

DISEÑO DE INTERCEPTORES EN PESQUEROS MEDIANTE CFD

R. Baos¹, M. Salas¹, C. Cifuentes¹ y P. Sepúlveda²

¹ Universidad Austral de Chile. msalas@uach.cl

² Geprocom. Doctorando U. Politécnica de Madrid

RESUMEN

El siguiente trabajo presenta una aplicación de CFD (Computational Fluid Dynamics) en el proceso de evaluación y optimización de la resistencia al avance de una embarcación de pesca. El proceso combina sistemas CAD de diseño naval utilizados para la creación de geometrías; generación automática de mallados volumétricos; y uso de CFD para el pre-proceso, resolución de las ecuaciones y pos-proceso del modelo numérico. El software resuelve numéricamente las Ecuaciones de Navier Stokes utilizando el modelo de turbulencia $k-\varepsilon$, y el método de volumen de fluido para la modelación de las celdas de fluido.

Se utiliza un interceptor de popa para la optimización de una embarcación de pesca de 25.2 metros de eslora y 80.6 toneladas de desplazamiento. En base a resultados obtenidos anteriormente en el canal de ensayos hidrodinámicos de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales ETSIN, de la Universidad Politécnica de Madrid, refs. [1], [2] se evalúa la resistencia al avance de la embarcación con dos configuraciones de interceptores respecto a la resistencia al avance en condición de casco desnudo. Los resultados de la simulación computacional son analizados y comparados con los obtenidos experimentalmente.

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha producido un gran incremento en el precio de los combustibles. Este escenario tiene un enorme impacto sobre toda la industria, afectando de forma especial al transporte marítimo y la pesca, sectores en los cuales el costo de combustible representa un gasto muy importante, repercutiendo directamente sobre la rentabilidad del proyecto. El interés de los armadores por maximizar la eficiencia energética de sus buques es evidente ya que pequeñas mejoras en el rendimiento, que hace unos años eran despreciadas, se convierten ahora en soluciones parciales a la rentabilidad de muchos buques, mejorando económicamente el resultado de las empresas y el impacto ambiental que este ahorro significa.

Teniendo en cuenta los aspectos económicos junto con los constantes avances en hardware y el perfeccionamiento de los modelos matemáticos utilizados en las simulaciones, el uso de CFD se está convirtiendo en una excelente opción que permite ampliar el rango de análisis, proponiendo las alternativas más convenientes y de esa manera acotar los ensayos experimentales y aumentar la probabilidad de seleccionar la mejor solución.

En este trabajo se presenta un estudio CFD que es comparado con resultados experimentales desarrollados en la ETSIN, para distintas configuraciones de interceptor con cuerdas 5 y 10 centímetros, correspondientes a las de mejor desempeño observado.

Los objetivos de la investigación son:

- Desarrollar una metodología de diseño adecuada para los interceptores en función del buque y del rango de velocidades.
- Estudiar la cuerda óptima de dicho interceptor para la condición de carga y velocidades de servicio.
- Validar la metodología, a través de cálculos numéricos y ensayos con modelos en un Canal de Ensayos Hidrodinámicos.

1.1 Interceptor

Basado en el concepto de interceptar el flujo del agua bajo el casco, con la introducción de una placa rígida de metal u otro material, el interceptor crea una cuña virtual de agua delante del mismo, generando un aumento local de la presión. El flujo es desviado cuando se aproxima a esta zona de alta presión, dando origen a fuerzas de lift, similar al producido por un flap o cuña.

Los flaps se extienden a popa del espejo y, dependiendo de la forma del casco no pueden ocupar toda la extensión de la manga en popa. Los interceptores en cambio, como se aprecia en las Figuras 1 y 2, pueden ajustarse a cualquier forma, y en principio a cualquier tipo de propulsión. La proyección del interceptor puede ser ajustado a través de un actuador hidráulico u otro sistema mecánico, siendo posible ajustar su altura a una posición óptima, obteniéndose el máximo de rendimiento en cada velocidad

Otro de los beneficios de los interceptores se relacionan con la modificación del tren e olas y la formación de estela, la cual se desarrolla más a popa y más suavemente que en el caso de los flaps.

1.2 Comparación entre Dispositivos de Popa.

Las ventajas de los interceptores respecto a otros apéndices son:

- Apéndice simple, de bajo peso y fácil construcción.
- Menor resistencia generando igual fuerza de lift, lo que lleva a la optimización de la velocidad.
- Respuesta dinámica más rápida a los movimientos de pitch y roll.
- No se extienden a popa del espejo, por lo que no causa problemas con el retorno de flujo para su aplicación en sistemas propulsivos de water jets o complicaciones en el manejo de aparejos en embarcaciones de pesca.
- Pueden ser operados con dispositivos eléctricos, lo que reduce los problemas ocurridos con sistemas mecánicos e hidráulicos.

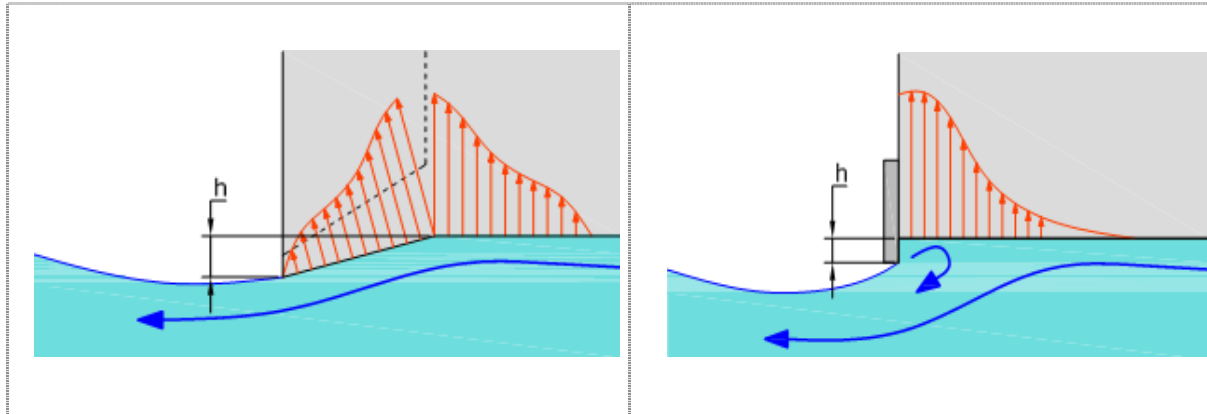


Figura 1. Distribución de presiones en un flap o cuña (izquierda) y en un interceptor (derecha)

A pesar de que los interceptores no generan grandes fuerzas de lift en comparación a los flaps, estos tienen la ventaja de un bajo costo de fabricación, operación y mantenimiento, en base a un diseño mucho más simple.

2. LA EMBARCACIÓN EN ESTUDIO

El modelo utilizado en el presente análisis corresponde a una embarcación de pesca construida por el español Astillero Asfibe. Sus características principales son presentadas en la tabla 1. Se ha seleccionado una condición de carga, tomándose como referencia el cuadro de pesos del Libro de Estabilidad del buque:

Buque de pesca Asfibe 2B, escala 1:10			
Eslora total	L_{OA}	25,230	m
Eslora en flotación	L_{WL}	23,350	m
Calado de popa	T_A	2,672	m
Calado de proa	T_F	1,872	m
Trimado	t	0,800	m
Coefficiente de bloque	C_B	0,405	
Superficie mojada	S	154,990	m^2
Desplazamiento	Δ	80,600	ton

Tabla 1. Características del prototipo.

2.1 Modelo a escala.

El modelo fue construido en poliéster reforzado con fibra de vidrio, con un factor de escala 1:10. Los ensayos de remolque fueron realizados en canal de ensayos hidrodinámicos de la ETSIN, España. Las dimensiones del canal son de 100 metros de largo, 3,8 metros de ancho y 2,2 metros de profundidad, con un carro puede alcanzar una velocidad de hasta 4,5 m/s. Las variables medidas en los ensayos comprenden la resistencia al avance, variación de trimado y hundimiento en las distintas velocidades.

Los ensayos se realizaron como estimuladores de turbulencia de 3 mm de diámetro y una altura aproximada de 3 mm, con una separación entre ellos de 2,5 cm.

En el ensayo se evaluaron cuatro configuraciones de interceptores, incluyendo la condición sin el apéndice, en cuatro velocidades correspondientes al prototipo de 10, 12, 14, 16 kn. Los interceptores evaluados mediante CFD tienen una envergadura de 4,208 metros y alturas o cuerda de 5 y 10 centímetros (dimensiones a escala real).

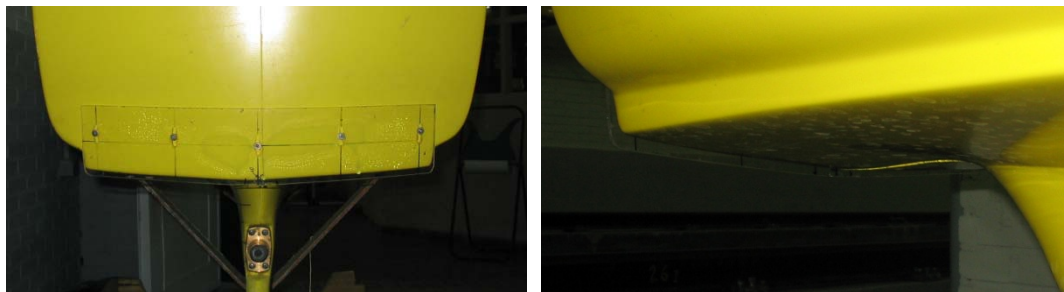


Figura 2. Interceptor con 5 cm de cuerda. Ref. [3]

2.2 Desarrollo del Análisis Numérico.

El dominio fluido, porción del canal de pruebas virtual, donde se definen el volumen de control de agua y aire junto con la superficie libre, la forma del casco y el apéndice fueron creados utilizando el software Rhinoceros 4.0.

Resulta apropiado en este tipo de análisis, la utilización de un plano vertical de simetría ubicado en la crujía del modelo, que divide la geometría del dominio fluido y el casco, asumiéndose por lo tanto, que el flujo tiene un comportamiento

simétrico a ambas bandas de la embarcación, para lo cual deben aplicarse condiciones de contorno adecuadas en el plano de simetría. Esta simplificación permite disminuir a la mitad en número de elementos requeridos para en análisis y por consiguiente el tiempo requerido en la etapa de cálculo.

El tamaño del dominio que encierra el flujo debe ser lo suficientemente grande para evitar los efectos de aguas restringidas (bloqueo). De esta forma se asignó una longitud del canal equivalente a tres esloras del modelo, un ancho y profundidad de una eslora, de acuerdo a lo presentado en la figura 3, en base a las recomendaciones de la Universidad de IOWA. Se ha utilizado un dominio con sección transversal semicircular, lo que permite eliminar porciones del volumen de agua que no son afectados por la presencia del modelo.

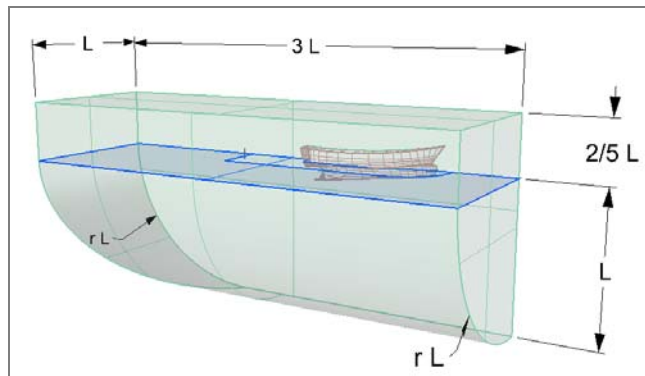


Figura 3. Dimensiones principales del dominio.

2.3 Generación de la malla.

En esta etapa se utilizó el software ICFM CFD para la generación de una malla híbrida, la que se compone de un mallado no estructurado de elementos volumétricos tetraédricos y de superficies triangulares (tetra/mixed). Su principal ventaja es la posibilidad de realizar un mallado automático, por lo que es muy recomendable para casos con geometrías complejas, sin embargo, dada la forma de almacenar la información en la memoria, se requieren computadoras con mayor capacidad.

El mallado es sin duda la etapa que requiere una mayor interacción del usuario, ya que, y a pesar de la generación automática de la malla, es necesario un proceso de edición para eliminar errores producidos en el proceso de mallado, y

de este modo asegurar la correcta ejecución de los cálculos y una mejor adaptación de la malla a la geometría.

Adicionalmente se realizaron refinamientos locales en las zonas que se consideran más críticas para el flujo, empleándose el mecanismo de inflación utilizando elementos prismáticos estructurados en las superficies del casco e interceptor (capa límite) y superficie libre.

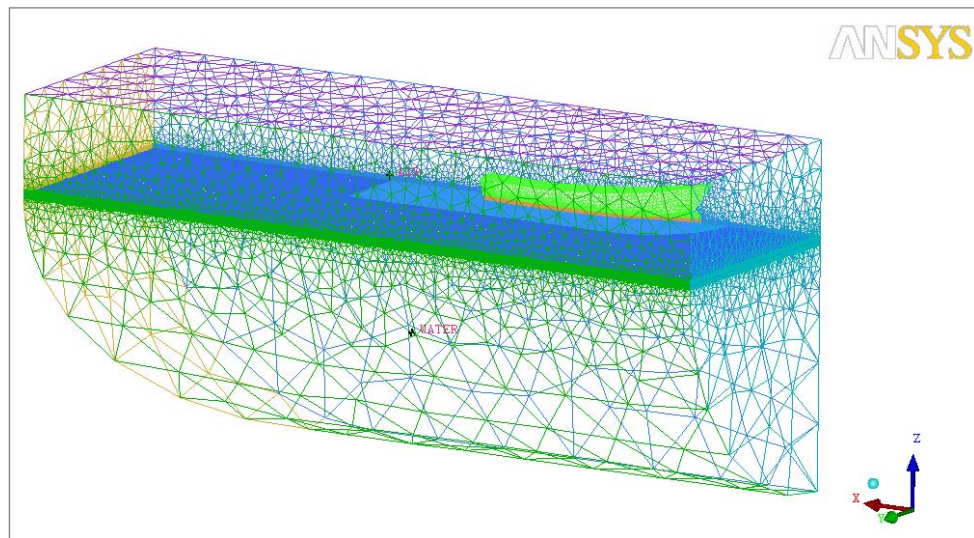


Figura 4. Presentación del dominio con mallado del tipo no estructurado.

2.4 Elección del tamaño de los elementos.

Es difícil especificar a priori el tamaño de celda adecuado para modelar el fluido, la calidad de la malla debe verificarse posteriormente en la etapa de post-proceso, representando gráficamente o por algún otro análisis algún parámetro que permita determinar la validez de los resultados obtenidos.

Preliminarmente se realizó el análisis generando dos configuraciones de mallas que fueron comparadas con los resultados experimentales para la embarcación en la condición sin interceptor. La primera, denominada “Malla N°1”, consistía en una malla generada tradicionalmente utilizando tamaño de elementos globales para las superficies del casco y la superficie libre, figura 5 (izquierda). En la segunda, denominada “Malla N°2”, con el fin de poder capturar mejor los efectos del fluido que circula en torno al modelo se ideó una distribución de elementos diferente a través del dominio, donde el tamaño de los elementos varía en una

misma superficie (casco y superficie libre), figura 5 (derecha), lo que permite generar elementos muy pequeños y aumentar su concentración en la zona cercana al casco.

De acuerdo a lo esperado, la malla N°2 presenta una mejor aproximación a los resultados obtenidos experimentalmente, por esta razón fue elegida para realizar la totalidad del análisis restante.

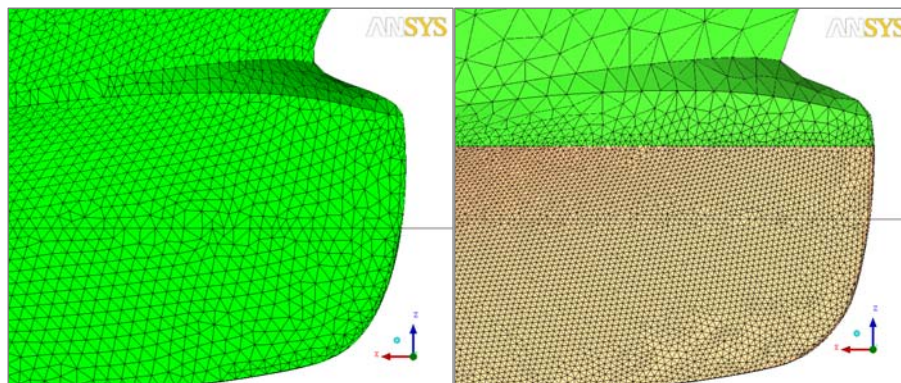


Figura 5. Una vista detallada de los elementos en ambas mallas, N°1 (izquierda) y N°2 (derecha).

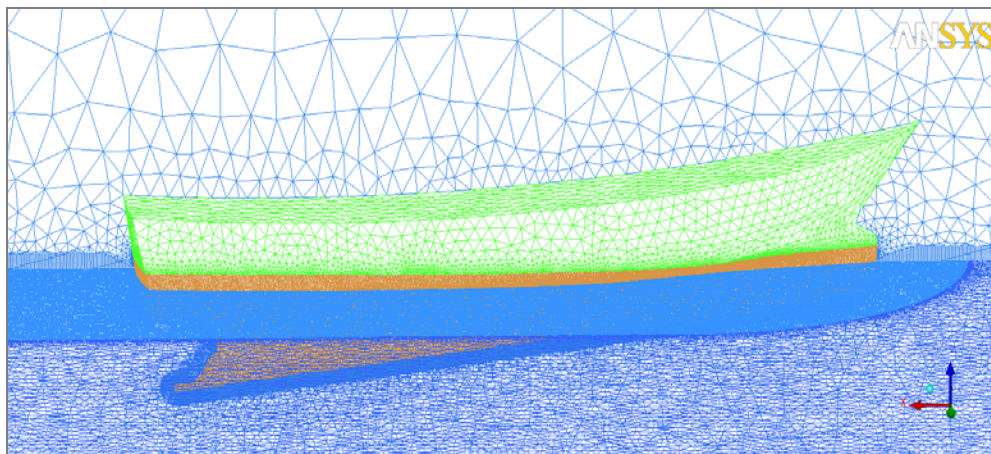


Figura 6. Detalle de la distribución de elementos en la malla N°2.

El número de elementos generados en la malla de configuración N°2 para la condición que incluye el interceptor se presenta en la tabla 2.

Ubicación	Malla Nº2
Volumen de Agua	2328874
Volumen de Aire	1077318
Casco obra viva	84810
Casco obra muerta	4818
Nº total de elementos	3495820
Nº total de nodos	1443044

Tabla 2. Número de elementos generados.

3. RESULTADOS

Los resultados numéricos se presentan en base a la resistencia total de la embarcación en la condición de casco desnudo, $R_T = R_w + R_v$

La resistencia viscosa del agua y aire asociada a los esfuerzos tangenciales, y la resistencia por formación de olas debida a las fuerzas normales sobre la superficie del casco, pueden ser calculadas directamente por ANSYS CFX. Esto da la posibilidad de analizar de forma separada la influencia del interceptor en cada una de las componentes de la resistencia.

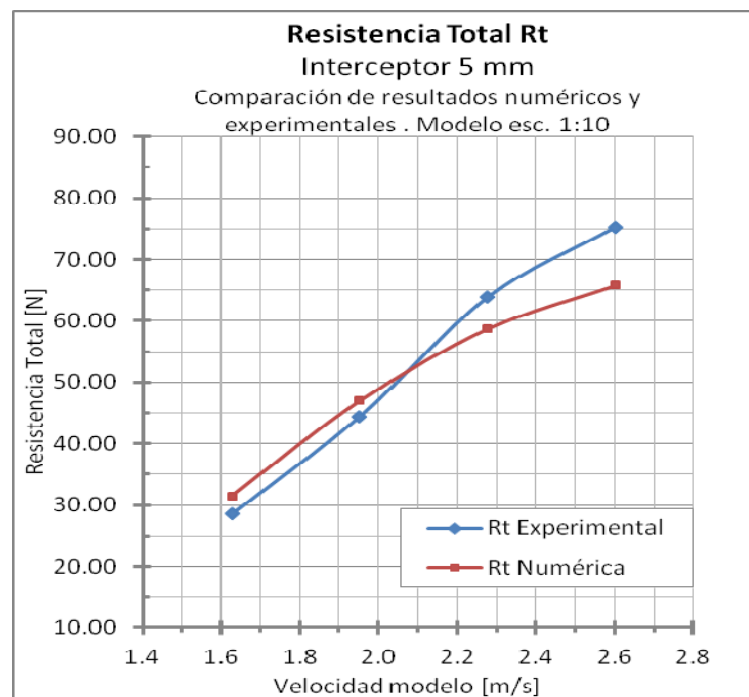


Figura 7. Comparación de resistencia total para interceptor de 5 cm.

3.1 Eficiencia de los interceptores

A pesar de que la eficiencia de los interceptores estimada a través de los diferentes métodos de análisis presenta una discrepancia importante en términos cuantitativos, en ambos casos es clara la tendencia al interceptor que presenta las mejores características. En este caso es el interceptor de 5 centímetros de cuerda es más eficiente que el interceptor de 10 centímetros en el rango de velocidad medio a máximo.

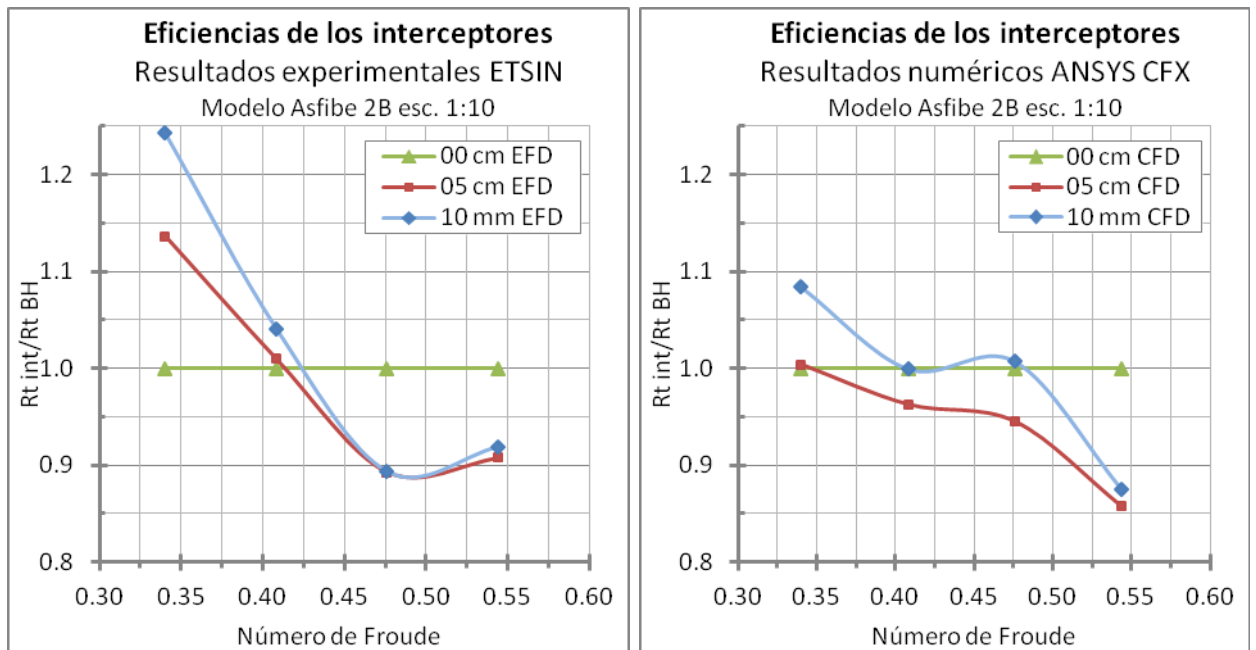


Figura 8. Eficiencia de los interceptores en el rango de velocidades

3.2 Observaciones en el Flujo de Popa

Puede obtenerse una gran cantidad de información cualitativa sobre el rendimiento del interceptor a través de una observación más detallada de sus efectos sobre la altura y localización de las olas, la modificación de la estela y características del flujo en el espejo, donde olas de gran altura y turbulencia representan una importante pérdida de energía.

Pueden distinguirse tres tipos de flujo en la zona de popa; a baja velocidad, el espejo e interceptor se encuentran completamente sumergidos, lo que se conoce como flujo convencional con popa de espejo mojada (velocidad 10 nudos en

figura 9). La resistencia aumenta debido al rompimiento de olas cercanas al espejo, separación de flujo y formación de remolinos.

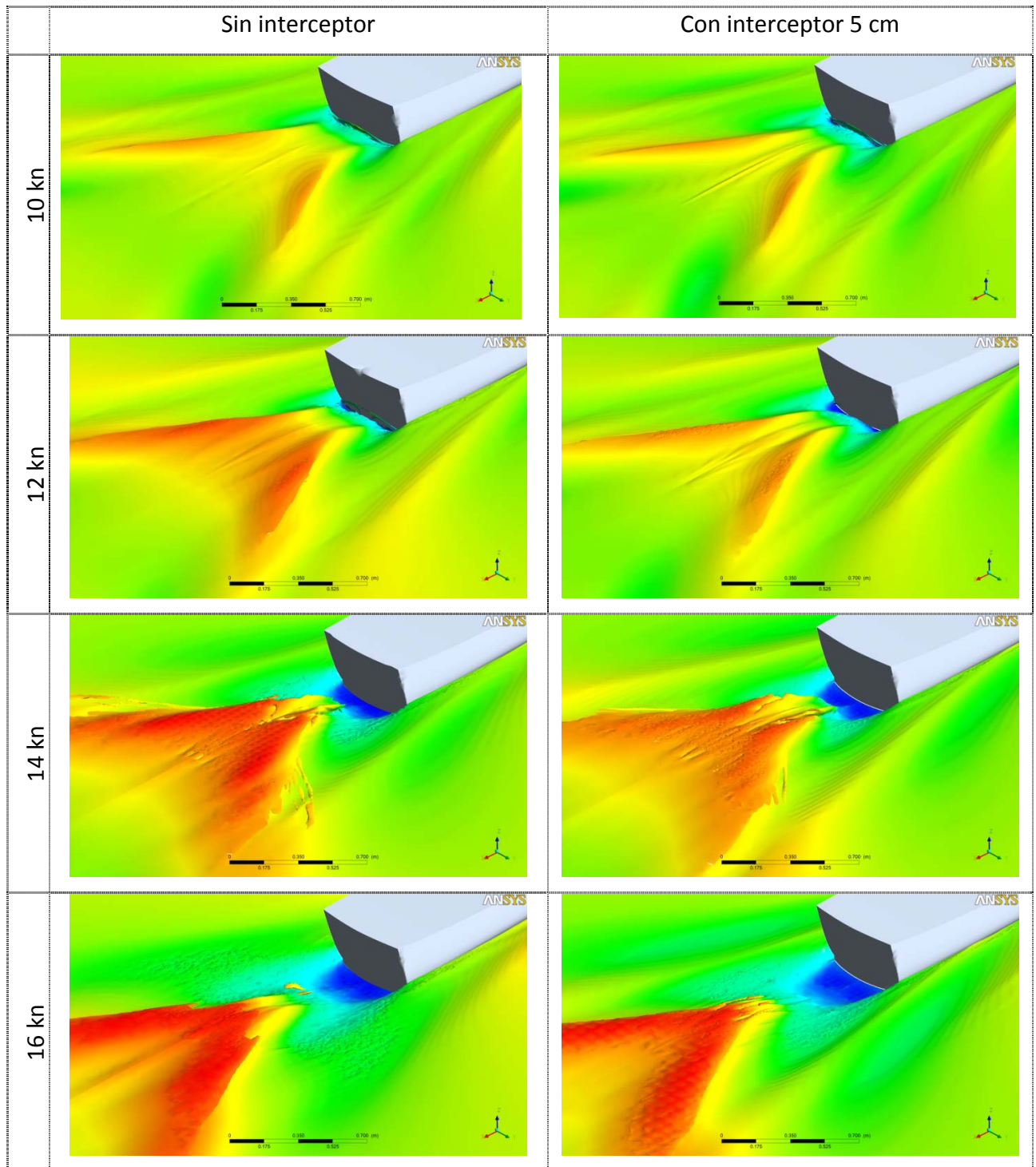


Figura 9. Comparación del flujo de popa, casco sininterceptor y con interceptor de 5 cm.

A medida que la velocidad aumenta (velocidad 14 nudos en figura 9), el espejo empieza a ser visible ya que una menor cantidad de agua tiende a volver sobre el espejo, iniciando cambios en el régimen de flujo. Sobre un pequeño rango de

velocidades el flujo en la popa entra en un régimen transitorio, en que periódicamente el flujo se separa y retorna sobre el espejo mojándolo nuevamente. En velocidades mayores (velocidad 16 nudos en figura 9), el flujo se separa limpiamente y rompe alejado del borde del espejo e interceptor. La velocidad a la cual este desprendimiento ocurre es afectada por factores que incluyen el desplazamiento, ángulo de trimado dinámico, diseño del la popa y su inmersión, y específicamente la forma del espejo y la altura o cuerda del interceptor. Las imágenes del tren de olas y del flujo cercano a la popa obtenidas en la etapa de post-proceso, permiten verificar los efectos del interceptor sobre las características del flujo respecto a la condición sin apéndice.

3.3 Tren de Olas

Los efectos del interceptor sobre las características del tren de olas (distancias desde el espejo de la primera cresta y su altura) son una importante observación. A continuación se presenta como ejemplo la comparación del tren de olas a 12 nudos obtenidos para las condiciones sin y con interceptor. En todas las velocidades es apreciable una diferencia en las forma de la ola generada en popa, siendo significativa la reducción de su altura a partir de los 14 kn.

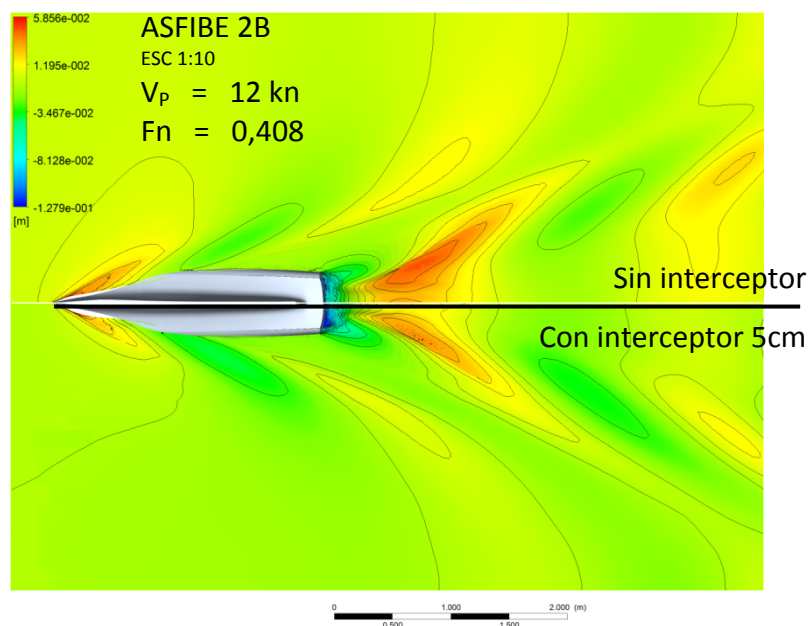


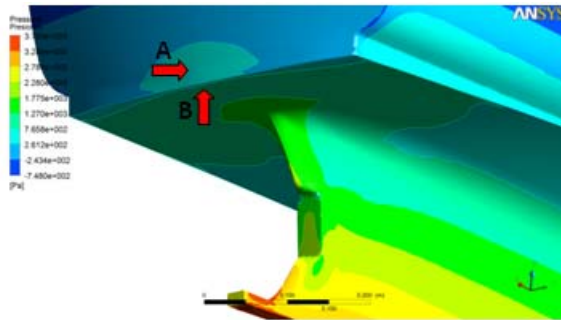
Figura 10. Olas generadas por el casco sin interceptor (arriba) y con interceptor de 5 cm. (abajo)

3.4 Modificación del Campo de Presiones

Para visualizar modificaciones en el campo de presiones en el espejo y el fondo del casco, se evaluaron las presiones sobre la superficie del casco utilizando las herramientas de post proceso. Se registró el valor de la presión en dos puntos; punto A ubicado en el fondo a 10 mm delante del borde del espejo; y el punto B en el espejo a 10 mm sobre el borde inferior del mismo, ambos en la línea de crujía. A través de una gama de colores se indica la variación de presiones en el casco, utilizando una escala de colores fríos a cálidos para indicar bajas y altas presiones respectivamente.

Sin interceptor

A = 466,02 N/m² B = 824,62 N/m²



Con interceptor de 5 cm

A = 248,97 N/m² B = 1260,45 N/m²

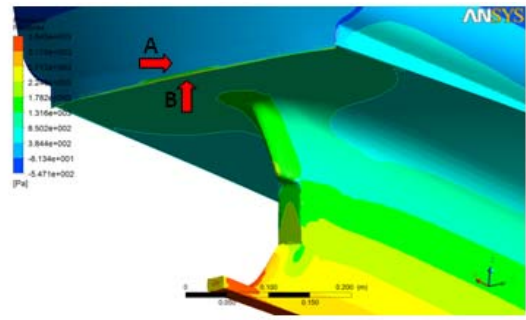


Figura 11. Presiones en el casco, velocidad de 12 nudos.

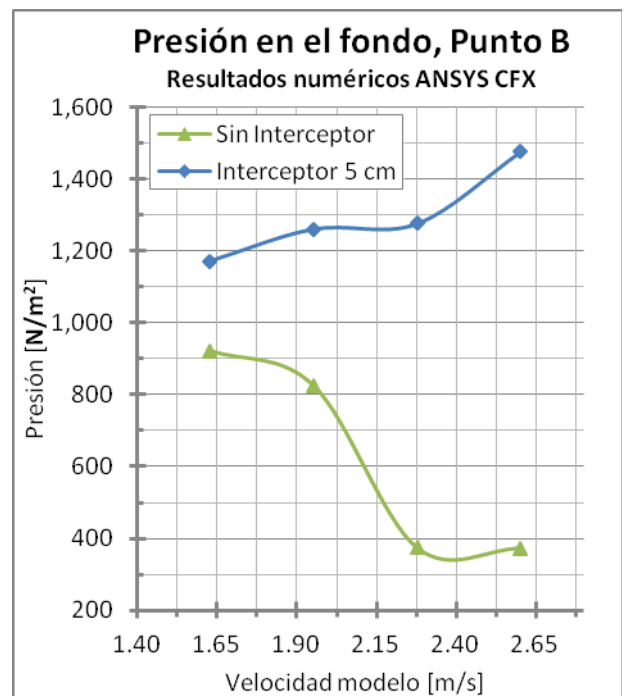
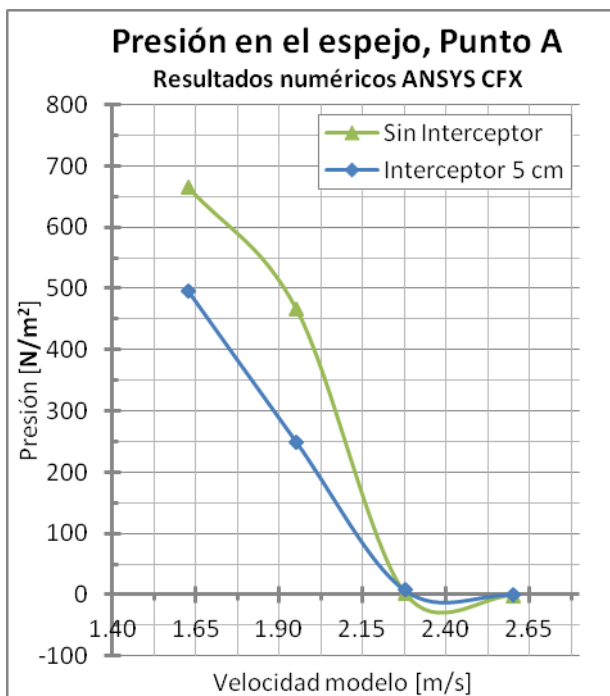


Figura 12. Efecto del interceptor en las presiones desarrolladas en el casco.

CONCLUSIONES

- No obstante lo consolidado del método experimental, la demanda de un conocimiento más detallado del comportamiento del flujo, con una mayor resolución de este en zonas cercanas al casco (capa límite) asociado con el desplazamiento del buque a través del agua, va más allá de lo que actualmente las herramientas experimentales pueden ofrecer. Por otro lado, el método CFD resulta muy útil proporcionando información que permite comprender el comportamiento del flujo. De esta forma ambos métodos pueden proveer la suficiente información sobre las características del flujo para permitir a los ingenieros navales la optimización de un casco.
- En términos generales, la elección de un mallado adecuado es fundamental para obtener una solución lo más exacta posible y sobre todo, en términos de ahorro de tiempo, ya que no solo afecta al tiempo utilizado en la construcción de la malla sino también el tiempo necesario para realizar los cálculos, que dependen de forma importante de la malla seleccionada.
- Los interceptores pueden tener un importante efecto en el rendimiento de una embarcación, sobretodo si se incorpora su estudio en las primeras etapas del diseño para su dimensionamiento adecuado. Considerarlos como parte del diseño inicial permitirá la selección y diseño del sistema propulsivo que permita un óptimo rendimiento. Particularmente en el caso analizado, se concluye a partir de los resultados experimentales y numéricos, que un interceptor de 5 centímetros de cuerda es la mejor alternativa, obteniéndose un mejor rendimiento a velocidades superiores a 13 nudos. A menos de 13 nudos, la presencia del interceptor resulta perjudicial, debido fundamentalmente a que en baja velocidad la resistencia por formación de olas representa una parte menor de la resistencia total de la embarcación.

Referencias

- [1] “Estudio de optimización hidrodinámicas de las formas de una serie de buques pesqueros de casco de PRFV”. Proyecto N° 0104. Canal de Ensayos Hidrodinámicos E.T.S.I.N., UPM, 21 de diciembre 2001.

- [2] “Estudio de optimización hidrodinámicas de las formas de una serie de buques pesqueros de casco de PRFV” (Informe 2°). Proyecto N° 0104. Canal de Ensayos Hidrodinámicos E.T.S.I.N., UPM, 02 de abril 2002.

- [3] Patricio Sepúlveda, “Diseño de interceptores en pesqueros utilizando pruebas experimentales y códigos CFD”, E.T.S.I.N., Abril 2006.

- [4] Martín Priego Wood, Leo M. González, “RANSE with free surface computations around fixed DTMB 5415 model and other Baliño’s fishing vessels”, 9th International Conference on Numerical Ship Hydrodynamics, Michigan, USA, 5-8 August 2007

- [5] Gustavo Peláez, Elena Martín, Ana Lamas, Antonio Ulloa y Daniel Prieto “Preliminary study of a new stern device to improve efficiency in a fishing vessel”, First International Symposium on Fishing Vessel Energy Efficiency E-Fishing, Vigo, Spain, May 2010

- [6] Y. B. Choi, “Energy Saving Devices”, The House of Wisdom and innovation, Hydrodynamics R&D Team, 2008.