

Charla 6 de construcción naval
Tema XXXVIII: Calculo de refuerzos
3ª Parte

"La sorpresa es el móvil de cada descubrimiento". Cesare Pavese (1908-1950); poeta y novelista italiano.

Capitán Isidore Caubin: En los catálogos de los fabricantes encontramos el tipo de refuerzos que necesitaremos y así por ejemplo y si solo hablamos de los metálicos tendremos:

"Redondos, ángulos a alas iguales, ángulos a alas desiguales, planas, viguetas a alas anchas, viguetas a alas iguales, hierros en T a alas iguales o desiguales, perfiles en U, tubos, manguitos soldados o no, aceros estirados en frío o en caliente," etc., etc.

Las longitudes de entrega de las acéris suelen ser de 3 a 3,5 metros para los aceros y de unos 6 metros para los hierros siderúrgicos...

Simbad: Para todos ellos y para cada modelo hay que realizar cálculos cada vez, ¿Verdad?

Capitán Isidore Caubin: Por eso te he aconsejado que te hagas un banco de datos o un programa de tipo Excel en el cual cambiando las dimensiones, tienes el resultado enseguida.

Simbad: Si, eso me parece más practico.

Capitán Isidore Caubin: En la figura que sigue, te muestro como se obtienen las formulas de inercia de una sección de viga que descomponemos en elementos rectangulares.

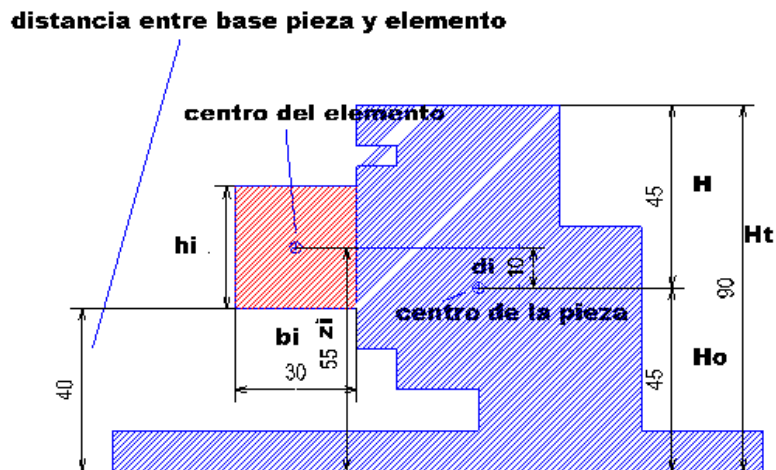


Figura XXXVIII.1.1: Sección de viga descompuesta en elementos rectangulares

Como verás, solo queremos calcular la zona que está rayada en rojo y que pertenece a una pieza cualquiera más grande que está en azul.

La distancia entre "la base de toda la pieza y la base del elemento es "l". (¿Con respecto a qué quiero calcular esta resistencia?)

Simbad: ¿O sea que tenga cualesquiera forma una pieza, podemos elegir un pedazo cualquiera y calcular su resistencia separadamente?

Capitán Isidore Caubin: Exactamente, en un perfil cualquiera empezamos por aislar la sección que queremos analizar y de esta manera aplicamos las formulas siguientes:

1º: Área de "un elemento o sección a calcular": $s_i = b_i \times h_i$

2º: Inercia de la sección: $I = \sum s_i x d_i^2 + \left(\frac{b_i x h_i^3}{12} \right)$

3º: Altura del centro de la superficie Ho (mirar figura), es decir:

$$H_i = \frac{\sum (s_i x z_i)}{\sum (s_i)}$$

Simbad: ¿Podría Ud., capitán darme un ejemplo?

Capitán Isidore Caubin: Ya que tenemos esta figura delante con unas cotas que hemos dado cualesquiera, aprovechémosla:

Empezamos teniendo como objetivo el calculo de I/Ho...como ya sabemos...

o sea,

$$1^{\circ}: s = 30 \times 30 = 900 \text{ mm}^2 = 90 \text{ cm}^2$$

$$2^{\circ}: Ho = 900 \times 55 / 900 = 55 \text{ cm}$$

$$3^{\circ}: d = z - Ho = 55 - 45 = 10 \text{ cm}$$

$$4^{\circ}: I = 90 \times 10^2 + 3 \times 3^3 / 12 = 2,118 \times 10^{-6} \text{ m}^4, (\text{cm}^4)$$

$$5^{\circ}: I / Ho = 2,118 \times 10^{-6} / 55 = 0,004 \times 10^{-6} \text{ m}^3 (\text{cm}^3)$$

$$6^{\circ}: I / H-Ho = 0,004 \times 10^{-6} / 90 - 55 = 1,143 \times 10^{-10} \text{ m}^3 (\text{cm}^3)$$

Elegiremos "el mayor de los dos I/H", y nos quedamos con $0,004 \times 10^{-6} \text{ m}^3 (\text{cm}^3)$

Simbad: ¿Porqué nos quedamos con el mayor de los dos?

Capitán Isidore Caubin: El mayor de los dos ya que H, es la distancia de la fibra más alejada de la fibra neutra; es decir el valor más grande a elegir entre Ho y la altura total del perfil Ht - Ho; este será el I/H mínimo a realizar... Una vez obtenido el modulo de flexión y conociendo la presión p, a la cual será sometida esta pieza, veremos si habrá o no que redimensionarla, cambiarla o reforzarla...

Simbad: ¿Y como es eso?

Capitán Isidore Caubin: No te olvides que estamos hablando de "refuerzos", es decir que este elemento estará en un entorno o contexto determinado, para "ayudar a otra pieza principal" en su resistencia, como por ejemplo un forro de 6 milímetros de espesor... Si una vez colocada en su sitio el calculo de la totalidad cumple con los requisitos de resistencia que queramos, todo estará bien calculado, pero si no, habrá que aumentar el espesor del forro o cambiar esta pieza por otra de dimensiones más importantes, o incluso disminuir estas dimensiones que son demasiado importantes...

Simbad: Lo dicho, ¡Ud. capitán se las sabe todas!...¿Pero que pasará si el elemento o pieza a calcular es diferente a un cuadrado sencillo como este...por ejemplo que se trate de un "hierro en forma de T"?

Capitán Isidore Caubin: Toda la dificultad estará en que tendremos que tener en cuenta distancias diferentes, centros de superficies de calculo diferentes, etc. Para ello lo mejor es hacer "como ya te he dicho", un programa basado en una hoja de calculo de tipo Excel o si sabes, hacerlo en una calculadora programable de tipo Hewlett Packard o Casio...

Lo más sencillo, puesto que todos lo tenemos, es usar la hoja de calculo Excel tal como se presenta (más o menos), en la figura siguiente (Figura XXXVIII.1.2.), donde como vemos, si cambiamos una o varias dimensiones el resultado nos será dado automáticamente.

La hoja de calculo Excel para "piezas un poco más complicadas" se parecerá entonces a la que sigue...

A	B	C	D	E	F
4	Calculo de Refuerzos: "T", "Omegas", angulares	s1	s2	s3	0
5	datos iniciales, b ancho(En mm)	480	6	50	
6	datos iniciales, h (altura(en mm))	6	100	10	
7	b horizontal (ancho en cm)	48,00	0,60	5,00	
8	h vertical (altura en cm)	0,60	10,00	1,00	
9	Bs: Base sección=40*c6; espesor a dar si Banda asociada	24,00	0,00	0,00	
10	Superficies bxH	28,80	6,00	5,00	cm2
11	l= (Ht-hi)	-2,44			
12	hi = l-Ht	-11,60			
13	z1 (h desde la base al centro del perfil1)	0,30			
14	z2 (h desde la base al centro del perfil2)	5,60			
15	z3 (h desde la base al centro del perfil3)	11,00			
16	St: Superficie total	39,80	cm2	cm2	
17	d: Busqueda centro superficie fase d:	2,44	cm	cm	
18	Ho: Altura de la sección	9,16	cm	cm	
19	Ht: altura total: h1+h2+h3	11,60			
20	sxd2	1,32E+02	59,79	366,09	
21	Inercia propia= bxhxcubo/12	8,64E-01	50,00	0,42	
22	lp:sxd2 + inercia propia	1,33E+02	109,79	366,51	
23	lp Total:	6,09E+02			
24	I/Ht-Ho (normal, sin banda asociada)	43,38	x10-6 (m3)	cm3	
25	I/Ht. normal sin banda asociada	66,56	x10-6 (m3)	cm3	

Figura XXXVIII.1.2: Hoja de calculo Excel para el calculo de refuerzos

El I/H que elegiremos será el de $67 \times 10^{-6} \text{ m}^3 (\text{cm}^3)$ tal como se ve en la imagen de este grafico Excel... Se trata de una vigueta que tiene las dimensiones de la figura siguiente. Las formulas a aplicar son las que vimos anteriormente y con ellas construiremos el tablero Excel.

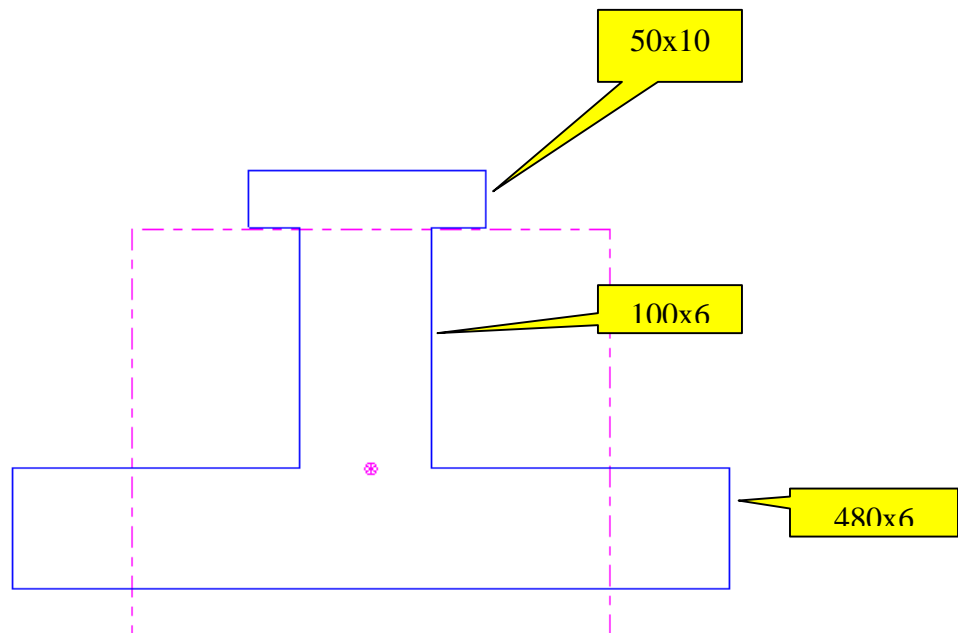


Figura XXXVIII.1.3: Vigueta del calculo anterior

Simbad: De acuerdo capitán, pero viendo ese cuadro me doy cuenta de que las dimensiones principales las da Ud. en milímetros y después pasa Ud. a centímetros; ¿Porqué?

Capitán Isidore Caubin: Finalmente necesitaremos los centímetros para pasar más fácilmente a los metros, pero también porque es costumbre y porque las piezas de los catálogos suelen darse en milímetros, pero no es difícil, ya que las cantidades introducidas en milímetros las volvemos a recoger para transformarlas en centímetros como verá si analiza detenidamente el cuadro.

Simbad: Esta hoja de calculo ¿nos servirá para todo tipo de problemas?

Capitán Isidore Caubin: Será más fácil que para cada tipo de problemas poseamos una hoja de calculo diferente.

Simbad: ¿Y cuales serán esos problemas?

Capitán Isidore Caubin: Te los enumero en lo que sigue:

Cálculo de perfiles en "T", de perfiles en "U", de ángulos en "L", de perfiles "Omega", de planas, de planas con resalte, etc., con la hoja de calculo dada (Figura XXXVIII.1.2).

Flexión de una viga navío soportada por un eje axial; (figura XXXVIII.1.4)

26					
27	Programa Calculo modulo flexión de la "Viga Navío"				
28	Pregunta: ¿Qué soporta?:(Esa distancia al cuadrado)				
29	Calculo I/Ht del fondo de Barcaza				
30	E: espacio entre varangas	0,90	metros		
31	ℓ: portada desde forro al eje axial	3,00	metros		
32	p: presión soportada	1,00E+04	Pa		
33	σ: esfuerzo de uso del material	1,30E+08	Pa		
34	Mf: Momento flexión: Mf=Fxportada/10	8100,00			
35	I/Ht: que necesitamos...	6,23E-05	m ³		
36	Buscar refuerzo...				

Figura XXXVIII.1.4: Viga navío soportada por eje axial

Flexión de una viga navío soportada por mamparos; figura XXXVIII.1.5

	A	B	C	D	E	F
37						
38	Modulo de flexion de una viga soportada por tabiques					
39	Pregunta: ¿Qué soporta):esa distancia al cuadrado					
40	σ: esfuerzo de uso		130000000,00	1,30E+02		
41	E: Distancia vagras de cada lado del eje..		3,00			
42	ℓ: separación entre mamparos que soportan...		3,60			
43	p: presión		1,00E+04	1,00E-02	Pa	
44	Mf: modulo de flexión de la viga navío		3,89E+04	3,89E-02		
45	I/Ht:que necesitamos...		2,99E-04	2,99E-10	m ³	
46	Buscar refuerzo...					
47	Calculo de presion de forro					

Figura XXXVIII.1.5: Viga navío soportada por mamparos

Calculo de la presión p en función de la eslora y la velocidad; figura XXXVIII.1.6

Condiciones en las que hay que aplicar presiones por velocidad y eslora (Figura XXXVIII.1.6):

1º: Normal: Desde proa hasta ¼ de la eslora

2º: Planeadora: Desde parte mojada a gran velocidad

3º: Velero de competición: Un poco más que la semieslora delantera

53	Calculo presión en funcion eslora y velocidad			
54	Calculo presión: Vedete planeadora.....			
55	L: eslora en metros		40	metros
56	V: velocidad en m/s(nudos x 0,512)		30	nudos
57	p: presión en Pa		99185,92	Pa
58				

La presión soportada

Figura XXXVIII.1.6: Calculo por eslora y velocidad

Calculo de altura de aguas; formula practica:

$h = 0,13 \times \text{Eslora} + 0,005 \times V^2$; En altura de aguas, V' en nudos, eslora en metros

Calculo de la presión; formula practica:

$p = 1300 \times \text{Eslora} + 200 \times V^2$; en Pascales y V en m/s (1 nudo = 0,513 m/s), eslora en metros

Calculo del espesor de una placa o forro; formula practica:

$$e = 0,77 \times \ell \times \sqrt{\frac{p}{\sigma}}$$

y ahora puedes completar lo dicho con las formulas que siguen que aunque ya las hemos visto te las doy por si acaso...

Esfuerzos:

Carga: $F = p \times E \times \ell$

Momento de flexión: $M_f = F \times \ell / 10 = 0,1 \times p \times \ell^2$

Esfuerzo de uso $\sigma = M_f / (I/Ho)$; $\sigma = (0,1 \times p \times \ell^2) / I/Ho$

$I/Ho = (0,1 \times p \times \ell^2) / \sigma$

Ejemplos de evaluación de la presión:

Formula practica: h (altura de aguas) = $0,13 \times L + 0,005 \times V^2$; h en metros de altura, V' en nudos.

Si la altura es de 1 metro, la presión será de:

Si $p = p - p_o$ entre 2 puntos separados de 1 metro, es decir: h = 1 metro.

$p = \rho \text{ (kg/m}^3\text{)} \times g \text{ (m/s}^2\text{)} \times h = 1025 \times 9,81 \times 1 = 10^4 \text{ Pa}$; (ρ = masa volumínica del fluido, en nuestro caso agua de mar)

Si L = 12 m y V² = 10 nudos...

$h = 0,13 \times 12 + 0,005 \times 100 = 2,06$ metros

la presión será de :

$p = 1025 \times 9,81 \times 2,06 = 20714 \text{ Pa} \approx 21000 \text{ Pa}$

Comprobación con formula practica: p (presión) = $1300 \times L + 200 \times V^2$; p en Pascales, V en m/s; 1 nudo = 0,513 m/s

$p = 1300 \times 12 + 200 \times 26,3 = 20863 \text{ Pa} \approx 21000 \text{ Pa}$

Simbad: Mi capitán, esta vez "se ha pasao", con las formulas... ¡ Menos mal que me ha dado ejemplos!

Capitán Isidore Caubin: Te recomiendo que te fabriques tú mismo otros ejercicios y que revises las otras charlas que hemos tenido.

Simbad: Bueno capitán, yo quisiera tener una vista de conjunto de "un esqueleto de casco" y de los cálculos explicados, así como una noción más clara de aquello de "banda asociada"; ¿Podría ser?

Capitán Isidore Caubin: Estoy de acuerdo, ya que estos conceptos deben estar claros para todos.

En la figura XXVIII.1.7, vemos la mitad de los fondos de un casco y en ella puedes apreciar una distribución de vagras y palmejares y una pieza en forma de "7" en la parte de la quilla.

Si tienes esta figura presente, podrás apreciar el espesor del forro "e"; la banda asociada "ba", la distancia E que es igual a $E1 + E2/2$, etc., etc.

Verás también que cada vagra o palmejar está dado por sus dimensiones bxh, que te servirán para el calculo en tu hoja de calculo Excel; ¿ Te parece bien?

Simbad: ¡Perfecto capitán, aquí se ve realmente un buen resumen de lo explicado!

Capitán Isidore Caubin: Esta figura te permitirá con un poco de imaginación, cambiar piezas y refuerzos o colocarlas en los sitios clave y gracias a la hoja de calculo Excel, podrás tranquilamente calcular todos los esfuerzos que quieras.

Para simplificarla, no hemos colocado las cuadernas ni los baos, pero "a mano" tú te puedes fabricar una más completa.

Simbad: Me parece excelente, pero tengo un problema cuando veo "ese angular" colocado como refuerzo entre la borda y los fondos; supongo que también sufrirá un esfuerzo y que ademas del otro

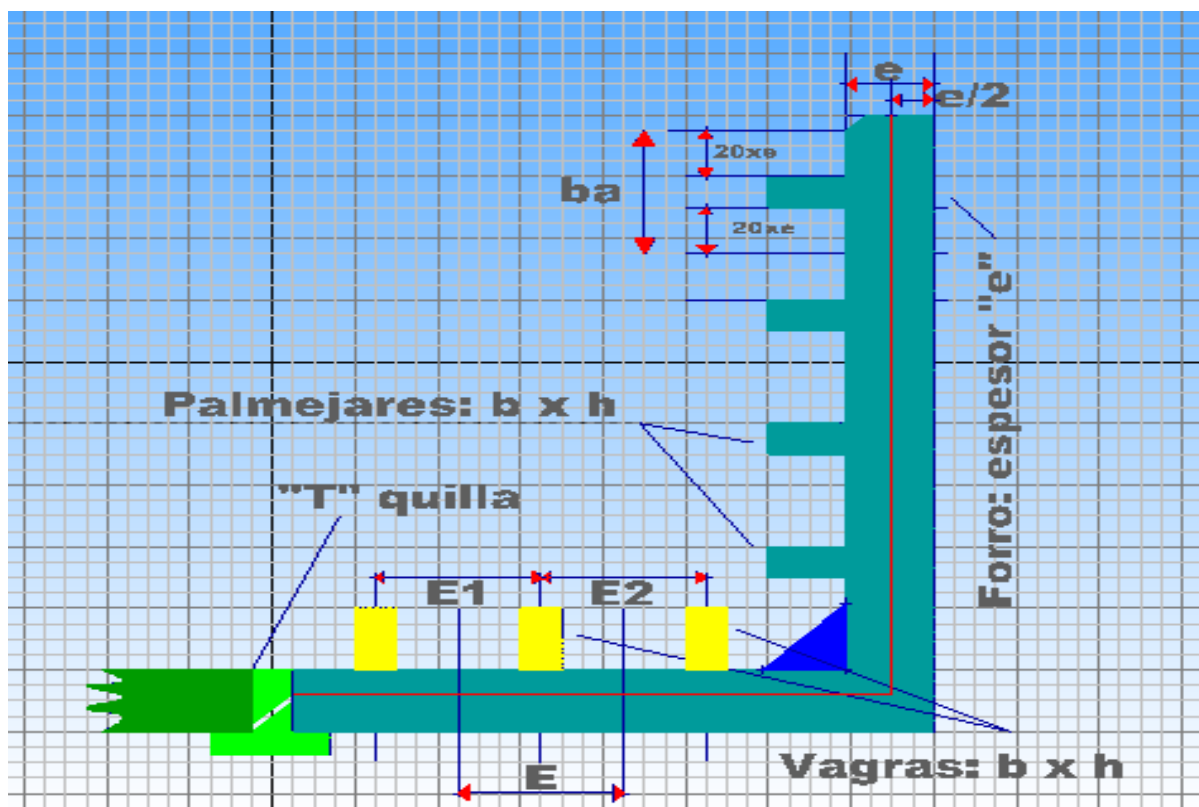


Figura XXVIII.1.7: Vista transversal de un fondo de casco...

lado habrá otro simétrico a este. ¿Cómo realizo el calculo?

Capitán Isidore Caubin: En realidad sobre la figura hemos colocado una consola que une el forro de fondo con el forro de muralla, pero en realidad estas consolas suelen unir los baos con las cuadernas; es decir que en la figura, esto estaría indicado por la línea roja.

Seguirían faltándonos estas piezas para que el dibujo fuera perfectamente exacto; la portada ℓ de esas consolas se mide desde "centro a centro" de las consolas. Yo te recomiendo que a partir de aquí te hagas tus propias figuras.

Simbad: ¿Todo el forro posee el mismo espesor "e"?...¿En todas las partes del casco?

Capitán Isidore Caubin: Buena pregunta, en realidad no...o en realidad hay que hacerse esa pregunta, ya que el forro en algunos lugares determinados y según las características del buque podría variar...

Simbad: ¿Y esto como lo sabemos?

Capitán Isidore Caubin: En realidad lo que determina el espesor "e" de un forro es la presión que deba soportar, por lo tanto según ese lugar y según esa presión, el espesor "e" puede variar...

Simbad: ¿Y en que casos mi capitán ?

capitán Isidore Caubin: Te daré tres casos generales, ya que según el estado de la mar, la velocidad que tenga el buque, su altura de franco-bordo y la forma del casco, buque "arquimediano" (a desplazamiento), lancha rápida (planeadora) o velero, estos casos pueden variar.

En efecto como vemos en la figura siguiente, los choque contra la mar pueden ser importantes.

La plancha de fondo está sometida a una presión hidrostática que corresponde a la flotación del buque, pero a veces el perfil de la ola puede sobrepasar localmente el puente de un casco inclinado bajo el efecto del balanceo.

Calcularemos con la formula ya dada de "h" (altura de aguas), los casos extremos que consideremos probables, a no ser que poseamos un franco - bordo muy importante.

Esta altura h la utilizaremos con margen y aplicaremos con ella el esfuerzo de uso en ese lugar.

La parte de proa, por lo menos hasta la mitad del buque o de su eslora entre perpendiculares puede sufrir también de efectos de torsión si el navío tiene ya proporciones importantes, esta torsión es debida al cabeceo, balanceo y velocidad del buque.

Las partes de los fondos que son afectados por los choques de la mar están situados principalmente hacia adelante.

La forma de las olas pueden producir choques aleatorios y violentos que solo la experiencia del "hombre de barra" puede amortiguar.

Las reglas a respetar serian las siguientes:

1ª: El efecto de torsión sin que haya hidroplaneamiento se produce en la zona de un cuarto de la eslora desde adelante.

2ª: Para una lancha rápida planeadora, este efecto se produce desde el principio del casco mojado, a gran velocidad y en mar calma.

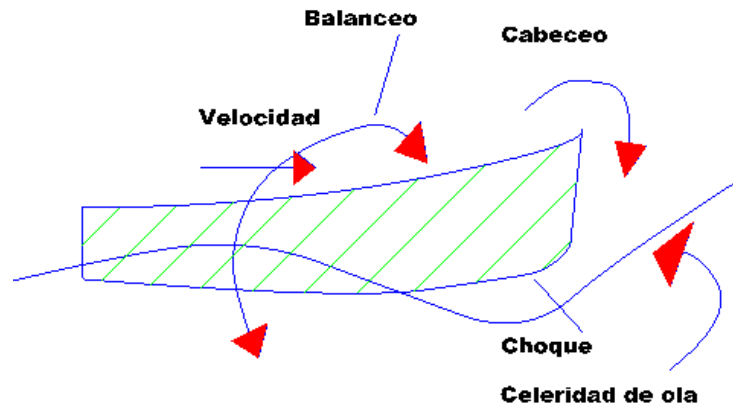


Figura XXVIII.1.8: Vista longitudinal de los diferentes efectos...

3ª: Para un velero, si es un velero rápido, esta parte donde se manifiesta la torsión se extiende sobre una distancia superior a la semieslora adelante.

Simbad: ¿Y en los costados; en las murallas?

Capitán Isidore Caubin: La presión en este lugar varía desde la presión en los pantoques que es aproximadamente la del fondo del casco, hasta la borda de la muralla que la une con el puente.

Para determinar la resistencia del armazón, tomar siempre una presión dada por una altura de aguas a media altura.

Lo mejor para todo, como ya te he dicho varias veces es hacerse un dibujo y marcar con flechas las diferentes presiones, teniendo en cuenta que en un puente el peso del personal más otros pesos, puede variar entre 3,5 y 5 kPa.

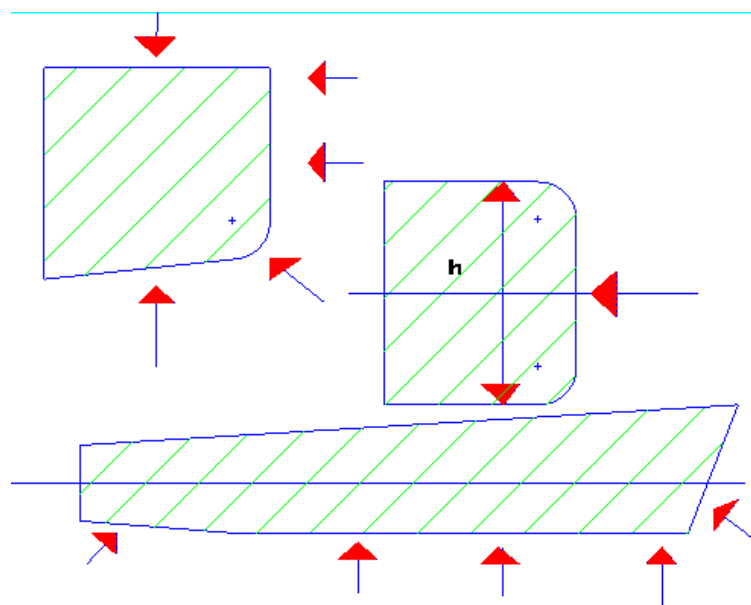


Figura XXVIII.1.9: Repartición de las presiones en el casco...

En los sectores expuestos del puente o cubierta, el efecto de la mar es de al menos 6 kPa.

Si el buque tiene una eslora grande, estas partes deben ser calculadas con unos 10 kPa, teniendo en cuenta que en los grandes navíos se puede llegar a los 50 kPa, al avance.

También habrá que calcular las presiones equivalentes a pesos fijos a bordo como pueden ser aparejos de pesca, grúas, molinillos, etc.

Si el buque está pensado para llevar cargas importantes en estas, habrá que tenerlas en cuenta, traduciendo su peso en presión equivalente.

Los mamparos y tabiques no estancos deben calcularse también para que puedan soportar una altura de aguas suficiente en caso de inundación y hasta el puente que las cubra.

Para los refuerzos verticales calcularemos la semialtura y para los horizontales a cada nivel de entrada de agua.

Si los compartimientos se encuentran cerca de los bordes, hay que suponerlos invadidos por el agua y la altura desde la línea de flotación.

Cuando se trate de un depósito con boca de salida, tenerlo en cuenta ya que esta boca es la que nos dará esa altura h .

Finalmente te recomiendo que te fabriques algunos ejercicios usando tus hojas de cálculo con todo lo visto...

Simbad: Me parece una buena idea y para la próxima charla, vendré muy "*preparao*" para afrontarlo a Ud.; pero ahora yo creo que...

Capitán Isidore Caubin: ¡ Anda, anda, trae ese ron de una vez!

Simbad: ¡Volando mi capitán!

Fin de la 3ª parte de la 6ª charla de construcción naval