

EXAMEN ESTRUCTURAS DE BUQUES

Problema N° 1

Un buque granelero oceánico está diseñado según las Reglas del American Bureau of Shipping, edición 2019, para buques de acero de menos de 90 m de eslora, y posee las siguientes dimensiones principales:

- Eslora total = 86,16 m
- Eslora en flotación = 83,33 m
- Eslora entre perpendiculares = 79,15 m
- Manga moldeada = 12,90 m
- Puntal moldeado = 7,10 m
- Calado hasta la línea de agua de diseño = 5,20 m

El buque está construido con acero naval de tensión normal, posee doble fondo, fondo plano, y su sección transversal es la típica de los buques graneleros, con tanques laterales inclinados (tipo tolva) superiores e inferiores. Dispone de sistema de construcción longitudinal en el doble fondo, cubierta y tanques laterales, y construcción transversal en el costado del casco. Se colocan puntales (“struts”) intermedios en los longitudinales del doble fondo. La separación entre refuerzos que soportan a la estructura poco espaciada longitudinal es cuatro veces la clara de la estructura poco espaciada.

Para el costado tomar la clara de los refuerzos poco espaciados igual a la establecida por las reglas de ABS para buques de acero con estructura transversal $[s \text{ (mm)} = 2,08.L \text{ (m)} + 438]$, tomando un valor entero de dm. Tomar el mismo valor para la clara de la estructura poco espaciada longitudinal en donde se disponga.

Se pide:

- Dibujar un esquema de la sección maestra del buque en zona de escotillas, de forma tal que la banda de estribor coincida con una bulárcama y la banda de babor coincida con una cuaderna poco espaciada de costado y con “struts” de longitudinales del doble fondo.
- Calcular las claras de estructuras poco espaciadas (tomar un número entero de dm).
- Calcular espesor de planchas del fondo.

- d) Calcular espesor de planchas del fondo interior en zona de bodegas sabiendo que la carga y descarga se puede realizar con grapos ("grabs").
- e) Calcular espesor de quilla central vertical ("center girder").
- f) Explicar si son o no necesarias quillas laterales (vagrass, o "side girders"). En caso afirmativo, calcular su espesor, y tener la precaución de ubicarlas en el esquema del literal a).
- g) Calcular altura del doble fondo (tomar un número entero de dm).
- h) Calcular módulo resistente de longitudinales de fondo interior.
- i) Calcular módulo resistente de longitudinales de fondo.
- j) Calcular módulo resistente de cuadernas poco espaciadas del costado. Para esto suponer que la longitud de las cuadernas es $1/3$ del puntal, y su punto medio está en $1/2$ del puntal.
- k) Calcular espesor de planchas del costado.
- l) Calcular espesor de planchas de cubierta fuera de las líneas de escotillas. La altura del venteo (overflow) de los tanques laterales superiores es 1 m.

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) Donde corresponda, no verificar ni aplicar coeficientes por módulo resistente de la viga buque real ("actual"), porque en la presente instancia de cálculo se carece de dicho valor.
- 3) Donde corresponda, no realizar verificaciones por pandeo (buckling).
- 4) Para el redondeo de espesores de planchas se utilizará el criterio vigente de ABS:

5.3 Rounding of Calculated Thickness

The required thickness is given by rounding the calculated plate thickness to the nearest half millimeter (or $1/64$ inch). For example:

For $10.75 \leq t_{calc} < 11.25$ mm the Rule required thickness is 11 mm

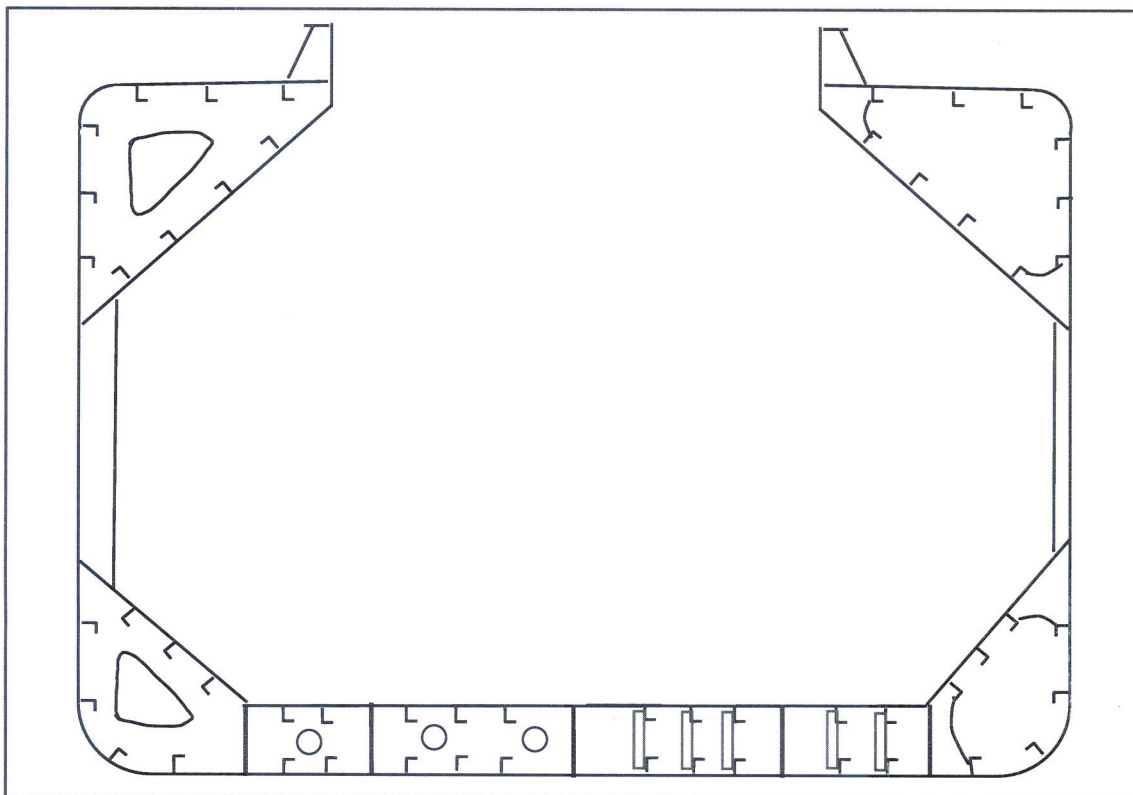
For $11.25 \leq t_{calc} < 11.75$ mm the Rule required thickness is 11.5 mm

Alejandro Fernández



Resolución Problema N° 1 – ESTRUCTURAS DE BUQUES

a)



b) $0,97 \times 83,33 = 80,83 \text{ m} > 79,15 \text{ m}$

$0,96 \times 83,33 = 80,00 > 79,15 \text{ m} \Rightarrow L = 80,00 \text{ m}$

$s \text{ (mm)} = [2,08 \times 80,00 + 438] = 604,4 \text{ mm} \Rightarrow$ como debe ser un número entero de dm, se toma

$s = 60 \text{ cm}$

c) h es el mayor de: $D = 7,10 \text{ m}$; $0,1 \times L = 8,00 \text{ m}$; $1,18 \times d$, siendo d el mayor de: $5,20 \text{ m}$; $0,66 \times D = 4,69 \text{ m}$; $0,066 \times L = 5,28 \text{ m}$, entonces, para el cálculo de este h , se debe tomar $d = 5,28 \text{ m}$

3/12



Finalmente $1,18 \times d = 6,23 \text{ m}$, y por consiguiente: $h = 8,00 \text{ m}$

$$t_{\text{fondo}} = 600 \times \sqrt{8,00} / 254 + 2,5 = 9,2 \text{ mm, entonces } t_{\text{fondo}} = \mathbf{9,0 \text{ mm}}$$

$$\mathbf{d) } t_{\text{fondo interior}} = 0,037 \times 80,00 + 0,009 \times 600 - 0,5 + 2 - 1 + 5 = 13,9 \text{ mm}$$

Entonces: $t_{\text{fondo interior}} = \mathbf{14,0 \text{ mm}}$

$$\mathbf{e) } t_{\text{quilla central}} = 0,056 \times 80,00 + 5,5 = 10,0 \text{ mm}$$

Entonces: $t_{\text{quilla central}} = \mathbf{10,0 \text{ mm}}$

f) Son necesarias las quillas laterales o vagras porque la distancia entre la quilla central y las bandas es mayor a 4,57 m.

$$t_{\text{quilla lateral}} = 0,036 \times 80,00 + 4,7 = 7,6 \text{ mm}$$

Entonces $t_{\text{quilla lateral}} = \mathbf{7,5 \text{ mm}}$

g) Altura de doble fondo = altura de quilla central = h_g

$$h_g = 32 \times 12,90 + 190 \times \sqrt{5,20} = 846,1 \text{ mm ; se pide un número entero de dm,}$$

entonces se toma $h_g = \mathbf{90 \text{ cm}}$

h) h se mide hasta la cubierta al costado, y por lo tanto

$$\Rightarrow h = 7,10 - 0,90 = 6,20 \text{ m}$$

$$\mathbf{SM_{fondo interior}} = 7,8 \times 0,45 \times 6,20 \times 0,60 \times (4 \times 0,60)^2 = \mathbf{75,2 \text{ cm}^3}$$

i) También h se mide hasta la cubierta al costado, $\Rightarrow h = 6,10 \text{ m}$

Entonces:

$$\mathbf{SM_{fondo}} = 7,8 \times 0,55 \times 7,10 \times 0,60 \times (4 \times 0,60)^2 = \mathbf{105,3 \text{ cm}^3}$$

4/12



j) h es el mayor de $7,10 / 2 = 3,55$ m y $0,02 \times 80,00 + 0,46 = 2,06$ m
Entonces:

$$SM_{\text{costado}} = 7,8 \times 0,915 \times 3,55 \times 0,60 \times (7,10 / 3)^2 = 85,1 \text{ cm}^3$$

k) h es el mismo que para las planchas del fondo
Entonces:

$$t_{\text{costado}} = 600 \times \sqrt{8,00} / 268 + 2,5 = 8,83 \text{ mm},$$

Pero para buques de carga seca con configuración de granelero también se cumple que

$$t_{\text{costado}} = \sqrt{80,00} = 8,94 \text{ mm}$$

Entonces

$$t_{\text{costado}} = 9,0 \text{ mm}$$

l) Por ser una cubierta que es el tope de un tanque, la distancia h es 2/3 de la altura del overflow, por lo que $h = (2/3) \times 1 \text{ m} = 2/3 \text{ m}$

Entonces el espesor de la cubierta es el mayor de:

$$t_{\text{cubierta}} = 600 \times \sqrt{2/3} / 254 + 2,5 = 4,43 \text{ mm}$$

$$t_{\text{cubierta}} = 0,009 \times 600 + 2,4 = 7,80 \text{ mm}$$

Entonces:

$$t_{\text{cubierta}} = 8,0 \text{ mm}$$



Alejandro Fernández

5/12



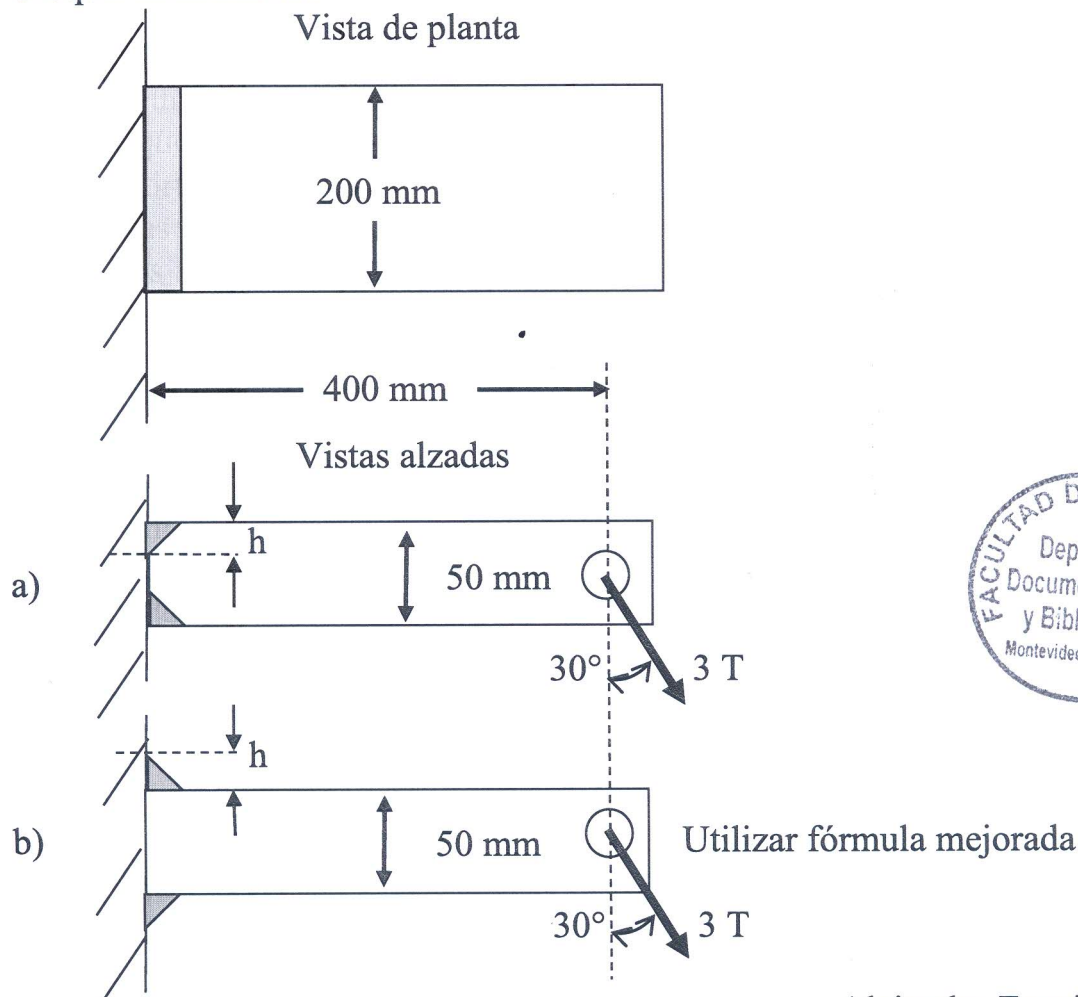
EXAMEN ESTRUCTURAS DE BUQUES

Problema N° 2

Se tiene una planchuela de acero naval de tensión normal de 50 mm de espesor que se suelda a una estructura resistente de un acero similar, que debe soportar una carga inclinada 30° con respecto a la vertical, de 3 T. Las soldaduras pueden ser a tope, o filete, y en ambos casos se utilizan electrodos E7018.

Determinar **a)** la penetración h (mm) 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, y **b)** los catetos h (mm) de las soldaduras filete, utilizando la fórmula mejorada para el flector y la menor tensión admisible que permita la última edición de AWS D1.1. **c)** Comente las ventajas e inconvenientes de los dos tipos de soldadura, y en caso de que la carga aplicada sea cíclica (induciendo fatiga) comente qué tipo de soldadura elegiría, por qué, y si hiciese algún cambio adicional.

Croquis aclaratorios:



Alejandro Fernández

Resolución Problema N° 2

a) La tensión admisible es $41 \text{ kg/mm}^2 / 3 = 13,67 \text{ kg/mm}^2 = 1.367 \text{ kg/cm}^2$

La fuerza inclinada 30° 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, más tensiones cortantes).

Tensiones de tracción generadas por la fuerza horizontal:

$$\sigma = 3 \sin 30^\circ T / (2h \times 20 \text{ cm}^2) = 37,5 / h \text{ kg/cm}^2 \text{ (h en cm)}$$

Tensiones cortantes (constante en toda la sección) generadas por la fuerza vertical: $\tau = 3 \cos 30^\circ T / (2h \times 20 \text{ cm}^2) = 65,0 / h \text{ kg/cm}^2 \text{ (h en cm)}$

Tensiones máximas de tracción y compresión generadas por la fuerza vertical: $S = 3.T.P.L / [I.h.(3.T^2 - 6.T.h + 4.h^2)]$

$$\sigma = 3 \times 5 \text{ cm} \times 3.000 \cos 30^\circ \text{ kg} \times 40 \text{ cm} / [20h \text{ cm}(3 \times 5^2 \text{ cm}^2 - 6 \times 5h \text{ cm} + 4h^2)]$$

(con h en cm el resultado es en kg/cm^2)

$$\sigma = 77.942,3 / (75h - 30h^2 + 4h^3) \text{ kg/cm}^2 \text{ (h en cm)}$$

En la zona más solicitada las tensiones de tracción se suman escalarmente, y la tensión equivalente de von Mises surge al considerar la tensión cortante existente.

Tensión equivalente (von Mises) =

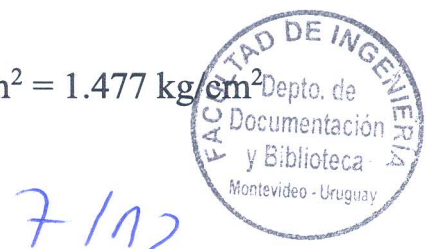
$$\sigma_{eq} = \sqrt{[77.942,3 / (75h - 30h^2 + 4h^3) + 37,5/h]^2 + 3 \times 65,0^2/h^2} \leq 1.367 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Iterando} \rightarrow h \geq 1,5 \text{ cm} = 15 \text{ mm}$$

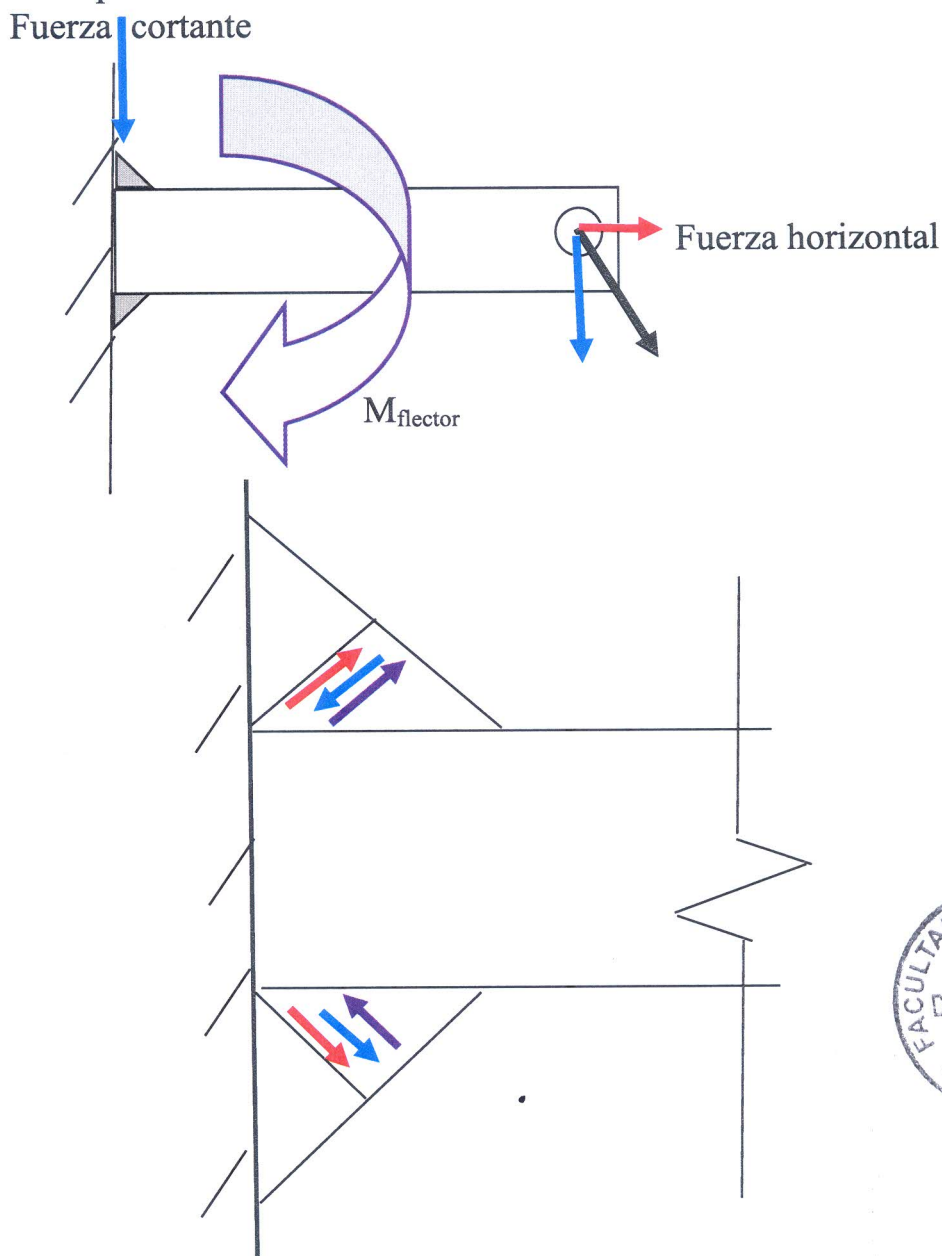
b) Todas las tensiones serán cortantes y aplicadas en las gargantas de las soldaduras filete.

Claramente la fuerza no está alineada con las soldaduras ni es coplanar con las soldaduras, por lo tanto, la tensión admisible será 0,3 veces la tensión mínima de rotura del metal de soldadura:

$$\tau_{adm} = 0,3 \times 70.000 / 14,22 \text{ kg/cm}^2 = 1.477 \text{ kg/cm}^2$$



Veamos cómo son las tensiones cortantes generadas por la sollicitación descompuesta:



La fuerza aplicada (flecha negra) se descompone en una fuerza horizontal (flecha roja) más una fuerza vertical (flecha celeste).

En las gargantas de las soldaduras filete (croquis inferior) la fuerza horizontal genera las tensiones cortantes indicadas con flechas rojas (que llamaremos τ_1), la fuerza vertical aplicada a ras con la pared genera las tensiones cortantes indicadas con las flechas celestes (que llamaremos τ_2), y el momento flector generado por la fuerza vertical genera las tensiones cortantes indicadas con las flechas violetas (que llamaremos τ_3). Dado que las tensiones generadas, con la convención adoptada para las tensiones en las gargantas de soldaduras filete, se contraponen de diferentes modos, lo que se hace es considerar los valores mayores que se suman en cada

garganta, y se toma la mayor de las tensiones resultantes para el dimensionamiento de las soldaduras filete.

$$\tau_1 = 3 \sin 30^\circ T / (\sqrt{2} h \times 20 \text{ cm}^2) = 53,0 / h \text{ kg/cm}^2 \text{ (h en cm)}$$

$$\tau_2 = 3 \cos 30^\circ T / (\sqrt{2} h \times 20 \text{ cm}^2) = 91,9 / h \text{ kg/cm}^2 \text{ (h en cm)}$$

Utilizando la fórmula mejorada para el momento flector:

$$\tau_3 = \sqrt{2} \times 3 \cos 30^\circ T \times 40 \text{ cm} \times (5 \text{ cm} + h) / [20h \text{ cm} \times (5^2 \text{ cm}^2 + 5h \text{ cm} + h^2 / 3)]$$

$$\tau_3 = 7.348,5 \times (5 + h) / (25 + 5h + h^2/3)$$

Dado que para valores de h del orden de 2 cm las tensiones τ_3 son MUY superiores a τ_1 y τ_2 es evidente que la mayor sollicitación se dará en la soldadura filete superior, en donde se suman τ_1 y τ_3 .

$$\tau_1 + \tau_3 = 53,0 / h + 7.348,5 \times (5 + h) / (25 + 5h + h^2/3) \leq 1.477 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Iterando} \rightarrow h \geq 1,5 \text{ cm} = 15 \text{ mm}$$



c) Ventajas e inconvenientes de los dos tipos de soldadura:

Las soldaduras filete requieren soldadores menos calificados, y no requieren biselar los bordes a soldar, todo lo cual es una evidente ventaja. Teniendo en cuenta que en este ejemplo ambos tipos de soldadura poseen iguales dimensiones h, se puede decir que la cantidad de electrodos consumidos por ambos tipos serán similares, no habiendo ventajas para uno u otro tipo de soldadura en este aspecto.

Usualmente las soldaduras a tope requieren de inspección volumétrica del metal depositado, lo cual implica el uso de técnicas de ensayos no destructivos más sofisticadas (UT, RT) que las técnicas superficiales (MT o PT) suficientes para la inspección de las soldaduras filete. La inspección visual es necesario realizarla para ambos tipos de soldadura.

Hasta este punto son evidentes las mayores ventajas que tiene seleccionar, en este caso específico, las soldaduras tipo filete.

Pero en caso de que la carga sea cíclica, induciendo fatiga, no hay dudas: se deberá seleccionar la soldadura a tope, y además será conveniente agrandar la soldadura para que sea de penetración total, dado que es el tipo de soldadura que minimiza los concentradores de tensión en donde en una soldadura sometida a fatiga se podrán iniciar fisuras.

Alejandro Fernández

EXAMEN ESTRUCTURAS DE BUQUES

Problema N°3

Se tiene un buque oceánico cuyo calado en máxima carga es 9,0 m, está construido con estructura longitudinal en toda la sección maestra, teniendo como clara de estructuras primarias poco espaciadas 0,6 m, y siendo 3,0 m la separación entre bulárcamas. Está construido con acero naval de tensión normal ("ordinary strength") grados A y B.

- a) Utilizando las fórmulas del ABS de la primera mitad del Siglo XX basadas en las experiencias de Hovgaard, determinar el espesor de las planchas del fondo.
- b) Calcular el espesor de las planchas del fondo utilizando la antigua fórmula basada en las experiencias de los Prof. Bach y Pietzker, suponiendo que se aplica un coeficiente de seguridad tal que la tensión admisible es $2/3$ de la tensión de fluencia del acero naval utilizado.
- c) Si para el fondo calculado en a) se utilizara la teoría de la flexión cilíndrica de planchas de gran longitud que considera el efecto membrana (método de Timoshenko), ¿cuál es la tensión máxima que le provocaría exclusivamente la presión hidrostática a las planchas del fondo? Se hará la suposición usual de la condición de los bordes de las planchas de fondo, y para simplicidad se utilizará la gráfica correspondiente para el cálculo tensional, interpolando entre los valores aproximados de la misma.
- d) Si ahora se utilizaran las Cartas de Schade, con la suposición usual de la condición de los bordes de las planchas de fondo, manteniendo el espesor calculado en a), ¿cuál es la tensión máxima que le provocaría exclusivamente la presión hidrostática?
- e) ¿Durante el diseño de la estructura de un buque qué debe verificarse para las planchas del fondo en la sección maestra antes de seleccionar cualquiera de los espesores determinados en los literales a) o b) ?

Nota: para los literales a) y b) redondear el resultado en mm utilizando el criterio de redondeo de espesores de las reglas actuales de ABS:

5.3 Rounding of Calculated Thickness

The required thickness is given by rounding the calculated plate thickness to the nearest half millimeter (or $1/64$ inch). For example:

For $10.75 \leq t_{calc} < 11.25$ mm the Rule required thickness is 11 mm

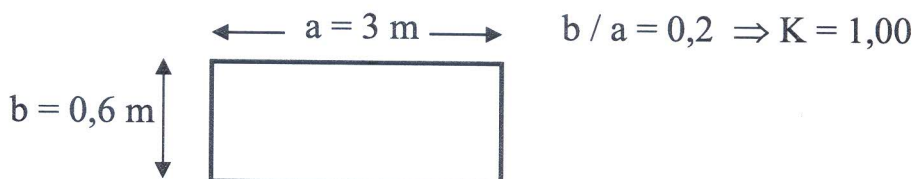
For $11.25 \leq t_{calc} < 11.75$ mm the Rule required thickness is 11.5 mm

Alejandro Fernández



Resolución Problema N°3

a) espesor $h \geq (K / C) \cdot b \cdot \sqrt{H}$, siendo H = calado en m.c.a.



Además para el casco, y con acero naval normal, según lo visto en el teórico vale $C = 193$ por lo que $h \geq (1 / 193) \times 60 \text{ cm} \times \sqrt{9 \text{ m}} = 0,93 \text{ cm}$,

Entonces espesor $h = 9,5 \text{ mm}$ (redondeando según criterio actual de ABS)

b) Según los Prof. Bach y Pietzker, y sustituyendo la presión p por su equivalente en metros de columna de agua H , vale:

$$h \geq l \cdot \sqrt{0,1026 \cdot H / (2 \cdot \sigma_{adm})},$$

siendo h = espesor de la plancha (cm)

l = ancho de la plancha (cm)

H = metros de columna de agua salada (m)

$$\sigma_{adm} = \sigma_{flu} \cdot (2/3) \quad (\text{kgf} / \text{cm}^2)$$



$$\text{Entonces } h \geq 60 \times \sqrt{0,1026 \times 9 / (2 \times 2.400 \times 2/3)} = 1,02 \text{ cm}$$

Siguiendo el actual criterio de redondeo de las reglas de ABS: $h = 10,0 \text{ mm}$

c) Debido a la suposición de empotramiento de los bordes, se utilizan las gráficas de la Fig. 4.5-d del Domínguez para el cálculo de la tensión máxima en las planchas; en dicha gráfica se ingresa por la relación Ancho / Espesor y por la presión p en kg/cm^2 :

$$\begin{aligned} \text{Ancho} / \text{Espesor} &= 60 / 0,95 = 63,2 ; p = 9 \text{ m.c.a.} = 0,1026 \times 9 \text{ kg/cm}^2 = \\ &= 0,92 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

De la gráfica en la Fig. 4.5-d surge, interpolando entre cuatro puntos intersecciones de presión - Ancho / Espesor - tensión:

1,00 kg/cm² - 50 - 1300 kg/cm²

1,00 kg/cm² - 100 - 4200 kg/cm²

0,80 kg/cm² - 50 - 1100 kg/cm²

0,80 kg/cm² - 100 - 3500 kg/cm²

La interpolación para una presión $p = 0,92 \text{ kg/cm}^2$ y una relación Ancho / Espesor = 63,2 da por resultado una tensión

$$\sigma = 1.933 \text{ kg / cm}^2$$

d) Utilizando las cartas de Schade, se utilizan las gráficas de la Fig. 4-7 h del Domínguez. La fórmula que se utiliza es:

$$\sigma = 5,46 \cdot K \cdot p \cdot (b / h)^2, \text{ siendo}$$

$$\rho = a / b = 3,0 \text{ m} / 0,6 \text{ m} = 5$$

$$\eta = 1,0 ; p = 0,92 \text{ kg / cm}^2$$

Se utiliza la Fig. 4.7-h del Domínguez, entrándole por $\rho = 5$ (en el eje de las abscisas) y viendo la curva para $\eta = 1,0$ en el caso de los cuatro bordes empotrados, y como σ es directamente proporcional a K (eje de las ordenadas), se aprecia fácilmente que la mayor tensión se dará en el centro de los bordes largos de la plancha, en cuyo caso vale $K = 0,0916$, por lo cual:

$$\sigma = 5,46 \times 0,0916 \times 0,92 \text{ kg/cm}^2 \times (60 \text{ cm} / 0,95 \text{ cm})^2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \sigma = 1.835 \text{ kg / cm}^2$$

e) Debe verificarse que el módulo resistente de la sección maestra sea mayor a un mínimo (por ejemplo el dado por alguna sociedad de clasificación), que el momento de inercia de la sección maestra sea mayor a un mínimo (ídem comentario anterior), que las máximas tensiones de von Mises de las planchas sean menores a las admisibles en cualquier condición de carga y de navegación, y que las planchas de fondo no pandearán en cualquier condición de carga y de navegación.



Alejandro Fernández

12/12