

Teoría del Buque y Construcción Naval

© Andrés Ruiz

San Sebastián – Donostia

43° 19'N 002°W

<http://www.geocities.com/andresruizgonzalez/>

Teoría del Buque	2
Flotabilidad	3
Estabilidad	4
Estabilidad Estática Transversal	5
Estabilidad Estática Longitudinal.....	6
Movimiento, carga y descarga de pesos.....	8
Superficies libres.....	10
Estabilidad Dinámica Transversal.....	11
Movimiento del buque.....	13
Varada.....	15
 Construcción Naval	 16
Esfuerzos	17
Quebranto	17
Arrufo.....	17
Material.....	18
Madera	18
Acero	18
Aluminio aleado.....	18
Ferrocemento	18
Composites.....	18
Materiales de última tecnología.....	18
Tipos de construcción naval.....	19
Longitudinal	19
Transversal	19
Mixto	19

Teoría del Buque

Dentro de las ciencias náuticas, la Teoría del Buque, trata los siguientes temas:

Estática ($V = 0$)

- **Flotabilidad**, estudia el buque como un flotador que mantiene una posición definida con respecto a la superficie del agua.
- **Estabilidad**, estudia el comportamiento del buque cuando una fuerza interna o externa modifica su posición de equilibrio.

Dinámica ($V \neq 0$)

- **Resistencia**, estudia las resistencias que se oponen al movimiento del buque (avance y atrás) y la fuerza necesaria para vencerlas.
- **Propulsión**, estudia el movimiento que ejerce el medio propulsor del buque (remos, vela, hélices, etc.)
- **Maniobrabilidad**, estudia el control sobre el cambio de rumbo del buque.
- **Comportamiento en la mar**, estudia la interacción buque-ola.

Estática: Fundamentos de hidrostática. Geometría del buque: formas, coeficientes. Curvas hidrostáticas. Compartimentado. Estabilidad transversal a pequeños ángulos. Estabilidad transversal a grandes ángulos. Criterios de estabilidad. Estabilidad longitudinal y trimado. Inundación. Efecto sobre los calados y trimado. Subdivisión. Esloras inundables. Métodos probabilísticos.

Resistencia: División de la resistencia en sus componentes y análisis dimensional. Resistencia de fricción en placas planas. Resistencia de presión de origen viscoso. Separación de la capa límite. Efectos de escala. Estimulación de turbulencia. Rugosidad. Métodos de correlación. Resistencia por formación de olas. Resistencia en aguas poco profundas. Resistencia del aire. Resistencia de apéndices. Influencia de las formas en la resistencia. Bulbos. Buques rápidos y no convencionales. Series sistemáticas y métodos de cálculo de potencia. CFD (cálculos de Mecánica de Fluidos por ordenador)

Propulsión: Tipos de potencia propulsiva y de rendimientos. Geometría de la hélice. Análisis dimensional en hélices. Leyes de semejanza. Ensayos del propulsor aislado. Teoría de la cantidad de movimiento. Teoría del elemento de pala. Interacción hélicecarena. Estela y succión. Ensayos de autopropulsión. Correlación (Método ITTC-78). Cavitación. Series sistemáticas de propulsores. Proyecto de hélices por Series Sistemáticas

Maniobrabilidad: Cualidades de maniobrabilidad. Maniobras e índices representativos. Ecuaciones del movimiento completas y simplificadas. Timones. Tipos. Fuerzas

Comportamiento en la mar: Definición, historia, utilidad y encuadre en la teoría del buque del Comportamiento del Buque en la mar. Introducción a la descripción probabilista de la mar. Las olas marinas: su naturaleza, generación, descripción y selección para su uso en el Comportamiento del Buque en la mar. Introducción a la teoría lineal de funciones de transferencia; su obtención por métodos numéricos y experimentales.

Flotabilidad

Definiciones

- **Calado:** máxima dimensión sumergida del casco medida verticalmente. Depende del desplazamiento.
- **Reserva de flotabilidad:** Vol(superficie de flotación, cubierta superior) + Vol espacios
- **Francobordo:** Distancia vertical en la mitad de la eslora entre la línea de flotación y la cubierta principal.
- **Carena:** obra viva, parte sumergida. Vol carena = vol líquido desalojado.
- **Desplazamiento máximo:** con todos los equipos, depósitos llenos, toda la tripulación.
- **Arqueo:** s/ 94/25/CE para eslora $L < 24$ m; $A = k L B^2$, B: manga

Principio de Arquímedes

Todo cuerpo sumergido en un líquido experimenta un empuje vertical, de abajo hacia arriba, igual al peso del líquido que desaloja.

Desplazamiento

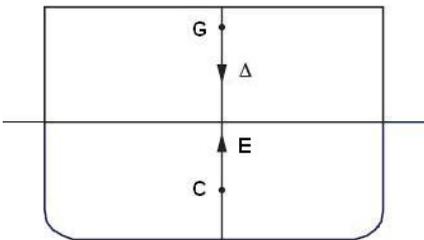
- $\Delta = mg = \text{Peso(volumen de liquido desalojado)}$
- aplicado en el **centro de gravedad** del buque, **G**.

Empuje

- $E = \rho Vg$, resultante de todas las presiones ascendentes sobre el cuerpo sumergido
- aplicado en el **centro de carena**, **C** = cdg(Carena)
 - $g = 9.8$ m/s
 - ρ - densidad del líquido
 - V - volumen del líquido

En el **equilibrio:** $E = \Delta$

- Las dos fuerzas están sobre la misma vertical



Asiento y alteración

Asiento: $A = \text{calado popa} - \text{calado proa}$.

- aproante $A < 0$ G a proa de C
- apopante $A > 0$ G a popa de C

Alteración: $a = A2 - A1$

Dos formas de calcularla:

$$\begin{array}{ll} A1 = C1_{pp} - C1_{pr} & apr = C2_{pr} - C1_{pr} \\ A2 = C2_{pp} - C2_{pr} & app = C2_{pp} - C1_{pp} \\ a = A2 - A1 & a = app - apr \end{array}$$

Estabilidad

Clases

La estabilidad de un buque, es la propiedad que tiene de recuperar su posición de equilibrio cuando la pierde por alguna causa.

- **Estabilidad Estática:** agua en reposo
 - **Transversal:** GM
 - **Longitudinal:** GM_L es muy grande y no da problemas
- **Estabilidad Dinámica:** afectado del viento y olas
- **Inicial:** para escoras $\theta \leq 10^\circ$.
- **para grandes inclinaciones:** $\theta > 10^\circ$.

Curvas Hidrostáticas

Curvas Hidrostáticas $X = f(\text{calado [m]})$

- Para el buque en aguas iguales: $C_{proa} = C_{popa}$
- en caso contrario se entra con el calado medio: $C_m = (C_{proa} + C_{popa})/2$ [m]

Desplazamiento	Δ	tn
Altura Metacéntrica Transversal	KM	cm
Ordenada del Centro de Carena	KC	m
Abscisa Centro de Carena	pPpC	m
Abscisa Centro de Flotación	pPpF	m
Toneladas por cm de Inmersión	Tc	tn/cm
Área de Flotación	AF	m ²
Momento de Asiento Unitario	Mu	m tn / cm
Metacentro Longitudinal	KML	m
Volúmenes	Vol	m ³

pPpC Perpendicular de popa a C

XC respecto al centro de eslora, hacia popa

XF respecto al centro de eslora, hacia proa

Epp Eslora entre perpendiculares

$XG = Epp/2 - pPpG$

$XC = Epp/2 - pPpC$

$XF = Epp/2 - pPpF$

$CG = XG - XC = pPpC - pPpG$

Curvas Pantocarenas

KN [m] = $f(\Delta, \theta)$

Desplazamiento Δ [tn]

Escora θ [°]

Criterios de estabilidad para embarcaciones de recreo:

Circular 7/95

- En carga máxima: Francobordo $> \max(0.2 \cdot \text{Manga}, 0.30 \text{ m})$

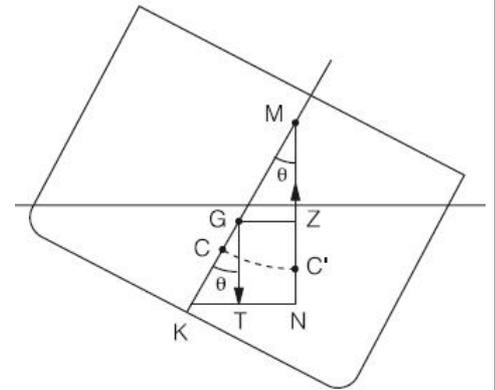
Criterio de IMO

Estabilidad Estática Transversal

Equilibrio

Cuando por efecto de un balance, el buque se inclina, el centro de carena se traslada, cambiando por lo tanto el punto de aplicación del empuje del agua. Y se crea un par de adrizamiento transversal que obliga al buque a recuperar su posición inicial.

- **Metacentro transversal: M = eje vertical crujía \cap vertical por C** (empuje)
- **GM = altura metacéntrica transversal**
- **CM = radio metacéntrico transversal**



Equilibrio:

Estable	$GM > 0$	$ZM > ZG$	Par adrizante
Indiferente	$GM = 0$	$ZM = ZG$	$G \equiv M$
Inestable	$GM < 0$	$ZM < ZG$	Par escorante

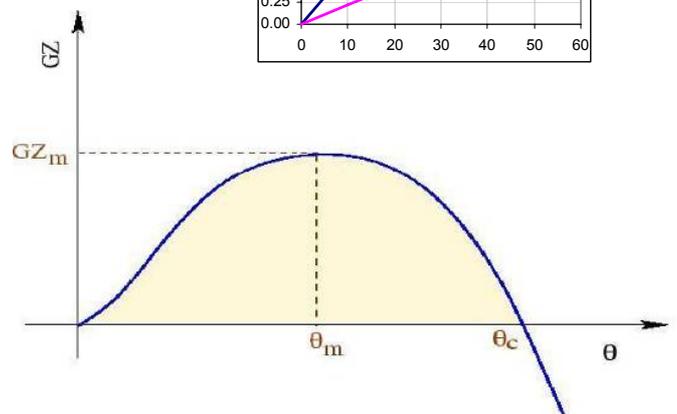
K quilla

Curva de estabilidad transversal

- **GZ = GZ(theta)**: Curva de brazos adrizantes, o curva envolvente de los brazos GZ.
- θ : Escora
- **KN**: brazo de palanca
- **GZ**: brazo del par adrizante
- **Momento del par de adrizamiento: M = $\Delta \cdot GZ$**
- $GZ = TN = KN - KT$
- $KT = KG \sin \theta$
- **$GZ = KN - KG \sin \theta = GM \sin \theta$**

- θ_c : Límite de estabilidad
- $\theta > \theta_c$ GZ = 0, estabilidad negativa; el buque vuelca.

M ∇ vertical crujía

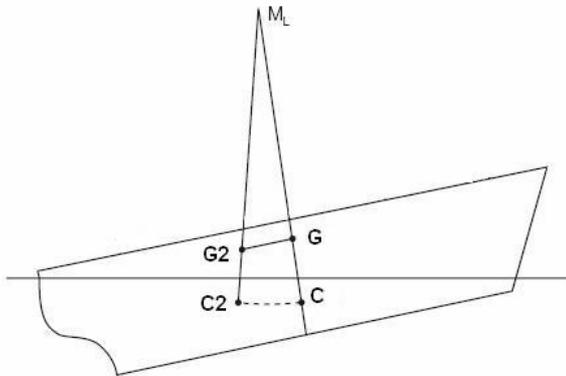


Características de la curva de estabilidad

- $GZ = 0$ para $\theta = 0$, $\theta = \theta_c$
- Para $\theta < 10^\circ$, estabilidad inicial, $GZ \approx GM \theta$
- $GZ = \max$ para $\theta \approx 30^\circ, 35^\circ$
- $\theta_c > 70^\circ$
- $\theta > \theta_c$ equilibrio inestable
- $\theta = \theta_c + d\theta$ zozobra
- si $GZ \leq 0$ vuelco
- Al aumentar la inclinación en origen, aumenta la estabilidad inicial
- Al aumentar θ_c , aumenta el margen de estabilidad
- Brazo máximo adrizante = GZ max, al aumentar aumenta la estabilidad
- (Área bajo la curva GZ) = W(par adrizante)

Estabilidad Estática Longitudinal

La estabilidad estática longitudinal es la propiedad del buque de recuperar su posición de equilibrio longitudinal, al ser apartado de él por alguna acción. Al ser la eslora la dimensión predominante, la estabilidad estática longitudinal de un buque es muy grande; se esta siempre dentro de la estabilidad inicial.



- **M_L Metacentro longitudinal:** línea de empuje inicial \cap línea de empuje final del agua
- **CM_L Radio Metacéntrico longitudinal**

Cabeceo: Movimiento de oscilación longitudinal del barco, se produce alrededor del eje de inclinación longitudinal, que es un eje transversal que pasa por el centro de flotación.

Momento de asiento unitario

Momento unitario es el momento necesario para variar el asiento 1 cm

$$\mu = \Delta GML / (100L)$$

- μ [m tn / cm]
- GML altura metacéntrica longitudinal
- L: eslora

Aproximación: $\mu = 7.44 Tc^2 / B$

- Tc [cm tn] peso de agua de mar necesario para sumergir 1 cm el buque
- B: manga

Cambio del asiento por traslado, carga y/o descarga de pesos

El calado aumenta en el lado hacia el que se lleva el peso, y lo disminuye en el lado contrario.

Carga de un peso

1. **Inmersión** - El peso se carga en la vertical de F, el buque aumenta el calado en ambas cabezas por igual.
 - **Inmersión:** $l = p / Tc$ [cm]
 - p: peso cargado
2. **Alteración** - El peso se traslada a su posición final, alterando los calados.
 - $C_{2pr} = C_{1pr} + l + apr$
 - $C_{2pp} = C_{1pp} + l + app$

Calados

CH(Cm) -> Δ , XC, XF, μ

Cdg2

$$A = \Delta(XG - XC) / \mu$$

Reparto de la alteración

XF: posición real del centro de flotación F. (No el que dan las curvas hidrostáticas, que corresponde al buque en aguas iguales)

L: eslora

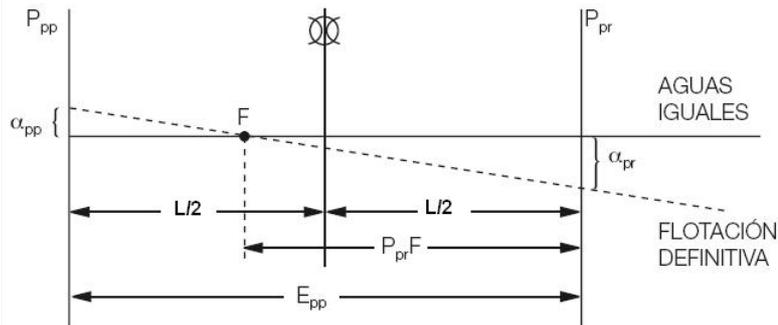
$$\text{aproa} = a(L/2 + XF)/L$$

$$\text{apopa} = a - \text{aproa}$$

$$C2\text{proa} = C1\text{proa} + \text{aproa}$$

$$C2\text{popa} = C1\text{popa} + \text{apopa}$$

Asiento y Reparto del asiento



$$A = \Delta(XG - XC) / Mu$$

- XG: distancia del cdg a la perpendicular media
- XC: distancia del centro de carena a la perpendicular media, flotando en aguas iguales

Depende de la posición de F, (del buque en aguas iguales), A se reparte entre la proa y la popa:

$$A = \alpha_{pr} + \alpha_{pp}$$

$$\alpha_{pr} = A P_{pr} F / E_{pp} = A / L(L/2 + XF)$$

$$\alpha_{pp} = A - \alpha_{pr}$$

$$C_{pr} = C_m \mp \alpha_{pr}$$

$$C_{pp} = C_m \pm \alpha_{pp}$$

Movimiento, carga y descarga de pesos

Efectos en la estabilidad estática transversal del traslado, carga y descarga de pesos

El traslado de un peso p de A a B, tiene el mismo efecto que una descarga de p en A, y una carga de p en B.

Traslado:

- **Vertical**, modifica la altura metacéntrica transversal GM
- **Transversal**, produce una escora permanente θ
- **Longitudinal**, modifica el asiento A

Carga y Descarga de Pesos:

Carga	Descarga	GM	Estabilidad
por debajo del cdg	por encima del cdg	+	+
por encima del cdg	por debajo del cdg	-	-

Traslado vertical de pesos

Al bajar el peso P, el cdg G baja, y viceversa. +GM luego +estabilidad
 $GG' = p \, dv/\Delta$

Traslado transversal de pesos

G se traslada $GG' = p \, dt/\Delta$

El buque se escora θ hasta que los nuevos G y C están en la misma vertical.

$$\tan \theta = p \, dt / (\Delta \, GM) = GG'/GM$$

Traslado longitudinal de pesos

$GG' = p \, dL/\Delta$ en dirección paralela al traslado del peso

El calado aumenta en el lado hacia el que se lleva el peso, y lo disminuye en el lado opuesto.

Para un peso p , trasladado longitudinalmente:

$$p \, dL = a \, Mu \quad a =$$

Caso general

Sistema de referencia

- Origen: K, situado en la parte inferior de la quilla, en la intersección del plano de crujía con la cuaderna maestra
- Z - Eje vertical, hacia arriba K quilla
- Y - Eje transversal, hacia estribor CL plano de crujía
- X - Eje longitudinal, hacia popa X centro de eslora

Coordenadas iniciales del cdg

Curvas Hidrostáticas (Cm): Δ , KM, Mu, XC, XF

$$ZG = KG = KM - GM$$

Adrizado YG = 0

Escorado YG = CLG = GM tan(θ)

A = Cpopa - Cproa

A Mu = Δ (XG-XC); XG =

Coordenadas finales del cdg

$$\Delta_2 ZG_2 = \Delta_1 ZG_1 + \sum p k$$

$$\Delta_2 YG_2 = \Delta_1 YG_1 + \sum p cl$$

$$\Delta_2 XG_2 = \Delta_1 XG_1 + \sum p x$$

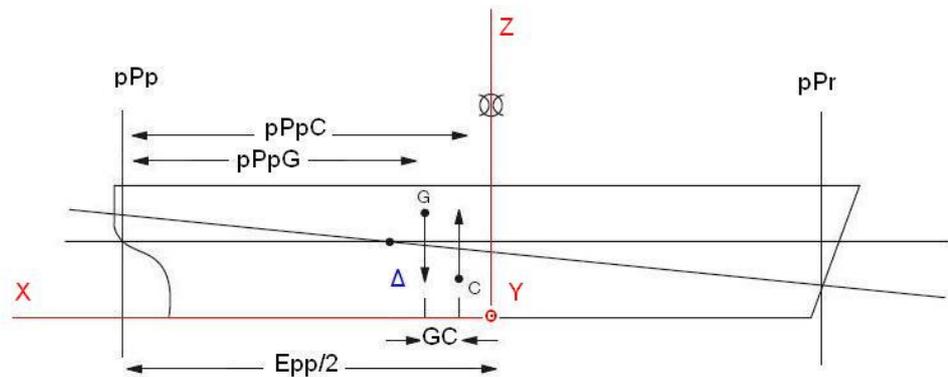
carga (+)

descarga (-)

$$\Delta_2 = \Delta_1 + \sum p \text{ cargados}$$

$$ZG_2 = KG_2$$

$$YG_2 = CLG_2$$



Estado final

Curvas Hidrostáticas (Δ_2): KM, Mu, XC, XF

Curvas Pantocarenas (Δ_2): KN

1. Altura metacéntrica final

- $GM = KM - KG_2$

2. Escora producida

- $\tan(\theta) = CLG_2 / GM$

3. Calados finales

- $A = \Delta_2 (XG_2 - XC) / Mu$
- $A_{proa} = A/E (E/2 + XF)$
- $A_{popa} = A/E (E/2 - XF)$
- Se cumple: $A = A_{proa} + A_{popa}$
- $C_{proa} = Cm \mp A_{proa}$
- $C_{popa} = Cm \pm A_{popa}$

4. Curva de estabilidad final

- $GZ = KN - KG_2 \sin \theta$

Superficies libres

Efectos sobre estabilidad estática transversal

Tanque totalmente lleno

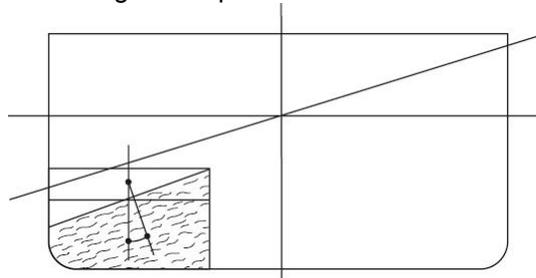
El líquido se comporta como un sólido; su cdg no cambia al escorar.
Su llenado equivale a la carga de un peso.

Tanque parcialmente lleno

Al escorarse:

- El buque varia la superficie libre del líquido que contiene el tanque.
- $Cdg = f(\theta)$, afecta a la estabilidad del buque.
- Al variar la geometría del líquido contenido en el tanque, el cdg de este cambia de posición.
- En consecuencia el cdg del buque cambia.

El efecto es producir una subida virtual del cdg del buque.



Corrección por superficies libres

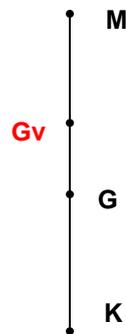
La subida virtual del cdg se calcula por:

$$GGv = \frac{\sum (I \rho)}{\Delta}$$

- ρ - densidad del líquido del tanque
- $I = \frac{1}{12} e m^3$ para un tanque rectangular
 - m - manga
 - e - eslora

$$GvM = GM - GGv$$

$$GvZ = GZ0 - GGv \sin(\theta)$$



Estabilidad Dinámica Transversal

Definición

Es el trabajo necesario para hacer escorar el buque un ángulo determinado.

$$GZ = KN - KG \sin \theta$$

$$ED = \int_{\Delta} GZ \, d\theta \quad [\text{m tn rad}]$$

La causa de la escora puede ser:

- Interna: desplazamiento brusco de pesos
- Externa: viento, mar, etc

Hipótesis:

1. Las resistencias del aire y del agua son nulas
2. El movimiento de giro del buque se realiza lentamente
3. El eje de inclinación transversal es constante

Cuando un barco se escora de forma no permanente, se forma un par de adrizamiento, de brazo GZ y momento $\Delta * GZ$, que tiende a devolverle a su posición de equilibrio. Este par se resiste al movimiento de escora de la embarcación, el trabajo que desarrolla se denomina estabilidad dinámica del barco.

$$ED = W(\text{par escorante o motor}) = W(\text{par adrizante o resistente})$$

ED = área entre la curva de Estabilidad estática transversal y el eje de abscisas

$$\text{Brazo de estabilidad dinámica o Brazo adrizante dinámico} = \int GZ$$

Cálculo discreto

Geoméricamente, la integral de la ED representa el área existente entre la curva GZ y eje de abscisas.

$$ED = \Delta \sum \frac{1}{2} (GZ_{i+1} + GZ_i)(\theta_{i+1} - \theta_i)$$

$$[\theta] = \text{rad}$$

Se suele tomar $\theta_i = 0, 15, 30, 45, 60^\circ, \dots$

Cálculo analítico

$$GZ(\theta) = KN(\Delta, \theta) - KG \sin(\theta)$$

Para un desplazamiento dado $\Delta = \text{cte}$, y ajustando KN por mínimos cuadrados a un polinomio de cuarto grado:

$$KN(\theta) = a_0 + a_1\theta + a_2\theta^2 + a_3\theta^3 + a_4\theta^4$$

Integrando entre 0 y θ :

$$ED(\theta) = \Delta (a_0\theta + 1/2a_1\theta^2 + 1/3a_2\theta^3 + 1/4a_3\theta^4 + 1/5a_4\theta^5 + KG (\cos(\theta)-1))$$

Reserva de estabilidad

Efecto sobre la estabilidad dinámica del viento y mar

La estabilidad dinámica de un barco es la *energía productora de estabilidad* que tiene acumulada, y que le va a permitir contrarrestar la acción de las fuerzas desestabilizadoras que tienden a hacerle escorar, (rachas de viento, golpes de mar, corrimientos bruscos de carga, ...)

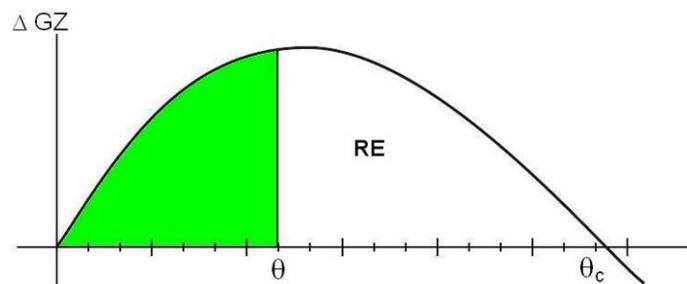
Reserva de estabilidad

Es la *energía estable* que tiene acumulada el buque, y que le va a permitir resistir acciones que tiendan a apartarlo de su posición de equilibrio estable.

Al desaparecer la causa que produce la escora, la reserva de estabilidad, hace que este vuelva a recuperar su posición inicial.

- Buque adrizado $\theta=0$: $RE = \int_0^{\theta_c} \Delta \cdot GZ \cdot d\theta$
- Buque escorado θ : $RE = \int_{\theta}^{\theta_c} \Delta \cdot GZ \cdot d\theta$

Si $RE = 0$, el buque da la vuelta.



Ángulo de equilibrio estático o ángulo de escora permanente

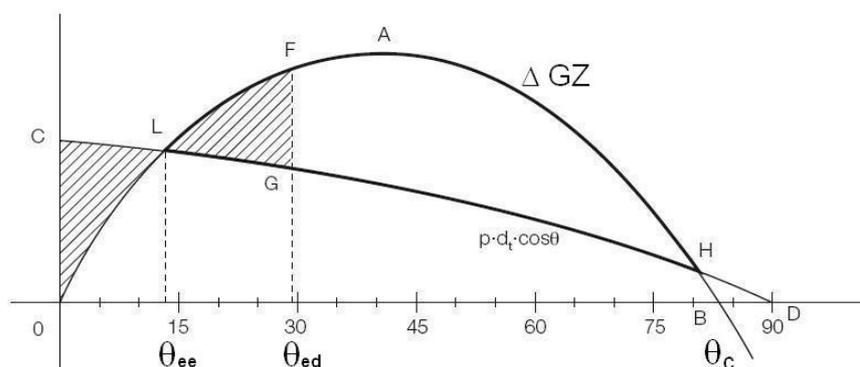
Es el ángulo de escora para el cual el momento adrizante es igual al momento escorante.

- Para una escora θ producida por el desplazamiento dt de la carga p : $\Delta GZ = p \cdot dt \cdot \cos(\theta)$

Ángulo de equilibrio dinámico o ángulo de máximo bandazo

Es el ángulo de escora para el cual el trabajo del par adrizante es igual al trabajo del par escorante.

θ_{ee}	ángulo de equilibrio estático	M adrizante = M escorante
θ_c	ángulo crítico de equilibrio estático	$GZ = 0$
θ_{ed}	ángulo de equilibrio dinámico	W adrizante = W escorante
θ_{cd}	ángulo crítico de equilibrio dinámico	



Movimiento del buque

Un buque bajo los efectos del oleaje y el viento, es desviado de su posición de equilibrio adrizado, siendo sometido a un movimiento oscilatorio que por rozamiento se va debilitando, tendiendo a su posición de equilibrio inicial.

En aguas tranquilas

- **Oscilación simple:** la que efectúa el barco desde que esta escorado θ a una banda, hasta que lo esta el mismo ángulo a la banda contraria.
- **Oscilación doble:** la que efectúa el barco desde que esta escorado θ a una banda, hasta que vuelve a estar en la misma posición.

Período doble o natural de balance: Td [s]

$$T_d = 2\pi \sqrt{\frac{I}{\Delta \cdot GM}}$$

- I = momento de inercia de todos los pesos que constituyen el desplazamiento del barco, respecto al eje de giro contenido en el plano diametral.
- Válida para una escora dentro de la estabilidad inicial.

$$T_d = \frac{K \cdot B}{\sqrt{GM}}$$

- K = 0.77 ÷ 0.80
- B = manga [m]
- GM = GMv o GMc Altura metacéntrica virtual o corregida

Relación con la estabilidad transversal inicial

- En balances rápidos Td es pequeño, por lo tanto GM es grande
- En balances lentos Td es grande, por lo tanto GM es pequeño

En aguas agitadas

- **Balance absoluto:** ángulo formado por el plano diametral con la vertical verdadera, (perpendicular a la superficie de las aguas tranquilas)
- **Balance relativo:** ángulo formado por el plano diametral con la vertical aparente, (perpendicular al perfil de la ola)

Resistencia al avance del buque

Rf - Resistencia a la fricción

Debida al rozamiento entre el casco y las moléculas de agua.
Supone el 75% de la resistencia total.

$$R_f = K_f \rho S V^m \quad [\text{kg}]$$

- $K_f = 0.14$
- ρ : densidad del agua
- S : superficie de carena [m²] $S = 1.7 L C \Delta/C$
- C : calado
- V : velocidad [m/s]
- $m = 1.825$

Rd - Resistencia directa o por formación de remolinos

Debida al flujo laminar o turbulento. No suele ser superior al 8%Rf, dado el diseño hidrodinámico de los cascos

Ro - Resistencia por formación de olas

Un buque en su avance produce un tren de olas que se propagan alejándose del sentido de la marcha. Son de dos tipos:

- Divergentes. Se forman a proa y popa, formando unos 40° con el eje longitudinal
- Transversales. Perpendiculares al eje longitudinal

$$R_o = K_o \Delta^{2/3} V^4 / L$$

- L : eslora
- V : velocidad (kt)
- $K_o = 0.05 \div 0.08$

Resistencia total

$$R_t = R_f + R_d + R_o$$

De forma aproximada:

$$R_t = K S_m V^2$$

- $K = 5 \div 6$
- S_m : superficie de la cuaderna maestra sumergida [m²]
- V : velocidad (m/s)

Resistencia al aire

- Aire en reposo
- Viento

$$R_{\text{aire}} = 0.03 R_{\text{agua}}$$

$$R_{\text{aire}} = k_a A (V + V_v \cos \alpha)^2$$

- $k_a = 0.025 \div 0.032$
- A : área de la sección transversal de la obra muerta expuesta al viento
- V : velocidad (m/s)
- V_v : velocidad del viento (m/s)
- α ángulo(proa, viento) de proa $\alpha = 0^\circ$, de popa $\alpha = 180^\circ$

Otros

- Estado de la mar
- Estado del casco
- Profundidad de las aguas
- Canales estrechos y ríos

Varada

El hecho de embarrancar, encallar, o varar, supone que el casco de la embarcación toca fondo en aguas poco profundas.

- Varada en puerto o río
- Varada en la costa

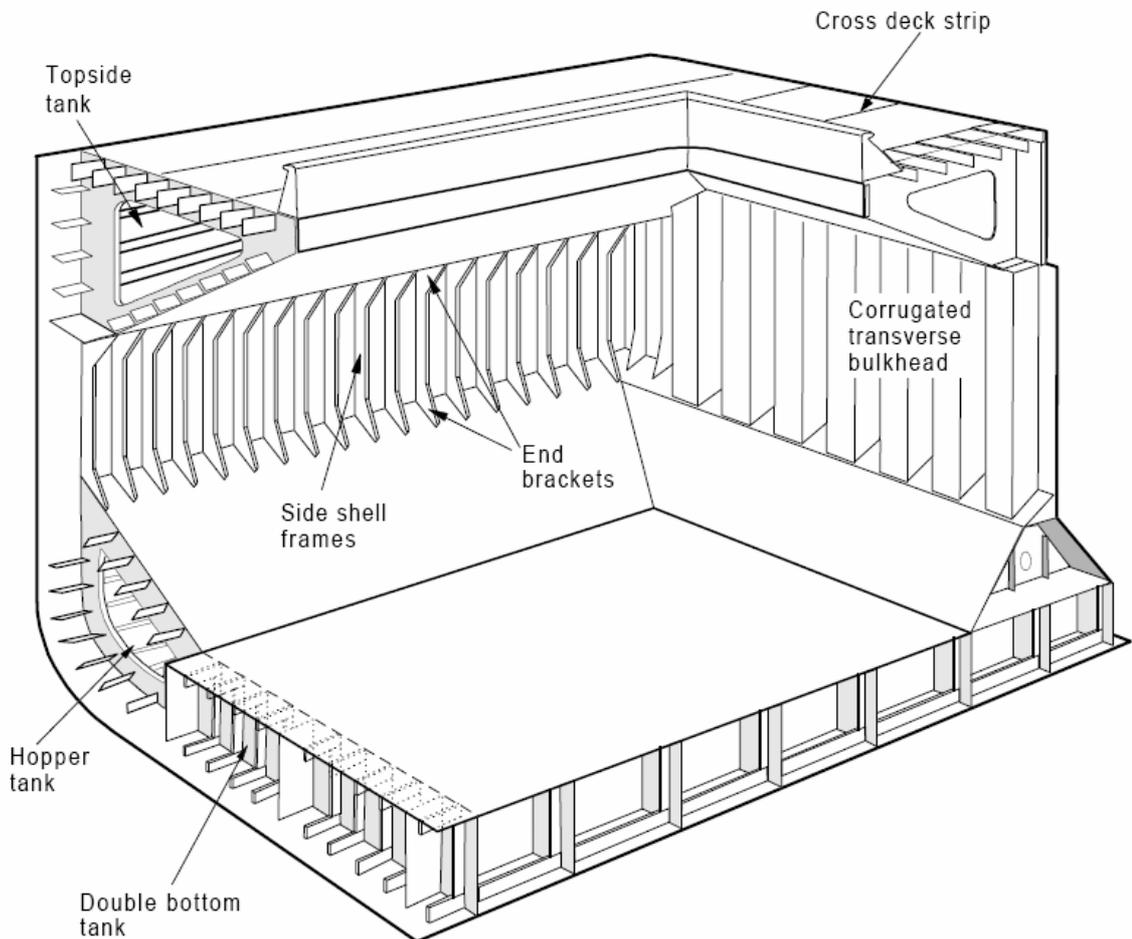
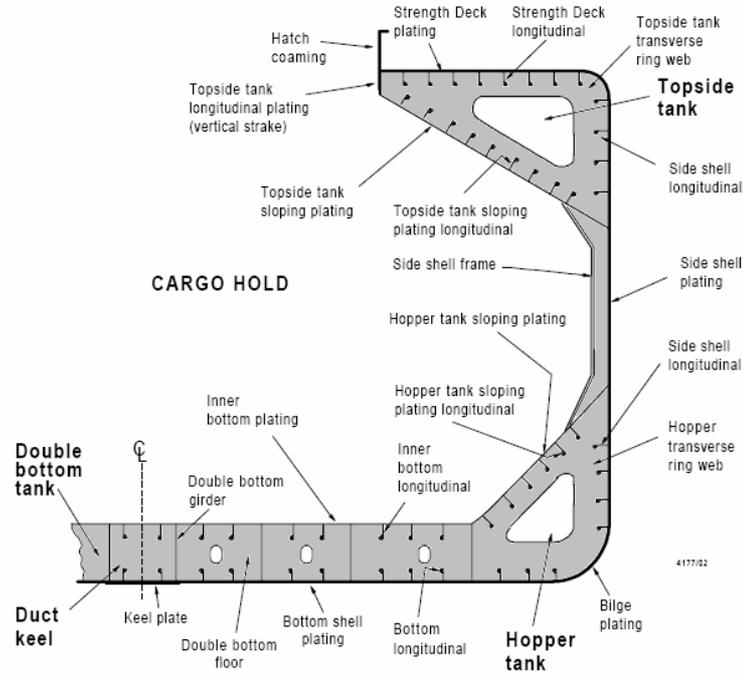
Operaciones a realizar para quedar libre de la varada

1. Inmovilizar el buque con anclas y cabos a tierra para evitar mayores daños
 2. Aligerar carga
 3. Esperar a la pleamar
- Descargar peso en la vertical del punto de varada = reacción del fondo
 - Descargar un peso tal que origine un momento que anule la escora y la disminución de calado en la cabeza varada.

Reacción sobre el fondo

- Al bajar la marea, disminuyen los calados en l cm
- El barco tiene el mismo desplazamiento, pero el empuje disminuye en R , que es la reacción del fondo en el punto de varada.
- $I = C1 - C2$
- $R = I * Tc$
- R sería el peso a descargar para quedar libre de la varada.

Construcción Naval



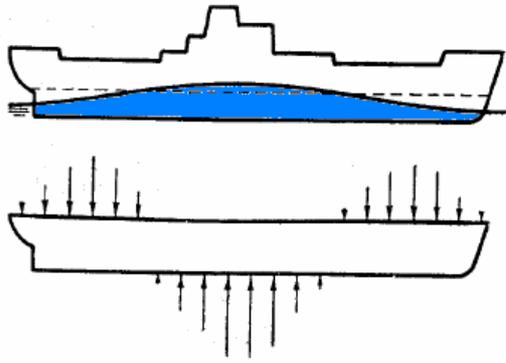
Esfuerzos

En navegación los esfuerzos dinámicos que sufre el casco de un buque dependen de la derrota que sigue en relación a la mar de fondo y de viento.

Navegando entre olas, la estructura del buque atraviesa crestas y senos. Cuando la longitud de onda de la ola es aproximadamente igual a la eslora del buque, se pueden dar dos situaciones que son las más desfavorables para la estructura de la nave, y que según progresa entre las olas se van alternando.

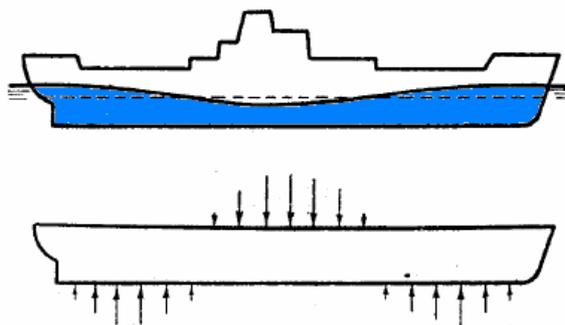
Debido a que la dimensión predominante es la eslora frente a la manga, los mayores esfuerzos a que está sometido un buque son longitudinales de flexión, y son máximos en la zona del casco próxima al centro de eslora.

Quebranto: esfuerzo que se da en el momento en que el centro está en la parte más alta de una ola y las cabezas de proa y popa en las partes más bajas contiguas.



Esfuerzo de quebranto.

Arrufo: esfuerzo producido cuando el buque navega con sus cabezas en las crestas de dos olas y su centro en el seno.



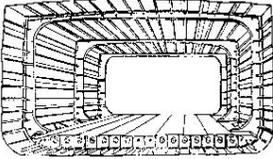
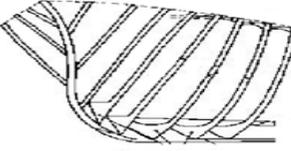
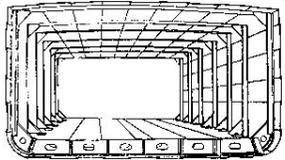
Esfuerzo de arrufo.

Estos esfuerzos pueden darse en aguas tranquilas si la distribución de carga en el buque no es la adecuada. Y en una situación de varada según se apoye en su proa y en su popa, o en su parte central.

El diseño en construcción naval tiene en cuenta estos esfuerzos, eligiendo los materiales y el tipo de construcción más adecuados para tipo de embarcación.

Material	+	-
Madera	Buena resistencia y rigidez Buena flexibilidad y ligereza Buena flotabilidad	Coste Mantenimiento Putrefacción
Acero	Facilidad de fabricación Resistente y dúctil	Peso elevado Corrosión
Aluminio aleado	Ligereza Resistencia a la corrosión (Al + Mg + Si + Mn)	Menor rigidez que el acero Coste
Ferrocemento	Facilidad de fabricación	Difícil control del proceso productivo
Composites	Facilidad de fabricación Coste ajustado Resina de poliéster + fibra de vidrio: idóneo para las embarcaciones de recreo Facilidad de reparación	Osmosis
Materiales de última tecnología	Aceros de alto límite elástico Aramida Fibra de carbono	

Tipos de construcción naval

		Longitudinal	Transversal	Mixto
Elementos Estructurales	Utilización	 <p>Buques de gran eslora</p> 	<p>Barcos de madera Buques de acero de pequeño desplazamiento</p>	<p>Buques de mediano y gran desplazamiento</p>
	Longitudinales	<p>Vagras - estructura del fondo Palmejares - estructura de los costados del buque, unida a las cuadernas Esloras - estructura de cubierta, unidas a los baos</p>	 <p>- importancia</p>	<p>Zona central del buque construida en el sistema longitudinal</p>
	Transversales	<p>Varengas - estructura inferior, unida a las cuadernas Bulárcamas - estructura lateral constituida por las cuadernas Baos - estructura de cubierta</p>	<p>+ importancia</p>	<p>Zona las cabezas de popa y proa construida en el sistema transversal</p>
	Ventajas	<p>Menor peso de la estructura Gran resistencia estructural al quebranto y al arrufo</p>		<p><i>Coge las ventajas de los dos sistemas de construcción</i></p>
Desventajas		<p>Pequeña resistencia estructural a los esfuerzos longitudinales</p>		