

Montevideo 31 de Enero de 2026

EXAMEN ESTRUCTURAS DE BUQUES

Problema N° 1

Un buque granelero oceánico está diseñado según las Reglas del American Bureau of Shipping, edición 2025, para buques de acero de menos de 90 m de eslora, y posee las siguientes dimensiones principales:

- Eslora total = 85,06 m
- Eslora en flotación = 81,25 m
- Eslora entre perpendiculares = 77,10 m
- Manga moldeada = 12,50 m
- Puntal moldeado = 6,10 m
- Calado hasta la línea de agua de diseño = 4,58 m
- Capacidad de carga: 1.900 T (DWT)

El buque está construido con acero 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 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:

1/13



- a) 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.
- b) Calcular las claras de estructuras poco espaciadas.
- c) Calcular espesor de planchas del fondo.
- d) Calcular altura del doble fondo (tomar un número entero de cm).
- e) Calcular espesor de quilla central vertical (“center girder”).
- f) Explicar si son o no necesarias quillas laterales (vagas, o “side girders”). En caso afirmativo, calcular su espesor, y tener la precaución de ubicarlas en el esquema del literal a).
- g) Calcular espesor de planchas del fondo interior en zona de bodegas sabiendo que la carga y descarga no se realizará con grapos (“grabs”), y que la densidad de carga es 715 kgf/m^3 .
- h) Calcular módulo resistente de longitudinales de fondo.
- i) Calcular módulo resistente de longitudinales de fondo interior.
- 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.



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 módulos resistentes o momentos de inercia de la viga buque real (“actual”), porque en la presente instancia de cálculo se carece de dichos valores.

- 3) Donde corresponda, no realizar verificaciones por pandeo (buckling).
- 4) Para los cálculos solicitados utilizar solamente la Parte 3 de las reglas (no complementar con la Parte 5 correspondiente al tipo de buque).
- 5) 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 $\frac{1}{64}$ 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

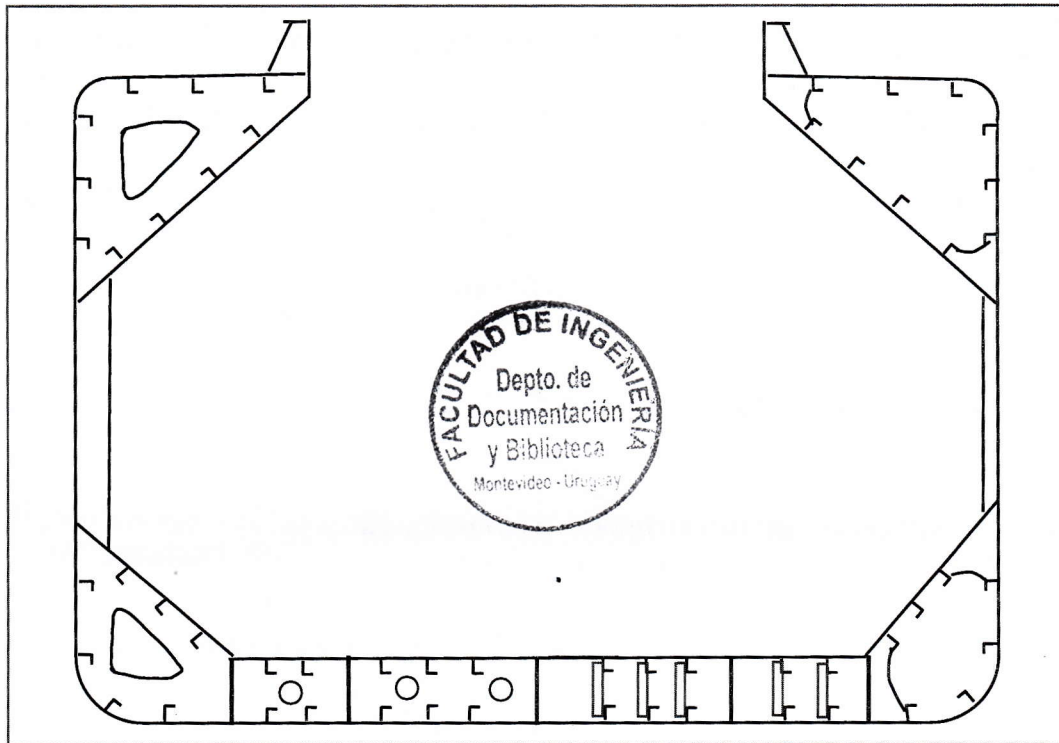


Alejandro Fernández

Montevideo 31 de Enero de 2026

Resolución Problema N° 1 – ESTRUCTURAS DE BUQUES

a)



b) $0,97 \times 81,25 = 78,81 \text{ m} > 77,10 \text{ m}$
 $0,96 \times 81,25 = 78,00 < 77,10 \text{ m} \Rightarrow L = 78,00 \text{ m}$

$s \text{ (mm)} = [2,08 \times 78,00 + 438] = 600,24 \text{ mm} \Rightarrow$ como que debe ser un número entero de dm, se toma

$s = 60 \text{ cm}$

c) d_s es el mayor de: $4,58 \text{ m}$; $0,066 \times L = 5,15 \text{ m}$, entonces $d_s = 5,15 \text{ m}$
A su vez $D_s = 6,1 \text{ m}$

Entonces para buques con estructura de fondo longitudinal y con eslora menor o igual a 122 m vale

$$t_{\text{fondo}} = (600 / 671) \times \sqrt{(78 - 18,3) \times (5,15 / 6,1)} + 2,5 = 8,85 \text{ mm}$$

También debe cumplirse: $t_{\text{fondo}} = 600 \times (78 - 18,3) / 42 \times 78 + 1070 = 8,24 \text{ mm}$

Entonces $t_{\text{fondo}} = 9,0 \text{ mm}$

d) Altura de doble fondo = altura de quilla central = d_{DB}

$d_{\text{DB}} \geq 12,50 / 20 = 0,625 \text{ m}$; también $d_{\text{DB}} \geq 0,76 \text{ m}$; además

$d_{\text{DB}} = 32 \times 12,50 + 190 \times \sqrt{4,58} = 806,6 \text{ mm}$; se pide un número entero de cm,

entonces se toma $d_{\text{DB}} = 81 \text{ cm}$



e) $t_{\text{quilla central}} = 0,056 \times 78,00 + 5,5 = 9,9 \text{ mm}$, entonces $t_{\text{quilla central}} = 10,0 \text{ mm}$

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

$t_{\text{quilla lateral}} = 0,036 \times 78,00 + 4,7 = 7,5 \text{ mm}$

g) $t_{\text{fondo interior}} = 0,037 \times 78,00 + 0,009 \times 600 - 0,5 = 7,8 \text{ mm}$; además

$t_{\text{fondo interior}} = 600 \times \sqrt{6,10 - 0,81} / 254 + 1,5 = 6,9 \text{ mm}$

Entonces $t_{\text{fondo interior}} = 8,0 \text{ mm}$

h) El valor de "l" es $4 \times 0,60 \text{ m} = 2,40 \text{ m}$, pero según 3-2-4/11.3 no puede ser menor a 2,44 m cuando hay "struts" $\Rightarrow l = 2,44 \text{ m}$

Al desconocerse el valor de SM_A , no es posible aplicar el factor R_l .

Entonces

$SM_{\text{fondo}} = 7,8 \times 0,715 \times 4,58 \times 0,60 \times 2,44^2 = 91,2 \text{ cm}^3$

5 / 13

i) Dado que se desconoce el valor de I_A , no se puede calcular k , por lo que no se puede calcular c_1 , y entonces lo único que en esta etapa es posible determinar es que

$$SM_{\text{fondo interior}} \geq 0,85 SM_{\text{fondo}}, \text{ entonces}$$

$$SM_{\text{fondo interior}} = 0,85 \times 91,2 = 77,5 \text{ cm}^3$$



j) h es el mayor de $6,10 / 2 = 3,05 \text{ m}$ y $0,02 \times 78,00 + 0,46 = 2,02 \text{ m}$

Entonces:

$$SM_{\text{costado}} = 7,8 \times 0,915 \times 3,05 \times 0,60 \times (6,10 / 3)^2 = 54,0 \text{ cm}^3$$

k) h es el mayor de $6,1 \text{ m}$, $0,1 \times 78 \text{ m} = 7,8 \text{ m}$, $1,18 \times 5,15 \text{ m} = 6,07 \text{ m}$; entonces $h = 7,8 \text{ m}$

Entonces: $t_{\text{costado}} = 600 \times \sqrt{7,80} / 268 + 2,5 = 8,75 \text{ mm}$

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

$$t_{\text{costado}} = \sqrt{78,00} = 8,83 \text{ mm}$$

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

l) Ecuación 2a: $t = 0,009 \times 600 + 2,4 = 7,80 \text{ mm}$

Ecuación 2b: $t = 600 \times (78,00 + 48,76) / (26 \times 78,00 + 8681) = 7,10 \text{ mm}$

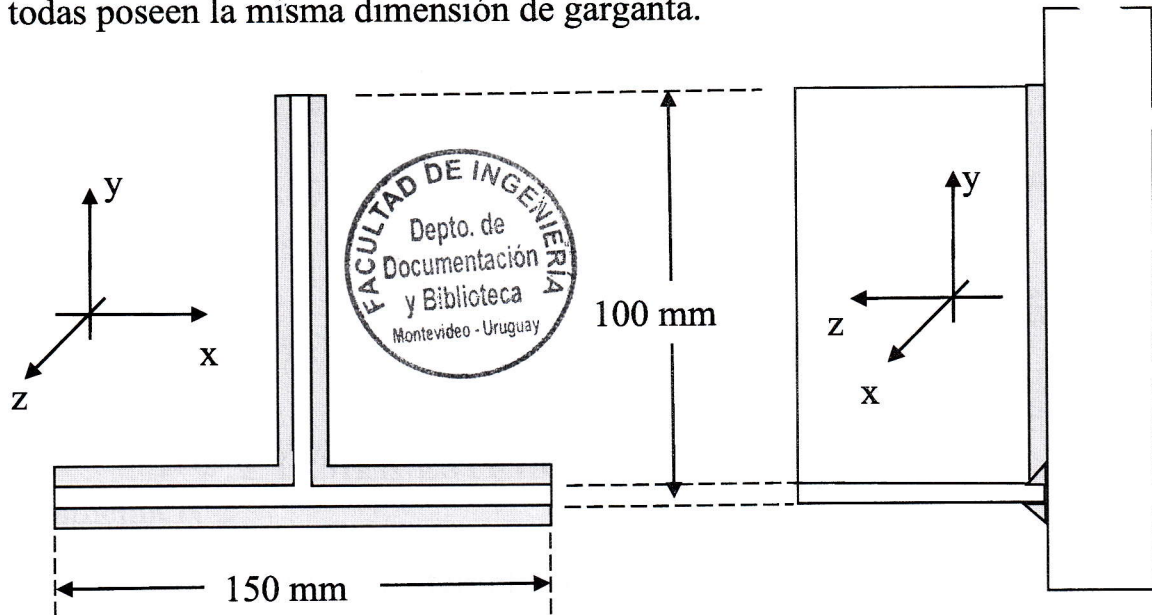
Entonces: $t_{\text{cubierta}} = 8,0 \text{ mm}$

Alejandro Fernández

EXAMEN ESTRUCTURAS DE BUQUES

Problema N°2

Se fabrica un perfil T de acero al carbono que debe ser soldado a una estructura, según el croquis que se adjunta, utilizando proceso GMAW, con aporte ER 70S-6. Las soldaduras que unen la T a la estructura son filete, y todas poseen la misma dimensión de garganta.



- Hallar la dimensión de la **garganta g** de las soldaduras para que soporten un momento flector de eje OX igual a 1.000 kg.m.
- Hallar la dimensión de la **garganta g** de las soldaduras para que soporten un fuerza de 20 ton vertical descendente (de eje OY) aplicada a ras de la estructura a la cual se suelda la T.
- Hallar la dimensión de la **garganta g** de las soldaduras para que soporten la fuerza de b) pero desplazada en dirección OZ una distancia tal que la soldadura quede sometida al momento flector de a).
- Para la situación c), ¿qué opina, la tensión en la garganta de la soldadura inferior del ala de la T es igual o diferente a la tensión en las gargantas de las soldaduras superiores del ala de la T? Explicar / croquizar, y calcular el valor de la tensión máxima en dichas soldaduras.

NOTA: para a), b) y c) utilizar la tensión admisible de la última edición de la norma AWS D1.1. Despreciar los espesores del alma y ala con respecto a las demás dimensiones de la T.

Alejandro Fernández

Resolución Problema N°2

- a) Utilizamos las fórmulas vistas en el práctico de soldadura para soldaduras filete de perfiles T.

La tensión cortante máxima debido al momento flector $M_f = 1.000 \text{ kg.m}$ es (siendo $g = \text{garganta} = h / \sqrt{2}$; $h = \text{catetos de las soldaduras}$)

$$\tau = 100.000 \text{ kg.cm} \times 3\sqrt{2} \times (10 + 2 \times 15) \text{ cm} / [h \times 10^2 \times (10 + 4 \times 15) \text{ cm}^3]$$

$$\tau_{adm} = 0,3 \times (70.000 / 14,22) \text{ kg/cm}^2 = 1.477 \text{ kg/cm}^2 \geq \tau = (2.424/h) \text{ kg/cm}$$

$$\Rightarrow h \geq 1,6 \text{ cm} \Rightarrow g \geq 1,2 \text{ cm}$$

- b) $\tau = 20.000 \text{ kg} / [\sqrt{2} \times h \times (10 + 15) \text{ cm}] = (566 / h) \text{ kg/cm} \leq$

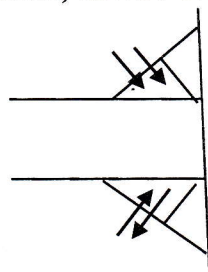
$$\leq \tau_{adm} = 1.477 \text{ kg/cm}^2 \Rightarrow h \geq 0,4 \text{ cm} \Rightarrow g \geq 0,3 \text{ cm}$$

- c) Desplazar la fuerza de b) en la dirección OZ una distancia tal que la soldadura quede sometida al momento flector de a) significa que la soldadura quedará sometida a la suma vectorial de las tensiones de a) más b), y por consiguiente:

$$\tau = \sqrt{2.424^2 + 566^2} / h = 2.489 / h \leq \tau_{adm} = 1.477 \text{ kg/cm}^2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow h \geq 1,7 \text{ cm} \Rightarrow g \geq 1,2 \text{ cm}$$

- d) En la garganta de la soldadura inferior del ala de la T las tensiones debido a la fuerza vertical descendente tienen sentido opuesto a las tensiones debido al momento flector que dicha fuerza provoca, por lo que se debería tomar la tensión de mayor módulo (de acuerdo con el criterio que utilizamos en el curso). En cambio, en las gargantas de las soldaduras superiores del ala de la T ambas tensiones tienen igual sentido, por lo que deben sumarse escalarmente (de acuerdo con el antedicho criterio). Entonces la respuesta es que las tensiones son diferentes, siendo mayores en las soldaduras superiores del ala que en las inferiores; allí se dará la tensión máxima en el ala de la T, así:



Es necesario calcular el módulo resistente en las soldaduras del ala de la T. Por la fórmula que tenemos del práctico de soldadura sabemos el módulo resistente menor (que se mide en la parte superior de la T invertida), por lo que conociendo la ubicación del baricentro G de las soldaduras podemos determinar el módulo resistente medido hasta las soldaduras del ala.

Hacemos el cálculo simplificado, suponiendo despreciable los espesores del ala y del alma (datos que en realidad no tenemos) con respecto a las demás dimensiones de la T (altura del alma y largo del ala). Entonces tomamos el origen del eje OY en el centro de las soldaduras del ala, tomamos el largo de ambas soldaduras del alma igual a la altura del alma, y el largo de las soldaduras del ala iguales a dos veces el largo del ala de la T.

$$\text{Entonces } OY_G = 2 \times 100 \times (100 / 2) / (2 \times 100 + 2 \times 150) = 20 \text{ mm}$$

Por consiguiente, el módulo resistente medido hasta las soldaduras del ala es igual al módulo resistente menor multiplicado por $80 / 20 = 4$, y entonces las tensiones debido al momento flector en las soldaduras del ala son la cuarta parte de las que se calculan con la fórmula utilizada en a) y c).

Por otra parte, las tensiones debidas a la fuerza cortante se calculan con la misma fórmula utilizada en b) y c), y valen lo mismo que allí.

Tensión en la garganta de la soldadura del ala debido al momento flector:

$$\tau = 2.424 / 4h = 606 / h; \text{ siendo } h = 1,7 \text{ cm} \rightarrow \tau = 356 \text{ kg} / \text{cm}^2$$

Tensión en la garganta debido al cortante:

$$\tau = 566 / h; \text{ siendo } h = 1,7 \text{ cm} \rightarrow \tau = 333 \text{ kg} / \text{cm}^2$$

Entonces la tensión máxima en las soldaduras del ala de la T, que es la suma de las tensiones debidas al momento flector y al cortante, y se da en la soldadura superior del ala (ver croquis anterior), vale:

$$\tau = 689 \text{ kg} / \text{cm}^2$$

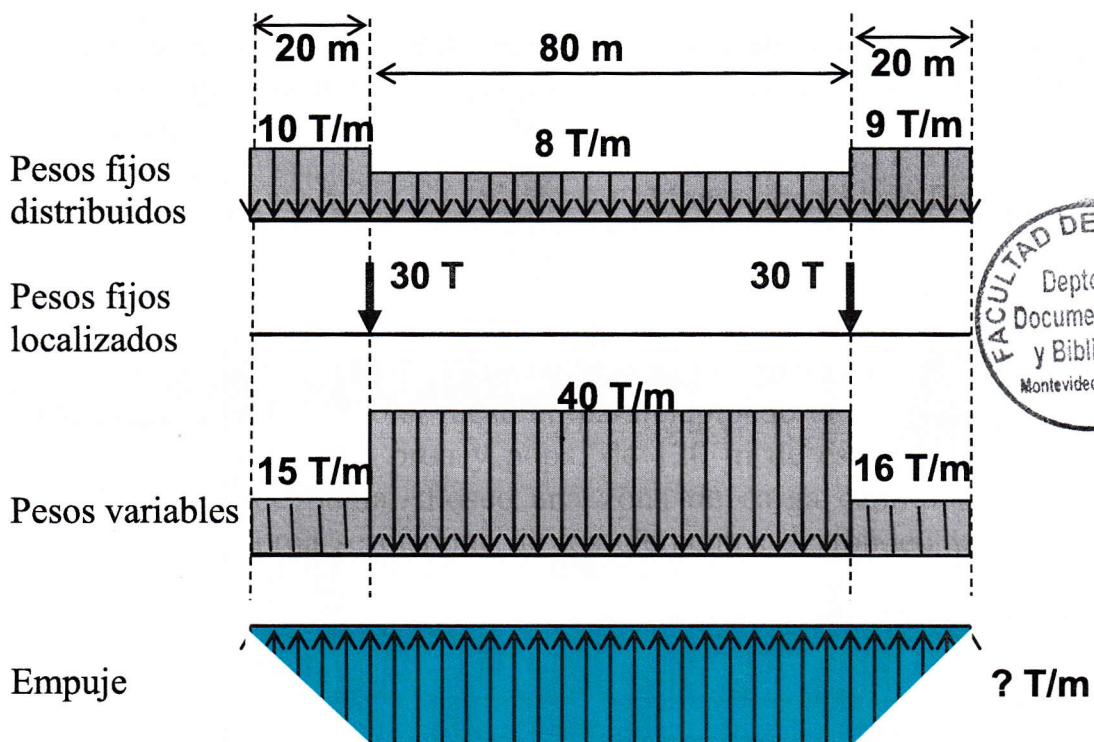
Alejandro Fernández



9/13

EXAMEN ESTRUCTURAS DE BUQUES**Problema N°3**

Se tiene una b rcaza oceánica autopropulsada utilizada para transporte de minerales, construida con acero naval normal. Su forma externa se tomar , simplificada, como si fuese un paralelepípedo en la zona de bodegas de carga y trapecios en proa y popa, de 120 m de eslora total, 15 m de manga, y 6 m de puntal. Posee una zona de carga central de 80 m de longitud. En la proa se dispone de los elementos de fondeo y tanques de combustible y de lastre, y en la popa de una casiller a, sala de máquinas y tanques varios. Una distribución simplificada de pesos (fijos y variables) y empujes (en aguas calmas), en máxima carga, es la siguiente:



El empuje es constante en la zona de bodegas de carga y es triangular en proa y popa, de la forma expresada en el gráfico.

- A partir de las curvas de pesos y empujes (aguas calmas) antedichas, dibujar las curvas de cargas $q(x)$, de cortantes $V(x)$ y de momentos flectores $M_f(x)$.
- Calcular el máximo momento flector (aguas calmas).
- Indicar cuál es la condición de flexión de la b rcaza (aguas calmas).
- Sabiendo que en máxima carga el componente de momento flector debido a las olas en arrufo es de 20.000 T.m, y en quebranto es de 17.500 T.m,  cu l debe ser el mínimo módulo resistente de la sección maestra para que la máxima tensión por flexión sea igual a la tensión admisible de flexión de los aceros navales normales (1.784 kg/cm^2)?

Alejandro Fernández

Resolución Problema N°3

a) Desplazamiento total de la barcaza en máxima carga es:

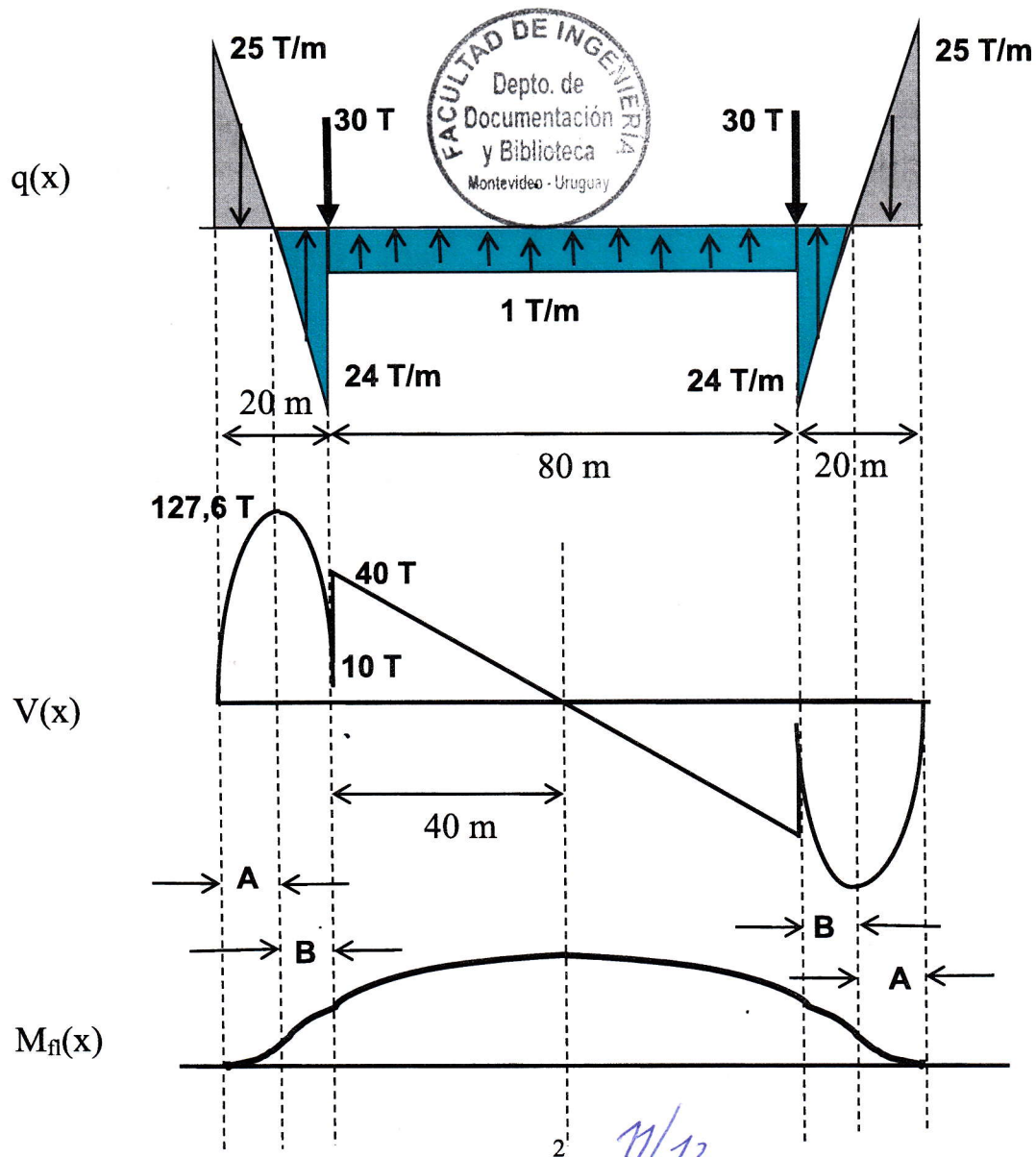
$$20 \times 10 + 80 \times 8 + 20 \times 9 + 2 \times 30 + 20 \times 15 + 80 \times 40 + 20 \times 16 = 4.900 \text{ T}$$

Si $X \text{ (T/m)}$ es el empuje distribuido en la zona de bodegas de carga, el valor de X surge de la siguiente fórmula:

$$4.900 \text{ T} = 80 \text{ m} \times X + 2 \times 20 \text{ m} \times X / 2 = 100 \text{ m} \times X$$

Entonces el empuje distribuido en la zona de bodegas de carga es de 49 T/m , y en proa y popa es triangular desde ese valor hasta llegar a 0 T/m .

Por consiguiente, la curva de cargas $q(x)$ resulta de la siguiente forma:



- b) El cálculo del momento flector máximo puede hacerse de dos formas. Una forma un poco más trabajosa es a partir de la curva de cargas $q(x)$ graficada en a), para lo cual es necesario establecer los valores de A y B en los gráficos dibujados anteriormente. Sabiendo que $A + B = 20$ m, de la curva de la carga $q(x)$ surge que:

$$A = (25 \times 20 / 49) \text{ m}$$

$$B = (24 \times 20 / 49) \text{ m}$$



Habiendo simetría en la curva $q(x)$, el momento flector máximo (aguas calmas) se dará en la sección media, y su valor resultará de calcular los momentos producidos por las fuerzas distribuidas (triangulares ascendentes o empujes y descendentes o pesos en cualquiera de los extremos de proa y popa, y constante ascendente o empuje en la zona de bodegas) y las fuerzas puntuales (pesos) existentes.

Se pasa a calcular el momento flector desde un extremo cualquiera del buque hasta la sección media:

$$\begin{aligned} M_{fl.máx.} &= \\ &= (25 \times A/2) \times (60 - A/3) - (24 \times B/2) \times (40 + B/3) + 30 \times 40 - 40 \times 1 \times 20 \text{ T.m} \\ \Rightarrow M_{fl.máx.} &= 2.533,33 \text{ T.m} \end{aligned}$$

La otra forma, menos trabajosa, es realizando el cálculo directamente a partir de los pesos y empujes de la letra, habiendo calculado el valor del empuje distribuido en la zona de bodegas: 49 T/m

Siendo simétricos los pesos y los empujes con respecto a la sección media, entonces el valor del momento flector máximo (que se da en la sección media) surge del siguiente cálculo:

$$\begin{aligned} M_{fl.máx.} &= 25 \times 20 \times 50 + 30 \times 40 + 48 \times 40 \times 20 - 49 \times 40 \times 20 - 49 \times (20/2) \times (40 + 20/3) \\ \Rightarrow M_{fl.máx.} &= 2.533,33 \text{ T.m} \end{aligned}$$

- c) La condición de flexión de la barcaza, en aguas calmas, es de **quebranto**.

12/13

- d) Los momentos flectores totales, en las condiciones de quebranto y arrufo, son la suma del momento en aguas calmas y el momento debido a las olas en quebranto y en arrufo.

Arrufo: $M_{fl.tot.} = 20.000 - 2.533,33 = 17.466,67 \text{ T.m}$

Quebranto: $M_{fl.tot.} = 17.500 + 2.533,33 = 20.033,33 \text{ T.m}$



El módulo resistente mínimo se calcula como el cociente entre el máximo momento flector y la tensión admisible, y entonces:

$W_{min.} = 20.033,33 \times 10^3 \text{ kg.m} / (1.784 \text{ kg/cm}^2) = 11.229 \text{ m.cm}^2$

Alejandro Fernández

13/13