

EXAMEN ESTRUCTURAS DE BUQUES

Problema N°1

Un buque de carga general, y con dimensiones de sus bodegas que permiten llenarlas con contenedores, fue diseñado siguiendo las Reglas del American Bureau of Shipping de 2019 para buques de acero de menos de 90 m de eslora para servicio oceánico; posee las siguientes dimensiones principales:

- $L_{OA} = 90,22$ m
- $L_W = 87,15$ m
- $L_{BP} = 83,95$ m
- $B = 14,00$ m
- $D = 8,50$ m
- $d = 6,10$ m

El buque posee estructura longitudinal en el doble fondo y en la cubierta principal (o cubierta de francobordo), y estructura transversal en el costado y en una cubierta por debajo de la principal, ubicada a media altura entre ésta y el fondo interior. En cada cubierta hay una única escotilla por bodega.

La clara de los refuerzos poco espaciados del costado y cubierta intermedia cumple lo establecido por las reglas de ABS para buques de acero (no superar $s = 2,08.L + 438$ mm) y la clara de los refuerzos poco espaciados del fondo, fondo interior, y cubierta de francobordo es un 20% superior a la del costado y cubierta intermedia.

El doble fondo posee varengas de plancha que se conectan / coinciden con una de cada cuatro cuadernas transversales de costado, y posee tantas vagras laterales como las necesarias para cumplir con las reglas. Los longitudinales del doble fondo tienen soportes intermedios ("struts").

Los baos reforzados de cubierta principal coinciden con las varengas de plancha, cerrando los anillos de bulárcamas.

La altura del doble fondo es la de la quilla vertical central.

En ambas cubiertas se colocan esloras continuas que en zonas de escotillas forman parte de las brazolas longitudinales, ubicadas a 2,00 m de las bandas.

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 cuadernas poco espaciadas de costado y baos poco espaciados de la cubierta inferior.
- b) Calcular las claras de estructuras poco espaciadas tanto longitudinales como transversales. Para ambas claras tomar un número entero de centímetros.
- c) Calcular espesor de planchas del fondo en el través. No será posible verificar por módulos resistentes de la sección media de la viga buque requerido y real, porque no se posee el módulo resistente real.
- d) Calcular espesor de planchas del costado en el través.
- e) Calcular altura (tomar un número entero de decímetros) y espesor de la quilla vertical central, en el través.
- f) Calcular espesor de las vagras laterales.
- g) Calcular módulos resistentes de longitudinales del fondo, fuera de tanques.
- h) Calcular módulos resistentes de longitudinales de fondo interior, fuera de tanques.
- i) Calcular módulos resistentes de las cuadernas al costado en las dos posiciones posibles. Suponer que la densidad de carga sobre la cubierta intermedia es de $1.000 \text{ kgf} / \text{m}^3$, y que la carga sobre la cubierta principal no excede la estándar.
- j) Calcular espesor de cubierta principal en el través.

NOTAS:

- 1) para simplificar los cálculos en g), h) e i) no tener en cuenta la corrección de luz no soportada debido a escuadras (cartabones).
- 2) 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 $10.75 \leq t_{\text{calc}} < 11.25 \text{ mm}$ the Rule required thickness is 11 mm

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

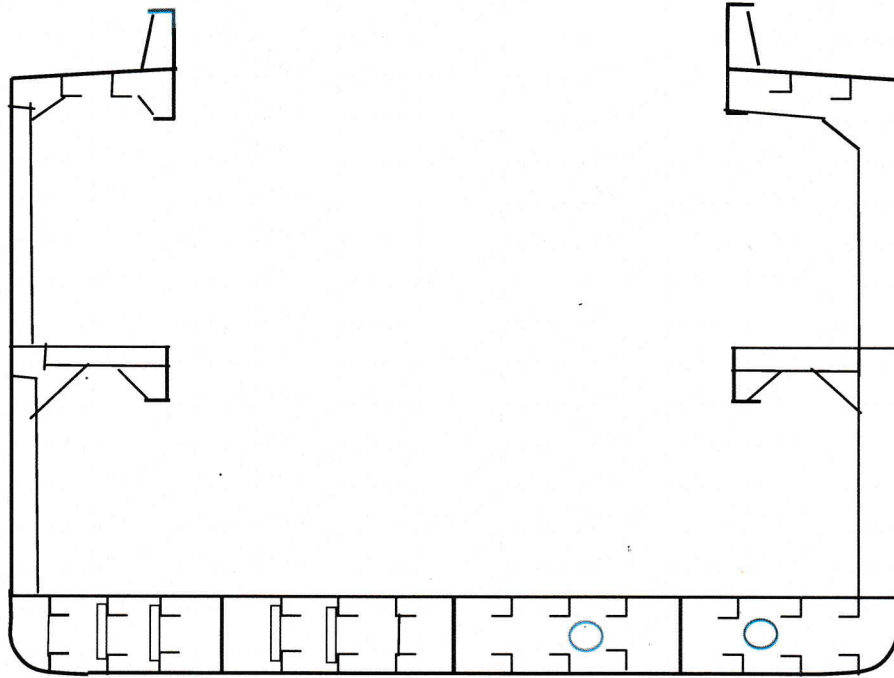


Alejandro Fernández

2/13

Resolución Problema N°1

a)



b) En principio $L = L_{BP} = 83,95 \text{ m}$ pero también

$$0,96 L_W = 0,96 \times 87,15 = 83,66 \text{ m} \leq L \leq 0,97 \times 87,15 = 84,54 \text{ m}$$

entonces **$L = 83,95 \text{ m}$**

$s = 2,08 \times 83,95 + 438 \text{ mm} = 612,6 \text{ mm}$; como debo tomar un número entero de centímetros, vale **$s = 610 \text{ mm}$** (para el costado y cubierta intermedia)

$s = 610 \times 1,20 = 732 \text{ mm}$; como debo tomar un número entero de centímetros, vale **$s = 730 \text{ mm}$** (para el fondo, fondo interior, y cubierta principal)

c) Para el espesor del fondo se necesita primeramente calcular el h de la fórmula para el espesor del fondo, para lo cual primero se necesita calcular el d de escantillonado, y luego el d específico para la fórmula del espesor del fondo:

d de escantillonado: es el mayor de d (6,10 m) y $0,66 \times D$ ($0,66 \times 8,50 = 5,61 \text{ m}$); entonces

$d = 6,10 \text{ m}$ (escantillonado)



3/13

Para la fórmula del espesor del fondo:

d es el mayor de 6,10 m y $0,066 \times 83,95 = 5,54$ m, entonces $d = 6,10$ m

Luego h es el mayor de $D = 8,50$ m; $0,1 \times 83,95 = 8,395$ m; $1,18 \times 6,10 = 7,198$ m

$$t = 730 \times \sqrt{8,50} / 254 + 2,5 = 10,9 \text{ mm} = \mathbf{11,0 \text{ mm}} \text{ (fondo)}$$

$$d) t = 610 \times \sqrt{8,50} / 268 + 2,5 = 9,1 \text{ mm} = \mathbf{9,0 \text{ mm}} \text{ (costado)}$$

$$e) h_g = 32 \times 14,00 + 190 \sqrt{6,10} = 917,3 \text{ mm} = 9,173 \text{ dm} \Rightarrow \text{tomo}$$

$$h_g = \mathbf{10 \text{ dm}} = 1.000 \text{ mm} = 1,0 \text{ m}$$

$$t = 0,056 \times 83,95 + 5,5 = 10,2 \text{ mm} = \mathbf{10,0 \text{ mm}} \text{ (quilla vertical central)}$$

$$f) t = 0,036 \times 83,95 + 4,7 = 7,7 \text{ mm} = \mathbf{7,5 \text{ mm}} \text{ (vagras laterales)}$$

$$g) SM = 7,8 \times 0,55 \times 8,5 \times 0,73 \times (4 \times 0,61)^2 = \mathbf{158,5 \text{ cm}^3} \text{ (longitudinales de fondo fuera de tanques, con soportes intermedios / "struts")}$$

$$h) SM = 7,8 \times 0,45 \times (8,5 - 1,0) \times 0,73 \times (4 \times 0,61)^2 = \mathbf{114,4 \text{ cm}^3} \text{ (ídem anterior pero para el fondo interior)}$$

i) Cuaderna por encima de la cubierta intermedia: es una cuaderna tipo B, por ser la que está inmediatamente debajo de la denominada cubierta de mamparos (bulkhead deck), o cubierta de francobordo, y según 3.2.5.5.3:

h es la mayor de:

$$- 0,049 \times 83,95 - 0,81 \text{ m} = 3,304 \text{ m}$$

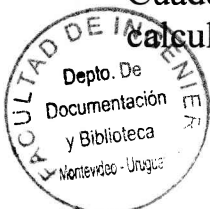
$$- (8,5 - 1,0) / 2 / 2 = 1,875 \text{ m}$$

$$- 0,02 \times 83,95 + 0,46 \text{ m} = 2,139 \text{ m}$$

Entonces tomo $h = 3,304 \text{ m}$

$$SM = 7,8 \times 0,90 \times 3,304 \times 0,61 \times [(8,5 - 1,0) / 2]^2 = \mathbf{199,0 \text{ cm}^3} \text{ (cuaderna superior)}$$

Cuaderna por encima del doble fondo (por debajo de la cubierta intermedia): se calcula según 3.2.5.5.1:



Luz no soportada $l = (8,5 - 1,0) / 2 = 3,75 \text{ m}$

$c = 0,90 + 5,8 / 3,75^3 = 1,01$

$h_1 = [(8,5 - 1,0) / 2 + 2,44] \times 1.000 / 715 = 8,657 \text{ m}$

Para calcular h hay que determinar primero el mayor valor entre:

- $6,10 - [(3,75 / 2) + 1,0] = 3,225 \text{ m}$

- $0,4 \times 3,75 = 1,50 \text{ m}$

Entonces $h = 3,225 + 2,0 \times 8,657 / 33 = 3,750 \text{ m}$

$SM = 7,8 \times 1,01 \times 3,750 \times 0,61 \times 3,75^2 = \mathbf{253,4 \text{ cm}^3}$ (cuaderna inferior)

j) $t = 730 \times \sqrt{3,66} / 254 + 2,5 = 8,0 \text{ mm}$

También debe ser mayor a $t = 0,009 \times 730 + 2,4 = 9,0 \text{ mm}$

Entonces $t = \mathbf{9,0 \text{ mm}}$ (cubierta principal)

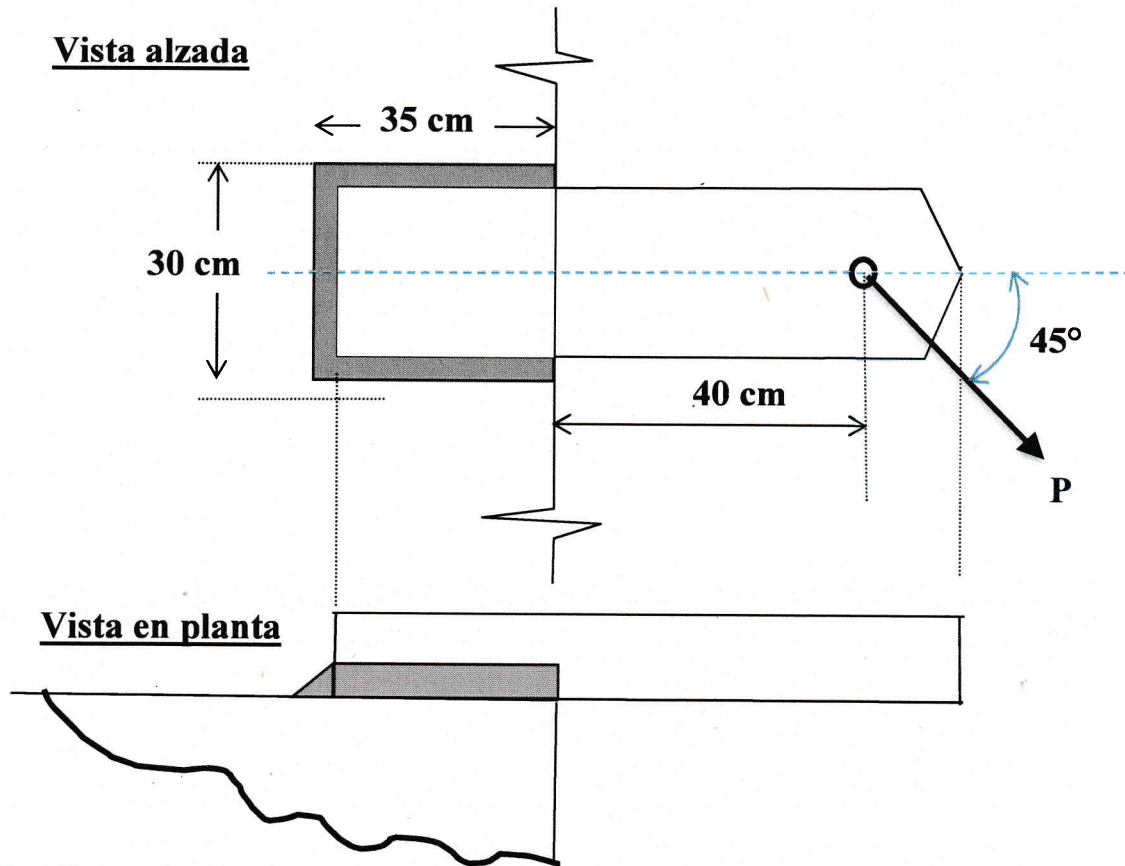
Alejandro Fernández



EXAMEN ESTRUCTURAS DE BUQUES

Problema N°2

Un cáncamo es soldado a una viga con filetes de catetos h iguales en los tres bordes soldados de la siguiente forma:



$P =$ Carga de 40 T

El cáncamo está construido con una plancha de acero naval normal.

El proceso utilizado es SMAW, y el electrodo es E 7018.

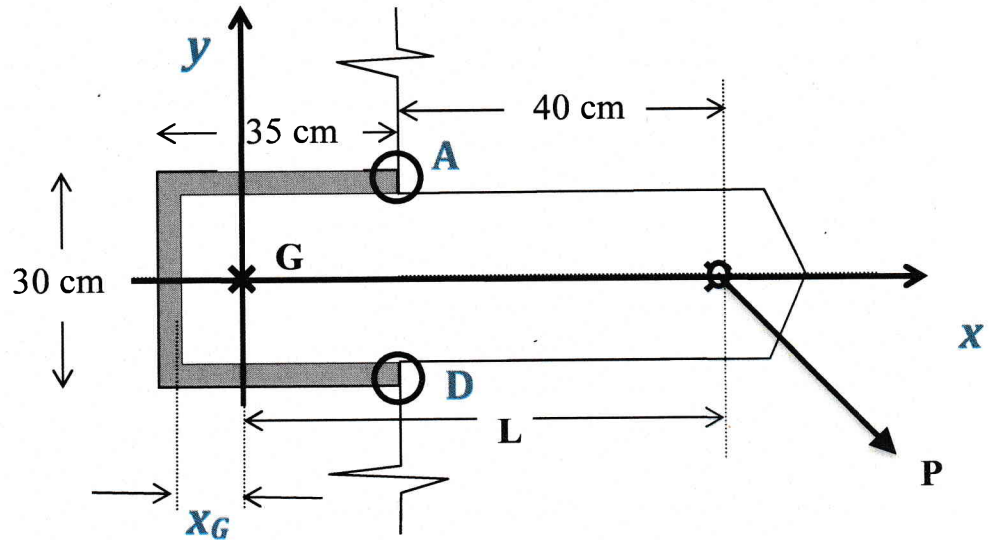
Tomar la tensión admisible del código AWS D1.1 vigente.

- Calcular la dimensión h (catetos) de los filetes.
- ¿Dónde es mayor la tensión total calculada?

Nota: a los efectos del cálculo de los módulos de inercia y resistentes, se supondrá que h es despreciable frente a las restantes dimensiones.

Resolución Problema N°2 – ESTRUCTURAS DE BUQUES

a)



“G” es el baricentro de las soldaduras filete que forman la C.

“L” es la distancia entre el punto de aplicación de la carga P y “G”.

Para las soldaduras filete los puntos “A” y “D” son los más solicitados, por lo que es suficiente con calcular las tensiones en dichos puntos y hacerlas menores a la tensión admisible.

Garganta $g = h / \sqrt{2}$; h medido en cm en las próximas fórmulas

Tensión admisible $\tau_{adm} = 0,30 \times 70.000 / 14,22 = 1.476,8 \text{ kg} / \text{cm}^2$

Nota: no se puede aplicar la posibilidad que otorgan las recientes ediciones de la AWS D1.1 en cuanto a aumentar la tensión admisible dado que no se cumplen las hipótesis sobre la ubicación de la carga con respecto a los baricentros de las soldaduras lineales.

Área total de la garganta de la soldadura $= (2 \times 35 + 30) \times h / \sqrt{2} \text{ cm} = 100 \times h / \sqrt{2} \text{ cm}^2$

$x_G = [2 \times 35 \text{ cm} \times (35 / 2) \text{ cm}] / (2 \times 35 \text{ cm} + 30 \text{ cm}) = 12,25 \text{ cm}$

$I_x = 30^3 \times h / (\sqrt{2} / 12) + 2 \times 35 \times (h / \sqrt{2}) \times 15^2 = 18.000 \times h / \sqrt{2} \text{ cm}^4$

7/13



$$I_y = 2 \times [(35/2 - 12,25)^2 \times 35 \times (h / \sqrt{2}) + 35^3 \times h / (\sqrt{2} \times 12)] + 30 \times (h / \sqrt{2}) \times 12,25^2 = 13.577,08 \times h / \sqrt{2} \text{ cm}^4$$

$$\text{Momento de inercia polar} = I_z = I_x + I_y = 31.577,08 \times h / \sqrt{2} \text{ cm}^4$$

Se deben sumar las tensiones debidas a la fuerza cortante $P = 40 \text{ T}$ aplicada en el baricentro "G" de la soldadura (fuerza cortante que se debe descomponer en sus componentes vertical y horizontal) y al momento flector según z (M_z) provocado por la componente vertical de P ($40/\sqrt{2} \text{ T}$) a una distancia $L = 40 + 35 - 12,25 = 62,75 \text{ cm}$ del baricentro "G" de la soldadura.

- La tensión debida a la fuerza cortante P (que tiene componentes en x y en y , que en este caso son iguales en módulo, valiendo $40/\sqrt{2} \text{ T}$) tiene los siguientes valores constantes a lo largo de toda la garganta de la soldadura:

$$\tau_{xP} = \tau_{yP} = 40.000 / \{\sqrt{2} \times [(2 \times 35 + 30) \times h / \sqrt{2}]\} = 400 / h \text{ kg} / \text{cm}^2$$

- Tensiones debido al $M_z = (40.000/\sqrt{2}) \times 62,75 \text{ kg} \cdot \text{cm} = 2,51 \times 10^6 / \sqrt{2} \text{ kg} \cdot \text{cm}$

Según y en "A" y en "D" (tienen igual signo que la tensión debida al cortante P):

$$\begin{aligned} \tau_{yMz} &= (M_z / I_z) \times (35 - 12,25) = [(2,51 \times 10^6 / (\sqrt{2} \times 31.577,08 \times h / \sqrt{2})) \times 22,75] \\ &= 1.808,35 / h \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Según x en "A" y en "D" (en "A" con igual signo que la tensión debida al cortante P , y en "D" con signo opuesto que la tensión debida al cortante P):

$$\begin{aligned} \tau_{xMz} &= (M_z / I_z) \times (30/2) = [(2,51 \times 10^6 / (\sqrt{2} \times 31.577,08 \times h / \sqrt{2})) \times 15] \\ &= 1.192,32 / h \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$



Entonces el módulo de la tensión cortante total en "A" queda:

$$\tau_{\text{total}} = \sqrt{\tau_{x \text{ total}}^2 + \tau_{y \text{ total}}^2} = \sqrt{(400 + 1.192,32)^2 + (400 + 1.808,35)^2} / h \text{ kg/cm}^2$$

$$= (2.722,55 / h) \text{ kg/cm}^2 \leq 1.476,8 \text{ kg/cm}^2$$

entonces $\rightarrow$ **$h \geq 1,84 \text{ cm}$**

b) La mayor tensión calculada está en el punto "A".

Alejandro Fernández



EXAMEN ESTRUCTURAS DE BUQUES

Problema N° 3

Sea un buque oceánico porta contenedores con doble fondo de 1,0 m de altura que en su condición de máxima carga tiene un calado de 9,85 m. Las tracas del fondo plano son de acero naval de alta tensión grado DH 40. La clara de refuerzos longitudinales poco espaciados es de 700 mm y la distancia entre las varengas es de 2800 mm.

- De acuerdo con las consideraciones tradicionales, indicar qué condiciones de borde se entiende más conveniente para modelar las planchas del fondo, entre refuerzos, de un buque.
- 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. Utilizar 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

Suponiendo solamente los esfuerzos locales, estando el buque en su máxima carga, en agua de mar (densidad 1,026), con el doble fondo lleno de combustible de densidad = 0,85, y utilizando las cartas de Schade para paneles tipo D (planchas no reforzadas sometidas a presión hidrostática), para el espesor calculado en b) determinar para las planchas del fondo:

- la tensión σ en el centro de la plancha en dirección longitudinal al buque.
- Ídem c) pero en dirección transversal al buque.
- la tensión en el centro de los bordes longitudinales.
- la flecha máxima.

Alejandro Fernández



70/13

Resolución Problema N°3

- a) Las planchas de fondo de los buques se consideran empotradas en sus cuatro bordes delimitados por los refuerzos transversales y longitudinales.
- 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 en cm

l = ancho de la plancha en cm

H = metros de columna de agua salada

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

$$\text{Entonces } h \geq 70 \times \sqrt{0,1026 \times 9,85 / (2 \times 4.000 \times 2/3)} = 0,96 \text{ cm}$$

Siguiendo el criterio de redondeo de las reglas de ABS:

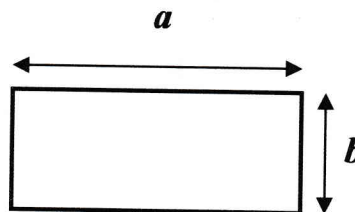
$$\text{Espesor } h = 0,95 \text{ cm} = 9,5 \text{ mm}$$

- c) Tensión σ en el centro de la plancha en dirección longitudinal utilizando las Cartas de Schade:

$$a = 2800 \text{ mm}$$

$$b = 700 \text{ mm}$$

$$h = 9,5 \text{ mm}$$



Paneles tipo D

$$i_a = i_b$$

$$\rho = a/b = 4$$

$$\eta = 1$$

p (presión hidrostática a la que está sometida la plancha del fondo) =
= $\rho_1 \cdot d - \rho_2 \cdot H_1$, siendo:

ρ_1 = densidad del agua de mar

ρ_2 = densidad del combustible

d = calado del buque



H_1 = altura del doble fondo

$$p = 1,026 \text{ t/m}^3 \times 9,85 \text{ m} - 0,85 \text{ t/m}^3 \times 1,0 \text{ m} = 9,26 \text{ t/m}^2 = 0,926 \text{ kgf/cm}^2$$

La Figura 4.7-d del ETSIN es la carta de Schade que da la tensión σ longitudinal en el centro de la plancha, con la siguiente fórmula a utilizar

$$\sigma = 5,46.K.p.\left(\frac{b}{h}\right)^2$$

Del gráfico se desprende $K = 0,0137$

$$\begin{aligned}\sigma &= 5,46 \times 0,0137 \times 0,926 \text{ kgf/cm}^2 \times (70 \text{ cm} / 0,95 \text{ cm})^2 = \\ &= \mathbf{376,1 \text{ kgf/cm}^2}\end{aligned}$$

d) Tensión σ en el centro de la plancha en dirección transversal.

En la figura 4.7-f del ETSIN, la carta de Schade da la tensión σ en dirección transversal en el centro de la plancha, y utiliza la misma fórmula que en c).

Del gráfico se desprende $K = 0,0456$

$$\begin{aligned}\sigma &= 5,46 \times 0,0456 \times 0,926 \text{ kgf/cm}^2 \times (70 \text{ cm} / 0,95 \text{ cm})^2 = \\ &= \mathbf{1.251,7 \text{ kgf/cm}^2}\end{aligned}$$

e) Tensión σ en el centro de los bordes longitudinales.

En la Figura 4.7-h del ETSIN, la carta de Schade da la tensión σ en los centros de los bordes de las planchas, y utilizan la misma fórmula que en c) y d).

De la gráfica se desprende $K = 0,0916$

$$\begin{aligned}\sigma &= 5,46 \times 0,0916 \times 0,926 \text{ kgf/cm}^2 \times (70 \text{ cm} / 0,95 \text{ cm})^2 = \\ &= \mathbf{2.514,5 \text{ kgf/cm}^2}\end{aligned}$$



f) Flecha máxima

En la Figura 4.7-c del ETSIN, la carta de Schade da la flecha en el centro de la plancha, debiéndose utilizar la siguiente fórmula:

$$w = 10,91 \cdot K \cdot \frac{p \cdot b^4}{E \cdot h^3}$$

Del gráfico se desprende $K = 0,0026$

$$w = 10,91 \times 0,0026 \times 0,926 \text{ kgf/cm}^2 \times (70 \text{ cm})^4 / [2,1 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2 \times (0,95 \text{ cm})^3] = \mathbf{0,35 \text{ cm}}$$

Alejandro Fernández

