

**Charla 6 de construcción naval**  
**Tema XXXVII: Calculo de estructuras**  
**2ª Parte**

"La verdadera sabiduría está en reconocer la propia ignorancia". Sócrates (470 - 399 AC); filósofo griego.

**Simbad:** Bueno, hemos visto muchas cosas...pero ¿por donde empezamos para calcular el casco de un buque?, ¿Dónde está la punta del hilo de la madeja?

**Capitán Isidore Caubin:** Cada estructura, como hemos visto, tiene características que le dan resistencia a los esfuerzos a los que está sometidas y por lo tanto poseen:

1º: Un esfuerzo de uso que caracteriza el material con el que está hecha

2º: Un modulo de flexión que depende de su inercia y de la distancia a un eje de referencia al que se encuentre

3º: Un momento de flexión que depende de los apoyos donde se encuentre

4º Una inercia debida a la geometría de la pieza considerada y con referencia a un eje determinado como el de las "x"... Por lo tanto, nos encontraremos delante de los problemas siguientes:

1º: Tenemos una forma, una estructura ya hecha y deberemos calcular su momento de flexión.

El hecho de calcular este momento de flexión nos sirve para ver si con la presión  $p$  a la cual está sometida esta estructura, resistirá o no a la deformación o a la rotura de la misma.

Si el "modulo de flexión es suficiente", la dejamos como está ya que es inútil agregarle uno o varios refuerzos.

2º: Si el "modulo de flexión calculado, es demasiado bajo", tendremos que buscar una o varias piezas llamadas refuerzos, para ayudarla en su misión de resistencia y que aguante aquella presión ejercida sobre ella

3º: Si el "modulo de flexión es demasiado grande", o sea que va sobrada en el aguante de aquella presión, es que la pieza o estructura ha sido sobredimensionada en la concepción, hemos calculado mal, y el navío ha sido sobrecargado sin motivo y tendremos que retomar los cálculos para aligerar esta estructura.

**Simbad:** Muy bien, pero un casco está "lleno de piezas"...¿Por donde empezar?

**Capitán Isidore Caubin:** Si consideramos el casco de un buque "como una sola pieza", podremos calcular el modulo de flexión de esta pieza (o estructura), entera y ver si cumple o no con las necesidades reales a las que estará sometida en la practica.

Todos estos cálculos pueden ser realizados en Excel o con una calculadora científica programable a fin de evitarnos cálculos largos, errores y tiempo perdido.

Cuando dibujamos un casco, tomamos un lápiz y papel milimetrado y dibujamos libremente, pero pronto surgirán las preguntas a las que no hay más remedio que contestar como por ejemplo ¿que espesor le doy al forro de este casco?; las esloras, palmejares, vagras que he dibujado son suficientes?; las cuadernas: ¿son suficientes, hay demasiadas?; las dimensiones de la quilla son correctas?...

**Simbad:** Ha entendido Ud., mi capitán perfectamente lo que quiero decir...

**Capitán Isidore Caubin:** Cuando tengamos la suerte de acceder a astilleros que ya han concebido buques de más o menos esas mismas características que queremos, ello nos facilitará la vida, ya que podremos fácilmente "extrapolar" sobre lo que ya ha sido hecho y sobre lo "que ya está navegando sin problemas", y eso nos facilitará el trabajo; en el caso contrario, tendremos que calcularlo todo desde el principio...

**Simbad:** Sí, mi capitán, sí, sí, ¡ahí está mi problema!; ¿Qué significa "empezar por el principio"?

**Capitán Isidore Caubin:** Lo que debemos hacer al principio, es una aproximación general de toda la estructura y de su peso total aproximado; eso es "empezar por el principio".

A partir de estos datos ya podremos empezar a calcular los "efectos de flexión" bajo la acción de las presiones que sufrirá la estructura y así podremos tener una idea bastante precisa de las cosas.

A continuación, y solo después, afinaremos las cosas un poco más...

**Simbad:** Ok, capitán, eso lo entiendo, ya que si mi buque está construido en acero y conociendo la masa especifica de este acero, ya tendré una idea de su peso conociendo sus dimensiones aproximadas...

**Capitán Isidore Caubin:** Exactamente y como un casco es en realidad un "hueco con piel", y a esa piel se le llama "forro o cinta", lo primero que tendremos que ver es a que presión " $p$ " estará sometido este forro cuando esté en condiciones normales de trabajo y sufra estas presiones.

Con estos datos ya podremos deducir como debemos repartir la estructura para que "esta piel" aguante "aquellas presiones"...

**Simbad:** ¡Claro, debemos saber que presión ejerce el agua sobre "esa piel", ¿Verdad?

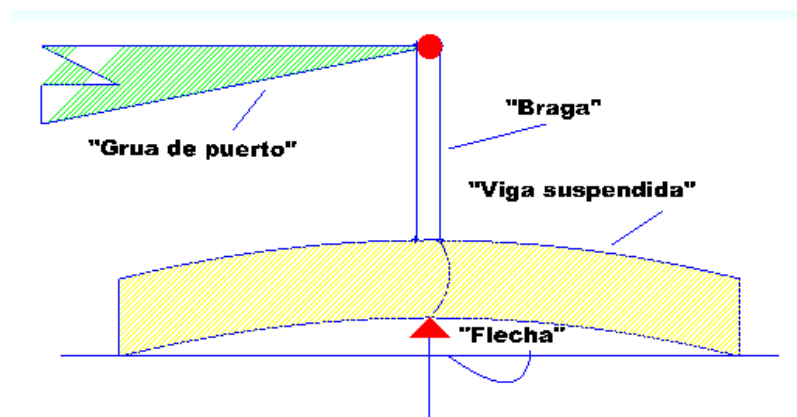
**Capitán Isidore Caubin:** ¡Sí señor!, pero el agua, o la presión que ejercerá esta en un punto determinado, no lo es todo, ya que cuando suspendemos un casco con unas bragas, también este casco sufrirá presiones, torsiones, flexiones, efectos de cizalla, efectos de arrufo y/o quebranto...etc., etc. Vemos pues que bajo la acción de las presiones los elementos o estructuras de construcción están sometidos a flexiones.

**Simbad:** ¡ Dios mío mi capitán...!; ¿Entonces tendremos que calcular todas estas cosas?

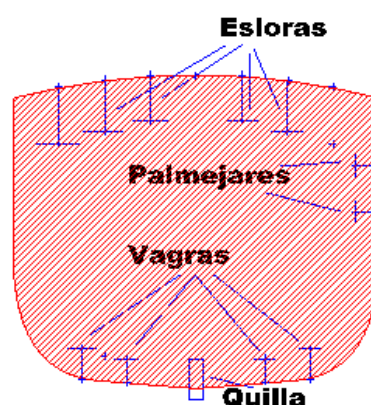
**Capitán Isidore Caubin:** Al principio no, ya que solo haremos una aproximación que afinaremos más tarde. De todas las deformaciones que sufren estos elementos, sabemos que este efecto de flexión es el que predomina en todos los casos; y esto lo sabemos por experiencia...Por lo tanto, si trabajamos con flexiones, habremos resuelto la mayoría de los problemas con los que nos encontraremos.

**Simbad:** ¿Y entonces?

**Capitán Isidore Caubin:** El trabajo consiste entonces en aplicar las formulas de flexión a partir de una presión dada y de un esfuerzo de uso determinado.



*Figura XXXVII.1.1: Viga (o casco) suspendido*



*Figura XXXVII.1.2: Elementos longitudinales de construcción*

**Simbad:** ¿Podría Ud., mi capitán dar un ejemplo concreto?

**Capitán Isidore Caubin:** Ya hemos visto lo que es el calculo del "modulo de flexión de la viga navío". ¡Ho del fondo de una barcaza, ¿Verdad?...Por ello te vuelvo a dar un ejemplo que creo que ahora entenderás mejor que antes:

Ejemplo 1: La situación era:

Separación varengas: 0,90 m

Portada varengas: Desde el borde del casco a la viga axial: 3m

Calculo del I/Ho:

1º:  $E = 0,90\text{m}$

2º:  $\ell = 3$

3º:  $p = 10000 \text{ P}$

4º:  $\sigma = 130 \times 10^{-6} \text{ m}^3$

Solución:

Modulo de flexión de la viga navío:  $I/Ho = 0,1 \times 0,9 \times 3^2 \times 10^4 / (130 \times 10^6) = 62,31 \times 10^{-6} \text{ m}^3$

**Simbad:** Capitán, ¡ya no me acuerdo de las formulas!

**Capitán Isidore Caubin:** Sí, ya veo...te las vuelvo a dar para este caso:

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

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

Esfuerzo de "uso para el acero":  $\sigma = Mf / (I/Ho)$ ;  $\sigma = (0,1 \times p \times \ell^2) / I/Ho$

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

**Simbad:** ¡Gracias mi capitán!, pero si a cada vez hay que volver a calcular todo...

**Capitán Isidore Caubin:** Para que esto no te ocurra, "tendrás que fabricarte un pequeño cuadro de calculo Excel" como el que sigue, y de esta manera con solo cambiar los datos de entrada tendrás todas las respuestas de manera rápida y clara...

Programa EXCEL:

Programa Calculo modulo flexión de la "Viga Navío"		
Ejemplo Barcaza		
E:	0,9	metros
$\ell$ :	3	metros
p:	10000	Pa
$\sigma$ :	130000000	Pa
Mf:	8100	
I/Ho:	6,231E-05	

**Figura XXXVII.1.3: Calculo modulo flexión de la "Viga Navío"**

**Simbad:** Capitán, "es Ud. muy amable", pero en esos datos aparecen "E" y "  $\ell$  ", y en realidad no sé "cuál es cuál"...y por ejemplo en el ejemplo anterior, "la que va al cuadrado, es  $\ell$  y no E"; ¿Porqué no al revés?

**Capitán Isidore Caubin:** Tienes razón y te diré que incluso "esos alopécicos prematuros", se equivocan con esta cuestión, porque no han sabido hacerse con una simple regla mnemotécnica que facilita todo.

**Simbad:** ¿Y cuál es esa regla mi capitán?

**Capitán Isidore Caubin:** Cada vez que uno calcula debe antes que nada hacerse la pregunta siguiente: ¿"Con respecto a qué quiero saber la resistencia de esta estructura"?

Así en el ejemplo anterior, indicábamos una separación, pero el calculo lo buscábamos con respecto al eje del buque ya que vimos la frase: "Portada varengas: Desde el borde del casco a la viga axial: 3m".

Esto significa que buscamos el modulo de flexión de esta "viga navío" con respecto al eje central (la estamos "viendo transversalmente"); esta será entonces la dimensión "que pondremos al cuadrado en nuestra formula", o sea  $\ell$  .... Por eso te digo que siempre "hay que hacerse esa pregunta: ¿Con respecto a qué"?

**Simbad:** Esto es muy interesante, ¿Podríamos ver otro ejemplo?

**Capitán Isidore Caubin:** Claro hombre, claro... te daré otro ejemplo ya visto:

Ejemplo 2: La viga navío que mantiene las varengas, está soportada por compartimientos o tabiques; calculo de esta viga.

Espaciamiento de los tabiques: 3,6 metros

Varengas: 3 metros de cada lado de la viga, luego:

$$\sigma = 130 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$p = 10000 \text{ Pa}$$

$$E = 3/2 + 3/2 = 3 \text{ ,metros}$$

$\ell = 3,6$  metros (¿Te has hecho la pregunta?); en efecto el apoyo buscado es el de los tabiques o mamparos y no otro, luego "será esta distancia la que pondremos al cuadrado"...

El  $I/H_0$  necesario para esta viga, será:

$$\text{Modulo de flexión de la viga necesario: } I/H_0 = 0,1 \times 3 \times 3,6^2 \times 10^4 / (130 \times 10^6) = 2,99 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \text{ ó } 299 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \dots$$

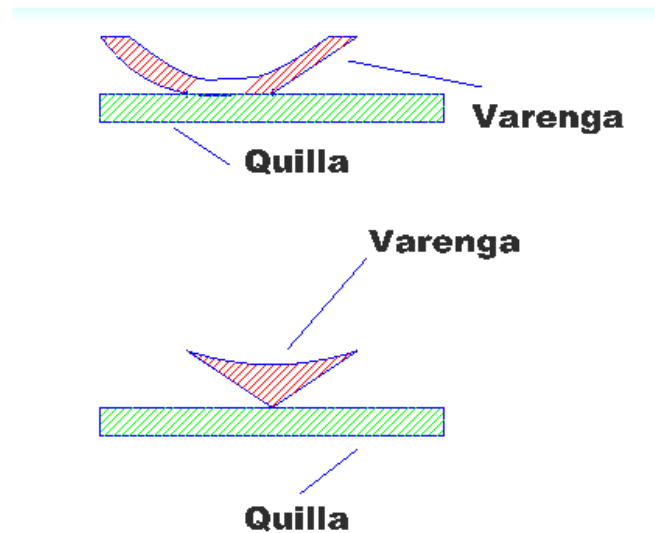


Figura XXXVII.1.4: Diferentes formas de varenas...

Simbad: ¿Porqué dice Ud. "necesario"?

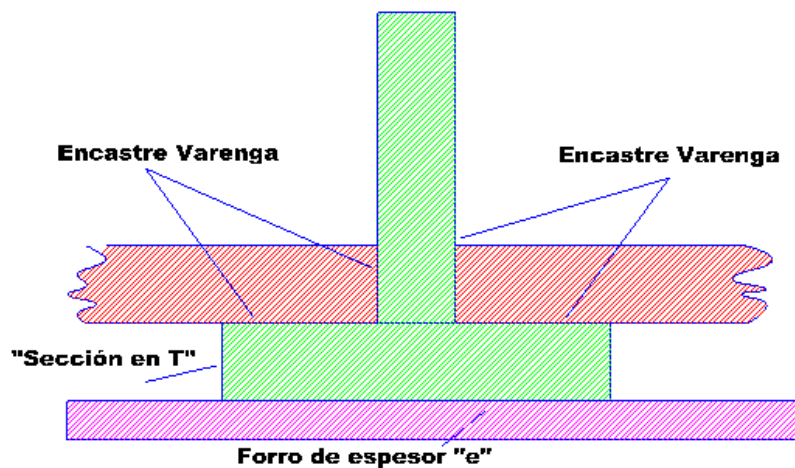


Figura XXXVII.1.5: Vista transversal mostrando el encastre de las varenas de cada lado

Capitán Isidore Caubin: Porque estamos calculando algo que "ya tenemos" y eso nos da un módulo de flexión determinado, "tal y como están las cosas", pero... ¿Será suficiente?; ¿Será demasiado?.

Sabemos en efecto, que este módulo de flexión es el que debe ser... Si no fuese así, "no lo hubiéramos determinado", ¿Pero entonces...Cuál será la "forma de esta vigueta que necesitamos para obtenerlo"?

Simbad: Tiene Ud. razón mi capitán...¿Cuál será esa forma?; ¿Cómo la obtendremos?

Capitán Isidore Caubin: Si piensas, tendrás la solución...En efecto, se trata de una pieza central; una viga, que recibe las varenas y estas deberán poder fijarse a ella...¿Verdad?; ¿No te da esto alguna idea?

**Simbad:** Pues la verdad...

**Capitán Isidore Caubin:** ¡Pues es fácil por lo tanto!, tendrá que ser una pieza en forma de "T" (al revés), que reciba así de cada lado las varengas para que estas puedan ser "atornilladas o soldadas"...¿No?

**Simbad:** Ya veo...

**Capitán Isidore Caubin:** La cosa se presentará como en la figura XXXVII.1.5...

Para cumplir con estas especificaciones de I/Ho (Módulo de flexión), tendremos que buscar en nuestro catalogo de "productos siderúrgicos" una "T", en acero, que cumpla con estas condiciones y vemos que una "T" con un alma de 150x12, con "un sombrero" en forma de "plana" de 150x12, cumple estos

A	B	C	D	E	F
2	Agregar: Ancho del "Almax40", como flanco de la sección en la practica				
3	Calculo de: 70x70x5 Angular	SUELA	ALMA	PLANA SUP	Forro (e)
4	Calculo de Refuerzos: "T", "Omegas", angulares	s1	s2	s3	
5	datos iniciales, b ancho	150	12		
6	datos iniciales, h (altura)	12	150		
7	b horizontal (ancho)	150,00	12,00	0,00	6,00
8	h vertical (altura)	12,00	138,00	0,00	
9	Bs: Base sección=40*c6; espesor a dar si Banda asociada	480,00	0,00	0,00	
10	Superficies bxH	1.800,00	1.656,00	0,00	
11	z1 (h desde la base al centro del perfil1)	6,00			
12	z2 (h desde la base al centro del perfil2)	69,00			
13	z3 (h desde la base al centro del perfil3)	0,00			
14	St: Superficie total	3.456,00	3,46	cm2	
15	d: Busqueda centro superficie fase d:	1.662,00	16,62	cm	
16	Ht: Altura total de la sección	150,00	1,50	cm	
17	Ho: Ht-d:	1.512,00			
18	I= ((s1+s2+s3)*dcuadrado)+(B4*htcubo/12)	4,50E+07			
19	I si banda asociada:	1,38E+08			
20	I/Ho:	2,97E+04			
21	I/Ht: si banda asociada:	918438,00	9,18E-01	m3	
22	I/Ho:si banda asociada	91114,88	9,11E-02	m3	
23	I/Ht I/v(normal, sin banda asociada)	299688,00	3,00E-01	m3	

Figura XXXVII.1.6: Hoja de calculo EXCEL...

Requerimientos, tal como se ve en la figura XXXVII.1.6...

**Simbad:** Yo tengo "ese catalogo", pero allí no me dicen que módulo de flexión tienen las piezas allí ilustradas...

**Capitán Isidore Caubin:** Es por eso que tendremos que crearnos nosotros mismos "un banco de datos" y con cada pieza del catalogo que veamos, calcular de antemano su modulo de flexión; esto nos ahorrará mucho tiempo después, porque podremos elegir la pieza que se presta muy rápidamente...

**Simbad:** Entonces...si colocamos esta pieza central que tiene un módulo de flexión I/Ho = 299x10<sup>-6</sup> m<sup>3</sup>, tal como nos dice el resultado de nuestro calculo...¿Será suficiente?. Yo veo que en la figura existe el forro...¿No lo tenemos en cuenta?

**Capitán Isidore Caubin:** ¡Bravo marinero!, veo que te fijas en las cosas. En efecto en la parte inferior vemos que el forro, supongamos que de un espesor de 6mm se agrega a la "plana de base". Este forro y en ese lugar, da rigidez suplementaria a la "T", o visto desde otro punto de vista, la "T" da rigidez suplementaria a ese forro...y como es lógico habrá que tenerlo en cuenta como tú bien has dicho: ¿Qué elegimos?; ¿El forro obtiene rigidez de la "T" o la "T" recibe rigidez del forro?

**Simbad:** Ahí me pilló capitán...No lo sé...

**Capitán Isidore Caubin:** Pues no es difícil aunque lo parezca; en efecto, nosotros "no estamos calculando ahora el forro si no la parte correspondiente a la "T", por lo tanto es esa "T" la que nos interesa". El espesor del forro da rigidez a nuestra "T" y no el contrario...¡No hay que perder de vista "lo que estamos haciendo"!

**Simbad:** O sea que el modulo de flexión calculado...si ahora tenemos un espesor de la base suplementario...ya no será el mismo para este nuevo conjunto, ¿No?

**Capitán Isidore Caubin:** Es verdad, ya no sería el mismo, pero las cosas se pueden arreglar simplemente cambiando el espesor de esa pieza plana de 12, por un espesor de 6 (¡Ojo, si existe en el mercado o en nuestro catalogo!), y con la hoja de calculo Excel, veremos que el resultado final será el mismo ...

A	B	C	D	E	F
3	Calculo de: 70x70x5 Angular	SUELA	ALMA	PLANA SUP	Forro (e)
4	Calculo de Refuerzos: "T", "Omegas", angulares	s1	s2	s3	6
5	datos iniciales, b ancho	150	6		
6	datos iniciales, h (altu	6	150		
7	b horizontal (anch	150,00	12,00	0,00	
8	h vertical (altu	12,00	138,00	0,00	
9	Bs: Base de	480,00	0,00		
10	Superficies b	1.800,00	1.658,00		
11	z1 (h desde la ba	6,00			
12	z2 (h desde la base a	69,00			
13	z3 (h desde la base al centro del p	0,00			
14	<b>St: Superficie total</b>	<b>3.456,00</b>	<b>3,46</b>	cm2	
15	d: Busqueda centro sup	<b>1.662,00</b>	<b>16,62</b>	cm	
16	<b>Ht: Altura total de la s</b>	<b>150,00</b>	<b>1,50</b>	cm	
17	<b>Ho: Ht-d:</b>	<b>1.512,00</b>			
18	$I = ((s1+s2+s3)*d^2)/12$	4,50E+07			
19	<b>I si banda asociada:</b>	1,38E+08			
20	I/Ho:	2,97E+04			
21	<b>I/Ht: si banda asociada:</b>	<b>918438,00</b>	<b>9,18E-01</b>	m3	
22	<b>I/Ho: si banda asociada</b>	<b>91114,88</b>	<b>9,11E-02</b>	m3	
23	<b>I/Ht (l/v)(normal, sin banda asociada)</b>	<b>299688,00</b>	<b>3,00E-01</b>	m3	
24	<b>I/Ho. normal sin banda asociada</b>	<b>29730,95</b>	<b>2,97E-02</b>	m3	

Hemos reducido el espesor de la "Plana" y del "Alma"

Espesor del forro

El resultado es exactamente el mismo...

Figura XXXVII.1.6: Reducimos el "e" de la pieza, porque consideramos el espesor del forro...

**Simbad:** ¡Ud. capitán, se las sabe todas!

**Capitán Isidore Caubin:** Hemos visto que con un "refuerzo más pequeño", gracias a la "ayuda en rigidez" del forro, conseguimos el mismo resultado. Lo que es cómodo como ya he dicho, es el poseer de antemano las formas de las piezas de fundición y el calculo de sus momentos de flexión...

**Simbad:** Bueno capitán, creo que hemos avanzado muchísimo y creo también que a estas alturas me merezco...¡perdón!, nos merecemos un "roncito calentito nomás", ¿Verdad?

**Capitán Isidore Caubin:** ¡Anda, trae ese ron!

**Simbad:** Como siempre mi capitán: ¡A sus ordenes!

Fin de la 2ª parte de la 6ª charla sobre construcción naval