

REDUCCIÓN DE LA RESISTENCIA AL AVANCE DE UN BUQUE MEDIANTE LA APLICACIÓN DE PINTURAS ESPECIALES AL CASCO

Luis Pérez Rojas, Canal de Ensayos ETSIN, Avda. Arco de la Victoria s/n,
28044 Madrid, España; luis.perezrojas@upm.es

Patricia Izaguirre Alza, Canal de Ensayos ETSIN, Avda. Arco de la Victoria s/n,
28044 Madrid, España; patricia.izaguirre@upm.es

Ricardo Zamora Rodríguez, Canal de Ensayos ETSIN, Avda. Arco de la Victoria s/n,
28044 Madrid, España; ricardo.zamora@upm.es

Francisco Pérez Arribas, Canal de Ensayos ETSIN, Avda. Arco de la Victoria s/n,
28044 Madrid, España; francisco.perezarribas@upm.es

Elkin Botia Vera, Canal de Ensayos ETSIN, Avda. Arco de la Victoria s/n,
28044 Madrid, España; elkinmauricio.botia@upm.es

José Fernando Núñez Basáñez, Canal de Ensayos ETSIN, Avda. Arco de la Victoria s/n,
28044 Madrid, España; josefernando.nunez@upm.es

Juan Carlos Díaz Cuadra, Navantia, S.A., C/ Velázquez 132,
28006 Madrid, España, jcdiaz@navantia.es

RESUMEN/ABSTRACT.

La crisis económica, el impacto medioambiental y el consumo continuado de los combustibles fósiles propician cualquier iniciativa que conlleve un ahorro de energía. En el mundo de los buques, uno de los objetivos ha sido siempre el alcanzar un casco hidrodinámicamente óptimo que con un mínimo de potencia proporcione la velocidad deseada.

Esta resistencia al avance se debe esencialmente a dos razones: a la fricción entre el agua y el casco del buque y a la generación de olas debido a la presencia de la interfase aire-agua. El presente trabajo recoge las labores llevadas a cabo para evaluar la posibilidad de minimizar la resistencia debida a la fricción mediante la aplicación de pinturas especiales al casco del buque.

El análisis se ha aplicado a un buque de cooperación en materia de pesca que ha sido estudiado hidrodinámicamente en el Canal de Ensayos Hidrodinámicos de la E.T.S.I. Navales. Para el estudio de la reducción de la resistencia de fricción se han ensayado dos planchas con una superficie mojada equivalente al modelo utilizado en los ensayos hidrodinámicos con dos tipos diferentes de pintura.

También se han llevado a cabo cálculos numéricos con un código comercial de tipo viscoso con la posibilidad de evaluar la rugosidad. Se pretende también con ello proceder a la validación de dicho código para la consideración de la rugosidad.

1.- INTRODUCCIÓN.

Recientemente, el Canal de Ensayos Hidrodinámicos de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales, perteneciente a la Universidad Politécnica de Madrid, ha llevado a cabo una serie de trabajos en el campo de la hidrodinámica conducentes a la optimización de un Buque para la Cooperación en Materia Pesquera, centrada fundamentalmente, aunque no de forma exclusiva, en la Formación Pesquera en todos sus ámbitos y en actividades conexas y/o complementarias. El buque consta de medios propios para la cooperación al desarrollo y para la formación de los trabajadores de Empresas radicadas en el exterior en aquellas operaciones relacionadas con las actividades extractoras, transformadoras, conserveras y comercializadoras.

Es un buque de diseño moderno, socialmente avanzado en la habilitación de la tripulación y con velocidad suficiente para poder rentabilizar al máximo su utilización, de tal manera que pueda desplazarse a lo largo del año a aquellos países, de cualquier continente, que por las necesidades de la cooperación pesquera y/o de las empresas así lo demanden. Una descripción detallada del mismo puede verse en [1].

El cuidado diseño fue sometido a una serie de ensayos de resistencia de remolque, propulsor aislado, autopropulsión, líneas de corriente y comportamiento en olas. Las herramientas numéricas permitieron completar el estudio de comportamiento en la mar en mares irregulares y el contar con la descripción de las líneas de corriente como complemento de las obtenidas experimentalmente.

El área de la maniobrabilidad contó con un nuevo diseño de timón que exigió su ensayo y la determinación experimental de la estela que también fue obtenida numéricamente. Estas actuaciones permitieron predecir el comportamiento en cuanto a maniobrabilidad del buque en comparación con la utilización de un timón convencional.

Desde el punto de vista de la protección del medio ambiente marino, dos actuaciones originales se materializaron en la construcción de este buque: la gestión del agua de lastre y el control del “*fouling*”. Desde la aparición de las primeras pinturas antiincrustantes sin biocidas para embarcaciones rápidas al comienzo de la década de los 90, se ha progresado mucho y

hoy día se dispone de pinturas basadas en el uso de siliconas y de polímeros de flúor (fluoropolymer ®) que, en comparación con otras protecciones basadas también en siliconas, mejoran enormemente sus prestaciones incluso para los buques menos rápidos.

El Buque de Cooperación Pesquera está protegido con una pintura que representa el último avance en el control del aumento de la rugosidad del casco, debido a la creación de una superficie muy lisa y deslizante, con poca resistencia de fricción, a la que los organismos marinos (*Bio-Fouling*) tendrán dificultad de incrustarse y, los que lo consigan, lo harán de una forma débil por lo que se podrán eliminar con facilidad.

Con objeto de comprobar las bondades de este nuevo producto, se han ensayado en el Canal de la ETSIN una plancha sumergida de igual superficie a la mojada del modelo del buque ya ensayado. La plancha fue pintada con el nuevo producto y con una pintura convencional, con el fin de comparar su comportamiento en cuanto a Resistencia Friccional se refiere. Esta actuación también se ha enfocado desde un punto de vista numérico con el fin de evaluar la capacidad de las herramientas numéricas para recoger el efecto de la rugosidad.

El presente trabajo recoge la labor tanto experimental como numérica que se ha llevado a cabo con el fin de evaluar el comportamiento hidrodinámico de estas nuevas pinturas.

2.- RUGOSIDAD DEL CASCO. USO DE PINTURAS DE NUEVA GENERACIÓN

Pasado un cierto periodo de tiempo, después de salir el buque recién pintado, la protección de la pintura va debilitándose y, a partir de un cierto momento, empieza a aumentar la rugosidad del casco, debido a la fijación en él de distintos organismos, primero microscópicos y luego perfectamente visibles como algas, moluscos, etc. Si el proceso continúa sin que se le ponga freno, llegará la corrosión del acero que afectará de una forma permanente a la rugosidad del casco, con lo que se producirá un notable incremento de la resistencia de fricción del buque.

La velocidad con la que se produce esta adherencia de organismos y, por lo tanto, el aumento de rugosidad del casco depende, principalmente, de unas cuantas variables que se indican a continuación:

2.1. Rugosidad del buque nuevo:

Recientemente se han llevado a cabo investigaciones y experiencias acerca de la influencia de la rugosidad superficial del forro exterior en la resistencia al avance por fricción, que da lugar a variaciones sensibles en la velocidad del buque para una potencia dada, o bien, en la potencia requerida para alcanzar una determinada velocidad.

De entre las causas que dan lugar al deterioro de la lisura de la superficie exterior del casco, se pueden distinguir dos grandes grupos:

- a) *Rugosidad temporal* provocada por la incrustación de organismos vivos. Este ensuciamiento de los fondos, ya sea en forma de organismos vegetales (algas) o animales (balanos, túbulas, etc.) produce en periodos de tiempo relativamente cortos un aumento muy apreciable de la rugosidad del casco, provocando fuertes descensos en la velocidad del buque, o bien, incrementos notables de potencia y consumo para mantener una velocidad dada.
- b) *Rugosidad permanente* debida a la acumulación excesiva de capas de pintura, que, a la larga, se ve agravada por la aparición de cuarteamientos, desconchados y desprendimientos. Otra causa es la preparación inadecuada del casco antes del pintado en las varadas.

A partir de los estudios realizados por la British Ship Research Assotiation (BSRA), que llevó a cabo un amplio programa de investigación al respecto se llega a unas conclusiones prácticas aproximadas muy concretas:

- Para mantener una velocidad dada, un aumento de rugosidad del casco de 10 micras, hace necesario un aumento de potencia de 1 %.
- A igualdad de potencia, un aumento de rugosidad de 10 micras, implica una disminución de velocidad del 0,3 %.

Aunque depende de la calidad de producción de las planchas de acero y de los métodos constructivos del astillero, se suele considerar como un valor medio aceptable, una

amplitud de rugosidad media aparente (MAA), basada en una longitud de 50 mm, de 150 μm . Durante la operación del buque, esta rugosidad irá aumentando. Al limpiar fondos se reducirá, pero nunca volverá a alcanzar su valor inicial. La rugosidad del casco, nada más salir el buque del dique crecerá a lo largo de toda su vida.

2.2.- Tipo de pintura.

Desde principios de los años setenta, los desarrollos llevados a cabo en el campo de las pinturas antiincrustantes y en el control de la corrosión han dado como resultado, por una parte, al conocimiento del mecanismo de los copolímeros basados en el TBT (tributil-estaño) (que recientemente han sido prohibidos, como todos los compuestos que contengan estaño) y, por otra parte, a la introducción de antiincrustantes basados en copolímeros autopulimentantes (SPC), libres de TBT. Estos desarrollos han proporcionado la tecnología para la eliminación de las incrustaciones, además de sustancias químicas resistentes a la abrasión más tenaces y duras.

La búsqueda de nuevos antiincrustantes inocuos para el medio ambiente ha dado su fruto con el desarrollo de recubrimientos cuyas formulaciones no contienen ningún tipo de biocida transferible al mar al mismo tiempo que no interaccionan químicamente con él, es decir no están sometidos a consumo por hidrólisis o pulimentación. Su principio de actuación está basado en la baja tensión superficial de las siliconas, componente principal de estos recubrimientos, que impide un anclaje efectivo de la incrustación de tal forma que ésta se libera por el rozamiento provocado por el avance del buque. Una mayor velocidad de avance dará como resultado una más fácil liberación de la incrustación.

Los avances más recientes en tecnología sobre recubrimientos no han supuesto cambios radicales, pero han mejorado considerablemente las propiedades de los ya existentes. El futuro en este campo depende en gran medida de la innovación en cuanto a nuevos polímeros y materias primas, junto con las formulaciones químicas de los recubrimientos, las limitaciones dadas por las regulaciones, y el incremento en el tiempo de servicio impuesto por los Armadores.

Los fabricantes del producto elegido aseguran que la aplicación de sus protecciones a buques convencionales, incluidos petroleros, etc., con velocidades de servicio superiores a unos diez nudos, puede proporcionar las siguientes ventajas:

- Menor rugosidad media del casco (25%) que origina un menor coeficiente de resistencia friccional (38%).
- Mejor resistencia estática frente a las incrustaciones (80%).
- Mejores propiedades frente al desprendimiento de las incrustaciones (40%).
- Mejor resistencia a la abrasión (60%).
- Ahorros de los costes de combustible de hasta el 6%, dependiendo de las condiciones de servicio de los buques

Las características de durabilidad, flexibilidad y resistencia frente a la abrasión de estas pinturas y la ausencia de biocidas proporcionará también ahorros en las entradas en dique ya que el tratamiento de residuos y de las aguas de lavado del casco será más barato y sencillo compensando su mayor coste inicial y sus requisitos de aplicación.

Un reciente estudio sobre el efecto de las pinturas en la resistencia puede verse en [2], en donde se analizan las diferentes líneas de investigación conducentes a reducir la resistencia de fricción, que es la componente más importante de la resistencia al avance en la mayoría de los buques mercantes que operan en la actualidad.

3.- LAS HERRAMIENTAS NUMÉRICAS EN LA EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA RUGOSIDAD.

Se ha llevado a cabo un estudio numérico con dos códigos comerciales enfocados a la resolución de las ecuaciones de Navier Stokes (RANS). El primero de ellos es el paquete de ANSYS que incluye el mallador ICEM y el CFD CFX-11. Este software se utilizó en la primera fase del proyecto cuando no estaban definidas las rugosidades y la geometría exacta del sistema de soporte de las planchas para el estudio en el canal. Por tanto, las primeras pruebas numéricas se realizaron suponiendo una superficie plana sin espesor de dimensiones conocidas y para diferentes rugosidades. En una segunda fase, cuando todo el sistema fue definido junto con las rugosidades de ambas planchas, se utilizó el código de CCM+ de la empresa CD-Adapco. Este software tiene incluido el mallador.

Comentario [JCD1]: Falta el texto.

3.1.- El Código CFX.

En esta primera fase se pretendía hacer una estimación de la resistencia al avance de una placa plana de espesor despreciable en agua dulce (ρ : 997 kg/m³ y ν : 8,926·10⁻⁷m²/s) para diferentes rugosidades y velocidades correspondientes a 13 y 15 nudos. Los diferentes programas utilizados fueron el Rhinoceros en su versión 4.0 para tratamiento de la geometría, el ANSYS-ICEM para mallar y el ANSYS CFX-11 para pre-proceso, pos-proceso y la resolución de las ecuaciones. Para los cálculos se utilizaron dos procesadores de un Pentium IV a 3.2 GHz con una memoria RAM de 3GB. Para una malla de aproximadamente millón y medio de elementos el tiempo típico de CPU para conseguir alcanzar el criterio de convergencia fijado fue de dos horas y media.[3]

El dominio utilizado fue un paralelepípedo que, suponiendo el centro de los ejes coordenados en el centro de la placa, se extendía en el eje X, de -21m a +33m, en el eje Y, de -12m a 12m y el Z, de -12m a +12m. Todo el dominio se consideró agua y no se introdujo la superficie libre. La malla era del tipo estructurada con 1413672 elementos.

Se consideró estado continuo y estacionario, con flujo turbulento. El modelo de turbulencia elegido fue el κ - ϵ . El paso de tiempo se seleccionó según las recomendaciones del programa y se estableció en $\frac{1}{3}$ (L/V) lo que supone 0,77 s para V₁ y 0,67 para V₂. Para poder juzgar la convergencia se consideró el residual RMS (Root Mean Square). La condición impuesta fue 10⁻⁶. Según la documentación de CFX, llegar a este valor implica una “muy buena convergencia”.

Los valores obtenidos para la placa lisa se reflejan en la siguiente tabla en donde también figuran los valores obtenidos por las expresiones de la ITTC

Velocidad	Resistencia de fricción	
	ITTC	CFX
V ₁ (13 nudos)	693 g	649g
V ₂ (15 nudos)	903 g	844gr

Tabla 1

En la figura 1 se representa el incremento de la resistencia al avance en función de la rugosidad (rugosidad equivalente de granos de arena) para las dos velocidades analizadas.

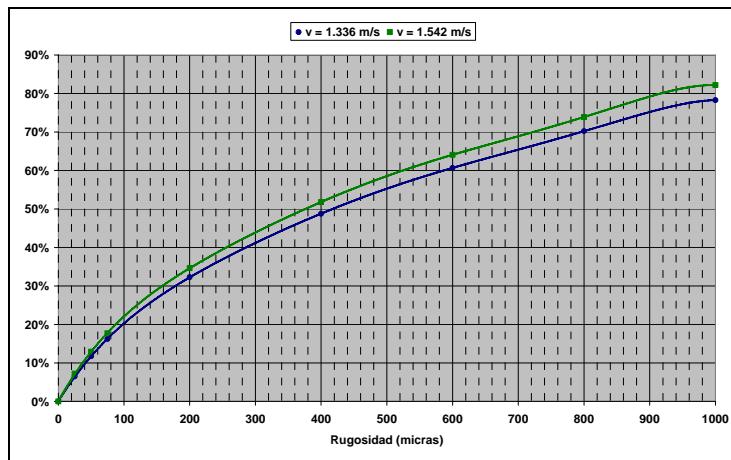


Figura.1

La rugosidad de la pintura convencional puede estimarse en 120 μm y la de base silicona en 70 μm , lo que da origen a que el incremento de resistencia sea del 5,8% para la velocidad baja y 6% para la velocidad alta, teniendo en cuenta las simplificaciones consideradas en estas simulaciones.

3.2.- El Código CCM+

Una vez se tuvo la geometría del sistema completo se paso al estudio del mismo con el programa de dinámica de fluidos computacional STAR-CCM+ 3.06.006 de la empresa CD-Adapco. El cambio de software fue debido a que este último permite un rápido y eficiente mallado. Además, gracias a la versión Linux del programa se ha facilitado enormemente la paralelización de los cálculos. Los cálculos se ejecutaron en cinco procesadores en paralelo: dos de un Pentium IV a 3.2 GHz con una memoria RAM de 3GB y tres procesadores de un Intel Core 2 Quad 9550 a 2,83 GHz con una RAM de 4 GB. Para una malla de aproximadamente siete millones de elementos el tiempo típico de CPU para conseguir alcanzar el criterio de convergencia fijado fue de no más de 48 horas.[4].

El sistema que se ha discretizado incluye no solo las planchas sino el soporte, los cuerpos de proa y popa y los perfiles que esconden las sujeciones al carro. Se ha considerado

que el sistema avanza en un único fluido (agua, ρ : 998 kg/m³ y μ : 8,899·10⁻⁴ kg/m/s) sin superficie libre. También se han hecho ensayos con simulación de superficie libre para obtener una estimación del incremento de resistencia por formación de olas.

El volumen de control elegido es menor que el anterior porque en este caso se pretendía simular de manera fidedigna los ensayos de canal con lo que el dominio se extiende en el eje X desde -7,4m hasta 20,35m, en el Y de -2m a 2m y en el eje Z, de -2m a 0,28m. En las simulaciones con superficie libre, ésta se encontraba en Z=0,28m al inicio y el techo a Z=2m. Por ende, en el dominio entre los planos Z=0,28m y Z=2m el fluido era aire. La malla elegida fue del tipo trimada con capa de prismas para captar la capa límite. Lo primero fue realizar un estudio de convergencia de resultado con el incremento de elementos en la malla. El número de elementos de la malla final que se estudió fue de 6705204. Igual que con el CFX, el tipo de turbulencia fue el κ - ϵ y el criterio de convergencia para detener el programa se estableció como límite asintótico de 0,001 N (102mg).

En la tabla .2 se presentan los resultados para las dos velocidades y dos rugosidades.

Rugosidad(μ m)	D(V ₁) [g]	D(V ₂) [g]
70 (R ₁)	962	1255
120 (R ₂)	972	1286

Tabla 2

para la V₁ el incremento de resistencia al avance de la plancha de rugosidad R₂ frente a la R₁ es del 1% y para la V₂ es de 2,41%. Si se consideran sólo las planchas pintadas, que representan el 61% de la resistencia total, la diferencia de resistencia al avance es de un 1,9% para la velocidad menor y 4% para la segunda velocidad. En los ensayos con superficie libre para V₁ el incremento de la resistencia al avance debido a la formación de olas fue de 61 g, del orden del 6% del total.

4.- LA LABOR EXPERIMENTAL. LOS ENSAYOS HIDRODINÁMICOS

En el proceso de ensayos anteriormente mencionado, el modelo fue sometido a una serie de ensayos de remolque. Inicialmente se procedió a la construcción del modelo, según las

formas suministradas, a la escala de 1:25, siendo sometido dicho modelo a dos ensayos de remolque en las dos situaciones de carga, si bien entre ambas situaciones de carga no había diferencias significativas, 6,5% referido al calado. En la figura 2, se puede ver una vista tridimensional del modelo

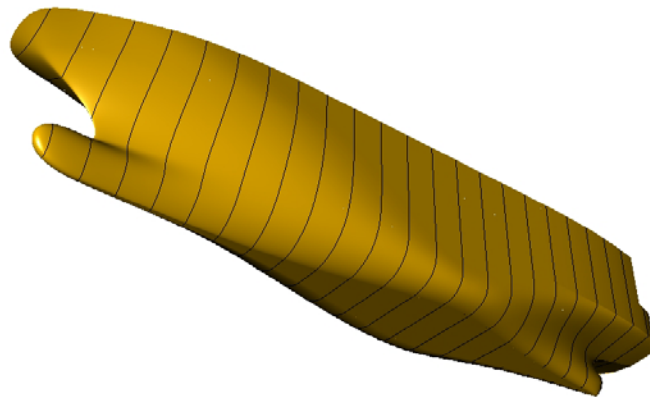


Figura 2

En la figura 3, se presentan los resultados del ensayo de remolque en las situaciones de carga ensayadas.

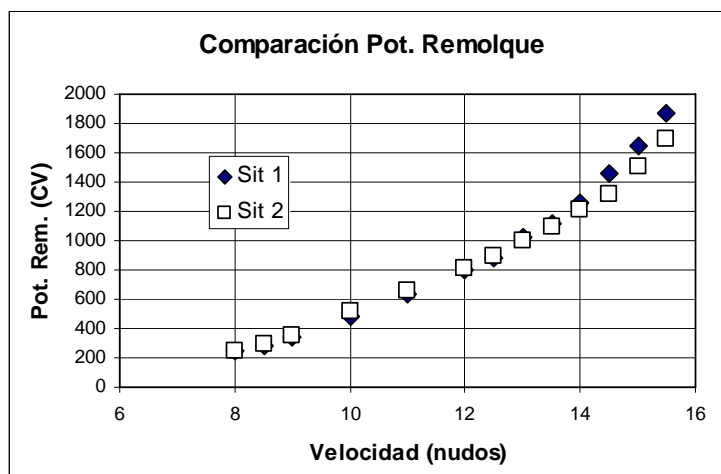


Figura 3

El dispositivo para medir la influencia de las pinturas en la fricción y por lo tanto en la resistencia al avance consistía en construir un bastidor en donde fueran adosadas las planchas con los dos tipos de pinturas a considerar, la convencional y la de base silicona. Se pretendía que este dispositivo representara en cierta medida la resistencia de fricción de Froude, la

resistencia de una placa plana equivalente. De tal forma, las planchas analizadas tenían la misma superficie mojada y eslora de flotación que el modelo ensayado. Estas planchas fueron suministradas por el cliente por lo que el proceso de pintado fue el real, el que se utiliza en la aplicación de dicha pintura a los buques.

Con el fin de dar al conjunto a ensayar una flotabilidad casi nula, la “plancha” tenía un cierto espesor y el bastidor de aluminio se relleno con espuma. Dado el espesor de la “plancha” se incluyeron dos cuerpos de proa y popa de forma parabólica. En la figura 4 se puede ver un esquema del dispositivo utilizado para el ensayo de las planchas. Sobre el bastidor de aluminio relleno de espuma, se pegaron las planchas pintadas incluyéndose dos cuerpos de entrada y salida con perfil paraboloide. A este respecto puede mencionarse la placa de fricción propuesta por el Naval Ship Research and Development Center [5].

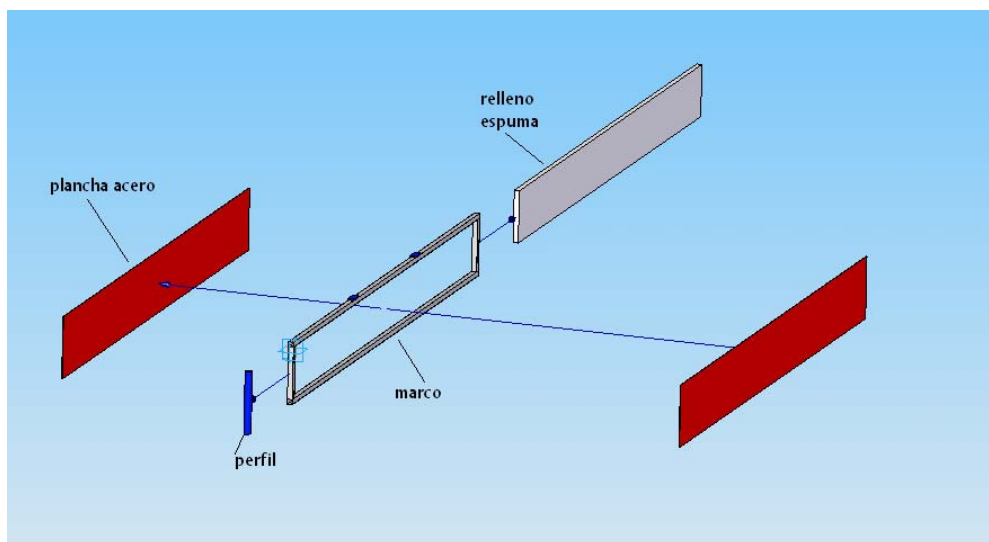


Figura 4

Igualmente a lo utilizado en el modelo se incluyeron como estimuladores de turbulencia unos pequeños cilindros (pines) de 3 mm de diámetro, 2 mm de altura, espaciados 25 mm y situados a 2 cm del inicio de la plancha (Ver figura 5)



Figura 5

Los bastidores iban sumergidos y mediante dos perfiles carenados iban unidos a unos “carritos” deslizantes dentro de una guía unida solidariamente al carro de remolque. Con esta disposición, las planchas eran remolcadas obteniéndose la resistencia gracias a una célula de carga en la misma forma que se realizan los ensayos de remolque convencionales. La figura 6 pone de manifiesto esta disposición

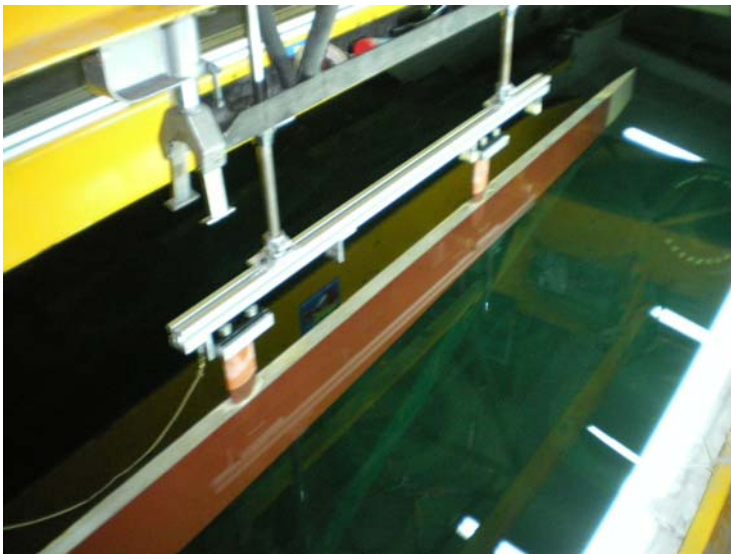


Figura 6

Inicialmente se ensayaron las planchas sin estimulador de turbulencia realizándose 4 sesiones, dos con pintura convencional y dos con pintura de silicona. Una sesión debe

entenderse como la realizada en un día con 4 velocidades (7, 10, 13 y 15 nudos) repitiendo cada punto 3 veces. Dadas las discrepancias encontradas se cambió la orientación de los perfiles hidrodinámicos que recubrían los soportes de unión al carro de remolque. Con esta nueva disposición se llevaron a cabo 6 nuevas sesiones, tres y tres. Aunque la coherencia de los resultados se mejoró no se alcanzó una cierta estabilidad en los resultados.

Debido a lo anterior, se instalaron unos estimuladores de turbulencia tal y como se ha comentado en apartados anteriores realizándose seis nuevas sesiones. Dado que en cada sesión se median 12 puntos, las carreras realizadas se elevaron a 192.

En la tabla 3 se recogen los valores medios de las resistencias medidas

Velocidad	Fn	Resistencia		
		Convencional	Silicona	% reducción
7 nudos	0,12	379 g	386 g	+ 1,7
10 nudos	0,17	630 g	641 g	+ 1,7
13 nudos	0,22	1.071 g	1.037 g	- 3,2
15 nudos	0,26	1.405 g	1.382 g	- 1,5

Tabla 3

Estos valores deben interpretarse primeramente a la luz del nivel de incertidumbre del sistema de medida utilizado. Según el programa intercentros de calibración recogido en los Proceedings de la 25ª Internacional Towing Tank Conference [6] las incertidumbres del Canal de la ETSIN pueden cifrarse en los valores indicados en la tabla 4.

Fn	Incertidumbres %
0,10	1
0,28	0,25
0,41	0,2

Tabla 4

Es evidente que estos valores de incertidumbre están por debajo de los valores obtenidos para la variación de la resistencia debido al uso de distintas pinturas. Está claro que la incertidumbre para las dos primeras velocidades es cuatro veces mayor que para las otras dos velocidades.

No obstante lo anterior, no hay razones evidentes que permitan explicar el incremento de resistencia obtenido para los dos velocidades más bajas. Si bien estamos hablando de variaciones de 7 y 11 gramos, estos valores están por encima del umbral de incertidumbre anteriormente mencionado. La única explicación posible es que el sistema de medida (“set up”) genere una cierta desalineación. Esta posible interpretación haría que los valores de disminución de la resistencia en las otras dos velocidades se incrementarían al suponer que el mismo problema de desalineación existe para las altas velocidades. Tampoco encontramos explicación en el hecho que la reducción es mayor para la velocidad de 13 nudos frente a la velocidad de 15 nudos. Una posible interpretación de la influencia del número de Froude en la resistencia de fricción no parece aplicable por cuanto las planchas han sido ensayadas sumergidas. Sin embargo merece citarse el cálculo de la influencia de la posible resistencia por formación de olas realizado en el campo numérico y que se cifraba en un 6%. Este valor quizás es la única explicación posible a la discrepancia cualitativamente obtenida en las velocidades de 13 y 15 nudos. Con respecto a la posible influencia del número de Froude en la resistencia viscosa véase [7].

Ahondando en los valores obtenidos en los cálculos numéricos de que la posible contribución del área de las pinturas es del 61%, los porcentajes de reducción serían de 5,2 % para el caso de la velocidad de 13 nudos y 2,5% para la velocidad de 15 nudos. De una forma global, estos valores están en línea con los cálculos numéricos efectuados y esperar una reducción de la resistencia de fricción del 3-4% parece razonable.

Veamos finalmente la incidencia que esta reducción tiene en el buque real. Según los cálculos efectuados a tenor de los ensayos hidrodinámicos llevados a cabo en el Canal de Ensayos Hidrodinámicos de la ETSIN, para un desplazamiento de 3.584 t, para la velocidad de 13 nudos, la resistencia debida a la viscosidad representa el 70% de la resistencia total y el 66% para la velocidad de 15 nudos. Todo ello nos lleva a afirmar que para el rango de la velocidad de 13-15 nudos se espera una reducción de la resistencia y por lo tanto de la potencia necesaria del orden del 2,5 %

5.- CONCLUSIONES.

De todo lo expuesto anteriormente se puede indicar las siguientes consideraciones finales:

- Con el fin de evaluar el comportamiento del uso de diferentes pinturas en el casco de un buque se han ensayado planchas con dos tipos de pintura, una de tipo convencional y otra con base silicona. Siguiendo las hipótesis de Froude, estas planchas tenían la misma eslora y la misma superficie mojada que el modelo ensayado anteriormente. Con el fin de mantener los mismos esquemas de pintado que en la realidad, las planchas han sido suministradas ya pintadas por el Astillero.
- Los cálculos numéricos efectuados han puesto de manifiesto el orden de magnitud esperado de reducción de resistencia, la contribución de la resistencia debida exclusivamente a las planchas y el posible efecto de la resistencia por formación de olas generadas por el dispositivo ensayado.
- Los ensayos experimentales llevados a cabo han puesto de manifiesto que para el rango de velocidades equivalentes a los 13-15 nudos se puede esperar una reducción del 3-4% de la resistencia de fricción.
- Estos valores, a tenor de los ensayos hidrodinámicos efectuados en su día, permiten afirmar que para el rango de velocidad del buque de 13-15 nudos es esperable una reducción de la potencia propulsora del 2,5%.
- La evaluación de las prestaciones de esta protección del casco se llevará a cabo durante los primeros años de explotación del buque de una forma directa, por lo que se podrá comprobar cualitativa y cuantitativamente las ventajas prometidas por los fabricantes y establecer el plazo de amortización del mayor coste de esta pintura.

Agradecimientos.

Toda labor investigadora conlleva la participación de un nutrido grupo de investigadores que aportan su “granito de arena” en una labor que aborda diferentes facetas. El nutrido número de coautores del presente trabajo es una buena muestra ello. Sin embargo no son todos los que son, el técnico de laboratorio D. Juan Chacón pasó muchas horas en

posición horizontal en el carro de remolque para ver con detalle el comportamiento de las planchas y el equipo del Laboratorio de Soldadura de la ETSIN, liderado por el catedrático D. Francisco Molleda, colaboró para tener a punto el dispositivo de medida. Pero todo ello, no habría sido posible sin la inquietud de un astillero por la innovación, Astilleros ARMON VIGO, a todos ellos nuestro reconocimiento.

REFERENCIAS.

- [1] J.F. Núñez Basáñez, L. Pérez Rojas, J.M. Paino Monsalve, F. Pérez Arribas, “El buque de cooperación pesquera, una iniciativa de la Administración para la pesca responsable y sostenible”. 47º Congreso de Ingeniería Naval e Industria Marítima, Palma de Mallorca, Octubre 2008.
- [2] E. Carrillo, J. Valle, “Reducción de la Resistencia de Fricción en Buques: un Problema Antiguo Actualizado por la crisis del Petróleo”. Canal de experiencias Hidrodinámicas, El Pardo. Publicación nº 200, Octubre 2006.
- [3] ANSYS, ANSYS CFX-Solver, Release 11.0: Modelling.
- [4] CD-ADAPCO, USER GUIDE STAR-CCM+ Version 3.06.006.
- [5] E. E. West, “Effect of Surface Preparation and repainting Procedures on the Friction Resistance of Old Ship Bottom Plates as Predicted from NSRDC Friction Plane Model 4125”, Report 4084, Naval Ship Research Development Center (U.S.A.), 1973.
- [6] Resistance Committee Report, Proceedings 25th International Towing Tank Conference, Volume 1, pp.21-68, Fukuoka, Japón, Septiembre 2008.
- [7] L. Pérez Rojas, “Influencia de la Rugosidad en la Resistencia Viscosa Obtenida por Mediciones en el Estela”, Tesis Doctoral, E.T.S.I. Navales, Universidad Politécnica de Madrid. 1981.