

Montevideo 15 de Julio de 2022



EXAMEN ESTRUCTURAS DE BUQUES

Problema N°1

Un buque pesquero palangrero diseñado según las Reglas del American Bureau of Shipping de 2019 para buques de acero de menos de 90 m de eslora, posee dos cubiertas y las siguientes dimensiones principales:

- $L_{total} = 59,00 \text{ m}$
- $L_{bpp} = 56,50 \text{ m}$
- $B_{mold} = 13,00 \text{ m}$
- D hasta la cubierta superior resistente = 8,65 m
- D hasta la cubierta inferior protegida = 5,80 m
- $d_{escantillado} \text{ (scantling draught)} = 5,80 \text{ m}$

El buque está construido con sistema longitudinal en toda la sección media, en la cual posee doble fondo, con fondo plano.

Para la clara de los refuerzos poco espaciados tomar el valor entero de dm más próximo al resultante de aplicar la fórmula que calcula la clara que ABS establece para los buques de acero con sistema de construcción transversal: $s \text{ (mm)} = 2,08.L \text{ (m)} + 438$.

Las bulárcamas, en todo el través, poseen una clara de 3,00 m.

Cada cubierta posee una eslora en crujía, y entre los mamparos transversales estancos más próximos a la sección maestra se ubican sendos puntales que descargan el peso de las esloras hasta el doble fondo. En la cubierta superior no se lleva carga, y en la cubierta protegida se lleva carga de hasta $1000 \text{ kgf} / \text{m}^3$.

Se pide:

- a) Dibujar un esquema de la sección maestra del buque.
- b) Calcular las claras de estructuras primarias (poco espaciadas).
- c) Calcular espesor de planchas del fondo.
- d) Calcular espesor de planchas del fondo interior en zona de bodegas.
- e) Calcular espesor de planchas del costado.
- f) Calcular altura (redondear en dm) y espesor de la quilla vertical central.



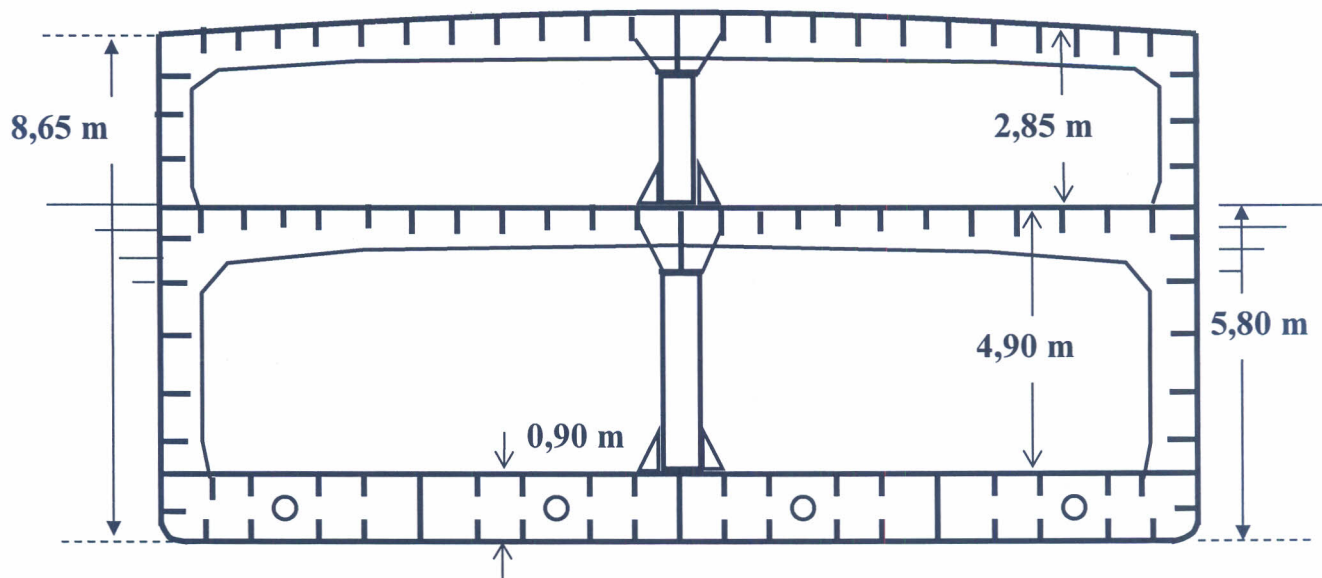
- g) De ser necesarias, calcular espesor de las vagras laterales.
- h) En los casos que deban instalarse vagras laterales, ¿deben ser continuas, o sea, deben atravesar a las varengas de plancha?
- i) Calcular espesor de varengas de plancha.
- j) Calcular módulo resistente de la bulárcama de costado entre la cubierta protegida y la cubierta superior resistente. Para simplificar los cálculos suponer que no hay cartabones ("brackets") instalados a los efectos de las luces no soportadas.
- k) Calcular módulo resistente de la bulárcama de costado entre el fondo interior y la cubierta protegida. Para simplificar los cálculos suponer que no hay cartabones ("brackets") instalados a los efectos de las luces no soportadas.
- l) Calcular espesor de planchas de cubierta superior a la intemperie.
- m) Calcular espesor de plancha de cubierta protegida.
- n) ¿Qué verificación hay que hacer para dar por buenos los espesores de las planchas y módulos resistentes de todos los elementos que contribuyen con la resistencia longitudinal?

NOTA: En esta etapa del diseño no se dispone de información suficiente como para verificar por módulos resistentes de la viga buque requerido y real de la sección media.

Alejandro Fernández

Resolución Problema N°1

a)



b) $s = 2,08 \times 56,50 + 438 = 556 \text{ mm}$, se toma $s = 600 \text{ mm}$ (6 dm)

c) $t = 600 \times \sqrt{h} / 254 + 2,5$; h es el mayor de $D = 8,65 \text{ m}$; $0,1 \times L = 5,90 \text{ m}$;
 $1,18 \times d = 6,84 \text{ m}$; entonces $t = 600 \times \sqrt{8,65} / 254 + 2,5 = 9,4 \text{ mm}$

d) $t = 0,037 \times 59,00 + 0,009 \times 600 - 0,5 = 7,1 \text{ mm}$

e) $t = 600 \times \sqrt{8,65} / 268 + 2,5 = 9,1 \text{ mm}$ porque $0,066 \times L = 3,89 \text{ m}$

f) Altura quilla vertical central: $h_g = 32 \times 13,00 + 190 \times \sqrt{5,80} = 874 \text{ mm}$;
 porque $0,66D = 5,71 \text{ m}$; redondeando en dm: $h_g = 900 \text{ mm}$

$t = 0,056 \times 59,00 + 5,5 = 8,8 \text{ mm}$

g) $t = 0,036 \times 59,00 + 4,7 = 6,8 \text{ mm}$

h) Negativo, las vagras deben ser intercostales, no continuas.

i) $t = 0,036 \times 59,00 + 6,2 = 8,3 \text{ mm}$

j) Para la *bulárcama superior*, h es el mayor de:

$$h = 2,85 / 2 = 1,425 \text{ m}$$

$$h = 0,02 \times 59,00 + 0,46 = 1,64 \text{ m}$$

Bulárcama superior: $SM = 7,8 \times 0,915 \times 1,64 \times 3,00 \times 2,85^2 = 285,2 \text{ cm}^3$

k) Para la *bulárcama inferior* h es el mayor de:

$$h = 4,90 / 2 + b \cdot h_1 / 45 K, \text{ siendo } b = 13,00 / 2 = 6,50 \text{ m}, h_1 = 2,85 + 2,44 = 5,29 \text{ m}, \text{ y } K = 1, \text{ entonces } h = 3,21 \text{ m}$$

Bulárcama inferior: $SM = 7,8 \times 0,915 \times 3,21 \times 3,00 \times 4,90^2 = 1650,2 \text{ cm}^3$

l) Vale $h = 0,028 \times 59,00 + 0,66 \text{ m} = 2,31 \text{ m}$

Entonces: $t = 600 \times \sqrt{2,31 / 254} + 2,5 = 6,1 \text{ mm}$

m) Vale $h = 2,85 \text{ m}$; pero la carga es $1000 \text{ kg}_f / \text{m}^3$, entonces

$$h = 2,85 \times 1000 / 715 = 3,99 \text{ m}$$

Entonces: $t = 600 \times \sqrt{3,99 / 254} + 2,5 = 7,2 \text{ mm}$

n) Hay que verificar que la sección maestra posea un módulo resistente mayor o igual al mínimo SM requerido por las Reglas.

Alejandro Fernández

EXAMEN ESTRUCTURAS DE BUQUES**Problema N°2**

Una plancha de acero de espesor E y largo L es soldada a tope con penetración total, tal como se observa en el croquis.

La plancha está sometida a una fuerza F que forma un ángulo α con respecto al largo L , por el centro de la plancha, y a una distancia H de la soldadura.

- a) Aplicando el criterio de resistencia de von Mises, calcular el espesor E de la plancha sabiendo que:

$$H = 200 \text{ mm}; L = 100 \text{ mm};$$

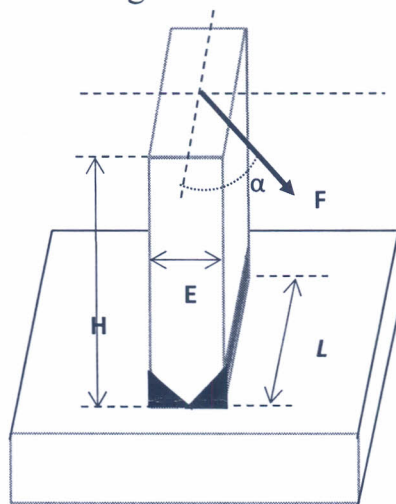
Material de la plancha: acero al carbono con $\sigma_{\text{últ}} = 4.800 \text{ kgf/cm}^2$

$$\alpha = 40^\circ$$

$$F = 2 \text{ T}$$

Para la tensión admisible se tomará un coeficiente de seguridad de 3,5 sobre la tensión última.

El electrodo seleccionado igualará la resistencia de los metales base.

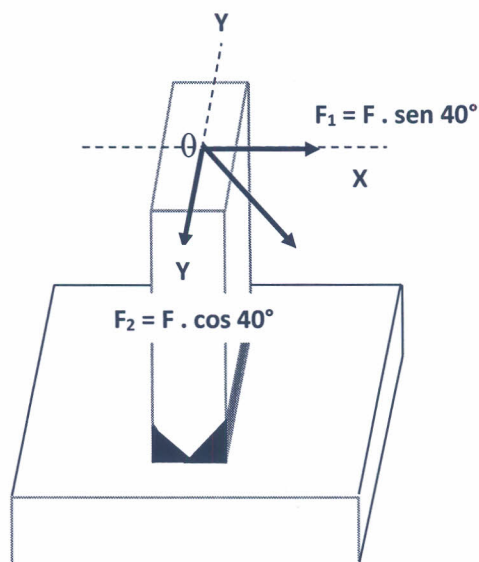


- b) Si en vez de soldarse a tope se realizan dos soldaduras filetes, una a cada lado de largo L , de catetos "h", y con $\alpha = 0^\circ$, utilizándose E 7018, ¿cuánto vale "h"? Para la tensión admisible de soldaduras filete se tomará el criterio de AWS D1.1

Alejandro Fernández

Resolución Problema N° 2

a)



F_1 y F_2 producen tensiones σ_z (perpendiculares al plano XOY)

F_1 produce tensiones τ_x (colineales con OX)

F_2 produce tensiones τ_y (colineales con OY)

Por consiguiente las tensiones cortantes son todas pertenecientes al plano XOY, y su módulo se encuentra con la fórmula de la hipotenusa.

Tensiones producidas por F_1 :

$$\sigma_{\text{máx}} = 6 \times 2.000 \text{ sen } 40^\circ \times 20 / (10 \text{ E}^2) = 15.426,9 / \text{E}^2$$

$$\tau = 2.000 \text{ sen } 40^\circ / (10 \text{ E}) = 128,6 / \text{E}$$

Tensiones producidas por F_2 :

$$\sigma_{\text{máx}} = 6 \times 2.000 \cos 40^\circ \times 20 / (10^2 \text{ E}) = 1.838,5 / \text{E}$$

$$\tau = 2.000 \cos 40^\circ / (10 \text{ E}) = 153,2 / \text{E}$$

Las σ son colineales, y por consiguiente sus módulos se suman; en cambio el módulo de la suma vectorial de las τ es el de la hipotenusa:

$$\sigma_{\text{máx total}} = 15.426,9 / \text{E}^2 + 1.838,5 / \text{E} \Rightarrow$$

$$\tau_{\text{total}} = \sqrt{128,6^2 + 153,2^2} / \text{E} = 200 / \text{E}$$

$$\sigma_{adm} = 4.800 / 3,5 = 1.371,4 \text{ kgf} / \text{cm}^2$$

Criterio de von Mises:

$$1.371,4 \geq \sqrt{(15.426,9 / E^2 + 1.838,5 / E)^2 + 120.000 / E^2} \Rightarrow$$

$$1 \geq \sqrt{(11,249 / E^2 + 1,341 / E)^2 + 0,064 / E^2}$$

Entonces $E \geq 4,1 \text{ cm}$; $E \geq 41 \text{ mm}$

b) La tensión debido a la fuerza directa vale:

$$\tau = \sqrt{2} \times 2.000 / (2 \times 10 \times h) = 141,42 / h$$

La tensión debida al momento flector vale:

$$\tau = 3 \cdot \sqrt{2} \times 2.000 \times 20 / (10^2 \times h) = 1.697,06 / h$$

El módulo de la tensión cortante total es la raíz cuadrada de la suma de los módulos al cuadrado:

$$\tau_{total} = \sqrt{141,42^2 + 1.697,06^2} / h = 1.702,94 / h$$

Según AWS D1.1 vale $\tau_{adm} = 0,3 \times 70.000 / 14,22 = 1.476,8 \text{ kgf} / \text{cm}^2$

Por consiguiente $1.476,8 \geq 1.702,94 / h \Rightarrow h \geq 1,15 \text{ cm}$

$$h \geq 11,5 \text{ mm}$$

Alejandro Fernández

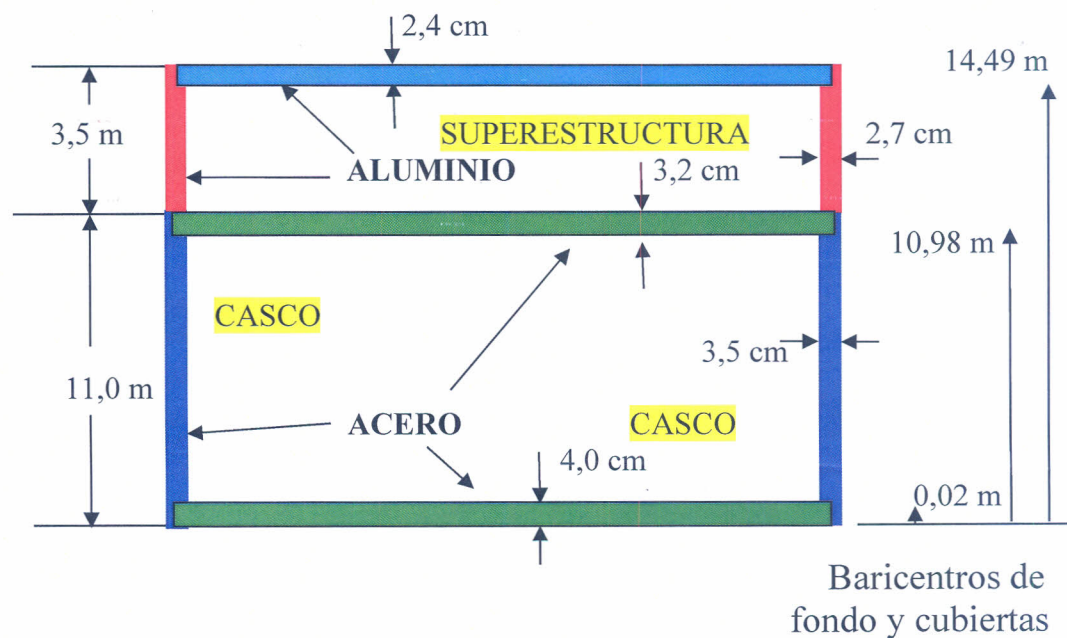
EXAMEN ESTRUCTURAS DE BUQUES

Problema N° 3

Un buque oceánico con **casco de acero** posee una **superestructura de aluminio** que contribuye a la resistencia longitudinal, y posee los siguientes escantillones:

- Eslora = 145,0 m
- Manga = 24,0 m
- Puntal = 11,0 m
- Calado = 9,0 m
- $C_B = 0,73$
- Puntal hasta la cubierta de la superestructura = 14,5 m

El casco está construido enteramente con sistema longitudinal (fondo, cubiertas, costados). No posee doble fondo. La sección transversal del buque considerada se puede esquematizar de la siguiente forma (los espesores son los equivalentes al untar los refuerzos longitudinales a las planchas):



- La cubierta de la superestructura, incluyendo la estructura longitudinal, posee su baricentro a 14,49 m de la superficie exterior del fondo.
- La cubierta principal, incluyendo la estructura longitudinal, posee su baricentro a 10,98 m de la superficie exterior del fondo.
- El fondo, incluyendo la estructura longitudinal, posee su baricentro a 0,02 m de la superficie exterior del fondo.

Se supondrá que la relación de los módulos de elasticidad del aluminio y del acero utilizados es $1/3$.

- 1) Suponiendo que el coeficiente de John es $C = 33,5$, determinar el momento flector máximo $M_{fl. \text{máx.}}$ al que se verá sometido el buque.
- 2) Calcular las tensiones normales σ longitudinales máximas en el fondo, cubierta principal y cubierta de superestructura, debidas al momento flector máximo.
- 3) Suponiendo que la máxima fuerza cortante V a lo largo del buque vale 1.500 Ton, y suponiendo que los espesores de las planchas son la mitad de los espesores untados, calcular, en la sección de máxima fuerza cortante, las tensiones cortantes τ en:
 - a) la cubierta de superestructura en su unión con el costado.
 - b) la cubierta principal en su unión con el costado.
 - c) el fondo en su unión con el costado.
 - d) la máxima τ en la sección transversal considerada.

Alejandro Fernández

Montevideo 15 de Julio de 2022

Resolución Problema N° 3

$$1) \Delta = L.B.d.C_B.\gamma = 145,0 \times 24,0 \times 9,0 \times 0,73 \times 1,026 = 23.458,1 \text{ T}$$

$$M_{fl. \text{ máx.}} = \Delta \cdot L / C = 23.458,1 \times 145,0 / 33,5 = \mathbf{101.534,9 \text{ T.m}}$$

2) Para el cálculo de las tensiones normales debido a los momentos flectores verticales, una sección con materiales disímiles (casco de acero y superestructura de aluminio) se estudia como una viga equivalente de acero en donde las medidas horizontales de aluminio se sustituyen por acero de medidas horizontales reducidas en la relación de los módulos de elasticidad del aluminio / acero, que es 1/3.

Viga equivalente:

- área cubierta superestructura = $2.400 \times 2,4 / 3 = 1.920 \text{ cm}^2$
- espesor costados de superestructura = $2,7 / 3 = 0,9 \text{ cm}$
- área total equivalente = $1.920 + 2.400 \times (3,2 + 4,0) + 2 \times (0,9 \times 350 + 3,5 \times 1.100) = \mathbf{27.530 \text{ cm}^2}$
- baricentro desde el fondo: $X_G = [1.920 \times 14,49 + 2.400 \times 3,2 \times 10,98 + 2.400 \times 4,0 \times 0,02 + 2 \times 2,7 \times 350 \times (11,0 + 3,5 / 2) + 2 \times 3,5 \times 1.100 \times 11,0 / 2] / 27.530 = \mathbf{6,49 \text{ m}}$
- $I_{eq.} = 1.920 \times (14,5 - 6,49)^2 + 2.400 \times 3,2 \times (10,98 - 6,49)^2 + 2.400 \times 4,0 \times (0,02 - 6,49)^2 + 2 \times [0,9 \times 350 \times 3,5^2 / 12 + 0,9 \times 350 \times (11,0 + 3,5 / 2 - 6,49)^2] + 2 \times [3,5 \times 1.100 \times 11,0^2 / 12 + 3,5 \times 1.100 \times (11,0 / 2 - 6,49)^2] = \mathbf{790.401,3 \text{ m}^2.\text{cm}^2}$

Vale: $\sigma = M_{fl} \cdot z / I_{eq.}$, y al aluminio se le aplica la relación de los módulos de elasticidad del aluminio / acero.

- Entonces:

$$\sigma_{\text{fondo}} = 101.534,9 \text{ T.m} \times 6,49 \text{ m} / 790.401,3 \text{ m}^2.\text{cm}^2 = \mathbf{833,7 \text{ kg} / \text{cm}^2}$$

$$\sigma_{\text{cubierta principal}} = 101.534,9 \text{ T.m} \times (11,0 - 6,49) \text{ m} / 790.401,3 \text{ m}^2.\text{cm}^2 = \mathbf{579,4 \text{ kg} / \text{cm}^2}$$

$$\sigma_{\text{cubierta superestructura}} = (1 / 3) \times 101.534,9 \text{ T.m} \times (11,0 + 3,5 - 6,49) \text{ m} / 790.401,3 \text{ m}^2.\text{cm}^2 = \mathbf{343,0 \text{ kg} / \text{cm}^2}$$

30/11

3) Vale Jouravsky: $\tau = V \cdot \mu_{eq.} / (t \cdot I_{eq.})$, siendo "t" el espesor real, tanto del acero como del aluminio.

$$a) \mu_{eq. cubierta superestructura} = [(2.400 / 3) \times 2,4] \text{ cm}^2 \times (14,49 - 6,49) \text{ m} = 15.360 \text{ cm}^2 \cdot \text{m} = 153,60 \text{ cm} \cdot \text{m}^2$$

$$\tau_{cubierta superestructura} = 1.500 \text{ T} \times 153,60 \text{ cm} \cdot \text{m}^2 / [(2 \times 2,4 / 2) \text{ cm} \times 790.401,3 \text{ m}^2 \cdot \text{cm}^2] \\ = 121,5 \text{ kg} / \text{cm}^2$$

$$b) \mu_{eq. cubierta principal} = 3,2 \times 2.400 \text{ cm}^2 \times (10,98 - 6,49) \text{ m} = 34.483 \text{ cm}^2 \cdot \text{m} = 344,83 \text{ cm} \cdot \text{m}^2$$

$$\tau_{cubierta principal} = 1.500 \text{ T} \times 344,83 \text{ cm} \cdot \text{m}^2 / [(2 \times 3,2 / 2) \text{ cm} \times 790.401,3 \text{ m}^2 \cdot \text{cm}^2] \\ = 204,5 \text{ kg} / \text{cm}^2$$

$$c) \mu_{eq. fondo} = 4 \times 2.400 \text{ cm}^2 \times (6,49 - 0,02) \text{ m} = 62.112 \text{ cm}^2 \cdot \text{m} = 621,12 \text{ cm} \cdot \text{m}^2$$

$$\tau_{fondo} = 1.500 \text{ T} \times 621,12 \text{ cm} \cdot \text{m}^2 / [(2 \times 4,0 / 2) \text{ cm} \times 790.401,3 \text{ m}^2 \cdot \text{cm}^2] = \\ = 294,7 \text{ kg} / \text{cm}^2$$

$$d) \mu_{eq. máx.} = 62.112 \text{ cm}^2 \cdot \text{m} + 2 \times 3,5 \times 649 \text{ cm}^2 \times (6,49 / 2) \text{ m} = 76.854 \text{ cm}^2 \cdot \text{m} \\ = 768,54 \text{ cm} \cdot \text{m}^2$$

$$\tau_{máx.} = 1.500 \text{ T} \times 768,54 \text{ cm} \cdot \text{m}^2 / [(2 \times 3,5 / 2) \text{ cm} \times 790.401,3 \text{ m}^2 \cdot \text{cm}^2] = \\ = 416,7 \text{ kg} / \text{cm}^2$$

Alejandro Fernández