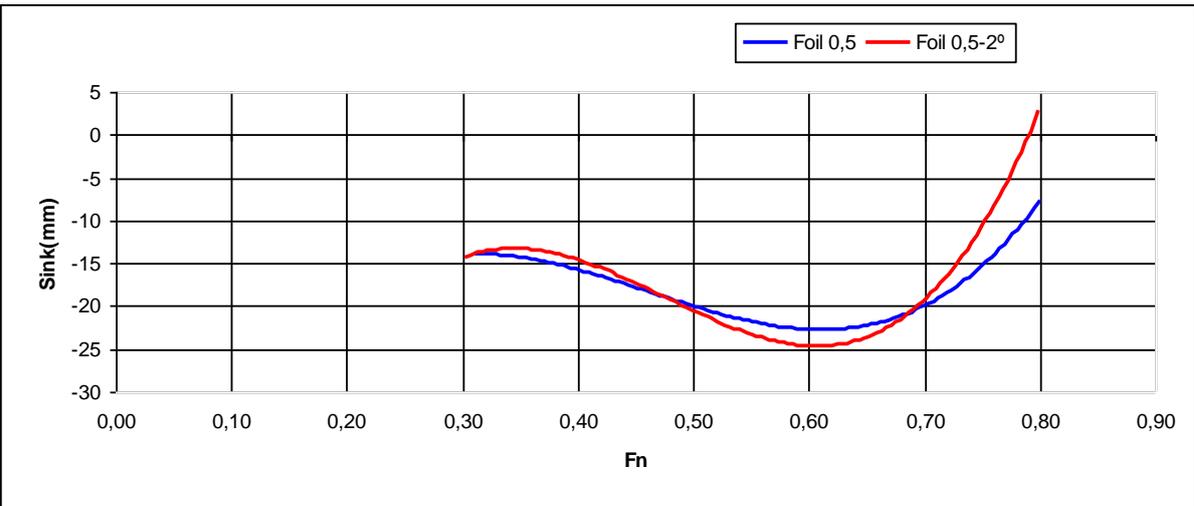
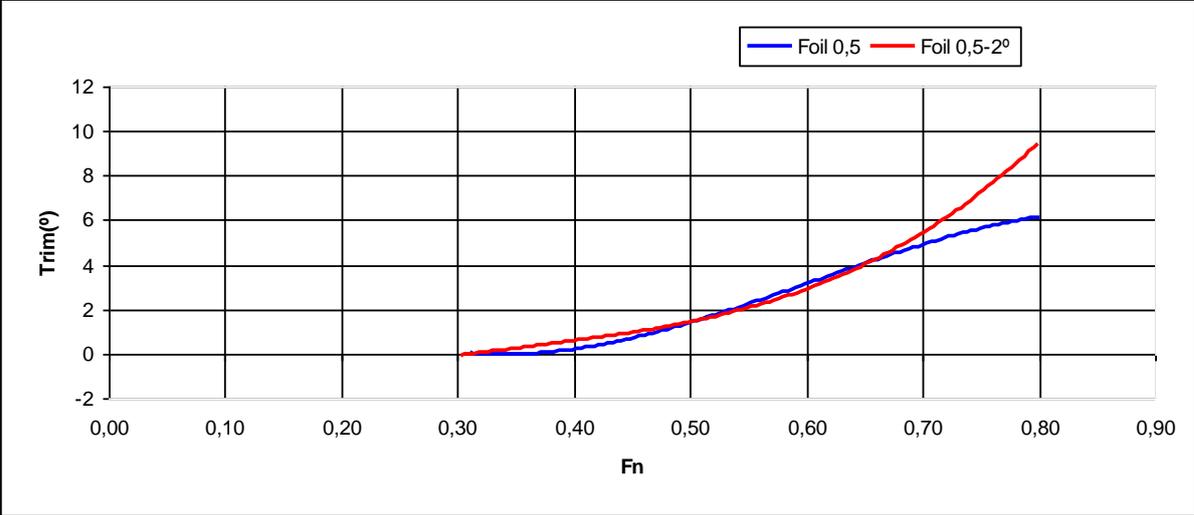
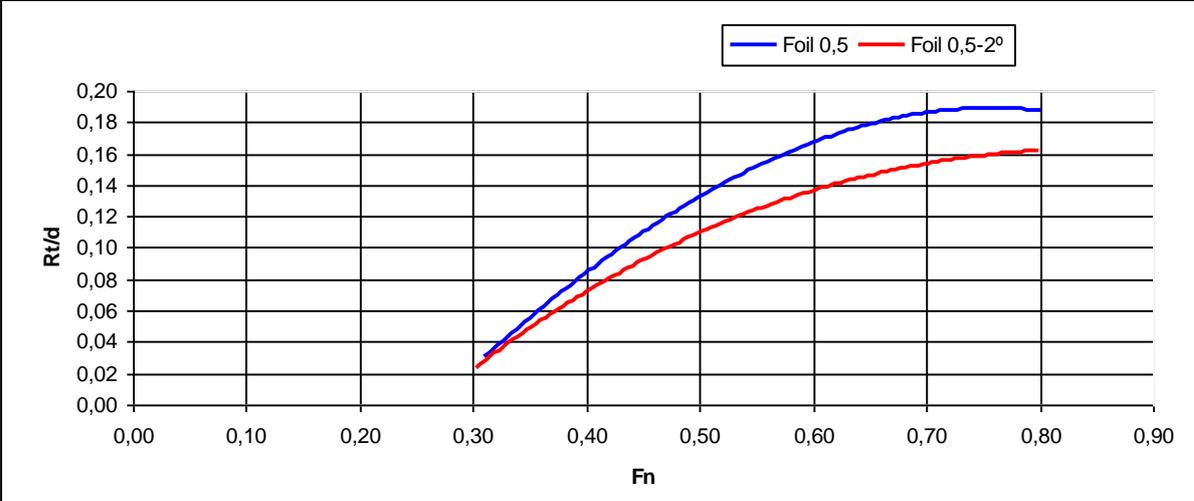
Serie 3 y Serie 5



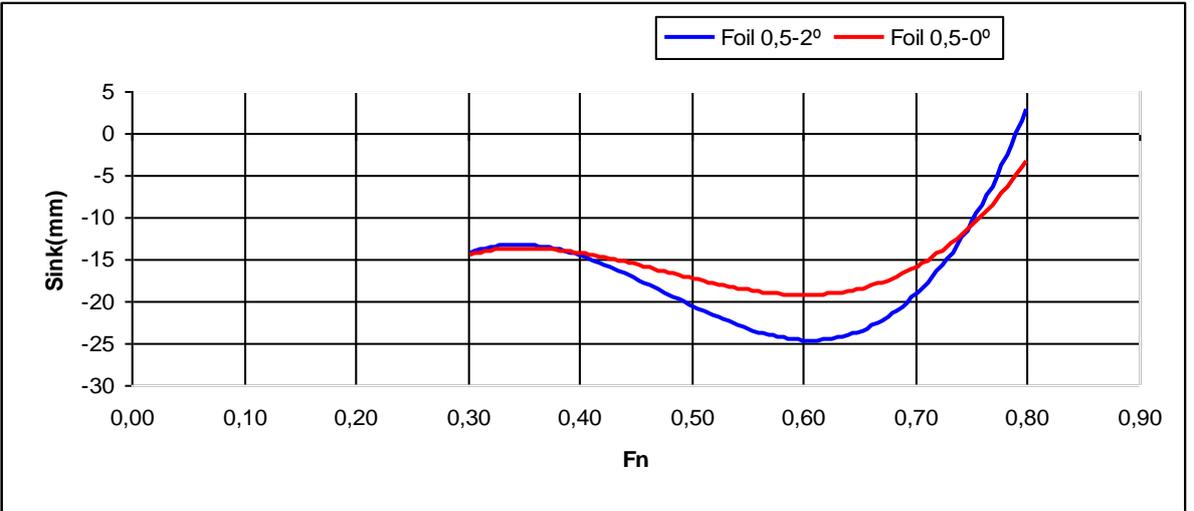
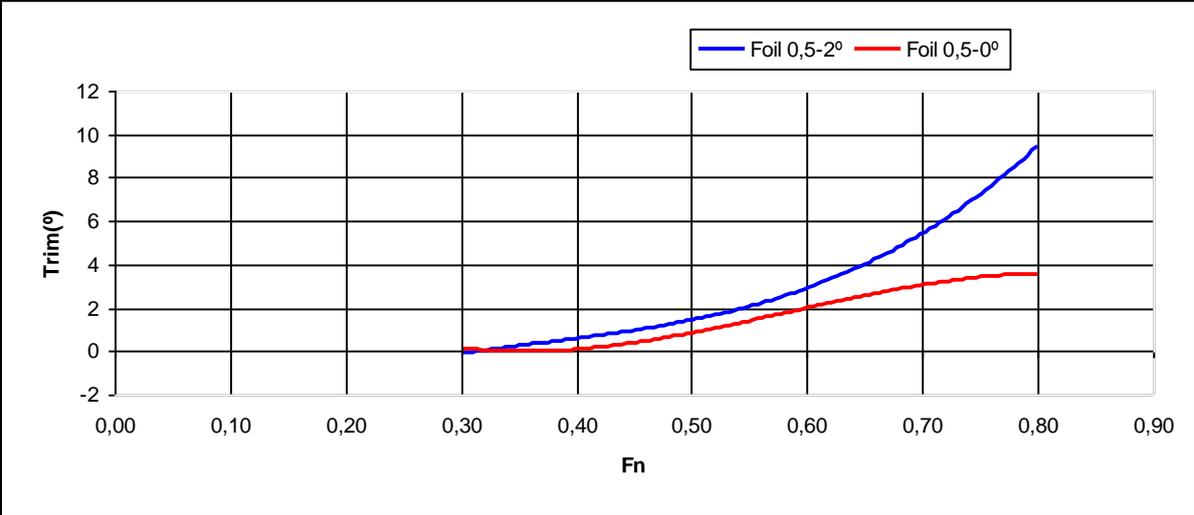
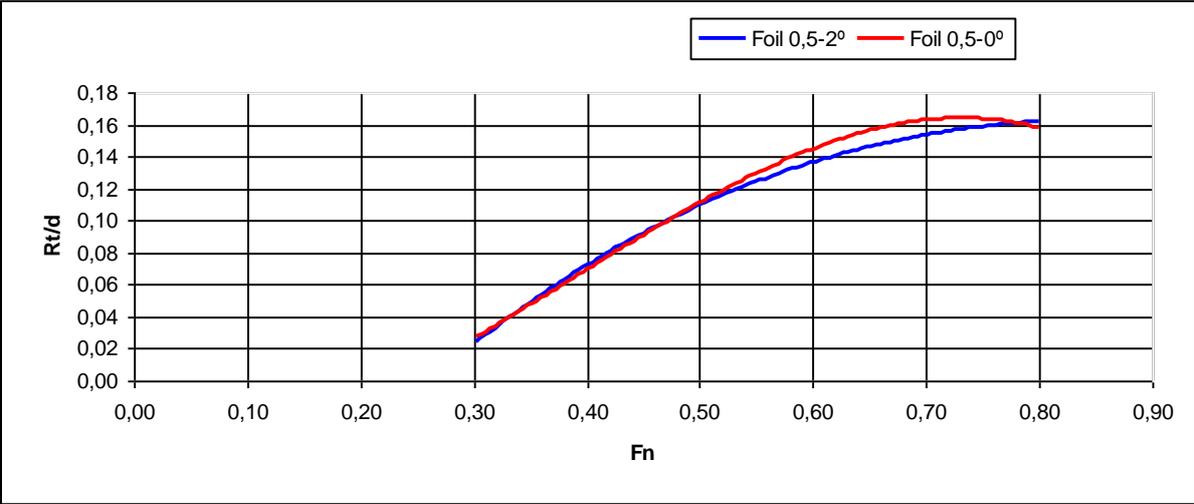
Serie 3 y Serie 4



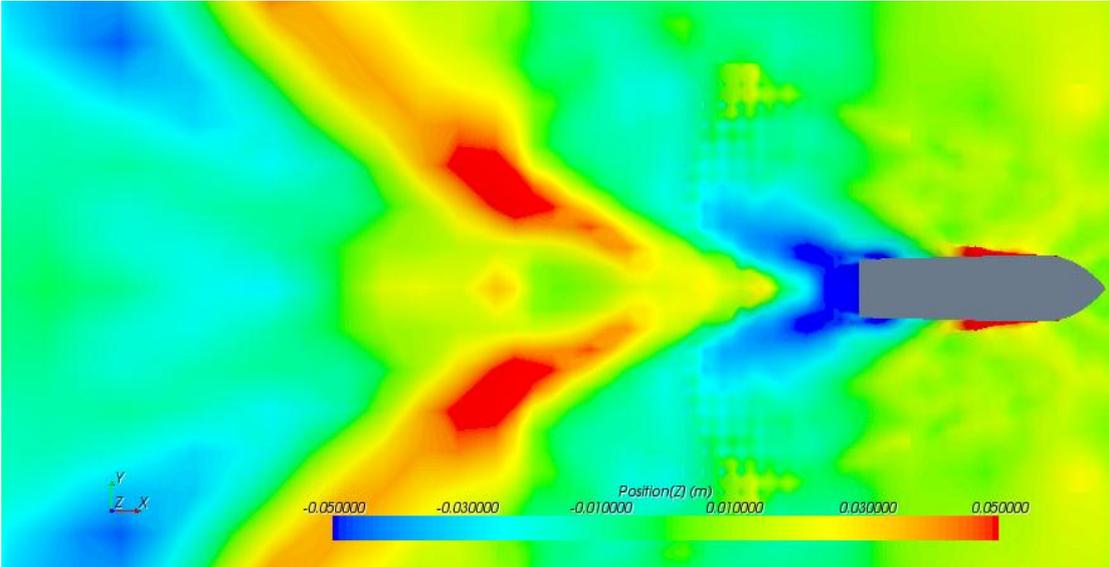
Serie 6 y Serie 7



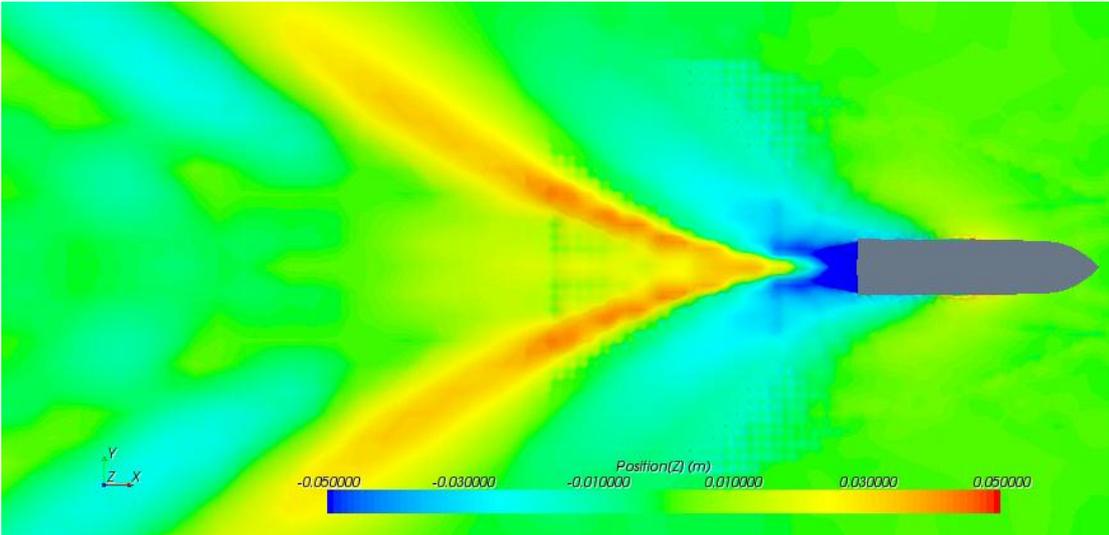
Serie 7 y Serie 8



En estas fotos podemos ver la formación de olas dejada por la carena en dos ensayos en dos diferentes series de pruebas, se ve como con el perfil alar, la formación de olas se reduce.



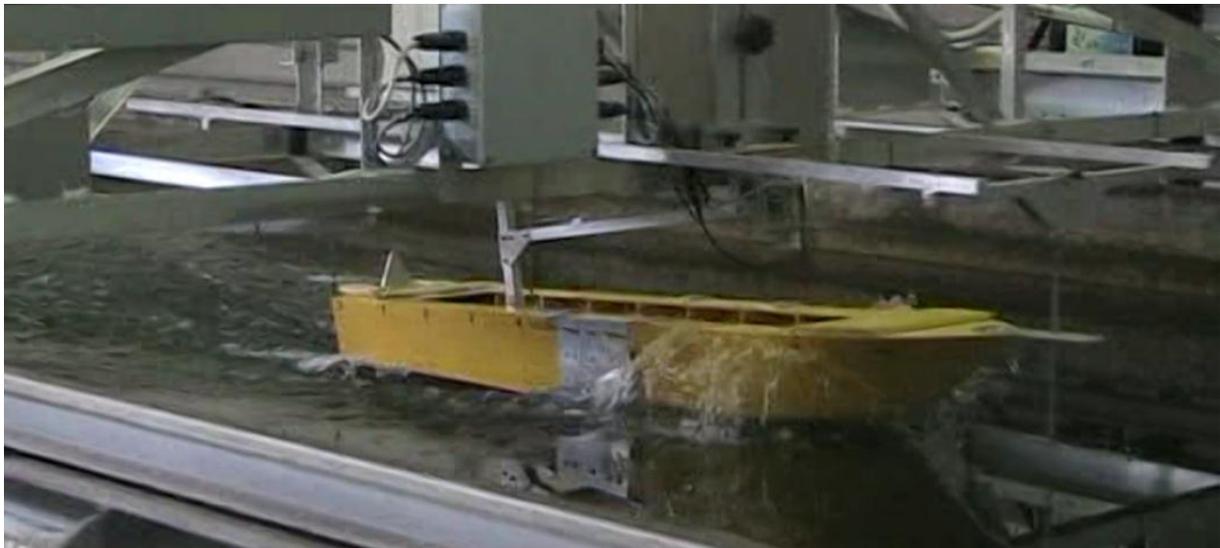
Carena, $F_n = 0.75$



Carena con perfil N° 1 a 6° y 0,75c, $F_n = 0.75$.



Carena con perfil nº 1, 0.75c de la quilla, ángulo de ataque 6°; $F_n=0.70$



Carena con perfil nº 1, 0.75c de la quilla, ángulo de ataque 6° y perfil nº 2, 0.75c de la quilla, ángulo de ataque 2°; $F_n=0.70$

Extrapolación de datos al buque

El cálculo de la curva resistencia-velocidad del buque a partir de los ensayos con el modelo solo ha sido posible calcularla para la carena. El cálculo para la carena con perfiles resulta un trabajo bastante complejo dado que no podemos saber con exactitud la superficie mojada del modelo en casa ensayo, por ello solo realizamos el cálculo de la resistencia del buque sin perfiles a partir de los resultados obtenidos en la serie 1, ya que en la práctica resulta de gran utilidad saber con exactitud la resistencia al avance del buque.

Para ello hemos utilizado solo el método de extrapolación de Froude a partir de la línea de fricción de la ITTC-57. El método de Hughes no se realizó dado que se considero el factor de forma igual a $r=1$ entre buque y modelo, siguiendo los datos obtenidos de las experiencias hidrodinámicas de la universidad de Trieste para cascos de planeo y semi-planeo.

Datos:

- Temperatura canal experiencias = 21°
- Viscosidad cinemática canal = $0.97984 \text{ L}^2\text{T}^{-1}$
- Temperatura media laguna Venecia = 16°
- Viscosidad cinemática laguna Venecia = $1.15916 \text{ L}^2\text{T}^{-1}$
- R_n = Número de Reynolds
- $C_A = 0.4 \cdot 10^{-3}$

Línea Fricción ITTC-57:

$$C_F = 0.075 / (\log R_n - 2)^2$$

A continuación se muestran las tablas de valores de los coeficientes calculados para la realización del método de extrapolación de Froude y las curvas resistencia – velocidad y potencia efectiva – velocidad para el buque.

Tabla de valores

Serie 1

Ensayo	V _m (m/s)	V _b (m/s)	V _b (Kn)	Fn	Rn _m	Rn _b	Cf _m	Cf _b	R _{tm} / Δ	R _{tm} (kg)	Ct _m
1	0,55	1,43	2,78	0,17	475039	155530,6	0,0055	0,0074	0,003	0,0435	0,0071
2	0,81	2,09	4,05	0,24	692704,4	226795,5	0,0051	0,0067	0,008	0,1159	0,0089
3	1,07	2,77	5,39	0,32	920832,9	301486,1	0,0048	0,0062	0,018	0,2608	0,0113
4	1,35	3,48	6,76	0,41	1155737	378395,0	0,0045	0,0059	0,038	0,5506	0,0152
5	1,60	4,12	8,02	0,48	1369972	448536,8	0,0044	0,0056	0,067	0,9708	0,0190
6	1,78	4,58	8,91	0,53	1522457	498461,6	0,0043	0,0055	0,092	1,3331	0,0212
7	1,95	5,04	9,80	0,59	1673828	548021,3	0,0042	0,0054	0,106	1,5359	0,0202
8	2,14	5,53	10,74	0,64	1835319	600894,4	0,0041	0,0053	0,115	1,6664	0,0182
9	2,31	5,96	11,58	0,69	1978114	647646,2	0,0041	0,0052	0,123	1,7823	0,0168
10	2,49	6,42	12,48	0,75	2132144	698076,4	0,0040	0,0051	0,133	1,9272	0,0156
11	2,66	6,87	13,35	0,80	2281542	746990,4	0,0039	0,0050	0,144	2,0866	0,0147
12	2,85	7,37	14,32	0,86	2447064	801183,2	0,0039	0,0049	0,157	2,2749	0,0140
13	2,99	7,71	14,99	0,90	2561471	838640,8	0,0039	0,0049	0,167	2,4198	0,0136

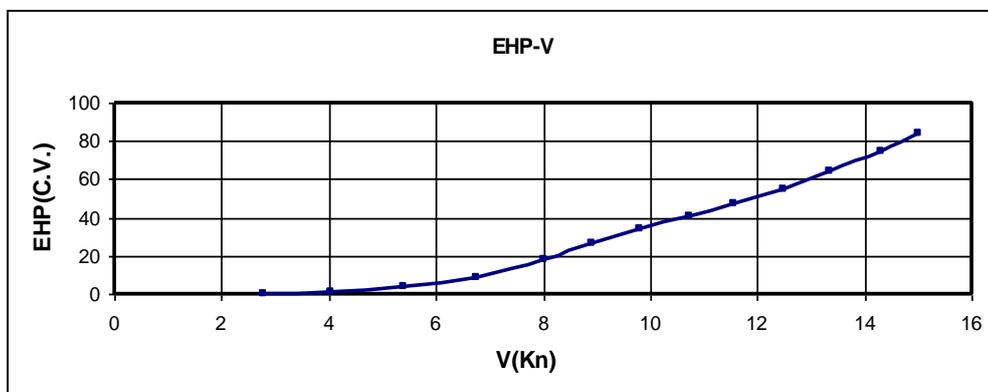
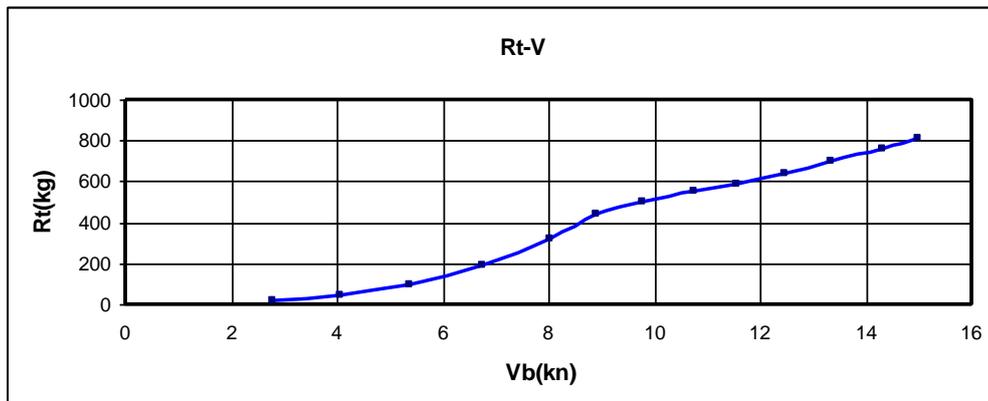
Método de Froude:

$$C_{Tb} = C_{Tm} + (C_{Tb} - C_{Tb}) + C_{Tb}$$

En la aplicación del método de correlación de Froude cometemos un notable error al igualar el coeficiente de resistencia residuo del buque y modelo, pero en este estudio realizado sobre el taxi viejo de Venecia nuestro factor de forma se aproxima notablemente a 1, por esto se considera en el canal de experiencias hidrodinámicas r=1 y por tanto aplicamos este método.

Valores del coeficiente total (C_{Tb}), resistencia buque (R_{Tb}) y potencia efectiva (EHP) del buque calculado por medio del método de correlación de Froude y diagramas.

Ensayo	C_{t_b}	$R_{t_b}(kg)$	EHP(C.V.)
1	0,0093	17,35	0,3
2	0,0109	43,08	1,2
3	0,0131	92,08	3,4
4	0,0169	186,36	8,6
5	0,0207	320,66	17,6
6	0,0228	435,96	26,6
7	0,0217	503,18	33,8
8	0,0197	549,19	40,5
9	0,0183	590,43	46,9
10	0,0171	641,36	54,9
11	0,0162	696,86	63,8
12	0,0154	762,38	74,9
13	0,0150	812,41	83,5



Conclusión

En el estudio realizado sobre un modelo de un viejo taxi de Venecia en el canal de experiencias del Departamento de Ingeniería de la *Università degli studi di Trieste*, se comprobaron los resultados obtenidos en diferentes series de pruebas para verificar el comportamiento del modelo en diferentes configuraciones.

En un primera comparación de resultados en la situación a plena carga, la carena desnuda y la carena con el perfil de ala nº 1' fijado en la posición de 0.75 c, podemos ver un aumento de la resistencia total. Esto es debido a la forma hidrodinámica de las láminas del soporte del perfil NACA, que no eran óptimas y generaron un aumento en la resistencia. Sin embargo podemos ver que en la comparación entre la serie 2 y 3, con la optimización de las láminas de soporte con una forma más hidrodinámica, disminuye la resistencia total.

Con respecto al asiento, podemos ver cómo en la carena desnuda, el ángulo aumenta considerablemente al aumento de la velocidad y evidencia así que la embarcación tiene un comportamiento similar al de un casco de planeo.

Posteriormente se aplicó en la popa un segundo perfil. Pudimos detectar así una reducción de resistencia al avance del modelo en aumento, tanto para un ángulo de ataque de 0 ° y de 2 ° del perfil. El ángulo de asiento se mantuvo más bajo, dando así a la embarcación una mayor estabilidad.

A continuación, en la última comparación realizada colocando el perfil alar más cercano al casco, en este caso igual a 0,5c, vimos aún la utilidad de esta suma de un perfil en popa, porque la resistencia siguió disminuyendo. Más tarde, entre las dos últimas comparaciones, pudimos ver una vez más como inclinando el perfil de popa, la resistencia a alta velocidad sigue disminuyendo.

Al final de estos ensayos realizados con el modelo del viejo taxi de Venecia, nuestra intención era comprobar el posible beneficio del uso de estos perfiles en los efectos de la resistencia al avance. Se comprobó que la presencia del perfil central reduce el asiento del casco, pero aumenta la resistencia total del modelo, así como la sobre elevación de la carena sobre el agua es mayor con el modelo provisto de los dos perfiles y significando que parte de la carena se levante del agua. Todo esto lleva a una reducción de la resistencia por formación de olas y por tanto a la generación de olas, tan perjudiciales para las construcciones existentes en la laguna de la ciudad de Venecia.

La toma de datos del modelo no se ha completado, dado que no ha sido detectada la superficie mojada de carena en los ensayos. La generación de olas modifica considerablemente esta superficie mojada y esta evaluación sólo es posible, en forma aproximada, a través de ordenador usando los apropiados programas de diseño. No todo pudo ser realizado; Sin embargo, los resultados obtenidos permiten evaluar la calidad y el eficaz comportamiento de los apéndices y el beneficio de la optimización de los soportes laterales.

Bibliografia

- *Zotti Igor*. Dispense del corso di “carena veloci”. Università degli studi di Trieste.
- *Zotti Igor* , “ Venezia:cittá a rischio” , Atti dei convegni lincei 161 , Roma , 4 Giugno 1999.
- *Fabio Piacentini* , “Studio sperimentale e numerico di una carena semiplanante con profili alari”, Tesi di laurea. Università degli studi di Trieste 2012.
- *Yang Song-lin, Chen Shu-ling*. “Experimental research on Resistance Performance of Gliding – Hydrofoil Craft with a T-formed Hydrofoil and shallow V-Shaped Bottom” ICCES 2008.
- *Yang Song-lin, Chen Shu-ling*. “An Experimental study on hydrodynamic characteristics of Gliding – Hydrofoil Craft with a T-formed Hydrofoil” Journal of marine science and Technology 2011.