

EXAMEN ESTRUCTURAS DE BUQUES

Problema N°1

Un buque tipo ro-ro (roll on – roll off) diseñado según las Reglas del American Bureau of Shipping, edición 2019, para buques de acero de menos de 90 m de eslora, posee las siguientes dimensiones principales:

- Eslora total = 85,92 m
- Eslora entre perpendiculares = 75,80 m
- Eslora en flotación = 78,20 m
- Manga moldeada = 15,00 m
- Puntal moldeado $D = 7,00$ m
- Puntal de escantillonado $D_s = 10,40$ m
- Calado hasta la línea de agua de diseño = 4,30 m



El buque está construido con sistema longitudinal en el doble fondo (con fondo plano) y la cubierta superior resistente, y con sistema transversal en costados y las restantes cubiertas. La sección maestra posee una cubierta por debajo y otra por encima de la de francobordo.

Los mamparos son estancos hasta la cubierta de francobordo.

La clara de los refuerzos poco espaciados, tanto longitudinales como transversales, verifica la relación de las reglas de ABS para buques de acero (s (mm) = $2,08.L$ (m) + 438); se tomará el mismo número entero de cm para ambas claras de refuerzos primarios.

La clara de bulárcamas es 3 m.

La estructura primaria del doble fondo no posee puntales ("struts").

El buque está construido con planchas de acero naval normal.

Se pide:

- Dibujar un esquema de la sección maestra, una banda coincidente con bulárcamas y la otra banda coincidente con cuadernas poco espaciadas de costado y cubiertas intermedias.
- Calcular la clara de estructuras primarias (poco espaciadas).
- Calcular espesor de planchas del fondo.
- Calcular espesor de planchas del costado.

- e) Calcular altura (tomar un número entero de decenas de cm) del doble fondo.
- f) Calcular espesor de la quilla vertical central.
- g) Calcular espesor de varengas de plancha.
- h) Calcular el módulo resistente de longitudinales del fondo.
- i) Calcular el módulo resistente de longitudinales del fondo interior.
- j) Calcular el módulo resistente de las cuadernas entre el fondo interior y la cubierta inferior. Se supondrá que las alturas de los entrepuentes entre la cubierta de francobordo y el fondo interior son iguales, y que la cubierta inferior tiene, a cada banda, una eslora ubicada a 2,5 m del costado.
- k) Calcular el módulo resistente de las cuadernas inmediatamente debajo de la cubierta de francobordo.



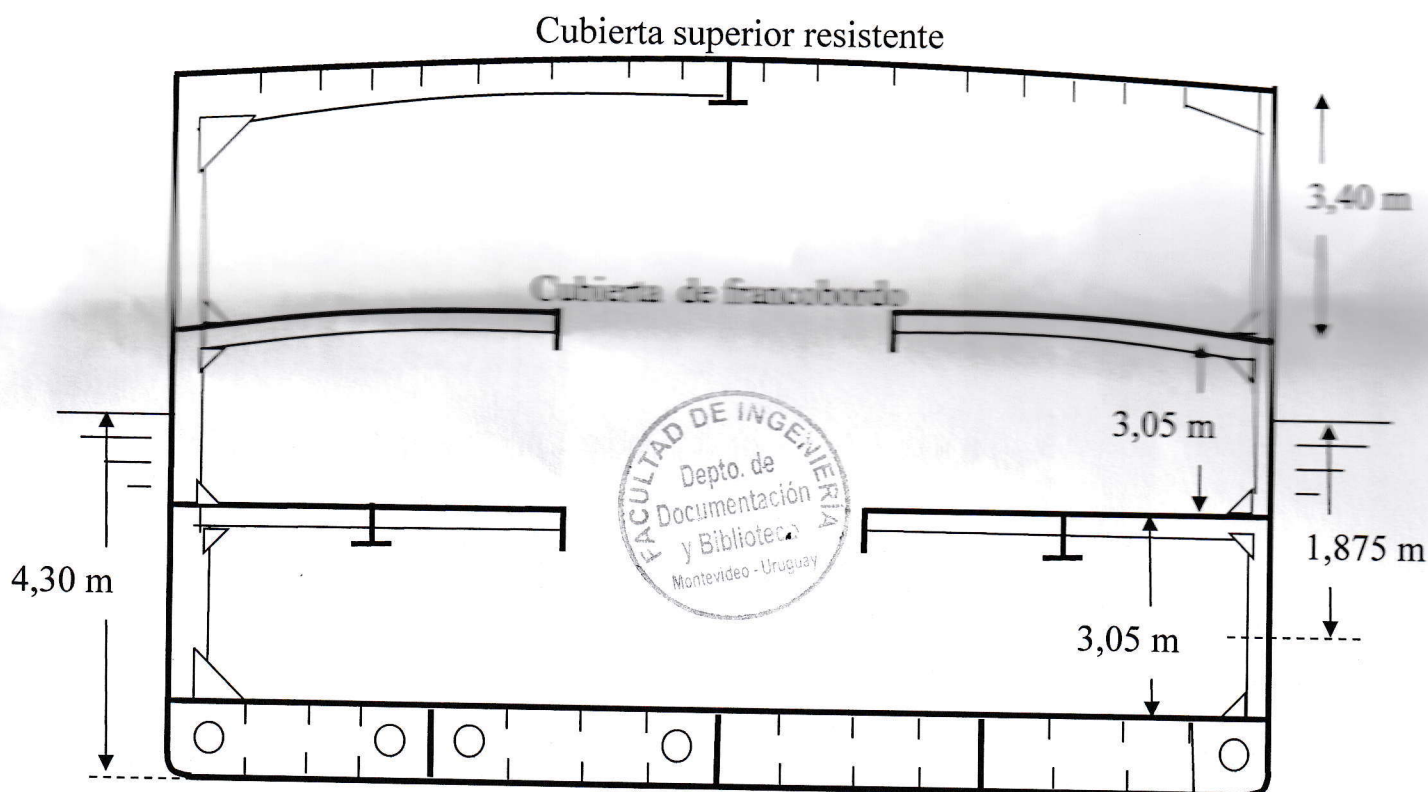
NOTAS:

- 1) Para simplificar los cálculos suponer que no hay cartabones ("brackets") instalados a los efectos de las luces no soportadas en todos los longitudinales.
- 2) 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) $L_w = 78,20 \text{ m}$; $L_{bp} = 75,80 \text{ m}$; $0,96 \times 78,20 = 75,08 \text{ m}$; $0,97 \times 78,20 = 75,85 \text{ m}$

Entonces $L = L_{bp} = 75,80 \text{ m}$

$s = 2,08 \times 75,80 + 438 = 596 \text{ mm}$, se toma $s = 590 \text{ mm}$

c) $D = 7,00 \text{ m}$; $0,1.L = 7,58$; calado = $4,30 \text{ m}$; $0,66 \times 7,00 = 4,62 \text{ m}$;
entonces $d = 4,62 \text{ m}$; $0,066 \times 75,80 = 5,00 \text{ m}$; $1,18 \times 5,00 = 5,90 \text{ m}$;
entonces $h = 7,58 \text{ m}$

$t = 590 \times \sqrt{7,58} / 254 + 2,5 = 8,9 \text{ mm}$

d) $h = 10,40 \text{ m}$ (porque es el puntal definido en 3-1-1/7, en donde hay un puntal moldeado y un puntal de escantillonado; y en c) vimos que $0,1.L$ y $1,18.d$ son menores al puntal de escantillonado); entonces

$$t = 590 \times \sqrt{10,40} / 268 + 2,5 = 9,6 \text{ mm}$$

e) Altura del doble fondo es la altura de la quilla vertical central:

$$h_g = 32 \times 15,00 + 190 \times \sqrt{4,62} = 888 \text{ mm}; \text{ tomando un número entero de decenas de cm: } h_g = 900 \text{ mm}$$

$$f) t = 0,056 \times 75,80 + 5,5 = 9,7 \text{ mm}$$

$$g) t = 0,036 \times 75,80 + 6,2 = 8,9 \text{ mm}$$

$$h) SM = 7,8 \times 1,0 \times 7,00 \times 0,59 \times 3,0^2 = 289,9 \text{ cm}^3$$

$$i) SM = 7,8 \times 0,85 \times (7,00 - 0,90) \times 0,59 \times 3,0^2 = 214,8 \text{ cm}^3$$

j) La altura del entrepuente, entre el fondo interior y la cubierta inferior es

$$(7,00 - 0,90) / 2 = 3,05 \text{ m}; \text{ además}$$

$$h = 4,30 - 0,90 - 3,05 / 2 + 2,5 \times (3,40 + 3,05) / 33 = 2,36 \text{ m}$$

$$SM = 7,8 \times (0,90 + 5,8 / 3,05^3) \times 2,36 \times 0,59 \times 3,05^2 = 111,6 \text{ cm}^3$$

k) Son las cuadernas tipo B de las reglas del ABS.

$$h \text{ es el mayor de: } 0,049 \times 75,80 - 0,81 = 2,90 \text{ m};$$

$$3,05 / 2 = 1,525 \text{ m}$$

$$0,02 \times 75,80 + 0,46 \text{ m} = 1,976 \text{ m}$$

$$SM = 7,8 \times 0,90 \times 2,90 \times 0,59 \times 3,05^2 = 111,7 \text{ cm}^3$$



Alejandro Fernández

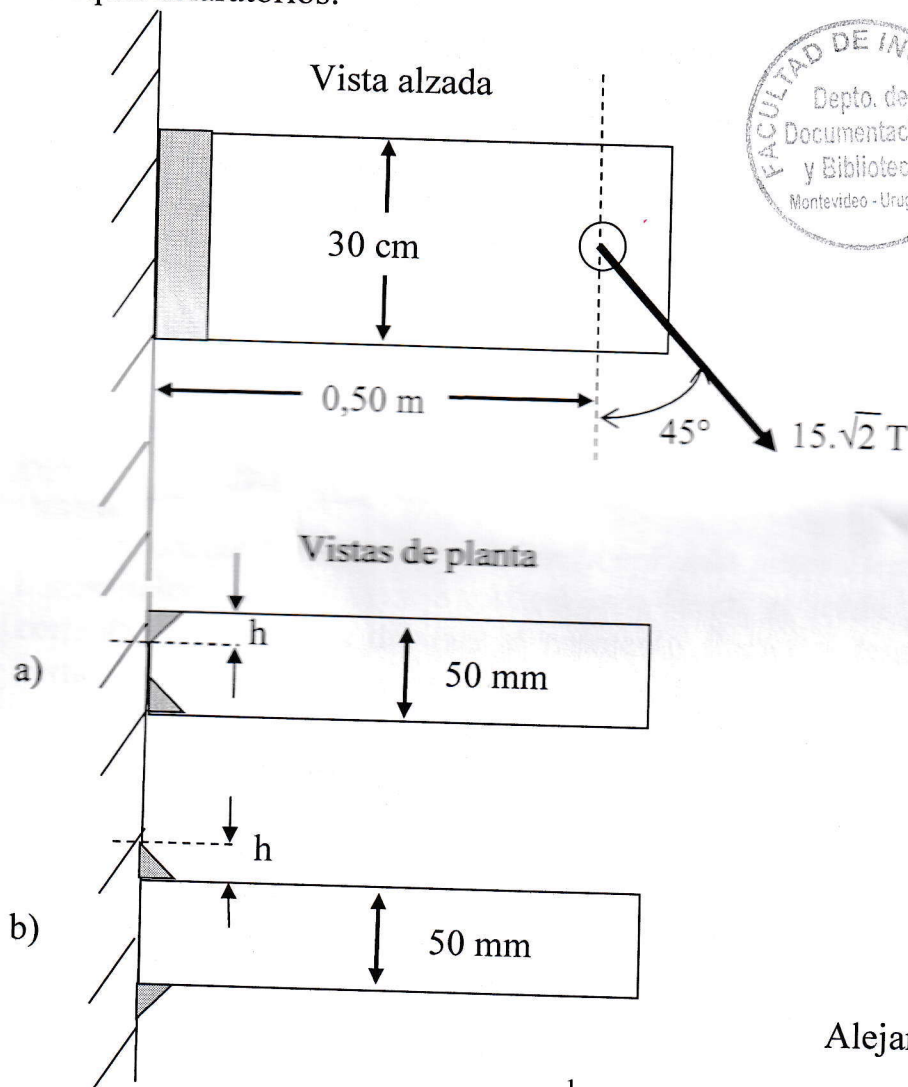
EXAMEN ESTRUCTURAS DE BUQUES

Problema N° 2

Se tiene una planchuela de acero naval normal de 50 mm de espesor que se suelda a una estructura resistente de un acero similar, que debe soportar una carga estática inclinada a 45° de $15\sqrt{2}$ T. Las soldaduras pueden ser a tope, o filete, y en ambos casos se utilizan electrodos E7018.

Determinar a) la penetración de las soldaduras a tope, utilizando el criterio de resistencia de von Mises, con una tensión admisible igual a la tensión mínima última de los metales base dividida por 3,5, y b) los catenos de las soldaduras filete, utilizando la tensión admisible dada por la última edición de AWS D1.1. c) Mencione las ventajas e inconvenientes de los dos tipos de soldadura, y en base a esas apreciaciones seleccione el tipo de soldadura que elegiría. NOTA: para a) y b) expresar el resultado con décimas de mm.

Croquis aclaratorios:



Alejandro Fernández

Montevideo 22 de Febrero de 2022

Resolución Problema N° 2

a) La tensión admisible es $41 \text{ kg/mm}^2 / 3,5 = 11,71 \text{ kg/mm}^2 = 1.171 \text{ kg/cm}^2$

La fuerza inclinada a 45° se sustituye por una fuerza horizontal (que genera tensiones de tracción) y por una fuerza vertical (que genera tensiones de tracción / compresión debidas al momento flector y tensiones cortantes).

Tensiones de tracción generadas por la fuerza horizontal:

$$\sigma = 15 T / (2h \times 30 \text{ cm}^2) = 250 / h \text{ kg/cm}^2$$

Tensiones cortantes (constante en toda la sección) generadas por la fuerza vertical: $\tau = 250 / h \text{ kg/cm}^2$

Tensiones máximas de tracción y compresión generadas por la fuerza vertical:

$$\sigma = 3 \times 15 T \times 50 \text{ cm} / (h \times 30^2 \text{ cm}^3) = 2.500 / h \text{ kg/cm}^2$$

En la zona más solicitada la tensión de tracción será $2.750 / h \text{ kg/cm}^2$ y la tensión cortante es $250 / h \text{ kg/cm}^2$

Tensión equivalente (von Mises) =

$$= \sigma_{eq.} = \sqrt{2750^2 + 3 \times 250^2} / h \leq 1.171 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow$$

$$\rightarrow h \geq 2,38 \text{ cm} = 23,8 \text{ mm}$$

b) Todas las tensiones serán cortantes y aplicadas en las gargantas de las soldaduras filete.

La componente horizontal de la fuerza aplicada genera tensiones cortantes horizontales. La componente vertical de la fuerza aplicada genera tensiones cortantes horizontales debidas al momento flector y tensiones cortantes verticales.

Tensiones horizontales debidas a la fuerza horizontal:

$$\tau = 15 T / (30 \times 2h / \sqrt{2}) \text{ cm}^2 = 250 \times \sqrt{2} / h \text{ kg/cm}^2$$

Tensiones verticales debidas a la fuerza vertical: $\tau = 250 \times \sqrt{2} / h \text{ kg/cm}^2$

Tensiones horizontales máximas debidas al momento flector:

$$\tau = 3 \times \sqrt{2} \times 15 T \times 50 \text{ cm} / (h \times 30^2 \text{ cm}^3) = 2.500 \times \sqrt{2} / h \text{ kg/cm}^2$$

El módulo de la suma vectorial de las máximas tensiones cortantes se encuentra sumando escalarmente las tensiones horizontales y luego se realiza la suma vectorial con las tensiones verticales:

$$\tau_{\text{máx}} = \sqrt{(250 \times \sqrt{2})^2 + (250 \times \sqrt{2} + 2.500 \times \sqrt{2})^2} / h =$$

$$= \sqrt{2} \times 2.761,3 / h \text{ kg/cm}^2 \leq \tau_{\text{adm}} = 0,3 \times 70.000 / 14,22 \text{ kg/cm}^2 =$$

$$= 1.477 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow$$

$$\rightarrow h \geq 2,64 \text{ cm} = 26,4 \text{ mm}$$



c) La soldadura a tope es de menores dimensiones, por lo que una ventaja es que se requiere consumir menos cantidad de electrodos.

Pero la desventaja de la soldadura a tope es que debe biselarse la plancha y el soldador debe estar calificado para realizar soldaduras a tope, lo cual implica que el soldador deberá poseer una mayor manualidad, un mayor entrenamiento, comparado con lo requerido para soldar filete.

Si se deseara realizar, además de inspección visual, la inspección de las soldaduras con otros métodos de ensayos no destructivos, la soldadura a tope requerirá de ensayos más costosos (UT) comparado con la inspección de las soldaduras filete (métodos superficiales, PT o MT).

Por consiguiente, y teniendo en cuenta que la carga es estática (y por consiguiente no hay consideraciones de fatiga), lo más conveniente sería seleccionar las soldaduras filete, por un tema de menores costos y menor tiempo de ejecución.

Alejandro Fernández

EXAMEN ESTRUCTURAS DE BUQUES

Problema N°3

Se está diseñando un buque mercante oceánico, con doble fondo, y las siguientes dimensiones principales:

$$L_w = 120,0 \text{ m}$$

$$B = 20,0 \text{ m}$$

$$D = 10,0 \text{ m}$$

$$d = 7,2 \text{ m}$$

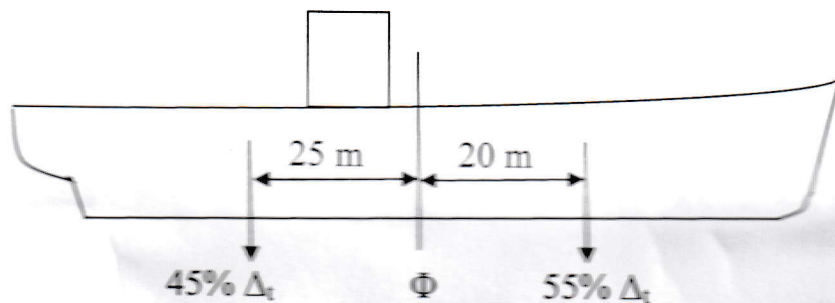
$$C_B = 0,7$$

$$\gamma = 1,026 \text{ (densidad específica del agua de mar)}$$



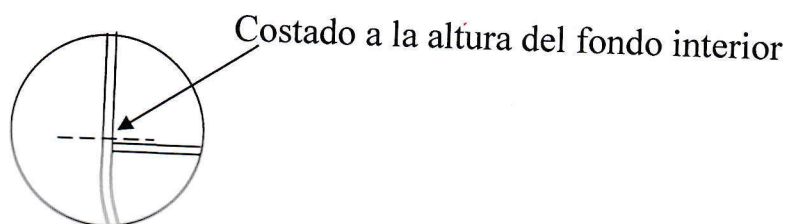
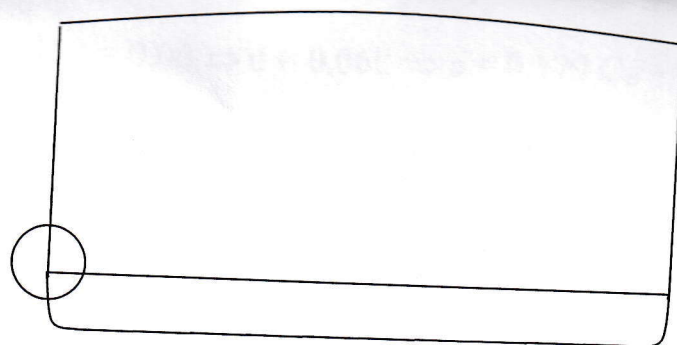
En las primeras vueltas de la espiral de diseño, para el cálculo de los momentos flectores máximos y de las fuerzas cortantes máximas, en quebranto y en arrufo, se aplica el método de Murray (recordar que en las tablas y fórmulas del material del teórico las unidades son inglesas / sistema imperial, no métricas).

Para el momento flector en aguas calmas, se han estimado los pesos y sus baricentros del medio buque a proa y del medio buque a popa de la sección media, siendo sus valores los siguientes:



- Suponiendo alturas de ola iguales a $1,1\sqrt{L_w}$ (sistema imperial), estimar el máximo momento flector total en quebranto y en arrufo.
- Determinar la máxima fuerza cortante V sobre la viga buque, tanto en quebranto como en arrufo.
- Si el momento de inercia estimado de la sección media, considerando todos los elementos estructurales que contribuyen a la resistencia longitudinal, vale $I = 200.500 \text{ m}^2.\text{cm}^2$, la línea neutra de dicha sección media está ubicada a 4,5 m de la línea base, y el doble fondo tiene una altura de 1,0 m, calcular las tensiones normales máximas en cubierta y en fondo **interior** en quebranto y en arrufo.

- d) Si el momento de primer orden estimado de la estructura de la mitad del fondo y fondo interior (considerando todos los elementos estructurales que contribuyen a la resistencia longitudinal, desde crujía hasta una banda), con respecto a la línea neutra, vale $\mu = 5.000 \text{ m.cm}^2$, y el espesor de la traca de costado donde se conecta el fondo interior es 20 mm, calcular la tensión cortante en el costado a la altura del fondo interior en quebranto y en arrufo en las secciones de máxima fuerza cortante.
- e) Determinar las tensiones equivalentes de von Mises en el costado a la altura del fondo interior en una sección transversal en donde se produce el máximo momento flector y simultáneamente el 75% de la máxima fuerza cortante, tanto en quebranto como en arrufo.



Alejandro Fernández

Montevideo 22 de Febrero de 2022

Resolución Problema N°3

$$a) \Delta_t = L \cdot B \cdot d \cdot C_B \cdot \gamma = 120 \times 20 \times 7,2 \times 0,7 \times 1,026 = 12.410 \text{ T} \Rightarrow$$

$$M_{fl \text{ máx}} = M_{fl \text{ sw}} + M_{fl \text{ wa}}$$

$$M_{fl \text{ sw}} = M_{fl \text{ pesos}} - M_{fl \text{ empujes}}$$

$$M_{fl \text{ pesos}} = \frac{1}{2} (0,45 \times 12.410 \times 25 + 0,55 \times 12.410 \times 20) = 138.061,25 \text{ T.m}$$

$M_{fl \text{ empujes}} = a \cdot \Delta_t \cdot L / 2$ siendo "a" un valor adimensional que surge de la Tabla 1 del método de Murray de los apuntes del teórico (Capítulo 7).

$$d / L = 7,2 / 120 = 0,06 \Rightarrow d = 0,06L \Rightarrow a = 0,179 C_B + 0,063 = 0,1883$$

$$\Rightarrow M_{fl \text{ empujes}} = 0,1883 \times 12.410 \times 120 / 2 = 140.208,2 \text{ T.m}$$

$$\Rightarrow M_{fl \text{ sw}} = 138.061,25 - 140.208,2 = - 2.146,9 \text{ T.m (es un momento flector en aguas calmas de arrufo, o sea con la cubierta comprimida)}$$

Para olas de altura igual a $1,1\sqrt{L_w}$ el momento flector debido a las olas $M_{fl \text{ wa}}$ vale:

$M_{fl \text{ wa}} = b' \cdot B \cdot L^{2,5} \cdot 10^{-4}$, siendo "b'" un valor no adimensional que surge de la Tabla 2 del método de Murray antedicho.

b' tiene dimensiones porque con B y L expresados en pies, el resultado del momento flector debido a las olas está en pie.ton, siendo además

$$1 \text{ ton} = 2.240 \text{ lb} = 1,016 \text{ T}$$

Lo que se hace es expresar B y L en pies, y luego simplemente convertir los pie.ton en T.m: $1 \text{ pie.ton} = 0,3048 \text{ m} \cdot 1,016 \text{ T} = 0,30968 \text{ T.m}$

Para $C_B = 0,7$ vale (Tabla 2): $b' = 4,70$ (quebranto), $b = - 5,31$ (arrufo)

$$M_{fl \text{ wa quebranto}} = 4,70 \times (20 / 0,3048) \times (120 / 0,3048)^{2,5} \times 10^{-4} \text{ pie.ton} =$$

$$= 94.848,1 \text{ pie.ton} = 29.372,6 \text{ T.m}$$

$$M_{fl \text{ wa arrufo}} = - (5,31 / 4,70) \times 29.372,6 = - 33.184,7 \text{ T.m}$$

$M_{fl \text{ máx}} = M_{fl \text{ sw}} + M_{fl \text{ wa}}$; hay que calcularlo en quebranto y en arrufo:

$$M_{fl \text{ máx quebranto}} = - 2.146,9 + 29.372,6 = 27.225,7 \text{ T.m}$$

$$M_{fl \text{ máx arrufo}} = - 2.146,9 - 33.184,7 = - 35.331,6 \text{ T.m}$$

$$b) V_{\text{máx}} = (6 \cdot M_{fl \text{ sw}} + 3,5 \cdot M_{fl \text{ wa}}) / L$$

$$\text{Quebranto: } V_{\text{máx quebranto}} = [6 \times (- 2.146,9) + 3,5 \times 29.372,6] / 120 = 1.020,4 \text{ T}$$

$$\text{Arrufo: } V_{\text{máx arrufo}} = [6 \times (- 2.146,9) + 3,5 \times (- 33.184,7)] / 120 = - 749,4 \text{ T}$$

$$c) \text{ Módulo resistente superior} = 200.500 \text{ m}^2.\text{cm}^2 / (10 - 4,5) \text{ m} = 36.454,5 \text{ m.cm}^2$$

$$\text{Módulo resistente al fondo interior} = 200.500 \text{ m}^2.\text{cm}^2 / (4,5 - 1) \text{ m} = 57.285,7 \text{ m.cm}^2$$

Quebranto:

$$\text{tensión en cubierta } \sigma_{\text{cubierta quebranto}} = 27.225,7 \text{ T.m} / 36.454,5 \text{ m.cm}^2 = + 747 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{tensión en fondo interior } \sigma_{\text{fondo int quebranto}} = 27.225,7 \text{ T.m} / 57.285,7 \text{ m.cm}^2 = - 475 \text{ kg/cm}^2$$

Arrufo:

$$\text{tensión en cubierta } \sigma_{\text{cubierta arrufo}} = - 35.331,6 \text{ T.m} / 36.454,5 \text{ m.cm}^2 = - 1.391 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{tensión en fondo interior } \sigma_{\text{fondo int. arrufo}} = 35.331,6 \text{ T.m} / 57.285,7 \text{ m.cm}^2 = + 617 \text{ kg/cm}^2$$

d) Según lo visto en el Capítulo 8 del teórico, para las tensiones cortantes en el ama de la sección transversal de una viga buque vale Jouravski:

$$\tau_{yx} = V \cdot \mu / (t \cdot I_{yy})$$

siendo, en el caso del costado a la altura del fondo interior, t = espesor del costado próximo al fondo interior, V = fuerza cortante en la sección transversal considerada, e I_{yy} = momento de inercia de la sección

considerada (en realidad, por la simetría, es la mitad de la fuerza cortante y la mitad del momento de inercia, pero se cancelan ambos "2").

Quebranto:

Tensión cortante en el costado contra el fondo interior:

$$\tau_{\text{costado quebranto}} = 1.020,4 T \times 5.000 \text{ m.cm}^2 / (20 \text{ mm} \times 200.500 \text{ m}^2.\text{cm}^2) = 127 \text{ kg/cm}^2$$

Arrufo:

Tensión cortante en el costado contra el fondo interior:

$$\tau_{\text{costado arrufo}} = 749,4 T \times 5.000 \text{ m.cm}^2 / (20 \text{ mm} \times 200.500 \text{ m}^2.\text{cm}^2) = 93,4 \text{ kg/cm}^2$$

f) Tensión equivalente de von Mises:

$$\sigma_{\text{equiv.}} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$$

El 75% de la fuerza cortante implica el 75% de las tensiones cortantes.

Tensión equivalente en costado contra el fondo interior en quebranto:

$$\sigma_{\text{equiv.}} = \sqrt{475^2 + 3(127 \times 0,75)^2} = 503 \text{ kg / cm}^2$$

Tensión equivalente en costado contra el fondo interior en arrufo:

$$\sigma_{\text{equiv.}} = \sqrt{617^2 + 3(93,4 \times 0,75)^2} = 629 \text{ kg / cm}^2$$



Alejandro Fernández