

# EMPUJE TRANSVERSAL PARA SOSTENER LA POSICION DE BUQUES PESQUEROS EN EL MAR \*

Nelson A. Pérez M. \*\*  
Marco Wiederhold R. \*\*\*



## Introducción.

Dependiendo del tipo de pesca y del perfil de misión del buque pesquero, la utilización de empujadores transversales, o thrusters, puede resultar

especialmente útil en mejorar la eficiencia y la eficacia de las maniobras de captura.

La utilización prácticamente masiva de empujadores transversales en buques pesqueros se inscribe justamente en la necesidad de permanente optimización que la economía pesquera impone a la operación de este tipo de buques.

Mantener la posición o cambiarla rápidamente, puede resultar decisivo en algunas fases de la operación de captura, por ejemplo en buques de cerco, por otro lado, mantener la posición o cambiarla rápidamente requiere, entre otros, de empujadores transversales capaces de operar eficazmente, es decir, capaces de generar los empujes necesarios en cada caso.

Conocer cual es el empuje necesario de thrusters para que el buque sea capaz de realizar determinadas evoluciones o conocer cual es el empuje necesario para mantener dinámicamente su posición frente a la acción de fuerzas externas, requiere del conocimiento de la magnitud de las fuerzas involucradas.

Esto evita además, no sólo la eventualidad de instalaciones subdimensionadas sino tampoco excesivamente sobredimensionadas.

Los resultados que aquí se presentan aportan información respecto de la magnitud de una de estas fuerzas, la de la acción del oleaje irregular del mar actuando sobre el casco, en una de las condiciones más desfavorables, es decir a la cuadra.

La utilización de empujadores transversales como elemento para optimizar las capacidades de gobierno de buques en general, comenzó a ser de uso e incorporación habitual a partir de los años 50, {1}. Inicialmente el interés se centró en buques de alto tonelaje y particularmente para la operación a bajas velocidades.

Durante los años 60 y 70 comienzan a ser incorporados a la mayoría de los cargueros en general, y a diverso otro tipo de buques menos convencionales, tales como ferries o transbordadores, etc.

A pesar de lo contemporáneo que puede parecer el uso de empujadores transversales en los buques, la idea original es mucho más antigua que estas instalaciones modernas. Las primeras aplicaciones concretas conocidas se atribuyen a las realizadas por Foulerton para el Almirantazgo inglés en 1845 y 1846, {1}. Foulerton realizó hace ya más de 150 años, lo que podría llamarse la primera aplicación de un sistema de

\* Lic. en Ing. Naval, Ing. en Const. Naval, M. Sc. en Ing. Oceánica. Instituto de Ciencias Navales y Marítimas, Universidad Austral de Chile.

\*\* Lic. en Cs. de la Ingeniería, Ing. Naval, Universidad Austral de Chile.

\*\*\* Lic. en Cs. de la Ingeniería, Ing. Naval, Universidad Austral de Chile.

empuje transversal en una nave, al instalar al *Stockton Collier* una hélice transversal ubicada en popa, con un diseño muy similar a las actuales instalaciones y accionada mediante un cabrestante manual. Problemas tecnológicos mantuvieron estancada por más de 100 años la posibilidad de usar eficazmente empujadores transversales en los buques. Es solo durante los años 1950 que se retoma la idea, gracias al aprovechamiento de los desarrollos y avances en la tecnología de motores para helicópteros.

### Empuje requerido.

Determinar el empuje medio requerido por un empujador transversal en un determinado buque de pesca no es una cuestión simple. La reacción y evolución de un buque en maniobrabilidad dependerá muy fuertemente de las fuerzas externas que actúen sobre él.

Las fuerzas externas que actúan y los momentos de giro que generan podrían clasificarse en:

- Fuerzas y momentos Hidrodinámicos, actuantes sobre el casco y sobre los apéndices. Estas fuerzas son causadas por las velocidades y aceleraciones del movimiento general del propio buque, también por la acción del timón y por la acción de la hélice propulsora,
- Fuerzas y momentos de reacción inercial del buque, debido a aceleraciones del mismo.
- Fuerzas y momentos medioambientales, principalmente viento, olas del mar, corrientes.

Algunas de estas fuerzas y momentos, como por ejemplo las hidrodinámicas e inerciales son actualmente aproximadas con modelos teóricos o con simulaciones teórico-numéricas, o directamente medidas en tanque de pruebas {2}, {3}, {5}, etc.

En general, todas las fuerzas resultan ser funciones no lineales, dependientes de muchas variables y con acoplamiento de efectos, y por ende complicadas de calcular con precisión con métodos teóricos.



Canal de Pruebas de la Universidad Austral.

Igualmente compleja resulta la determinación teórica de algunas fuerzas ambientales, como por ejemplo las fuerzas causadas por el oleaje del mar irregular, las que como en este caso pueden ser mejor precisadas a través de ensayos a escala en canal de pruebas.

Actualmente no existe mucha información susceptible de ser usada con facilidad en estimaciones preliminares para buques pesqueros.

### Experimentos hidrodinámicos.

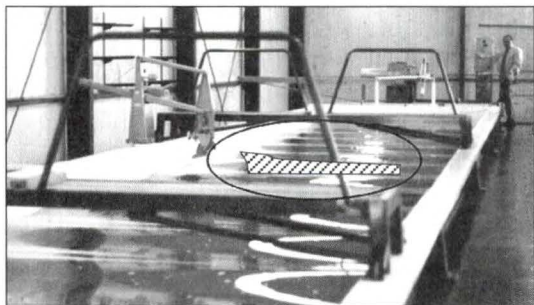
Durante 1996 y 1997 se realizó en el Canal de Pruebas de la Universidad Austral de Chile, una serie de mediciones utilizando modelos a escala de tres tipos de buques destinados a la pesca combinada de cerco y arrastre, comprendiendo esloras de entre 34 y 60 mts. Estas mediciones permiten obtener mayor información respecto de la magnitud de las fuerzas laterales que podrían esperarse sobre este tipo de carenas, producto sólo de la acción del oleaje irregular del mar incidiendo de través.

El conjunto de experiencias incluyó tres modelos correspondientes a buques pesqueros de diferentes características geométricas y cuyos antecedentes principales se indican en la tabla 1.



TABLA 1

|                                   |          | buque 1 | buque 2 | buque 3 |
|-----------------------------------|----------|---------|---------|---------|
| Eslora en flotación               | Lwl (m)  | 34.41   | 46.92   | 62.12   |
| Manga                             | B (m)    | 8.30    | 13.50   | 12.00   |
| Calado medio                      | Tm (m)   | 3.60    | 5.76    | 6.00    |
| Volumen desplazado                | (ton)    | 607.10  | 2460.00 | 2708.93 |
| Area proyectada lateral sumergida | Apl (m2) | 113.80  | 251.30  | 342.93  |
| Coef. de fineza                   | L/ 1/3   | 4.07    | 3.48    | 4.457   |
| Coef. de block                    | Cb       | 0.59    | 0.674   | 0.606   |
| Coef. prismático                  | Cp       | 0.693   | 0.738   | 0.674   |
| Altura metacéntrica               | GMT (m)  | 0.57    | 0.94    | 0,70    |
| Radio de giro transv.             | Kxx (m)  | 2.49    | 4.05    | 3.6     |
| Escala del modelo                 |          | 30      | 36      | 40      |



Generador de olas en el Canal de Pruebas.

Los modelos fueron preparados para las mediciones experimentales ajustando a escala los valores de: desplazamiento, centros de gravedad longitudinal y vertical, y adicionalmente en este caso el radio de giro transversal, dado que las aceleraciones de balance transversal que se producen requiere reproducir a escala la distribución media de masa de cada buque.

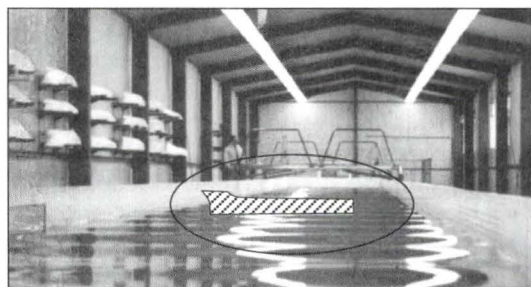
Los modelos así preparados fueron expuestos de través a olas regulares de diferente frecuencia y baja altura, producidas por el generador de olas armónicas, que el canal de pruebas dispone, y que se encuentra ubicado en un extremo del tanque.

Se midió, para cada ola regular, en cada modelo, la fuerza de "sway" causada

por estas olas incidentes, manteniendo el modelo a velocidad cero, es decir número de Froude cero.

Dado que el canal de pruebas genera olas regulares, las mediciones obtenidas no pueden ser usadas de inmediato para predicciones en mar con oleaje irregular aleatorio, sino que se hace necesario utilizar la denominada "teoría espectral".

A partir de las mediciones de fuerza de sway obtenidas en el canal de pruebas, con los modelos expuestos a olas regulares, se calcularon para cada modelo de buque las correspondientes "funciones de transferencia" de fuerza transversal causada por estas olas regulares.



Fuerza Transversal causada por olas regulares.

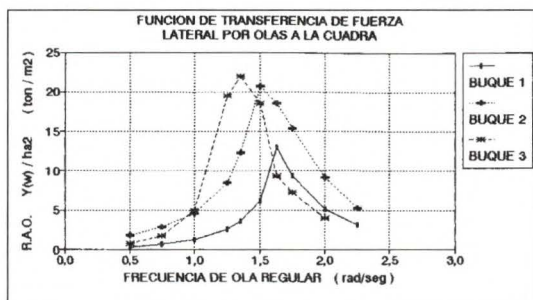


Figura 1.

Las funciones de transferencia son conocidas también como RAO, (Response Amplitude Operator).

Las funciones de transferencia de fuerza de sway,  $H(w)$ , fueron definidas en este caso como:

$$H(w) = Y(w)/ha^2$$

$Y(w)$  = fuerza transversal actuando sobre la carena, a causa de las olas incidiendo a la cuadra, medida en el canal de pruebas en el dominio de la frecuencia,

$ha$  = amplitud de las olas regulares incidentes.

Algunas de estas funciones pueden verse en figura 1.

Los correspondientes RAOs de cada buque real fueron confrontados con funciones de densidad espectral de energía de mar, también denominadas espectro de energía del mar, correspondientes a diferentes estados de mar susceptibles de ser encontrados por este tipo de buques en sus faenas.

Las funciones de espectro de energía de mar usadas en esta ocasión fueron obtenidas teóricamente, teniendo a la altura significativa del mar como parámetro de definición del estado de mar.

La expresión teórica usada para obtener las funciones de espectro de energía de mar, o función de densidad espectral fue la siguiente:

$$S(w) = (A/w_5) * \text{EXP} (B/w_4)$$

$S(w)$  = función espectro de energía de mar.

$$A = 8.1 * 10^{-3} * g^2.$$

$$B = 3,11 / (hl/3)^2.$$

$hl/3$  = altura significativa del estado de mar.

$w$  = frecuencia absoluta de ola.

En el estudio se decidió analizar estados de mar correspondientes a alturas significativas máximas del orden de un metro, lo que corresponde a velocidades de viento de unos 14 nudos.

La relación entre altura significativa del estado de mar,  $(hw/3)$  y la velocidad de viento ( $V_v$ ), es aproximadamente como en la tabla 2.

TABLA 2

| $V_v$ (kn) | 8    | 10   | 12   | 14   |
|------------|------|------|------|------|
| $hw/3$ (m) | 0.27 | 0.43 | 0.67 | 1.01 |

Como sabemos {4}, {5}, el producto entre las funciones de transferencia  $H(w)$  de cada buque, y las funciones de espectro de energía de cada estado de mar  $S(w)$ , darán origen a terceras funciones denominadas espectros de respuesta del buque en mar irregular  $S_r(w)$ , es decir:

$$S_r(w)_{jk} = H(w)_j * S(w)_k$$

$H(w)_j$  = Función de transferencia del buque "j"

$S(w)_k$  = Espectro de energía del estado de mar "k"

$S_r(w)_{jk}$  = Espectro de respuesta del buque "j" en el estado de mar "k".

La fuerza lateral media,  $Y_m$ , causada por el oleaje del mar queda dada entonces por:

$$Y_m = 2 * S(w) * H(w) * dw$$

La figura 2 presenta los resultados de fuerza lateral media por metro de eslora para diferentes estados de mar, y que al mismo tiempo representa el empuje lateral medio que se requiere del thruster. El estado de mar

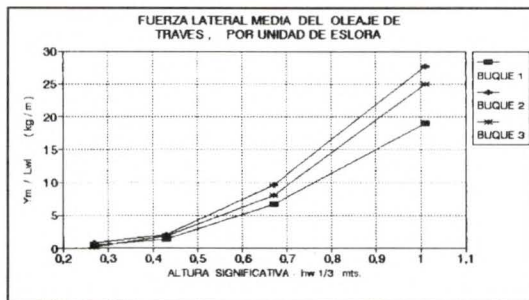


Figura 2.

es representado aquí por la altura significativa de olas  $h_{sw} 1/3$ .

La figura 3 presenta los resultados de fuerza lateral media exigible al thruster, por metro cuadrado de área sumergida proyectada lateral de la carena "Apl", y para diferentes estados de mar. El valor "Apl" corresponde muy cercanamente al producto del calado por la eslora en flotación.

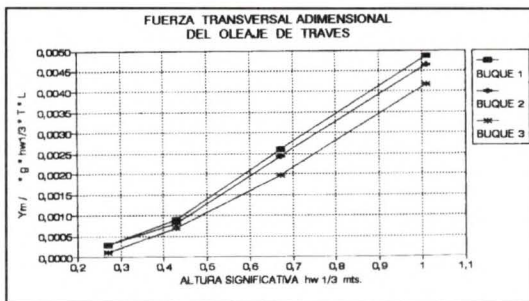


Figura 3.

La figura 4 presenta valores adimensionalizados de la fuerza de "sway". Este gráfico presenta una tercera alternativa de estimación simple y rápida de " $Y_m$ ", la fuerza media lateral que un empujador transversal debe generar para contrarrestar el oleaje irregular correspondiente a un dado estado de mar, representado por su altura significativa " $h_{sw} 1/3$ ". En la figura 4 las variables:  $g$ ,  $T$ ,  $L$ , representan la aceleración de gravedad, el calado medio y la eslora en flotación respectivamente.

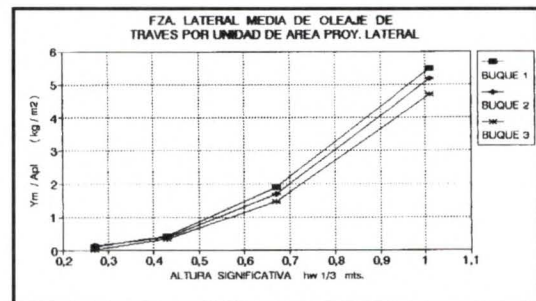


Figura 4.

### Comentarios.

La fuerza lateral media corresponde en magnitud al empuje medio efectivo que los "Thrusters" deberían generar para mantener la posición del buque pesquero frente a la acción de oleaje incidiendo sobre él a la cuadra, por ejemplo durante faenas de pesca a velocidad de avance cero.

A este empuje debe sumarse el requerimiento debido a la acción del viento sobre la obra muerta, y el correspondiente a las fuerzas hidrodinámicas que aparecen si es que el perfil de misión del buque incluye, por ejemplo, la exigencia de una cierta velocidad lateral mínima.

Estimaciones del empuje de thrusters para contrarrestar fuerza de viento pueden ser hechas por métodos empíricos según diversos autores, {5}. Estimaciones de otras fuerzas hidrodinámicas pueden ser hechas por métodos numéricos como los indicados en {2}, {3}, {5}, etc.

Se han presentado los resultados inicialmente en figura 2 como fuerza lateral o empuje medio requerido del empujador transversal " $Y_m$ ", por unidad de eslora en flotación del buque " $L_w$ ", pensando que la acción de las olas debería manifestarse básicamente en la superficie, y que el efecto exponencialmente decreciente de disminución de radio orbital de las olas en el sentido de que el calado reduciría la transferencia de energía al casco. Los resultados así presentados muestran una cierta dispersión



a medida que la altura significativa aumenta, lo que sugiere el uso de una variable de área frontal a las olas en lugar de eslora.

En la figura 3 pueden verse los resultados presentados ahora como empuje medio requerido "Ym", por unidad de área frontal a las olas "Apl". El área frontal "Apl" equivale casi al producto de L\*T, (eslora en flotación por calado medio) y por tanto, incluye de alguna manera el efecto de la transferencia de energía bajo la superficie.

En este caso las curvas mejoran su tendencia en todo el dominio estudiado.

En la figura 4 se presentan los resulta-

dos como fuerza adimensional. La adimensionalización se hizo incluyendo las principales variables que parecen estar involucradas en el fenómeno, e incluyendo la propia altura significativa.

En todos los casos las curvas resultantes muestran tendencias claras, a pesar de la disimilitud de características geométricas de las carenas en estudio, lo que permitiría pensar que la fuerza de "sway" de las olas a la cuadra para otros buques, podría ser pronosticada, en primera aproximación, a partir principalmente de figuras 3 y 4, para diferentes estados de mar.

## BIBLIOGRAFIA

- Norry, Rydley; "Notes on thrusters for ships", Trans. SNAME Vol. 88, 1980.
- Abkowitz, M.A.; "Stability and Motion Control of Ocean Vehicles", MIT Press, Cambridge, 1969.
- Inoue, et al; "A Practical Calculation Method of Ship Maneuvering Motion", I.S.P., Vol 28, N° 325, 1981.
- Bhattacharyya, R.; "Dynamics of Marine Vehicles", John Wiley and Sons, N.Y., 1978.
- Crane, Eda, Landsburg; "Principles of Naval Architecture", Vol. III Controllability, SNAME-USA, 1988.

