

# LOS BUQUES EN MAR GRUESA

Carlos Bastías Vera  
Capitán de Corbeta

## INTRODUCCION

Las condiciones meteorológicas y el estado de mar imponen a los navegantes de todas las nacionalidades situaciones muy variadas, que van desde el gobierno de buques en aguas tranquilas hasta aquellas producidas por la mar gruesa o arbolada.

Se ha considerado de utilidad la difusión de estudios del comportamiento de buques bajo condiciones de mar gruesa, y aunque el análisis original está hecho dentro de un marco científico la presente aproximación ha sido resumida y simplificada para cumplir una función de información y aporte a los conocimientos profesionales de todo hombre de mar.

El estudio común del desplazamiento y condiciones de operación de buques está basado normalmente en ambientes de aguas detenidas o mar llana. Estas consideraciones son útiles para que los cálculos de ingeniería estén dentro de un margen pequeño de error. De cualquier modo, a medida que se superponen condiciones ambientales reales, la exactitud declina. El movimiento real de un buque en un sistema tridimensional y un mar frecuentemente hostil puede predecirse sólo dentro de un 50% de exactitud.

En un contexto general se entiende por condiciones maríneas la aptitud de un buque para mantener sus funciones normales en la mar (*seakeeping*), y su capacidad de permanecer estable como la aptitud de mantenerse confortable y producir facili-

dad de movimiento con mar gruesa (*seakindliness*).

Los estudios que se han efectuado respecto al *seakeeping* y al *seakindliness*, en varios tipos de cascos, no pueden tomarse como predicciones absolutas ya que las condiciones simuladas son diferentes de las condiciones reales en mar gruesa.

## LAS OLAS

El movimiento de las olas en mar abierto es un fenómeno no determinístico, y, por tanto, describirlo en forma analítica es extremadamente difícil. Sin embargo, mediante la teoría basada en el análisis matemático se ha obtenido una aproximación bastante cercana al fenómeno de las ondas de mar.

El período. Ciertos tipos de olas son periódicas; entre ellas, las producidas por los buques de superficie como tren de olas y las producidas en estanques de prueba de estudio de modelos. Las olas de mar producidas a mucha distancia desde donde son observadas aparecen en oportunidades como periódicas, con pequeñas desviaciones en torno a un período medio.

Todas las consideraciones anteriores son ocupadas para asimilar las ondas de mar a la teoría de ondas sinusoidales, mediante la cual pueden estudiarse las características de su período y velocidad de las crestas, que están directamente relacionadas con los esfuerzos a que está sometido el casco de un buque al ser suspendido entre las olas.

La energía de las olas. La energía de una ola es mitad cinética y mitad potencial; en forma simplificada puede expresarse como  $E = P_g L_w H^2 \cdot 1/8$ , donde  $P_g$  es el peso específico del agua (lb/pie<sup>3</sup>),  $L_w$  es el largo de onda (pies),  $H$  es la altura de la ola (pies) y  $E$  la energía por pie de ancho de ola.

De acuerdo a la expresión anterior, una ola de 600 pies de largo cuya altura sea  $L/20$ , tendría una energía cercana a 2.000 pies-tonelada por pie de ancho. Muchos de los buques que intenten operar en aguas con esa energía, obviamente, estarán fuera de control. Los instrumentos actuales han medido fuerzas de ola de 6.000 lb/pie<sup>2</sup>.

De la ecuación anterior puede apreciarse que la energía necesaria para producir una ola varía aproximadamente con el cuadrado de su altura, de modo que una ola de doble altura necesita cuatro veces más energía para sustentarse. Este es un aspecto interesante de la teoría cuando se aplica a los buques el concepto de resistencia por formación de olas. Los cargueros y remolcadores con grandes razones o coeficientes de desplazamiento contra eslora o gran eslora contra manga, producen grandes sistemas de ola que representan la energía gastada de la propulsión para mover esas grandes masas de agua por unidad de tiempo. Un destructor o un crucero tendrá a la misma velocidad una onda o tren de olas transversales notablemente menor.

### Olas generadas por el viento

Las ondas de mar son el resultado de la transferencia de la energía cinética del viento local a la superficie del mar. El alto y largo de las olas depende de la velocidad del viento, la intensidad de las ráfagas, la duración del viento y la extensión horizontal del agua sobre la que sopla el viento.

Junto a las grandes olas generadas por el viento están las olas cortas de crestas blancas que avanzan en diversas direcciones. Las olas periódicas, nombradas anteriormente, se supone que avanzan generalmente en una sola dirección, y por tanto son bidimensionales. Para ambos tipos de olas, la componente más larga viaja más rápido que la corta, y por tanto la interac-

ción puede producir combinaciones muy especiales o caprichosas en mar abierto.

Una vez pasada la tormenta, las grandes olas van disminuyendo su altura a medida que son propagadas desde su fuente, pero al llegar a aguas bajas nuevamente incrementan su altura, apareciendo como las familiares rompientes de las playas de Surping.

### MOVIMIENTOS EXPERIMENTADOS POR EL BUQUE

El movimiento de un buque en un mar tridimensional y agitado es bastante complejo pero puede resumirse, en sus grados de libertad relativos, a un sistema tridimensional de coordenadas cuyo origen coincide con el centro de gravedad del buque.

Los tres movimientos de translación son los siguientes:

1. Oleada (*surge*). Perturbación longitudinal proa-popa a lo largo del *track*, que se sobrepone a la velocidad del buque.
2. Abatimiento (*sway*). Perturbación lateral en el eje babor-estribor.
3. Alzadura (*heave*). Perturbación vertical causada por el desbalanceamiento entre el peso del buque y los cambios instantáneos de la fuerza de boyante, resultante de la acción de las olas.

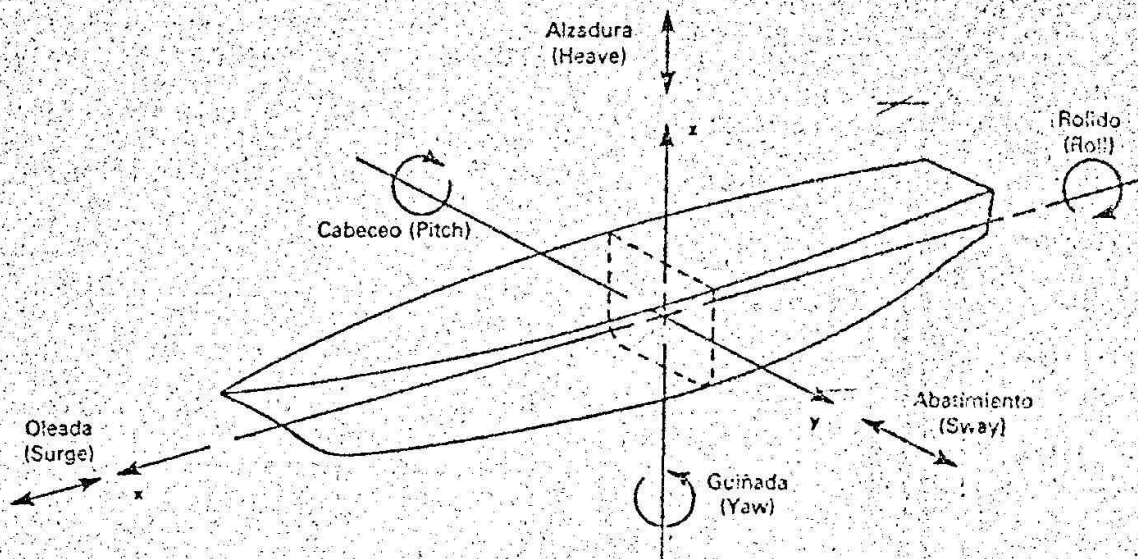
Los tres movimientos de rotación son los que se indican:

1. Rolido (*roll*). Oscilación rotatoria transversal.
2. Cabeceo (*pitch*). Oscilación rotatoria longitudinal en torno al eje babor-estribor.
3. Guiñada (*yaw*). Oscilación rotatoria sobre el eje vertical del buque.

Todos estos movimientos pueden superponerse, lo que origina movimientos realmente complejos. En marejada por la proa se producirá principalmente cabeceo, alzadura y oleada, mientras que en una marejada de través se producirá primariamente rolido, alzamiento y abatimiento.

La importancia de minimizar algunos de estos movimientos depende de la misión del buque y las condiciones de mar

Figura 1  
MOVIMIENTOS EXPERIMENTADOS POR UN BUQUE



donde se espera que mantenga sus condiciones y capacidades operacionales.

## EFFECTOS DE LOS MOVIMIENTOS EN EL CONTROL DEL BUQUE

### Movimiento de alzadura

La significación del movimiento de alzadura está relacionada con el efecto de aceleración de la masa aparente del buque. Recordando que la estabilidad transversal se expresa como producto del desplazamiento y del brazo de adrizamiento, es predecible que con mar gruesa un buque tendrá aumentos y disminuciones periódicas de su estabilidad, tal como se comporta la aceleración. En el momento de mínima gravedad aparente tendrá la menor resistencia a la escora.

### Movimiento de rolido

Este movimiento está formado por la componente de oscilación natural del buque, determinada por su periodo natural, y por la componente del periodo de las olas que producen el rolido, donde este último es generalmente el predominante.

Un buque con alto GM tendrá periodos de oscilación más largos, lo que en cierto modo es más incómodo. Los buques de guerra son diseñados con alturas metacén-

tricas determinadas para condiciones de daños probables, vientos a través, caídas a alta velocidad, etc. Estas alturas son altas comparadas con las ocupadas en buques de pasajeros, donde un valor más bajo del GM es necesario para el bienestar de los pasajeros.

### Movimiento de cabeceo y alzadura

Este movimiento, actuando como lo hace en condiciones reales, es un movimiento compuesto y produce varias condiciones desfavorables para el gobierno de buques, donde las más indeseables son la reducción de la velocidad, los golpes estrepitosos, cubiertas mojadas y las interferencias relacionadas con el funcionamiento humano y maquinaria en general.

### Movimiento de guinada

Este movimiento es generalmente atribuido a tres factores adicionales a los problemas de un mal gobierno: 1, desequilibrio de las presiones estáticas a lo largo del casco; 2, movimiento orbital del agua componente de la ola en mar gruesa, y 3, acción giroscópica.

Generalmente, con mar gruesa el perfil de la ola en ambas bandas del buque no es el mismo, y por ello la posición longitudinal

Figura 2

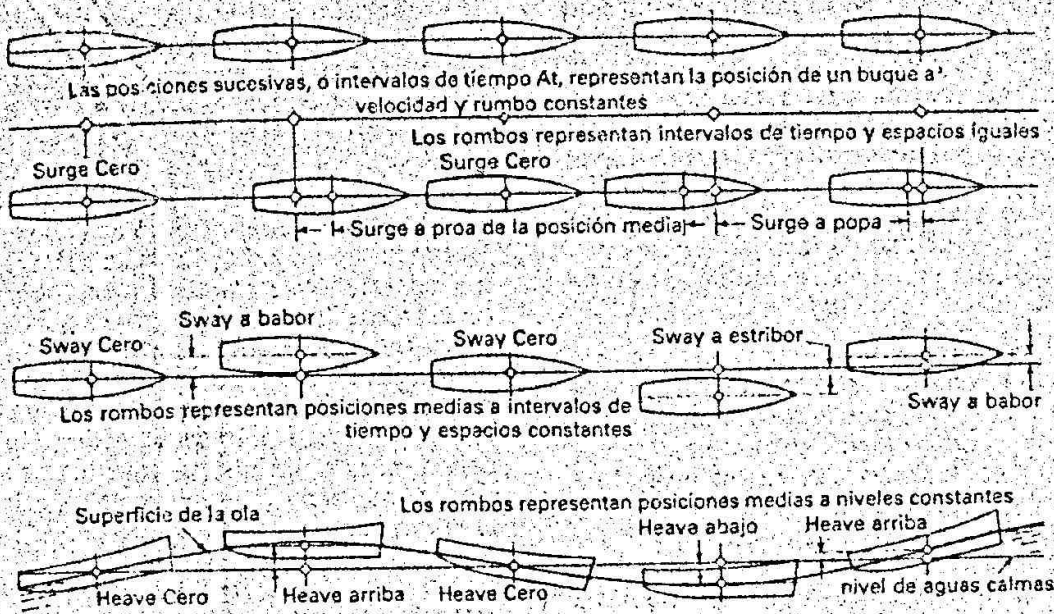
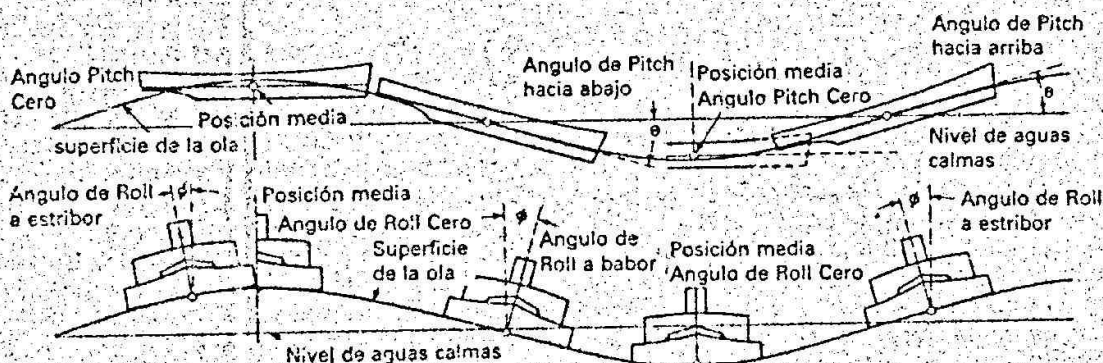


DIAGRAMA ILUSTRATIVO PARA EL SURGE, SWAY Y HEAVE COMO FUNCIONES LINEALES DESDE UNA POSICION MEDIA



El rolido, cabeceo y yawing son considerados como fluctuaciones angulares desde una posición media

ILUSTRACION PARA EL PITCH, ROLL Y YAW COMO FLUCTUACIONES ANGULADAS DESDE POSICIONES MEDIAS

del centro de presión de una banda respecto de la otra es también diferente. En la medida que cambia el perfil de la ola, la cupla o par que produce la guiñada cambia de magnitud y dirección produciendo oscilación. Se compensa debidamente con acciones anticipadas de timón.

El movimiento orbital del agua componente de la ola produce una fuerza en la cresta y otra diferente en el fondo. Estas variaciones producen esfuerzos oscilantes sobre el casco del buque. Esta acción no puede contrarrestarse debidamente con movimientos de timón, ya que el agua en

las inmediaciones de éste se mueve de la misma manera produciendo una reducción en la cupla de caída desarrollada por el timón. Esta pérdida es especialmente crítica cuando el timón no está situado en el flujo de la hélice. Si el mar está realmente malo y se producen guiñadas de magnitud, el mejor medio para combatirlo, en un buque de varias hélices, es la variación opuesta de la velocidad de los ejes. En algunos casos, estibando con asiento puede ser de utilidad.

Los métodos históricamente más usados para contrarrestar los efectos de una mar gruesa han sido la reducción de la velocidad, para evitar el daño estructural producido por los fuertes golpes sobre los fondos y el embarco de agua por la proa. El rumbo es usado no sólo para alejarse de la tormenta sino también para disminuir los efectos de las olas que producen todos los disturbios anteriormente mencionados.

## SISTEMAS DE AMORTIGUAMIENTO

### Quillas laterales

El efecto de estos dispositivos es aumentar la resistencia a la escora debida al efecto viscoso de las fuerzas de Eddy, que son producidas por la turbulencia y la discontinuidad del fluido alrededor de los apéndices. De los resultados experimentales, y también de los reales, se ha concluido que las quillas laterales son más efectivas cuando el buque está en movimiento que cuando está detenido. Esto sugiere que hay un efecto dinámico de sustentación en la sección de proa de las quillas laterales. Su efecto general puede ser mejorado construyéndolas en secciones cortas en vez del sistema continuo tradicionalmente instalado.

### Aletas estabilizadoras

Son aletas exteriores que producen un

par contrario al escorante. El movimiento es proporcionado por sistemas hidráulicos controlados por un sensor giroscópico; son ampliamente usadas y conocidas, por lo que no se explicarán detalladamente.

### Estanques antlescora

En líneas generales, sólo el Sistema Frahm ha tenido éxito. Consiste en un sistema de estanques situados a cada banda, que están unidos en su parte baja por cañerías que producen la comunicación de aguas. En su parte superior están unidos por una cañería de aire equipada con válvulas, cuyo ajuste permite el control de la cantidad de agua que se transfiere entre estanques y el desfase entre este traspaso y la escora. Este desfase se ajusta en 90°, de manera que el agua en la unión horizontal siempre fluye hacia el estanque más bajo, creando un momento amortiguador al par escorante o de restitución.

### Giroestabilizadores

La acción de este elemento está basada en el principio elemental del giróscopo. Requiere de rotores de gran masa; se ha usado con mejores resultados en embarcaciones pequeñas, debido a las limitaciones estructurales de tamaño y masa. Los buques mayores no permiten su uso adecuado, y dependen casi exclusivamente de las aletas estabilizadoras y estanques antiescora.

\*\*\*

Por ser frecuente encontrar en nuestro litoral condiciones de mar que dificultan el gobierno de los buques y someten a pruebas exigentes tanto a la estructura de ellos como también a la pericia y habilidad de sus comandantes, el análisis anterior puede contribuir a facilitar el mejor conocimiento de los sistemas de estabilización y de gobierno de los buques, posibilitando un empleo más eficaz de ellos.

## BIBLIOGRAFIA

- GILMER JOHNSON: *Introduction to naval architecture*, Naval Institute Press, United States of America.