

## ESTABILIZADORES DE ROLIDO: NUEVAS TENDENCIAS

Por: Ing. Naval Johnny Domínguez, Presidente del CINAVE

---

### RESUMEN

En el presente artículo se hace una breve revisión de los dispositivos desarrollados para disminuir el balance de un buque. Se da especial énfasis a los estabilizadores pasivos. Debido al económico costo de construcción e instalación de estos estabilizadores, se resume los parámetros de diseño actualmente usados tanto para las quillas – pantoque de balance, las quillas dobles como para los tanques pasivos de fondo DU.

### SUMMARY

This article presents a brief revision of the devices developed to diminish the rolling of a ship. It occurs special emphasis to the passive stabilizers. Due to the economic construction cost and installation of these stabilizers, it is summarized the design parameters at the moment used so much for the bilge keels, Twin keels as for the bottom passive anti roll tanks DU..

Los efectos del rolido o balance (rolling) en un buque, ha sido un tema de muchas investigaciones.

Muchas ocasiones se dice que una embarcación tiene mayor o menor estabilidad cuando presenta balances suaves o bruscos. Es esta diferencia de comportamiento que hace que la embarcación en unos casos sea un medio agradable y en otros solo cause mareo y sensaciones de intolerancia.

En dependencia de la amplitud de los balances, se han realizado estudios sobre los dispositivos para controlar o disminuir estos movimientos. La aplicación de cada dispositivo va en estricta dependencia del periodo de las oscilaciones como de la exactitud con la que se conoce la estabilidad de la embarcación

Para tener un criterio sobre el rolido y los diferentes niveles de tolerancia, HADLER J B, SARCHIN T. H. [1], han propuesto existe una estrecha relación entre la aceleración y el periodo de la oscilación. Parte de los resultados de sus investigaciones se puede resumir en la Tabla I ACELERACIONES:

Si se considera al buque sometido a balances harmónicos, la aceleración de la oscilación puede ser estimada con la formula:

$$A = (2 \pi / T)^2 h \theta_m$$

**Donde,**

A = aceleración [m/seg<sup>2</sup>]

T = periodo de balance [seg]

H = distancia desde el centro de gravedad a la cubierta en análisis

$\theta_m$  = ángulo de escora máximo  
[radianes]

Usando las formulas propuestas por la Organización Marítima Internacional – OMI [4]- se determina el:

$$T = 2 C B / (GMt)^{0.5}$$

**ESTABILIZADORES DE ROLIDO: NUEVAS TENDENCIAS**

$$\theta_m = 109 k X1 X2 (r s)^{0.5}$$

$$C = 0.373 + 0.023 (B / d) - 0.043 (L / 100)$$

**Donde,**

L = eslora en la flotación [m]

d = calado medio de trazado [m]

Ak = área total de quilas de balance  
o proyección lateral de la quilla de barra o la suma de estas áreas [m<sup>2</sup>]

k = factor dado en la tabla IV

s = factor dado en tabla V

X1 = factor dado en la tabla II

X2 = factor dado en la tabla III

B = manga de trazado [m]

Cb = coeficiente bloque

GMt = altura metacéntrica,  
corregida por el efecto de superficie libre [m]

$$r = 0.73 \pm 0.6 GF / d$$

FG = distancia entre el centro de flotación y el centro de gravedad.  
(+) si el centro de gravedad esta encima de la flotación y (-) si esta por debajo

**ESTABILIZADORES DE ROLIDO**

En un buque, los dispositivos desarrollados para disminuir el rolido puede dividirse en dos categorías: **ACTIVOS Y PASIVOS** o la combinación de ambos

**ESTABILIZADORES ACTIVOS:** son considerados aquellos dispositivos en los cuales la atenuación del balance se hace dinámicamente. En esta categoría se puede incluir:

1. ESTABILIZADOR GIROSCOPICO
2. ALETAS ESTABILIZADORAS
3. TANQUES ACTIVOS ANTI ROLIDO

Periodo de balance [seg]	Nivel de tolerancia balance recomendado [m/seg <sup>2</sup> ]	Nivel de Intolerancia Balance excesivo [m/seg <sup>2</sup> ]
1	1.39	2.28
2	1.10	1.92
3	0.94	1.83
4	0.91	1.95
5	0.97	2.24
6	1.12	2.65
7	1.34	3.14
8	1.60	3.65
9	1.90	4.15
10	2.21	4.57
11	2.52	4.89
12	2.80	5.04

**Tabla I- ACELERACIONES**

**ESTABILIZADORES PASIVOS:** son considerados aquellos dispositivos en los cuales la atenuación del balance se realiza pasivamente por la intervención del viento o del balance propiamente dicho. En esta categoría se puede incluir:

1. QUILLAS –PANTOQUE DE BALANCE
2. QUILLAS DOBLES DE BALANCE
3. VELAS
4. TANQUES PASIVOS ANTI ROLIDO

## ESTABILIZADORES DE ROLIDO: NUEVAS TENDENCIAS

Los estabilizadores pasivos como su nombre lo indica, no tienen partes dinámicas, por lo que su empleo resulta bastante atractivo. La efectividad de estos estabilizadores en forma general oscila entre 25 al 70%, dependiendo del tipo.

En este artículo, se va a enfatizar las nuevas tendencias aplicables para optimizar el uso de este tipo de estabilizadores.

1. **QUILLAS –PANTOQUE DE BALANCE:** son aletas situadas en el pantoque, emplazadas en la mitad de la nave, a babor y a estribor. Normalmente son del tipo delgado, simétricas y se usa sin lastre. Se emplean en una longitud de 25% al 40% de la eslora de la flotación y su ancho entre 30 a 60 cm. Debido a que este apéndice puede incrementar hasta 5% la resistencia al avance, se prefiere construirla con los contornos finos y con ángulos de entrada y salida de 25° a 30°. Las quillas de balance transmiten al casco un elevado momento de amortiguamiento, razón por la que se recomienda construirlas sobre una superficie reforzada y entre miembros estructurales.

- a. **Ventajas de las quillas –pantoque de balance:** cuando están situadas en dirección de una línea de corriente y orientadas en dirección al centro de gravedad del buque, tienen la ventaja de incrementar la efectividad de amortiguamiento con la velocidad. Este efecto se atribuye a la fuerza de sustentación generada con la velocidad. Estudios realizados por MILLER E. R., SLAGER J. J., WEBSTER W. C. [3], han encontrado que el amortiguamiento de las quillas –pantoque de balance se incrementa aún más con la velocidad en el orden indicado abajo

### INCREMENTO DEL AMORTIGUAMIENTO CON LA VELOCIDAD

RELACION $V / (L)^{0.5}$	INCREMENTO DEL AMORTIG.
0.0	0 %
0.4	20%
0.8	80%
1.2	160%

- b. **Ventaja del amortiguamiento pasivo quilla -pantoque** , cuando la nave esta parada, se ha podido establecer que el amortiguamiento entre dos balances sucesivos esta dado por:

$$f. \text{ amortiguamiento } (C / C_c) = \frac{0.55 (A_k b^{0.5} + 0.0024 L B d^{0.5}) d^{5/2} \theta^{0.5}}{\Delta B^2}$$

$$\theta_a / \theta_b = \exp. \{ 2 \pi (C / C_c) \}$$

Donde,

b = ancho de la quilla de balance [pies]

$\theta$  = ángulo de rolo [radianes]

$\Delta$  = desplazamiento [ton]

$A_k, L, B, d$ , igual como fuera definido anteriormente, unidades en [pies]

2. **QUILLAS DOBLES DE BALANCE**[2]: son aletas fijas situadas en el fondo de la embarcación, emplazadas aproximadamente en la sección media de la

## ESTABILIZADORES DE ROLIDO: NUEVAS TENDENCIAS

---

nave, a babor y a estribor. Normalmente son del tipo grueso, con perfiles simétricas o asimétricas ( según el caso), se destinan los espacios interiores para lastrar. Se emplean en una longitud 30% de la eslora de flotación a y su ancho entre 40 a 80 cm. Debido a que este apéndice puede incrementar hasta 8% la resistencia al avance, se prefiere construirla con los contornos finos. De las experiencias realizadas tanto en embarcaciones a motor como a vela, se ha observado que el uso de este tipo de estabilizadores mejora el comportamiento direccional y disminuye los movimientos de arfada (heave).

- a. **Ventaja del amortiguamiento pasivo QUILLAS DOBLES:** cuando son situados correctamente y en dirección a la línea de corriente, se espera disminuciones en el balance del orden del 40 al 65%. Se considera que tienen mejor comportamiento que las quillas –pantoque- de balance tradicionales, debido a que al llevar lastre en forma lateral y no en la línea de centro -como habitualmente se realiza- se nota un incremento en la inercia de amortiguamiento.
3. **VELAS[2]:** este tipo de estabilizador solo se refiere a embarcaciones con propulsión a vela. Para estos casos se ha observado que el balance se consigue disminuirlo en el orden de 40% al 70% dependiendo del estado del mar.
4. **TANQUES PASIVOS ANTI ROLIDO**
  - a. **TIPOS:** los tanques pasivos se pueden agrupar en dos tipos: los de SUPERFICIE LIBRE y los tipo U
  - b. **TANQUE DE SUPERFICIE LIBRE,** también llamado H. Consiste en dos tanques emplazados entre las banda de babor y estribor, en la misma dirección transversal, unidos con una sección más angosta y de la misma altura. El principio de disminución del balance se debe al incremento del efecto de superficie libre. Cuando se considera en el buque incluir un tanque de superficie libre H, se incrementa el desplazamiento entre 1.5% a 2.5% del valor original
    - i. **Ventaja del amortiguamiento pasivo tanque H:**  
La fórmula para determinar el incremento de la superficie libre es la siguiente
 
$$i / Vol = \frac{5 w B^2}{48 \Delta h}$$

donde:

      - $i / Vol$  = corrección de superficie libre
      - w = peso del fluido en el tanque
      - $\Delta$  = desplazamiento
      - B = manga de trazado
      - h = altura del fluido en el tanque
    - ii. **desventaja del amortiguamiento pasivo tanque H:** La experiencia con este tipo de tanques ha demostrado que no son efectivos cuando el buque está sometido a olas largas (frecuencia cortas). El otro inconveniente es que dependiendo la condición de carga, la pérdida de estabilidad por superficie libre puede llegar a ser desfavorable.
  - c. **TANQUE U:** entre los tipos de tanques U, experimentados como estabilizadores de balance se puede citar los siguientes:

## ESTABILIZADORES DE ROLIDO: NUEVAS TENDENCIAS

---

- i. el tipo más común es el tipo Frahm. Consiste en una tanque en forma de U, normalmente emplazado de banda a banda y cercano al centro de gravedad del buque. En la parte superior se interconecta mediante un tubo transversal, controlado por una válvula. Su funcionamiento esta en dependencia directa de la apertura de la válvula de control. La ventaja de este tipo de tanque radica que al cerrar la válvula de control, se neutraliza el efecto de estabilización del tanque.
- ii. Hay otros modelos en los que el tanque U no usa el tubo de interconexión sino que tiene ventilación directa hacia la cubierta o hacia el costado. La desventaja de este tipo de tanques es que su comportamiento es dependiente del estado del mar.
- iii. **TANQUE DE FONDO DU**: este tipo de estabilizadores aprovecha los tanques de doble fondo, emplazados en la sección central del buque y que disponen de mamparo longitudinal. Estos tanques tienen instalado venteo independiente a la cubierta, por babor y estribor. El mamparo longitudinal se construye en forma intacta. Para la circulación interior tiene aberturas (groeras) superior e inferior, de diámetro estimado de acuerdo con el periodo de balance del buque y las dimensiones del tanque.
- iv. **Ventaja del amortiguamiento pasivo–TANQUE DE FONDO DU**: la mayor efectividad de este tipo de tanque se consigue cuando se usa el líquido al 50% de su capacidad. Tiene la ventaja que en el interior puede usarse cualquier tipo de líquido. El máximo amortiguamiento se consigue cuando el periodo de oscilación del buque coincide con el periodo del liquido en el tanque.

Debido al movimiento del líquido en el estabilizador, el máximo ángulo quasi estático de amortiguamiento se determina por:

$$\Phi_m = \frac{\rho_t g B^2 h L_t}{4 \times 2240 \Delta GMt}$$

siendo el área de las aberturas en el mamparo central, estimada como sigue:

$$\text{Area}_{\text{abertura}} = \frac{L_t (B / 2) t}{\{g (T / (2 \pi))^2 - h\}} \quad ; \text{ asumiendo el tanque con formas rectangulares}$$

donde:

$$\text{Area}_{\text{abertura}} = \text{área de aberturas(groeras)inferiores o superiores} \quad [\text{m}^2]$$

$L_t$  = longitud del tanque [m]

$B$  = ancho del tanque [m]

$t$  = espesor del mamparo longitudinal central [m]

$T$  = periodo de balance [seg]

$g = 9.81 \text{ [m seg}^2\text{]}$

## ESTABILIZADORES DE ROLIDO: NUEVAS TENDENCIAS

GMt = altura metacéntrica transversal corregida por superficie libre [m]

### v. desventaja del amortiguamiento pasivo –TANQUE DE FONDO DU:

1. debido a que el líquido de este tanque es reaprovechable, el tanque en algún momento estará vacío, por lo que se recomienda combinar con otro tipo de estabilizador como quillas –pantoque- de balance.
2. Limitada capacidad para acoplarse en todas las condiciones de estabilidad.
3. Debido a que la longitud del tanque puede inducir efectos de guiñada (yaw), se recomienda usar mamparas transversales no estancos.

### ANEXOS

TABLA II		TABLA III		TABLA IV		TABLA V	
VALORES DE X1		VALORES DE X2		VALORES DE k		VALORES DE s	
B / d	X1	Cb	X2	100 Ak / (L B)	k	T	s
<=2.4	1.00	<= 0.45	0.75	0.0	1.00	<=6	0.100
2.5	0.98	0.50	0.82	1.0	0.98	7	0.098
2.6	0.96	0.55	0.89	1.5	0.95	8	0.093
2.7	0.95	0.60	0.95	2.0	0.88	12	0.065
2.8	0.93	0.65	0.97	2.5	0.79	14	0.053
2.9	0.91	>=0.70	1.00	3.0	0.74	16	0.044
3.0	0.90			3.5	0.72	18	0.038
3.1	0.88			>=4.0	0.70	>=20	0.035
3.2	0.86						
3.3	0.84						
3.4	0.82						
3.5	0.80						

### Bibliografía

- 1.-HADLER J. B., SARCHIN T. H., Sea keeping criteria and specifications, SANAME SEAKEEPNG SYMPOSIUM, 1973
- 2.-KASTEN M., Roll Attenuation Strategies, 2002
- 3.-MILLER E. R., SLAGER J. J., WEBSTER W. C., Development of a technical practice for roll stabilization system selection, NAVSEC REPORT 1974
- 4.- OMI, Criterios de estabilidad sin avería aplicables a los buques de pasaje y a los buques de carga, 1987