

## DETERMINACION NUMERICA DE LA ESTABILIDAD DE EMBARCACIONES PESQUERAS

Victor N. Acosta Pastor, Victor A. Loarte Vicuña  
Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Nacional de Ingeniería

### RESUMEN

Se sabe bien que la estabilidad es el requisito de seguridad más importante para las naves. Uno debe tener una buena información sobre la estabilidad de la nave en la fase del diseño preliminar para reducir riesgos. La estabilidad inicial de la nave es un criterio importante y puede evaluarse estrechamente en términos de los parámetros de forma y del centro vertical de gravedad. En este estudio, usando algunos datos de naves, se deducen las formulaciones aproximadas por medio del análisis de regresión para los cálculos expresados en términos de los parámetros del diseño preliminar de la nave que pueden proporcionar los cálculos aproximados de GM fácilmente. Así los diseñadores pueden proporcionar la estabilidad de la nave en la fase del diseño preliminar, y también un juego de parámetros de diseño apropiados para mejorar la estabilidad de la embarcación que puede determinarse fácilmente.

### ABSTRACT

It is well known that stability is the most important safety requirement for ships. One should have some information on ship stability at the preliminary design stage in order to reduce risk. Initial stability of ships is an important criterion and can be closely evaluated in terms of form parameters and vertical center of gravity. In this study, using some sample ship data, approximate formulations are derived by means of regression analysis for the calculations expressed in terms of ship preliminary design parameters that can easily provide approximate GM calculations. Thus designers can be provided with ship stability at the preliminary design stage, and also a set of appropriate design parameters for improving vessel stability can easily be determined.

### INTRODUCCION

Uno de los requisitos de seguridad más importantes que se debe tener en cuenta durante el trabajo del diseño preliminar de una embarcación pesquera es la estabilidad [1]. Algunas expresiones aproximadas basadas en algunos datos de naves han sido deducidas usando el análisis de regresión que tiene una aplicabilidad práctica. El valor de GM de una nave tiene que ser positivo en un estado de equilibrio estático. Como es bien conocido, la altura metacéntrica inicial de una nave (GM) es el valor de la diferencia entre la altura del metacentro desde la línea base (KM) y la altura del centro de gravedad (KG).

El propósito principal de este artículo es deducir un

modelo matemático para calcular KM, KG, y GM de una embarcación pesquera por medio del análisis de regresión. El valor de KM depende completamente de la forma de la nave. Si la forma de la embarcación es conocida, el valor de KM puede determinarse fácilmente. La posición vertical del centro de gravedad de la nave puede determinarse con precisión del experimento de inclinación. La posición vertical del centro de gravedad no está relacionada directamente a la forma de la nave, pero depende de la distribución de los grupos de pesos. Se ha obtenido una fórmula empírica para el valor de KG mediante el análisis de regresión basado en los parámetros del diseño de un cierto número de embarcaciones de pesca de acero cuyos centros de gravedad son conocidos [2], [3], [4] y [5].

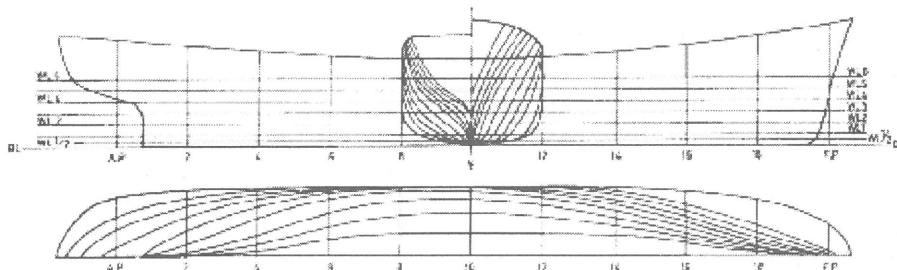


Fig. 1. Plano de Líneas de una Embarcación Pesquera de Arrastre

### Modelando los valores de KM y KG

El establecimiento de una relación entre uno o más variables independientes y una variable dependiente cuantitativa con una expresión matemática, se llama análisis de regresión. Sin embargo, el análisis de regresión no puede proporcionar información correcta sobre los rangos pertinentes respectivos. Por consiguiente, es necesario examinar la correlación entre cada par de variables (variables dependientes e independientes) envueltas en el modelo matemático. La relación es definida por la correlación entre las variables dependientes e independientes.

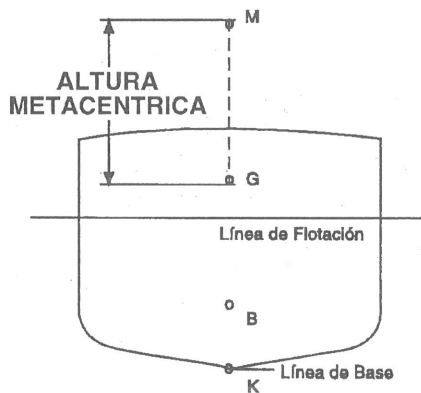


Fig. 2. Ubicación vertical de los parámetros principales en una embarcación pesquera standard

La Serie de Líneas de Formas Optimas de Embarcaciones Pesqueras de Arrastre de Doust [6] se utiliza para el cómputo de valores de KM en el análisis de regresión de Yilmaz [7]. El rango del diseño óptimo de estas embarcaciones es dado como sigue:

$$\begin{aligned} 4,400 &\leq L/B \leq 5,800 \\ 2,000 &\leq B/T \leq 2,600 \\ 0,582 &\leq C_p \leq 0,650 \end{aligned}$$

Las embarcaciones pesqueras son generadas tomando como base las relaciones inherentes al diseño preliminar mostradas; aumentando la relación L/B en 0,5 para cada L, aumentando B/T en 0,25 para cada L/B y aumentando  $C_p$  en 0,034 para cada B/T. Considerando un rango de esloras entre 15 y 70 metros.

Por el bien de facilitar el diseño por estas series, la relación entre  $C_p$  y  $C_B$  ha sido obtenida por medio del análisis de regresión:

$$C_B = 1,40923 \times C_p^{2,0107}$$

Por consiguiente, el rango para  $C_B$  está entre 0,48 y 0,57 ( $0,48 \leq C_B \leq 0,57$ ).

### Regresión Modelada de $KM_{reg}$

Las expresiones siguientes para KB y BM han sido deducidas por análisis de regresión que usa propiedades geométricas de naves generadas:

$$\begin{aligned} KB/T &= 0,585578 \times (C_{WL}/C_B)^{0,01725} \\ BM &= I/V \\ C_{WL} &= 0,967059 \times C_B^{0,52085} \end{aligned}$$

donde:  $I$  = momento de inercia transversal  
 $V$  = volumen del desplazamiento  
 $I = 0,075645 \times L \times B^3 \times C_{WL}^{1,41753}$   
 $KM_{reg} = KB + BM$

### Regresión Modelada de $KG_{reg}$

KG ha sido modelado por regresión lineal múltiple que usa los datos de embarcaciones pesqueras de acero [2], [3], [4] y [5].

Los valores de KG de estas embarcaciones en condición de carga se obtienen usando un modelo de regresión lineal múltiple basado en los parámetros del diseño preliminar como sigue:

$$\begin{aligned} KG_{reg} &= -0,00642 \times L + 0,2669 \times B + 0,3509 \times D \\ &+ 0,272 \times L/V^{1/3} - 0,45126 \times C_B - 0,3337 \\ &\times L/(L \times B \times D)^{1/3} + 0,5411 \times B/D - \\ &0,8347 \times D/T \end{aligned}$$

En la deducción de esta expresión, el coeficiente de la correlación y el error normal son 0,98 y 0,19, respectivamente. Esta expresión deducida para KG fue comparada con los valores reales de las embarcaciones pesqueras [8] y [9], y en conclusión se observó que la mayor desviación era menor que 13%. De una manera similar, una formulación aproximada deducida para el KM se ha aplicado a las mismas embarcaciones. Puesto que:

$$GM = KM - KG$$

los valores razonables para las embarcaciones pesqueras pueden ser calculados fácilmente usando sólo las expresiones aproximadas anteriormente dadas, basadas en los parámetros del diseño preliminar de la nave.

### EJEMPLO DE APLICACION

Dimensiones de la Embarcación:

Eslora total (L)	= 30,65 m
Manga moldeada (B)	= 6,10 m
Puntal moldeado (D)	= 2,50 m
Calado de diseño (T)	= 2,27 m
Coficiente de bloque ( $C_B$ )	= 0,68
Desplazamiento ( $\Delta$ )	= 260 ton

Calculo del valor de  $KM_{reg}$

$$\begin{aligned}
 C_{WL} &= 0,967059 \times (0,68)^{0,52085} \\
 &= 0,791 \\
 KB &= (0,585578 \times (0,791/0,68)^{0,01725}) \times 2,27 \\
 &= 1,333 \text{ m} \\
 I &= 0,075645 \times 30,65 \times (6,10)^3 \times \\
 &\quad (0,791)^{1,41753} \\
 &= 377,45 \text{ m}^4 \\
 BM &= 377,45/(260/1,025) \\
 &= 1,488 \text{ m} \\
 KM_{reg} &= KB + BM \\
 &= 2,821 \text{ m} \\
 KM_{real} &= 2,83 \text{ m} \\
 \text{Error (\%)} &\sim 0,32
 \end{aligned}$$

Calculo del valor de  $KG_{reg}$

$$\begin{aligned}
 KG_{reg} &= -0,00642 \times (30,65) + 0,2669 \times (6,1) + \\
 &\quad 0,3509 \times (2,5) + 0,272 \times (30,65/253,66^{1/3}) \\
 &\quad - 0,45126 \times (0,68) - 0,3337 \times (30,65/467^{1/3}) \\
 &\quad + 0,5411 \times (6,1/2,5) - 0,8347 \times (2,5/2,27) \\
 KG_{reg} &= 2,402 \text{ m} \\
 KG_{real} &= 2,36 \text{ m} \\
 \text{Error (\%)} &\sim 1,77
 \end{aligned}$$

### CONCLUSIONES

- La estabilidad inicial (GM) usada en el cálculo de estabilidad junto con los métodos estadísticos se han obtenido aproximadamente, dependiendo de los parámetros del diseño preliminar de la nave. Este estudio, en la etapa del diseño preliminar, da a los diseñadores una idea sobre la estabilidad de la embarcación, y al mismo tiempo facilita la determinación de parámetros de diseño convenientes referentes a la estabilidad.
- El error entre los valores reales y los resultados de análisis de regresión se han encontrado dentro de un límite aceptable. Para obtener los valores razonables de las formulas presentadas en este trabajo, uno debe tener en la cuenta el rango de diseño dado.
- También es evidente que en el diseño de la embarcación pesquera hay que tener en cuenta las disposiciones de las autoridades correspondientes, que permitan la explotación viable más económica, utilizando en lo posible las herramientas más modernas y rápidas que existen actualmente.

### NOMENCLATURA

B	= manga moldeada
BM	= radio metacéntrico transversal
$C_B$	= coeficiente de bloque
$C_{WL}$	= coeficiente de área de flotación
$C_P$	= coeficiente prismático longitudinal
D	= puntal
GM	= altura metacéntrica
I	= momento de inercia transversal
KB	= altura del centro de carena
KG	= centro vertical de gravedad
L	= eslora total
T	= calado de diseño
V	= volumen de desplazamiento

### REFERENCIAS

1. Santarelli, Mario, "El Convenio de Torremolinos y la Estabilidad de Buques Pesqueros", Revista Ingeniería Naval N° 669, pp. 96-103.
2. Takagi, A., "Notes on Stability" - Fishing Boats of the World 2, 3rd ed., FAO. pp. 475-488 (1979)
3. Traung, J. O., "Research Vessel Data" - Fishers Reports Vol. 2 - No. 28 (1967)
4. Traung, J. O., "Research Vessel Data" - Fishers Reports Vol. 2 - No. 29 (1968)
5. Traung, J. O., "Research Vessel Data" - Fishers Reports Vol. 2 - No. 30 (1969)
6. Doust, D. J., "Optimized Trawler Forms." Transactions of North-East Coast Institution of Engineers, Newcastle-Upon-Tyne, U.K., pp. 95-108 (1962).
7. Yilmaz, H., "The Determination of Practical Stability Criteria Depending Upon Ship Design Parameters", M.Sc. Thesis, Technical University, Istanbul (1994)
8. Valerio, L., Acosta, V., Loarte, V., "Determinación Numérica de la Resistencia al Avance de Buques", TECNIA Vol. 9 - N°2, pp. 61-67 (1999).
9. Yilmaz, Huseyin, Kukner, Abdi, "An Approximate Method for Intact Stability of Fishing Vessels", Marine Technology, Vol. 36 N°3, pp. 171-174 (1999).

