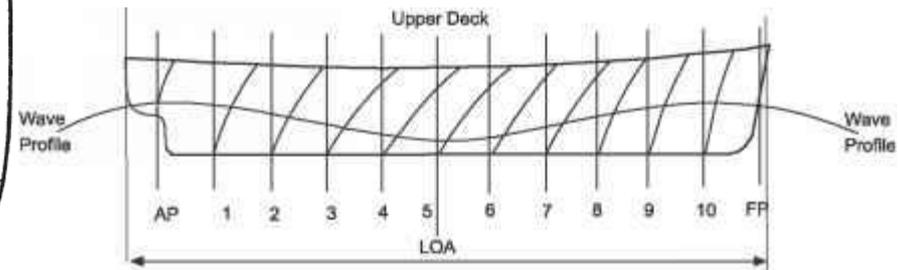
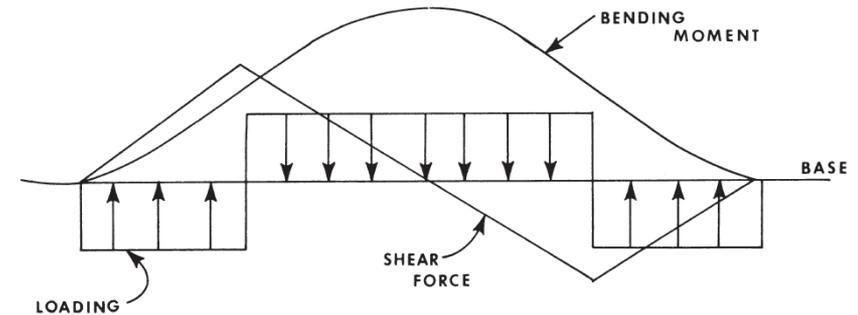
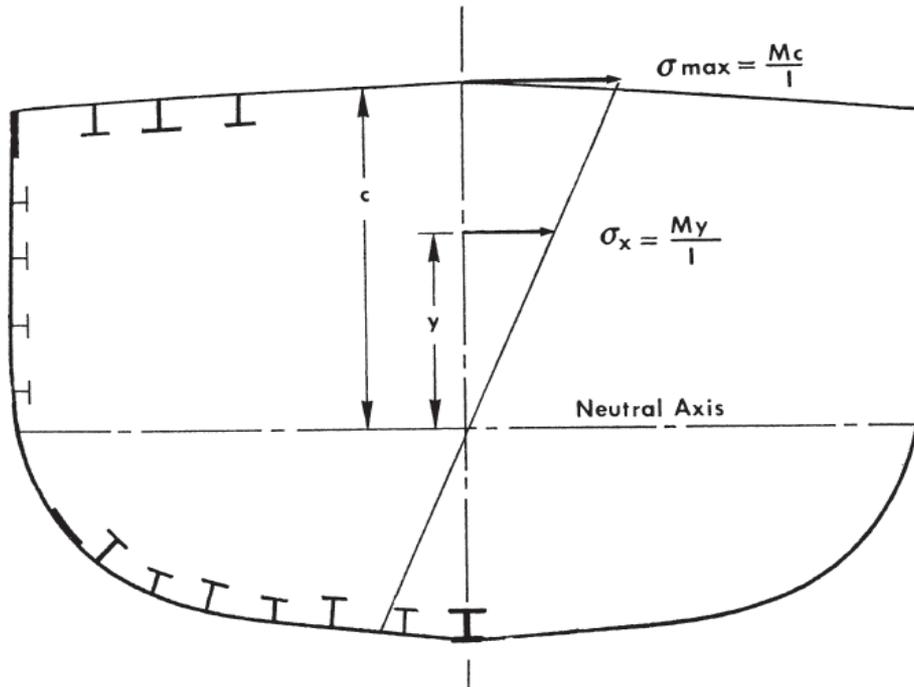


V. Resistencia estructural del buque

Objetivo:

1. Discutir algunos de los cálculos iniciales que se hacen a la hora de determinar la resistencia estructural de un buque.



V. Resistencia estructural del buque

1. Resistencia estructural del principal.

Introducción

El análisis de la resistencia de un buque es quizá uno de los problemas más complejos por la cantidad de elementos interactuando. Aquí como en cualquier análisis estructural se debe determinar tanto la condición de carga como la respuesta de la estructura a dicha condición.

En el caso de los buques, el análisis estructural trata de ser reducido a una serie de problemas que pueden ser considerados individualmente y que posteriormente se busca interrelacionar.

Excluyendo las cargas inerciales producto del movimiento de la estructura, las cargas en un buque suelen derivarse de dos fuentes principales: fuerzas producto de la gravedad y producto de la presión del agua. Ha de tenerse en cuenta, de que producto del cambio continuo de las cargas al darse el movimiento en el mar es prácticamente imposible que las cargas producto de la presión del agua y la gravedad se cancelen.

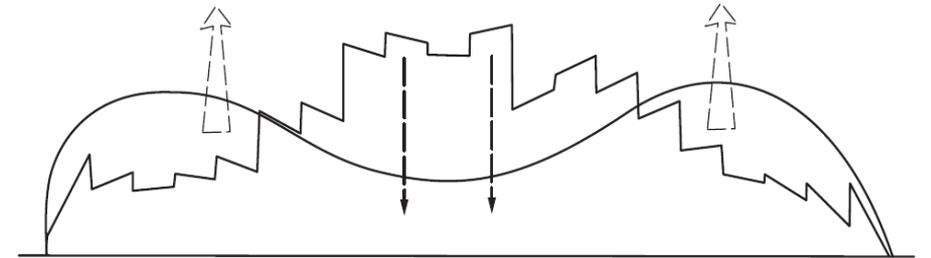
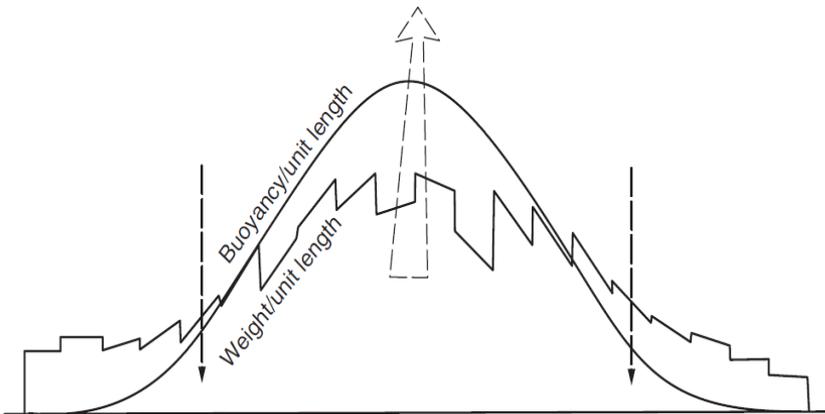
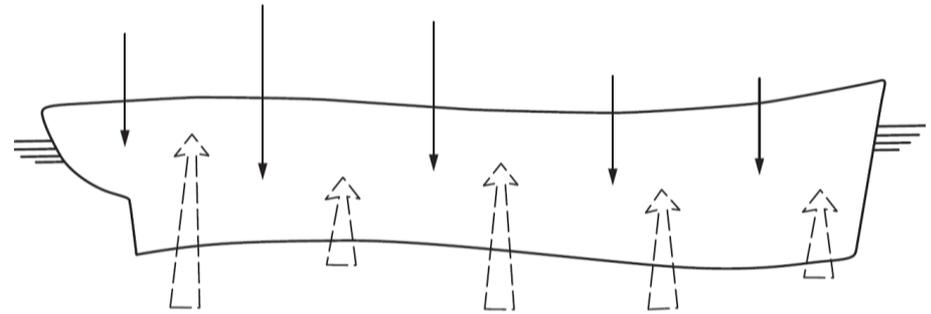
Consecuentemente, al presentarse una condición de carga no uniforme, siendo el buque una estructura elástica, se flexionará en su conjunto.

En aguas tranquilas, las cargas asociadas a la gravedad y a la presión del agua, son el peso y la fuerza de flotabilidad, respectivamente. La distribución de la fuerza de flotabilidad dependerá de si el calado cambia o no a lo largo de la eslora del buque; sin embargo, en condiciones de equilibrio estas cargas se cancelarán con las cargas producto del peso. Aquí si al observarse la distribución de carga equivalente (fuerza de flotabilidad + peso) resulta en que el buque se flexiona en su centro hacía arriba, se habla de quebranto; el caso contrario sería arrufo.

V. Resistencia estructural del buque

1. Resistencia estructural del principal.

Introducción



V. Resistencia estructural del buque

1. Resistencia estructural del principal.

Introducción

En general, algunas de las cargas a las cuales está sujeto el buque son las siguientes:

- Cargas producto de la diferencia en la distribución del peso y la fuerza de flotabilidad en condiciones de reposo.
- Cargas producto del paso de olas marinas estando el buque en condición de reposo.
- Cargas producto de las olas producidas por el mismo buque al desplazarse en el agua.
- Variaciones en la distribución del peso producto del movimiento del buque.

Cálculos estándares

Un enfoque simple pero usado durante mucho tiempo, consiste en comparar los cálculos efectuados para un diseño nuevo con los efectuados para un diseño previamente probado.

Los esfuerzos calculados inicialmente se basan en aquellos causados por una ola, cuya longitud es igual a la longitud del buque, y cuya amplitud máxima se puede dar o bien en el centro (condición de quebranto) o bien en los extremos (condición de arrufo). Aquí el buque se supone esta momentáneamente en condición estática, y aquí la carga total estará dada por la diferencia entre el peso y la fuerza de flotabilidad.

Una relación fundamental, deducida de la teoría clásica de vigas es la siguiente:

$$p' = \frac{dS}{dx} = \frac{d^2M}{dx^2}$$

Donde: p' representa a la carga por unidad de longitud, S la fuerza cortante, M el momento flector, y x la posición a lo largo de la viga (en el caso del buque, sería en dirección de la eslora).

V. Resistencia estructural del buque

1. Resistencia estructural del principal.

Cálculos estándares

De la teoría de mecánica de materiales, también recuerde que el esfuerzo producto de la flexión σ puede ser expresado como:

$$\sigma = \frac{M}{I/y}$$

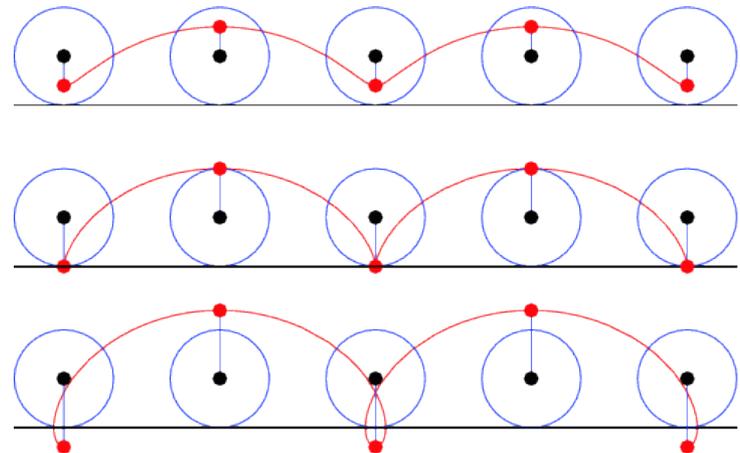
Donde I es el segundo momento de la sección transversal de la viga con respecto a su eje neutro, y y es la posición a la cual se desea determinar el esfuerzo.

a) La ola. Realmente no existe tal cosa como un estándar a la hora de suponer la descripción matemática que se puede utilizar para modelar la ola, a la hora de realizar los cálculos de resistencia longitudinal.

En este sentido una figura conveniente y que suele ser usada para estimaciones iniciales es suponer que la ola es un trocoide (ver enlace:

<https://www.dropbox.com/s/44trqnr4pmyq8ry/CycloidAnim04.gif?dl=0>)

Un trocoide es una curva producida por un punto a un radio r dentro de un círculo de radio R el cuál está rodando con respecto a una base plana. Antes de deducir las ecuaciones paramétricas para un trocoide, las deduciremos para un cicloide ($r = R$).

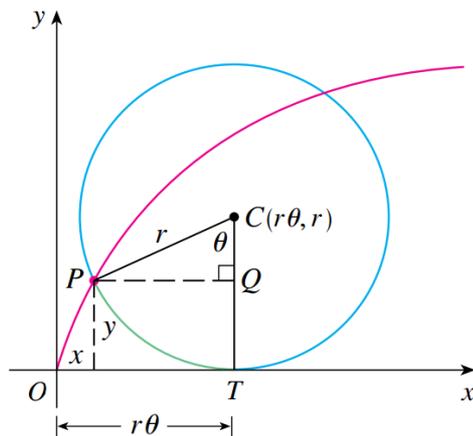


V. Resistencia estructural del buque

1. Resistencia estructural del principal.

Cálculos estándares

Considere la siguiente figura, en donde la distancia de $CP = r$ y el desplazamiento angular esta dado por la coordenada θ .



Aquí las ecuaciones paramétricas que describen el cambio de posición del punto P , estarían dada por:

$$x = OT - OP = r\theta - r \operatorname{sen} \theta$$

$$y = TC - QC = r - r \operatorname{cos} \theta$$

En el caso general, en donde $r \neq R$, las ecuaciones paramétricas quedarían como:

$$x = R\theta - r \operatorname{sen} \theta$$

$$y = r - r \operatorname{cos} \theta$$

Y típicamente en el caso de los buques, se supone que $L = 2\pi R$, y que $r = L/40$, por lo tanto las ecuaciones de la ola estaría dadas por:

$$x = \frac{L}{2\pi} \theta - \frac{L}{40} \operatorname{sen} \theta$$

$$y = \frac{L}{40} (1 - \operatorname{cos} \theta)$$

V. Resistencia estructural del buque

1. Resistencia estructural del principal.

Cálculos estándares

Las investigaciones han demostrado que esta expresión es relativamente satisfactoria cuando se tienen olas entre los 90 y 150 m. Por encima de los 150 m podría aun utilizarse pero ya al llegar a los 300 m, deja de ser apropiada esta expresión. Para estos casos, se puede emplear en tanto la siguiente expresión:

$$x = \frac{L}{2\pi}\theta - \frac{0.607\sqrt{L}}{2}\text{sen } \theta$$
$$y = \frac{0.607\sqrt{L}}{2}(1 - \text{cos } \theta)$$

Ha de decirse que la expresión anterior no es adimensional y solo es válida para cuando x, y, L están en metros. En todas estas expresiones L es la longitud de la ola que se toma como la eslora entre perpendiculares al calado dado.

b) Distribución de pesos.

Los pesos debido a productos consumibles generalmente no se consideran en los extremos cuando se tiene una posición de arrufo y en el centro cuando la condición es de quebranto.

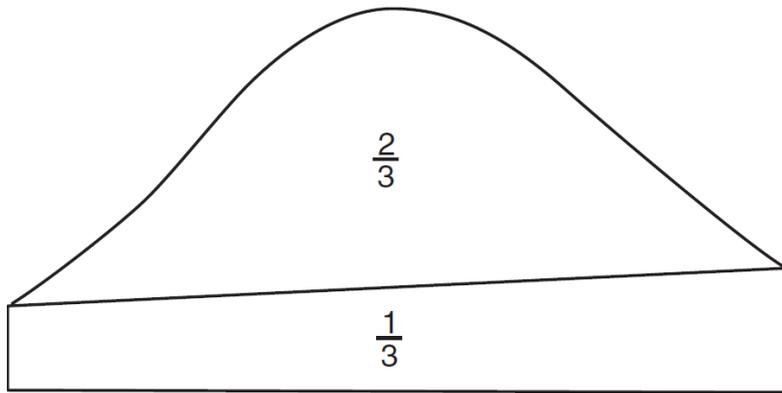
La distribución longitudinal del peso se determina al dividir el buque en un cierto número de intervalos (típicamente 20). Los pesos en cada una de estas secciones son calculados y tabulados. Los pesos de las secciones al ser divididos por la longitud del intervalo respectivo dan los pesos por unidad de longitud.

V. Resistencia estructural del buque

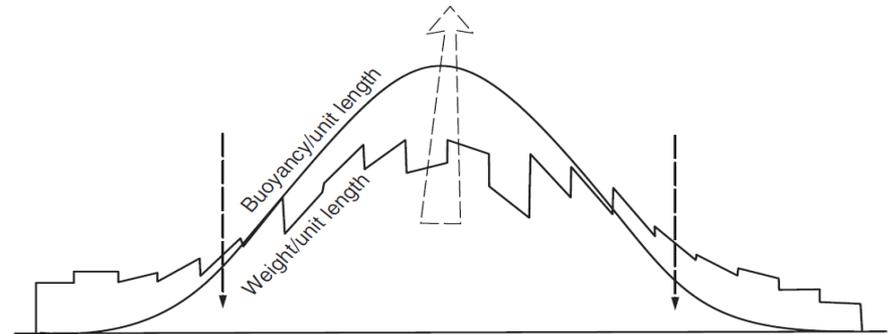
1. Resistencia estructural del principal.

Cálculos estándares

Aquí una de las mayores dificultades al hacer los cálculos iniciales es determinar la distribución del peso en rosca. Una aproximación útil consiste en suponer que la distribución del peso en rosca se da de acuerdo a la siguiente figura.

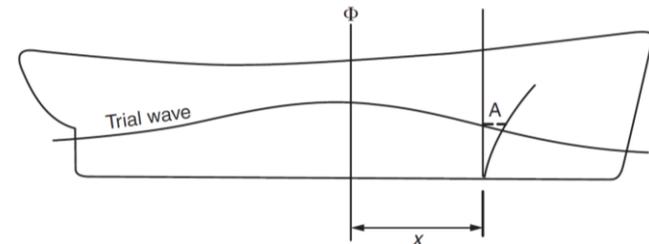


Una vez se cuenta con la distribución de pesos en las diferentes secciones, se puede obtener un gráfico similar al siguiente:



c) Fuerza de flotabilidad y equilibrio

Si los cálculos estándar son efectuados a mano, la ola es dibujada en un papel y dicho papel se coloca encima de la curva de Bonjean. Tal como se observa en la siguiente figura.



V. Resistencia estructural del buque

1. Resistencia estructural del principal.

Cálculos estándares

Para que exista equilibrio, es necesario colocar la ola a un calado y un *trim* de forma tal que se garantice que:

- El desplazamiento sea igual al peso.
- El centro de flotabilidad se encuentre en el mismo plano vertical que el centro de gravedad (plano de línea de centro, por ejemplo).

Para determinar la fuerza de flotabilidad se asume simple presión hidrostática: las áreas inmersas en las diferentes posiciones a lo largo de la eslora pueden ser leídas de las curvas de Bonjean; y por medio de algún método de integración numérica se puede determinar, de forma aproximada, el desplazamiento y la posición longitudinal del centro de flotación. La ola entonces debe cumplir las condiciones previamente descritas; de no ser el caso se debe suponer alguna otra forma para la ola.

Una forma, más sencilla de lograr lo anterior es la siguiente:

Considere una sección transversal típica de un buque, a una cierta posición x en dirección a proa con respecto a la sección media. En esta posición la curva de Bonjean muestra el área inmersa al seleccionar una cierta ola de prueba.

Sí denotamos al volumen desplazado y al momento asociado a dicho volumen desplazado, como ∇ y M respectivamente, tendríamos que:

$$\nabla = \int A \, dx$$

$$M = \int Ax \, dx$$

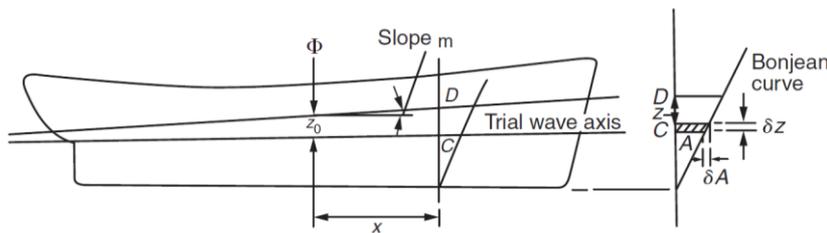
Dimensionalmente, para apreciar que la expresión anterior en efecto representa momento, tendría que multiplicarla por la gravedad y por la densidad del agua en la cual se encuentra navegando el buque.

V. Resistencia estructural del buque

1. Resistencia estructural del principal.

Cálculos estándares

Suponga de igual forma que ∇_0 y M_0 son el volumen desplazado y el momento para que se dé el equilibrio; y que ∇ es inferior a ∇_0 y que M es inferior a M_0 . El ajuste a hacer en la línea de agua que representa la ola de prueba sería un hundimiento paralelo en la sección media (denotado como z_0 en la siguiente figura) y un *trim* en dirección de la proa (m en la siguiente figura, representa el cambio de *trim* en la dirección x), para lograr que $\nabla = \nabla_0$ y que $M = M_0$.



Se tendrá entonces que el incremento en la inmersión de alguna sección típica estará dado por:

$$z = z_0 + mx$$

Considere también que la pendiente en la curva de Bonjean sea $s = dA/dz$, si se asume que la curva de Bonjean es una línea recta, entonces dicha recta podría ser descrita como:

$$A + zs = A + (z_0 + mx)s$$

Y para satisfacer las dos condiciones de equilibrio, $\nabla = \nabla_0$ y $M = M_0$, se tendrá que:

$$\int [A + (z_0 + mx)s] dx = \nabla_0$$

$$\int [A + (z_0 + mx)s] x dx = M_0$$

Si definimos que:

$$\int s dx = \delta C_1 \quad \int s x dx = \delta C_2 \quad \int s x^2 dx = \delta C_3$$

V. Resistencia estructural del buque

1. Resistencia estructural del principal.

Cálculos estándares

Las expresiones anteriores podrían ser re escritas como:

$$\int [(z_0 + mx)s]dx = \nabla_0 - \int A dx$$

$$z_0 \delta C_1 + m \delta C_2 = \nabla_0 - \nabla$$

$$\int [(z_0 + mx)s]x dx = M_0 - \int A x dx$$

$$z_0 \delta C_2 + m \delta C_3 = M_0 - M$$

Aquí $\delta C_1, \delta C_2, \delta C_3$ pueden ser calculados a través de algún método de integración numérica, a partir de los valores de s estimados de las curvas de Bonjean. Una vez se tienen los valores anteriores, se cuenta con un sistema de dos ecuaciones que han de ser resueltas de forma simultanea para determinar el valor de z_0 y de m .

Una vez se determina z_0 y m se debe verificar que en efecto se ha alcanzado equilibrio. Sí se obtienen valores negativos para z_0 y de m , se debe repetir el proceso solo que un *trim* hacía popa.

Una vez se obtiene la condición de equilibrio, se puede dibujar la curva de fuerza de flotabilidad por unidad de longitud. Tenga presente que debe hacer el análisis tanto para cuando se tiene la condición de quebranto como para cuando se tiene la condición de arrufo.

d) Carga, fuerza cortante, y momento flector

Producto de que la curva para el peso se ha dibujado paralela a la curva de la fuerza de flotabilidad, la diferencia entre estas, la cual representa a la carga neta por unidad de longitud p' para cada intervalo, consistirá de una serie de bloques rectangulares. A partir de esta curva, se puede entonces determinar la fuerza cortante y el momento flector.

V. Resistencia estructural del buque

1. Resistencia estructural del principal.

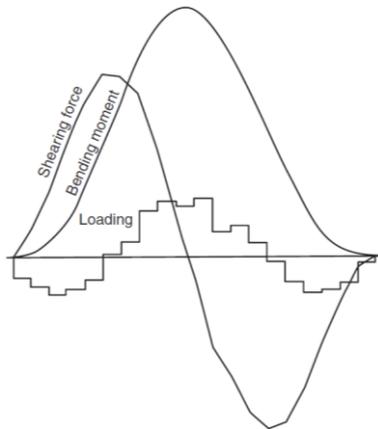
Cálculos estándares

Al observar los gráficos obtenidos se pueden hacer algunas observaciones importantes:

-Cuando la carga distribuida neta p' es cero, el cortante es un máximo o un mínimo y ocurre un punto de inflexión en la curva de momento.

-Cuando la carga distribuida neta p' es un máximo, un punto de inflexión ocurre en la curva de cortante.

-Cuando el cortante es cero, el momento es un máximo o un mínimo.



e) Segundo momento de área.

Es necesario calcular entonces el segundo momento de área I para la sección transversal del buque. Para un buque compuesto de placas y secciones, las cuáles puede que no se extiendan demasiado longitudinalmente o que puede que sufran de pandeo bajo cargas de compresión o que incluso pueden estar compuestas de diferentes materiales, se deben hacer ciertos ajustes.

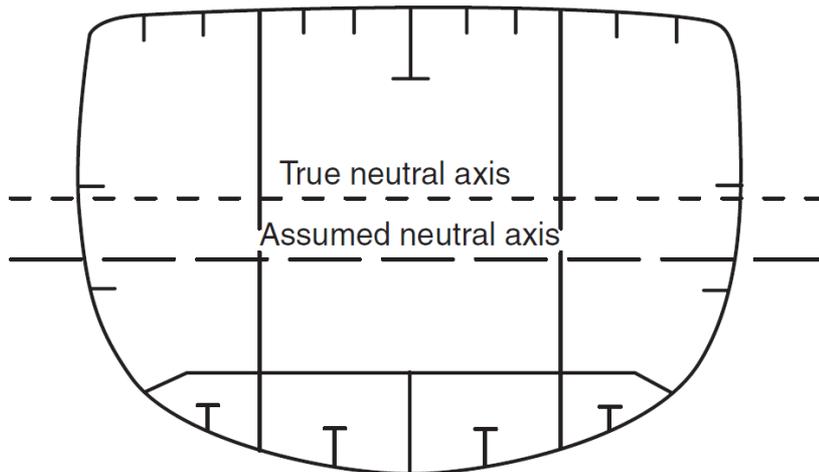
A menos de que exista alguna razón para suponer lo contrario (que exista soldadura inadecuada por ejemplo), se considerará que el diseño local de la estructura es tal que no se tendrá ninguna forma de pandeo. De igual forma se considerará que ningún material contribuirá a la inercia de la sección transversal a menos de que sea estructuralmente continuo (en dirección de la eslora) en al menos la mitad de la manga del buque en *amidships*.

V. Resistencia estructural del buque

1. Resistencia estructural del principal.

Cálculos estándares

Una vez se ha decidido que material incluir, el módulo de sección I/y (donde y es la distancia del eje neutro a la cubierta principal o a la línea base, dependiendo de cuál sea mayor); es calculado en una forma metódica y tabular. Un eje neutro axial (ANA) es tomado inicialmente cerca de la profundidad media (mitad del puntal medido de línea base a cubierta principal), tal como se observa en la imagen.



Las posiciones y dimensiones de cada elemento que constituye la sección media son medidas y se introducen en una tabla similar a la que se muestra a continuación.

Table 4.1 Modulus calculation.

1 Item	2 A (cm ²)	3 h (m)	4 Ah (cm ² m)	5 Ah^2 (cm ² m ²)	6 k^2 (m ²)	7 Ak^2 (cm ² m ²)
Each item above ANA						
Totals above ANA	ΣA_1		$\Sigma A_1 h_1$	$\Sigma A_1 h_1^2$		$\Sigma A_1 k_1^2$
Each item below ANA						
Totals below ANA	ΣA_2		$\Sigma A_2 h_2$	$\Sigma A_2 h_2^2$		$\Sigma A_2 k_2^2$

where A = cross-sectional area of item, h = distance from ANA, k = radius of gyration of the structural element about its own NA.

Subscript 1 is used to denote material above the ANA and subscript 2 for material below.

$$\text{Distance of true NA above ANA} = \frac{\Sigma A_1 h_1 - \Sigma A_2 h_2}{\Sigma A_1 + \Sigma A_2} = d$$

$$\text{Second moment of area about true NA} = \Sigma A_1 h_1^2 + \Sigma A_2 h_2^2 + \Sigma A_1 k_1^2 + \Sigma A_2 k_2^2 - (\Sigma A_1 + \Sigma A_2) d^2 = I$$

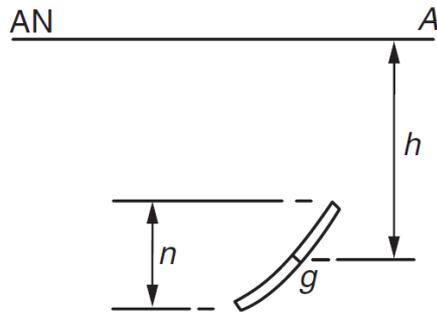
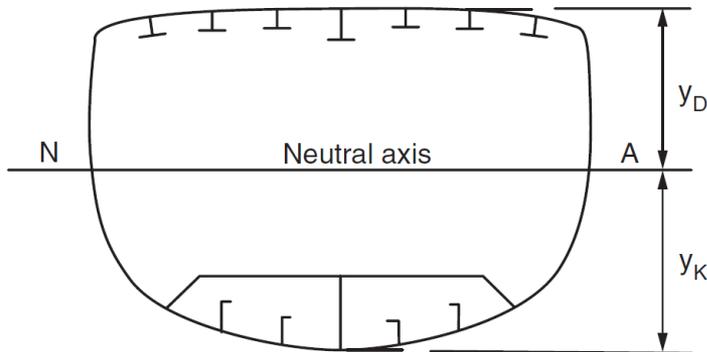
$$\text{Lever above true neutral axis from NA to deck at centre} = y_D$$

$$\text{Lever below true neutral axis from NA to keel} = y_K$$

V. Resistencia estructural del buque

1. Resistencia estructural del principal.

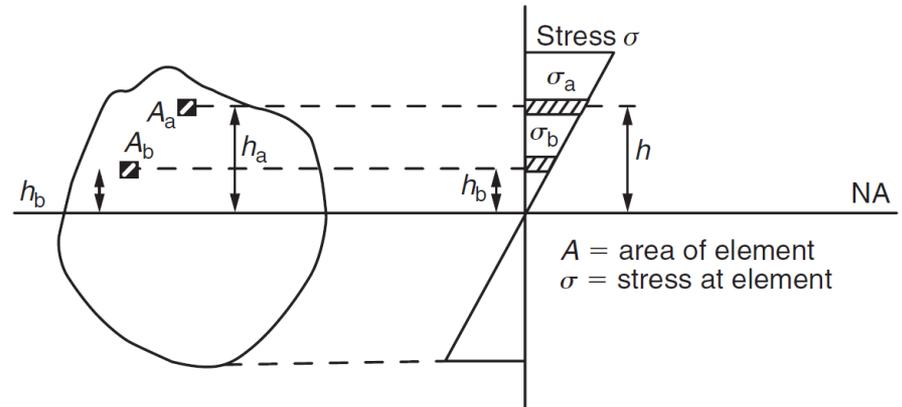
Cálculos estándares



For plate $k^2 = \frac{n^2}{12}$

La sección de ciertos buques está compuesta de diferentes materiales, acero, aleaciones de acero, madera, o plástico por ejemplo. En estos casos el cálculo del segundo momento de área se hace de la siguiente manera.

Considere una viga simple compuesta de dos materiales *a* y *b* tal como se observa en la siguiente figura.



V. Resistencia estructural del buque

1. Resistencia estructural del principal.

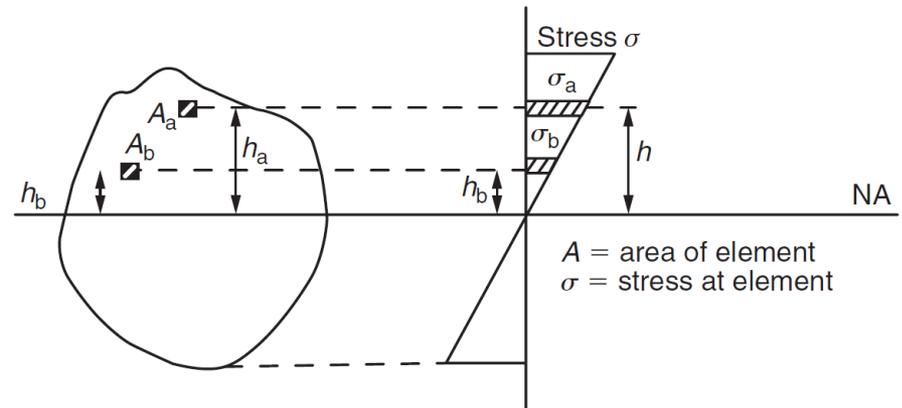
Cálculos estándares

De la teoría de vigas, se sabe que el esfuerzo asociado a la deflexión σ es directamente proporcional a la distancia desde el eje axial h , y que puede ser relacionado con el radio de curvatura del eje neutro y con el módulo de elasticidad E :

$$\sigma = \frac{E}{R}h$$

Considere los elementos típicos de área A_a y A_b mostrados en la figura anterior. Para que se equilibre en la sección media, la fuerza neta debe ser cero y consecuentemente:

$$\begin{aligned} \sum (\sigma_a A_a + \sigma_b A_b) &= 0 \\ \sum \left(\frac{E_a}{R} h_a A_a + \frac{E_b}{R} h_b A_b \right) &= 0 \\ \sum \left(h_a A_a + \frac{E_b}{E_a} h_b A_b \right) &= 0 \end{aligned}$$



Ahora bien, el momento flector de la sección estaría entonces dado por:

$$\begin{aligned} M &= \sum (\sigma_a A_a h_a + \sigma_b A_b h_b) \\ M &= \sum \left(\frac{E_a}{R} h_a A_a h_a + \frac{E_b}{R} h_b A_b h_b \right) \\ M &= \frac{E_a}{R} \sum \left(A_a h_a^2 + \frac{E_b}{E_a} A_b h_b^2 \right) \end{aligned}$$

V. Resistencia estructural del buque

1. Resistencia estructural del principal.

Cálculos estándares

$$M = \frac{E_a}{R} I_{eff}$$

De lo anterior se puede deducir que la sección compuesta puede ser considerada como la sección de un solo material a , en donde existe un área efectiva de material b ; dada por $\frac{E_b}{E_a} A_b$.

La razón $\frac{E_b}{E_a}$ puede tomar diferentes valores dependiendo de los materiales en cuestión; para madera aluminio es aproximadamente igual a 1/16 en compresión y 1/25 en tensión. Para aleaciones de aluminio/acero es aproximadamente igual a 1/13 y para plástico reforzado con fibra de vidrio/acero oscila entre 1/15 y 1/30.

f) Esfuerzo normal producto de la flexión.

A este punto se puede entonces calcular el esfuerzo normal σ , tanto para la condición de arrufo como de quebranto; ya que se tiene el momento flector máximo, el segundo momento de área de la sección transversal, y la distancia de la línea base al eje neutro y de la cubierta principal al eje neutro.

Esfuerzos directos ocurriendo en secciones compuestas son calculados de acuerdo con lo visto en la sección anterior:

$$\sigma_a = \frac{E_a}{R} h_a = \frac{M}{I_{eff}} h_a$$

$$\sigma_b = \frac{E_b}{R} h_b = \frac{E_b}{R} h_b \left(\frac{E_a}{E_a} \right)$$

$$\sigma_b = \frac{E_b}{E_a} \frac{M}{I_{eff}} h_b$$

V. Resistencia estructural del buque

1. Resistencia estructural del principal.

Cálculos estándares

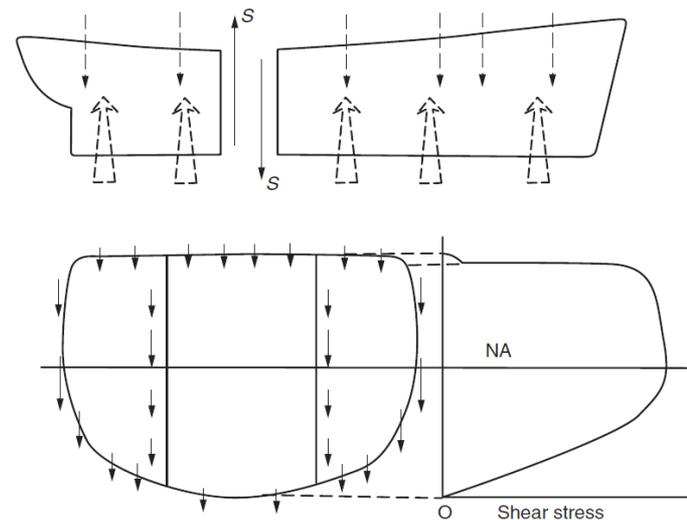
Es en esta etapa que se hace necesario decidir si los esfuerzos obtenidos son o no aceptable y si en función de esto la sección transversal requiere ser modificada. El criterio para tomar esta decisión se basa en la comparación con buques similares en condiciones de servicio parecidas para los cuales este mismo tipo de cálculos han sido previamente efectuados.

Valores aproximados de esfuerzo total que han sido encontrados satisfactorios en el pasado para cierto tipo de buques se presentan en la siguiente tabla.

<i>Ships</i>	<i>Wave</i>	<i>Design stresses</i>	
		<i>Deck</i>	<i>Keel</i>
		N/mm^2	N/mm^2
100 m frigate	$L/20$	110	90
150 m destroyer	$L/20$	125	110
200 m general cargo vessel	$0.607\sqrt{L}$	110	90
250 m aircraft carrier	$L/20$	140	125
300 m oil tanker	$0.607\sqrt{L}$	140	125

g) Esfuerzos cortantes

La fuerza cortante en cualquier posición longitudinal del buque es aquella fuerza que tiende a mover una parte del buque, verticalmente, con respecto a la porción adyacente; tal como se observa en la siguiente figura.



V. Resistencia estructural del buque

1. Resistencia estructural del principal.

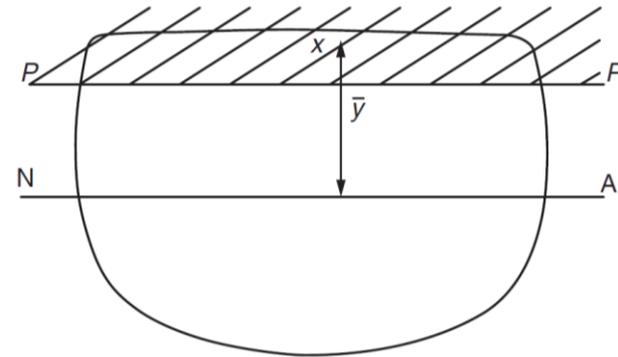
Cálculos estándares

Aquí la fuerza cortante está distribuida sobre toda la sección. Una forma conveniente de determinar el esfuerzo cortante τ actuando sobre algún elemento en particular de la sección transversal en cuestión es la siguiente:

$$\tau = \frac{SA\bar{y}}{Ib}$$

Dónde: S es el esfuerzo cortante sobre la sección transversal estudiada, A es el área de elemento de interés, \bar{y} es la distancia del centro de masa del elemento de interés al eje neutro, I es el segundo momento de área de la sección completa, y b es el ancho máximo (dimensión en dirección de la manga) del elemento de interés.

El esfuerzo cortante máximo tiende a ocurrir en el eje neutro a aquellas secciones (en dirección de la eslora) en donde el esfuerzo cortante es un máximo.



Los valores aceptables de esfuerzo cortante van a depender del tipo de construcción en particular.

h) Cambios en la sección transversal

Siendo un proceso de ensayo y error, los cálculos estándar muy rara vez llevarán a una solución apropiada la primera vez. Casi siempre será necesario regresar a la sección estructural del buque para adherir o sustraer material, de forma tal que se ajuste el esfuerzo resultante. El efecto de tal adición sobre el segundo momento de área no es necesariamente obvio.

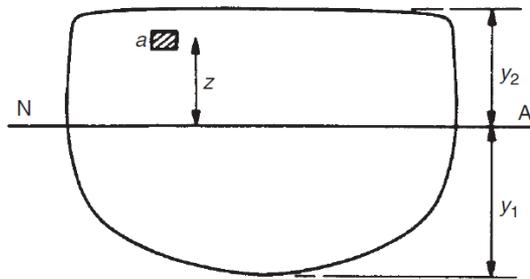
V. Resistencia estructural del buque

1. Resistencia estructural del principal.

Cálculos estándares

Esto último incentiva a que se busque alguna manera de medir el efecto de adherir material sobre el módulo de la sección transversal.

Considere ahora la siguiente figura.



Aquí la adición de un área a a una elevación z sobre el eje neutro, a una sección estructural cuyo segundo momento de área I ha sido previamente calculado, implica un cambio en el módulo de sección.

Con la adición de a , el eje neutro se elevará una cierta cantidad δy :

$$\delta y = \frac{az}{A + a}$$

Aquí A es el área total que originalmente se tenía.

Y el nuevo momento de inercia $I + \delta I$ estaría dado por:

$$I + \delta I = (I) + (I_a + az^2) - (A + a)\delta y^2$$

Suponiendo que I_a sea pequeño, la expresión anterior podría re escribirse como:

$$I + \delta I = (I) + \left[(az^2) - (A + a) \left(\frac{az}{A + a} \right)^2 \right]$$
$$I + \delta I = I + \frac{Aaz^2 + a^2z^2 - a^2z^2}{A + a} = I + \frac{Aaz^2}{A + a}$$

Por lo tanto $\delta I = \frac{Aaz^2}{A+a}$; para poder que el esfuerzo asociado al momento flector disminuya, el módulo de la sección I/y debe aumentar por lo tanto:

$$\frac{I + \delta I}{y + \delta y} > \frac{I}{y} \rightarrow Iy + y\delta I > Iy + I\delta y$$

V. Resistencia estructural del buque

1. Resistencia estructural del principal.

Cálculos estándares

$$\frac{\delta I}{I} > \frac{\delta y}{y}$$

Aquí δI siempre es positivo.

$$\frac{\delta I}{I} > \frac{\delta y}{y_{1,original}} \rightarrow \left(\frac{Aaz^2}{A+a} \right) \left(\frac{1}{Ak^2} \right) > \left(\frac{az}{A+a} \right) \left(\frac{1}{y_{1,original}} \right)$$

$$\frac{z}{k^2} > \frac{1}{y_{1,original}}$$

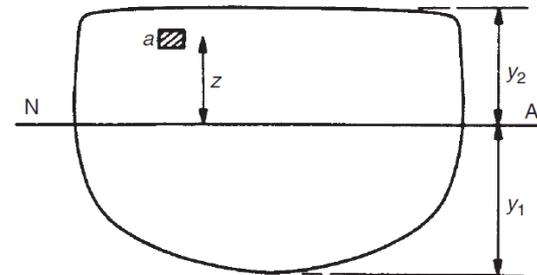
$$z > \frac{k^2}{y_{1,original}}$$

Donde k es el radio de giro original.

i) Deflexiones

Recordando de la teoría clásica de vigas que:

$$M = EI \frac{d^2 y}{dx^2}$$



Es posible determinar la deflexión de la viga si se integra dos veces la razón M/EI donde M es el momento flector, E es el modulo de elasticidad o de Young e I es el segundo momento de área. Estas integrales evidentemente son numéricas.

Consideraciones de los materiales

Un material puede ser roto fácilmente sí se le hace una hendidura en el punto deseado de fractura y se le flexiona.

V. Resistencia estructural del buque

1. Resistencia estructural del principal.

Consideraciones de los materiales

La muesca introduce un concentrador de esfuerzo el cual, si es lo suficientemente severo, causará que el esfuerzo producto de la flexión sea mayor que el esfuerzo último y el material se fracturará a partir de la primer flexión. Sí un gran número de flexiones son necesarias para que se dé la falla, se habla de que existe fatiga a bajos ciclos.

Un concentrador de esfuerzo está localizado en un área de la estructura en donde el esfuerzo es significativamente mayor que en el resto del material. Convenientemente puede ser considerado como una perturbación en el flujo continuo de las líneas de esfuerzo.

En los buques hay dos tipos de discontinuidades que causan concentradores de esfuerzos:

-Discontinuidades no intencionales producto de los métodos de construcción: rolado, soldadura, o forjado del material, por ejemplo.

-Discontinuidades introducidas de forma deliberada en el diseño estructural por razones de arquitectura, uso, o acceso (escotillas, superestructuras, etc).

Los concentradores de esfuerzo no pueden ser evitados; sin embargo si pueden ser minimizados al prestar atención tanto al diseño como al proceso de construcción.

En general, concentradores de esfuerzo pueden llevar a cedencia, fractura frágil, o pandeo.

2. Diseño estructural y análisis de elementos individuales y unidades

Introducción

Rara vez existe el tiempo para poder emplear una teoría avanzada y elegante a la hora de realizar el análisis de los elementos estructurales cuando un enfoque aproximado podría llevar a una respuesta con un grado de precisión bastante aceptable.

V. Resistencia estructural del buque

2. Diseño estructural y análisis de elementos individuales y unidades

Introducción

Sin embargo, si se observa que este enfoque simple es inadecuado, el mismo debe ser descartado, y se debe emplear quizás uno más complejo que lleve a resultados razonables.

El análisis del buque como una viga provee las bases y las fronteras para el diseño de la estructura local. Una vez el buque cumple con el módulo de sección transversal mínimo para garantizar que no falle por flexión se debe pasar a analizar la resistencia de la estructura local, la cual consiste principalmente de placas y refuerzos.

Carga y falla

Los primero a la hora de diseñar y/o analizar un elemento estructural es determinar la condición de carga. Una vez se ha determinado la condición de carga, el paso siguiente es determinar los tipos de falla a los cuáles se puede ver sujeto ese determinado elemento o unidad.

Desde este punto de vista, se consideran cuatro tipos posibles de fallas:

-Fractura directa. Puede ser causa por una parte de la estructura que alcanza el esfuerzo último en tensión, compresión, o cortante.

-Fractura por fatiga. Todo componente mecánico eventualmente fallará por fatiga. Existe la posibilidad de que se dé a bajos ciclos o a altos ciclos.

-Inestabilidad. Un elemento puede fallar debido a que se pandea al verse sujeto a cargas laterales excesivas.

-Deformación. Una deflexión excesiva puede causar interferencia entre elementos o simplemente puede causar pánico entre los pasajeros. Las deformaciones pueden estar en el rango elástico o elástico plástico.

V. Resistencia estructural del buque

2. Diseño estructural y análisis de elementos individuales y unidades

Unidades estructurales de un buque

Hay cuatro tipos básicos de estructura con los cuáles debe lidiar un diseñador de un buque:

a) Combinaciones de placas y refuerzos. La forma más simple de este tipo de combinación consiste de una viga sujeta a una placa.

b) Paneles de placas. Estos paneles son normalmente rectangulares y están apoyados en los cuatro bordes. Estos elementos están sujetos a cargas normales y en plano.

c) Estructuras de marco. Esto incluye los portales de bodegas, los marcos que constituyen los anillos transversales del buque que incluyen los mamparos, y refuerzos de las cubiertas, por ejemplo. Aquí ha de destacarse que algunos de los métodos de análisis más empleados son los siguientes: distribución de momento de Hardy Cross, métodos de energía, y métodos de limitación de diseño.

d) “Accesorios” (*fittings*). Hay una gran cantidad de accesorios en un buque: timones, soportes de ejes, mástiles, cimientos de maquinarias, grúas (*derricks*), pescantes (*davits*).



Ha de decirse que la tendencia actual, consiste en realizar el análisis de cada una de estas unidades por medio del método de elementos finitos.

