

¿Cómo medir la estabilidad de una embarcación?

CN (RA) Willian Edgar Lugo Villalba¹
TK Juan Sebastián Lugo Pinilla²



Fotografía: Demetrio Aguiar

Buque ARC "Caribe" - Arc "Golfo de Urabá".

Para el desarrollo del presente artículo se tomará como modelo el buque ARC "Caribe", el cual zarpará por primera vez, después de su alistamiento, con carga de ayuda humanitaria con destino hacia el Departamento Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, devastado por el huracán Iota a finales de 2020; por lo cual era necesario medir su estabilidad para la condición de carga de zarpe previo al cumplimiento de una misión que no daba espera.

Normalmente en una nave de carga una de las funciones principales del capitán y del primer oficial de cubierta es conocer con exactitud la posición del centro de gravedad de la nave para la condición de carga en que esta se encuentra, pero ¿cuándo un buque es estable? y ¿cómo se hacen esos cálculos?

De acuerdo a consultas realizadas por diferentes autores versados en la materia se encontraron las siguientes definiciones: se dice que un buque se encuentra en equilibrio estable si tiende a volver a la posición de adrizado después de estar escorado. Para que esto ocurra, el centro de gravedad (G) deberá encontrarse por debajo del metacentro (M). La distancia entre G y M se conoce como la altura metacéntrica (GM) (Fig. 1).

Para facilitar el entendimiento a continuación se define el vocabulario utilizado:

Lightship o peso en rosca, también definido como peso ligero, corresponde al peso de una embarcación sin contar el peso de los líquidos, combustibles, lubricantes, tripulación, repuestos, enseres de la tripulación, víveres, ni carga; es decir, como baja del astillero al término de su construcción.

Dead weight o peso muerto es la capacidad de carga de la nave.

Desplazamiento es la sumatoria de los dos pesos anteriormente descritos, es decir:
 $Desplazamiento = peso\ en\ rosca + peso\ muerto$

Metacentro (M) en un cuerpo simétrico flotante es el punto en que la vertical que pasa por el centro de boyancia corta, cuando aquel se desvía de su posición de reposo, la dirección que toma en tal caso la línea que pasaba antes por los centros de gravedad y de flotación, y que era vertical (Fig. 2).

Altura metacéntrica (GM) es la distancia entre el centro de gravedad (G) y el metacentro (M).

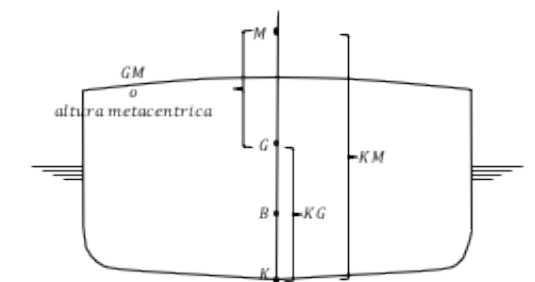


Figura 1. Altura metacéntrica de un buque, correspondiente a la distancia entre el centro de gravedad y el metacentro.

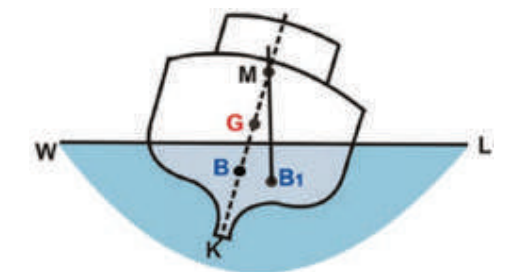


Figura 2. Ilustración del metacentro de un buque. (Fuente: FAO, 2009).

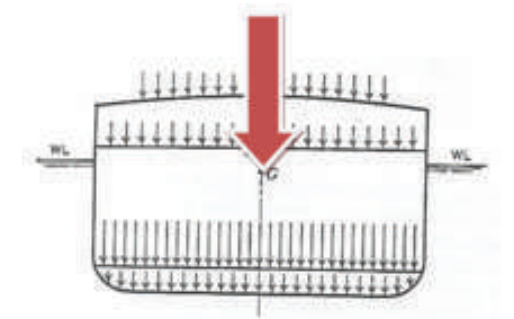


Figura 3. Centro de gravedad de una embarcación. (Fuente: Guerrero, 2011).

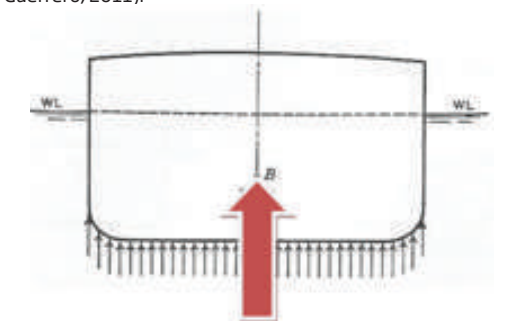


Figura 4. Centro de boyancia o carena de un buque. (Fuente: Guerrero, 2011).

¹ Capitán de navío, MBA, M. Sc. Ingeniero naval de la Subdirección de Marina Mercante - Dimar. Correo electrónico: wlugo@dimar.mil.co

² Teniente de corbeta, Ingeniero mecánico e industrial, Jefe Departamento de Mantenimiento Flotilla de Submarinos del Caribe. Correo electrónico: juan.lugo.p@armada.mil.co

Centro de gravedad (G) es el punto de aplicación de la resultante de todos los pesos que componen la embarcación (Fig. 3).

Centro de boyancia o carena (B) es el centro de gravedad del volumen de agua desplazado por un cuerpo que flota para una condición dada. También se conoce con el nombre de centro de empuje, ya que es con fines de estabilidad donde se considera aplicada dicha fuerza.

Para medir la estabilidad de una embarcación se debe elaborar un cuadro de carga, el cual define el ingeniero naval Boris Guerrero Baeza (2011) en su libro *Apuntes de estabilidad para capitanes y pilotos de la siguiente manera:*

“El punto de partida para realizar los cálculos de la estabilidad de una nave es resolver el cuadro de carga. El cuadro de carga es una planilla de cálculo en que se ingresan todos los pesos que forman el dead weight o peso muerto de la nave. Una vez resuelto el cálculo del cuadro de carga se tendrá la siguiente importantísima información:

- a) Desplazamiento (o mejor dicho peso) de la nave.
- b) Posición vertical, longitudinal y transversal del centro de gravedad G.
- c) Valor del efecto de superficies libres, o sea la subida virtual del centro de gravedad debido a ese efecto.

Normalmente los programas computacionales resuelven el cuadro de carga, pero en las naves que no cuentan con dichos programas el encargado de la estabilidad deberá resolverlo manualmente. El uso de una planilla Excel facilitará notablemente la operatoria del cálculo de cuadro de carga”.

Una vez definidos los términos y conocido el método para medir la estabilidad, en compañía de los oficiales del Departamento de Ingeniería del buque ARC “Caribe” se elaboró el cuadro de carga. El primer peso tenido en cuenta fue el peso en rosca de la nave, el cual se extrajo del experimento de inclinación elaborado después de la instalación de la cubierta de vuelo, pero ¿qué es el experimento de inclinación?

Experimento de inclinación

De acuerdo con la norma ASTM F1321/92, el experimento de inclinación o prueba de estabilidad es una prueba que consiste en mover transversalmente en la cubierta de la nave unos pesos conocidos, unas distancias también conocidas para obtener el peso y las coordenadas del centro de gravedad de la nave en la condición de rosca, los cuales se consignan en la primera parte del cuadro de carga.

Para el cálculo del peso muerto, como se mencionó anteriormente, se tuvieron en cuenta los líquidos y carga sólida. Para los líquidos contenidos en los tanques (combustible, lubricante, agua potable, agua de lastre, etc.), de acuerdo con el sondaje y utilizando el libro de sondajes, se obtuvo el peso y la posición del centro de gravedad longitudinal, transversal y vertical del nivel de líquido contenido en cada uno, así como el valor del efecto de superficie libre. Para la carga sólida se tuvieron en cuenta los pesos de cada elemento a embarcar, contenedores, vehículos, víveres, tripulación, etc.; se calculó su centro de gravedad (x, y, z) con respecto a la perpendicular de popa, a la línea de crujía y a la línea base del buque y se obtuvo el cuadro relacionado a continuación (Tabla 1).

Tabla 1. Cuadro de carga de ARC “Caribe” cuya operación durante el primer semestre de 2021 fue el transporte de equipos, materiales y personal especializado para recuperar la isla de Providencia, tras el paso del huracán Iota.

Cuadro de carga de ARC “Caribe”								
Cargas	Distribución					Momento longitudinal (t-m)	Momento transversal (t-m)	Momento vertical (t-m)
	Peso (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	Momento superficie libre (t-m)			
Peso en rosca	1 803.70	34.13	-0.13	6.97		61 560.30	-234.48	12 571.80
Peso muerto	948.43	23.61	0.10	2.37		22 392.40	94.84	2 247.78
						Σ Momentos		
Desplazamiento (t)	2 752.13	LCB (m)	29.613		83 95.74	-139.64	14 819.60	
VCG corregido (m)	5.695	KML (m)	73.832					

El peso de las ayudas humanitarias que se cargó en uno de los zarpes del ARC “Caribe” fue:

Tabla 2. Descripción del peso de la carga desplazada por el ARC “Caribe” desde Cartagena hacia la isla de Providencia.

Descripción del Peso de la Carga Desplazada por El Arc “Caribe”		
Cantidad	Tipo de carga	Peso (t)
12	Contenedores con ayudas humanitarias	111.47
5	Vehículos utilitarios (incluye 01 ambulancia) con ayudas humanitarias.	34.28
20 000	Galones de agua potable	75.68
Total ayudas humanitarias entregadas en el zarpe		221.43

Evaluación de los criterios de estabilidad

Una vez obtenida la anterior información de estabilidad, se elaboró la curva de brazos adrizantes o GZ y se comparó con los criterios de estabilidad de la Resolución Dimar 0418/2019, mediante la cual se adoptó el Código Internacional de Estabilidad sin averías de la Organización Marítima Internacional (2008). Para este caso se aplicaron los criterios de la Parte A Criterios obligatorios, Capítulo 2. Criterios generales, 2.2 Criterios relativos a las propiedades de la curva de brazos adrizantes y 2.3 Criterio de viento y balance intensos (criterio meteorológico).

Como se observa, el valor del ángulo al que ocurre el máximo GZ no cumple con lo estipulado en la Resolución (mínimo 25° y el ángulo obtenido fue

20°), motivo por el cual se evaluaron los criterios consignados en la Parte B Recomendaciones aplicables a determinados tipos de buques y otras directrices, Capítulo 2. Criterios recomendados de proyecto para determinados tipos de buques, 2.4 Buques de suministro mar adentro, 2.4.5 Criterios de estabilidad.

Así las cosas, se concluyó que para la condición de carga dada la nave cumplió todos los criterios obligatorios y recomendados para su tipo, por lo tanto la embarcación era segura para dar cumplimiento a la misión encomendada como apoyo a la recuperación de la isla de Providencia tras haber sido devastada por el fenómeno natural.

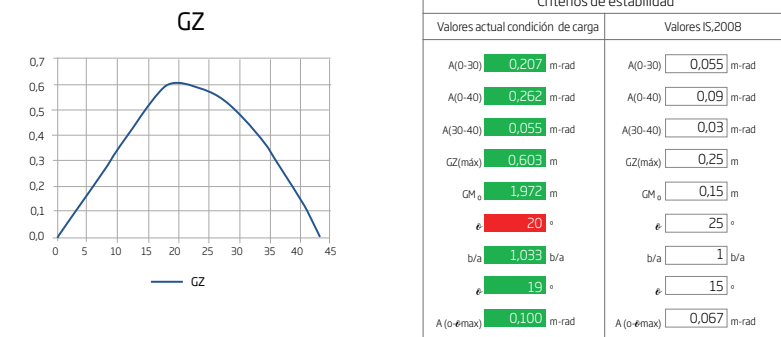


Figura 5. Obtención de la curva de criterios adrizantes GZ del ARC “Caribe”.

Lista de referencias

American Society for Testing and Materials F-1321. (1992). *Standard Guide for Conducting a Stability Test (Lightweight Survey and Inclining Experiment) to Determine the Light Ship Displacement and Centers of Gravity of a Vessel.*

Guerrero, B. (2011). *Apuntes de estabilidad para capitanes y pilotos.*

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2009). *Prácticas de seguridad relativas a la estabilidad de buques pesqueros pequeños.* FAO.

Organización Marítima Internacional. (2008). *Código Internacional de Estabilidad sin Averías.*