Charla 7 de construcción naval
Tema XXXIX: Flotabilidad general, superficies
1ª Parte

"La ciencia consiste en sustituir el saber que parecía seguro por una teoría, o sea, por algo problemático". José Ortega y Gasset (1883-1955); filósofo y ensayista español.

Simbad: Cuando dibujo mi casco, libremente como Ud. dice mi capitán, *"puede que sea bueno o puede que sea malo"*; es decir, *"yo lo veo muy bonito"*, ¿pero como sé que podrá navegar?;
¿ *"Cómo sabré si flotará"*?; ¿cómo sabré si su centro de gravedad C está o no equilibrado, etc., etc.?.
Esto me parece realmente muy difícil y mi dibujo, a lo mejor me lo tengo que *"comer con patatas fritas"*...¿No?
Capitán Isidore Caubin: Para contestar a esa *"batería"* de preguntas que me haces, te diré en primer lugar, que tu dibujo *"estará bien si a ti te gusta"*, pero ello no impide que lo debas someter a una serie de *"test"*, para ver en efecto si las condiciones de flotación y de equilibrio están bien o mal.
En efecto, las líneas de flotación serán diferentes según el volumen del casco sumergido y esto es por lo tanto importante ya que con pesos diferentes estas líneas cambiarán y las distancias KC, es decir las distancias entre la línea de la quilla y el centro de gravedad de la carena C, cambiarán también, produciendo por consiguiente momentos diferentes, etc.
Lo primero que hay que hacer es ver la carena en planta, es decir desde arriba y también su perfil longitudinal.
Se supone que *"tu casco pelado"*, está ya armado como Dios manda y ahora empezaremos a calcular cosas sobre su parte sumergida o carena.
Simbad: ¿Y por donde empezaremos?
Capitán Isidore Caubin: Empezaremos con un buque *"Hipotético"* que mida unos 24 metros de eslora por unos 5 de manga y que hemos dibujado en papel milimetrado tal como en la figura siguiente...

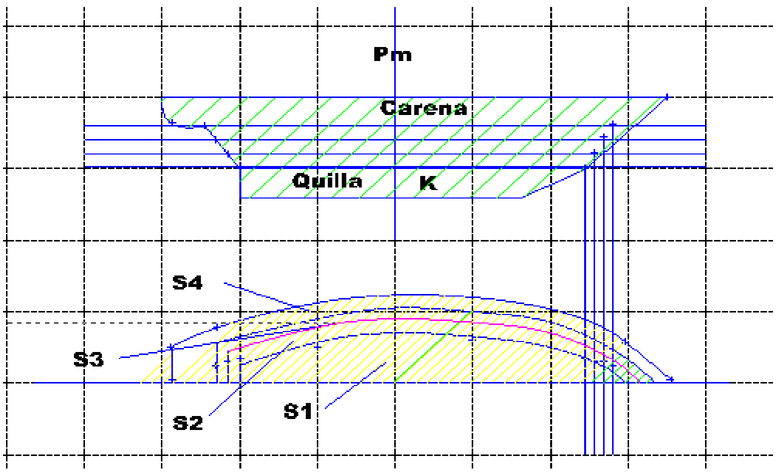

Figura XXXIX.1.1: Casco y diferentes superficies "mojadas" según el asiento

En la figura verás que para las diferentes "Water's line", la *"superficie mojada"* cambia, ya que al cambiar el asiento también cambia la carena...(¡Le hemos agregado peso!)
Tendremos por ejemplo diferentes esloras entre perpendiculares sumergidas y digamos que:
Para la superficie más grande S4 (Cuando el buque está más *"cargado"*), medimos una eslora entre perpendiculares de 21 metros (por ejemplo...)
Para la S3, medimos 20 metros...(por ejemplo...)
Para la S2, 19 metros...(por ejemplo...)
Para la S1, 18 metros...(por ejemplo...)
Todo esto es solo *"un ejemplo"*.
Simbad: Ok, capitán ¿y ahora qué?
Capitán Isidore Caubin: Ahora nuestra carena ya tiene características bastante completas. Y según la superficie sumergida que queramos calcular, la vamos a dividir horizontalmente en espacios iguales en el sentido de la eslora y así si por ejemplo calculamos una superficie cualquiera, la dividiremos en X

espacios iguales, ó *"Intervalos"*, y acordándonos que Simpson nos dice que *"el nº de semimangas debe ser impar"*. Los espacios entre estas semimangas, no son otra cosa que *"secciones o superficies"*.
Si por ejemplo trabajamos sobre S_4 que tiene 21 metros de eslora, podemos hacer *"6 semimangas"* separadas de 3 metros de eslora cada una, más la semimanga *"0"* (que cae en el *"espejo de popa"*), para lograr el nº 7 que es impar, lo que nos da 7 cálculos de áreas de secciones, tal como muestra la tabla que sigue:

	A	B	C	D	E
1	nº semimanga	valor semimanga	factor Simpson	funcion area	
2	0	1	1	1	
3	1	2	4	8	
4	2	2,5	2	5	
5	3	2	4	8	
6	4	1	2	2	
7	5	0,5	4	2	
8	6	0,25	2	0,5	
9			Total (m2)	26,5	
10					

Figura XXXIX.1.2: Tabla para calcular la superficie mojada ó "función área"...

Hemos supuesto que las semimangas *"valen"* lo que hemos puesto, pero en la realidad mediremos con una regla en nuestro dibujo para hacerlo correctamente; esto solo es un ejemplo de cálculo para ir rápido.
Simbad: Veo que obtenemos unos 26 m^2, pero me parece *"a ojo"* que debe ser más...
Capitán Isidore Caubin: Claro, no te olvides que por comodidad solo trabajamos con *"media carena"* y por lo tanto con *"semicarenas"*.
En realidad tendrás que aplicar la regla siguiente (1ª regla de Simpson):
Función área: $S_T = 2 \times a / 3 \times$ Suma de las s... (XXXIX.1.1)
(Suma de las s: es decir la superficie total que sale en nuestro cuadro)
En nuestro ejemplo esto nos daría la *"función área"*:
$S_{T4} = 2 \times 3 / 3 \times 26{,}5 = 53$ m^2...sabiendo que *"a"* es la separación constante, en nuestro caso de 3 metros... De esta manera sabremos también que si el intervalo común entre semimangas es de 3 metros, multiplicado por el número de intervalos que es 7, la eslora de flotación de esta carena será de 21 metros.
Simbad: Esta es la superficie 4 ¿y con las otras?
Capitán Isidore Caubin: Haríamos exactamente lo mismo midiendo las semimangas con la regla, que lógicamente cambiarán con las diferentes inmersiones del casco.
Simbad: ¿Y con las otras funciones como las inercias, volúmenes...etc.?
Capitán Isidore Caubin: Vamos a repasar todas ellas y cada vez haremos una tabla en Excel.
Ya conocemos la *"función área"*, ahora sigamos con la *"función momento"* que como sabemos ya, será una sección o superficie por una distancia (*"brazo"*); ¿Te acuerdas?; si no es así repasa tus notas anteriores. La tabla se presentaría como sigue inventándonos valores de semimangas...

	A	B	C	D	E	F
1	nº semimanga	valor semimanga	factor Simpson	funcion area	brazo	funcion momento
2	0	1	1	1	2	2
3	1	2	4	8	1	8
4	"maestra" 2	2,5	2	5	0	0
5	3	2	4	8	-1	-8
6	4	1	2	2	-2	-4
7	5	0,5	4	2	-3	-6
8	6	0,25	2	0,5	-4	-2
9			Total (m2)	26,5	Smtos:	-10
10						
11						

Figura XXXIX.1.3: Función momento

Simbad: Este cálculo de momentos me deja *"perplejo"*, ya que *"no lo capto"* muy bien...
Capitán Isidore Caubin: Es lógico ya que la regla es que los momentos situados a popa desde la maestra tienen signo positivo y a partir de ella hacia proa negativo...Sumamos separadamente los de popa y proa, los sumamos algebraicamente y ello nos da el momento final...¿Lo entiendes ahora?
El de la Maestra siempre es igual a *"cero"*.
Simbad: Ahora *"lo veo"*...pero ¿qué pasa si se trata de un mamparo transversal?

Capitán Isidore Caubin: Haremos lo mismo, pero esta vez dividiremos el mamparo en sentido vertical y debemos conocer su altura o *"puntal"*; por ejemplo imaginemos que tenemos 7 divisiones o secciones verticales con una separación de b , y que el puntal total del mamparo sea de 4 metros.
La formula a aplicar será:
b = Puntal / nº de secciones = 4 / 7 = 0,57 metros, donde, es la separación constante entre semimangas...
Haremos entonces:
S = 2 x b / 3 x $\sum$a , en este caso a es el área de cada sección... (XXXIX.1.2)
En nuestro caso: (ver tabla siguiente)

	A	B	C	D	E
1	nº semimanga	valor semimanga	factor Simpson	funcion area	
2	0	1	1	1	
3	1	1,5	4	6	
4	2	2	2	4	
5	3	2,4	4	9,6	
6	4	3	2	6	
7	5	3	4	12	
8	6	3	2	6	
9			Total (m2)	44,6	
10					

Figura XXXIX.1.4: Cálculo de la superficie de un mamparo

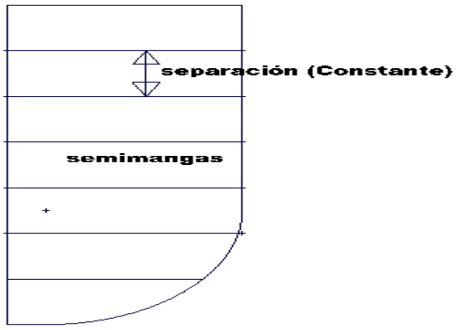

Figura XXXIX.1.5: Cálculo de la superficie de un mamparo

Simbad: Lo he entendido, pero volvamos al cálculo de momentos de la figura XXXIX.1.3, ya que no hemos terminado; ¿Qué más se puede saber de ellos?
Capitán Isidore Caubin: Este cuadro es interesante ya que además nos da la posición de *"F"* con respecto a la maestra; es decir del *"centro de flotación a la cuaderna maestra"*...
Simbad: ¿Y eso?
Capitán Isidore Caubin: F es la flotación...Las formulas que tienes que aplicar son las siguientes:

1º: Superficie total → $S = 2x\frac{a}{3}x\sum s$ (XXXIX.1.3)

en nuestro caso: S_{T4} = 2 x 3 / 3 x 26,5 = 53 m^2

2º: Distancia de la flotación a maestra → $\otimes F = ax\frac{\sum m}{\sum s}$ (XXXIX.1.4)

En nuestro caso: $\otimes F = 3$ x –10 / 26,5 = - 1,13 m

3º: Momento de la maestra → $M_{\otimes} = 2x\frac{a}{3}xax\sum m$

En nuestro caso: $M_{\otimes} = 2$ x 3/3 x 3 x –10 = - 60 m^2 x m (XXXIX.1.5)

(<u>2º: BIS</u>): también → $\otimes F = \frac{M_{\otimes}}{S_{T4}}$ (XXXIX.1.4.bis)

En nuestro caso: $\otimes F = -60$ / 53 = - 1,13 m
Simbad: *"Con Excel"* todo es más fácil entonces...
Capitán Isidore Caubin: Claro, y cuando termine contigo, tendrás todos los elementos para calcularlo absolutamente todo, pero tú mismo tendrás que *"fabricarte problemas diferentes"*, para que seas un as calculando; ¿Te parece bien, si seguimos?
Simbad: Sigamos capitán, sigamos...

Capitán Isidore Caubin: Por ahora hemos estudiado la función área y la función momento aplicadas a una carena de superficie S_{T4} y a un mamparo...Pero en las charlas anteriores hablamos de superficies liquidas. Vamos a ver como calculamos una superficie liquida en un tanque.
Simbad: ¡Ya me acuerdo, aquello podría ser peligroso si un puente muy grande era invadido por el agua!
Capitán Isidore Caubin: Exactamente, y es por ello que tendremos que realizar cálculos sobre estas superficies liquidas.
Para ello vamos a dibujar una figura, vamos a suponer el liquido en equilibrio o reposo (en el momento de la medida no se mueve), vamos como con la carena anterior dividirlo en semimangas a distancias constantes...En nuestro ejemplo, diremos que la eslora del tanque es de por ejemplo 18 metros y así haremos semiesloras separadas a intervalos constantes según Simpson y numero impar y vamos a calcular a partir de aquí, el área de la superficie libre del liquido y la posición del centro de gravedad de esta superficie liquida con respecto a las paredes x e y del tanque.

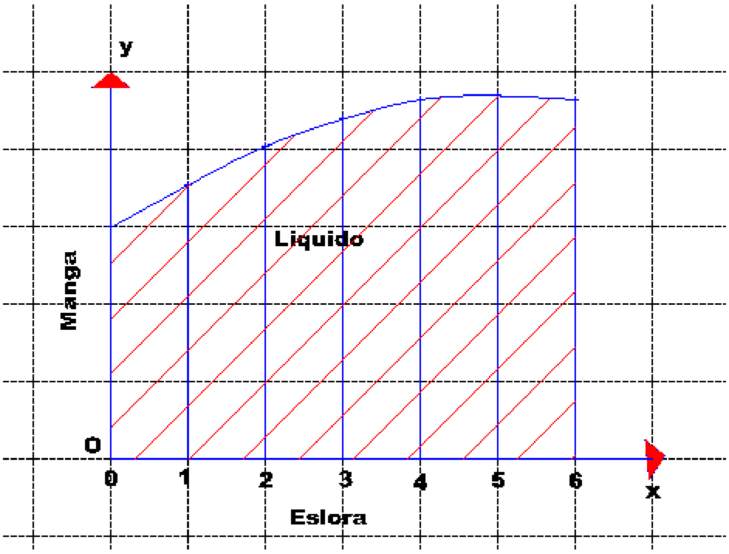

Figura XXXIX.1.6: área de la superficie liquida de un tanque

La tabla Excel se presenta así:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	nº manga	valor manga	factor Simpson	funcion area	brazo X	funcion My	manga2	factor Simpson	funcion Mx
2	0	1,5	1	1,5	0	0	2,25	1	2,25
3	1	2	4	8	1	8	4	4	16
4	2	2,4	2	4,8	2	9,6	5,76	2	11,52
5	3	2,7	4	10,8	3	32,4	7,29	4	29,16
6	4	2,9	2	5,8	4	23,2	8,41	2	16,82
7	5	3	4	12	5	60	9	4	36
8	6	2,9	1	2,9	6	17,4	8,41	1	8,41
9			Sa =	45,8	SMy =	150,6		SMx =	120,16
10									
11									

Figura XXXIX.1.7: Superficies libres...

Haremos pues:
1º: a = eslora / nº de intervalos = 18 / 6 = 3 metros.
2º: ST = a / 3 x $\sum s$
en nuestro caso: ST = 3 / 3 x 45,8 = 45,8 m^2
3º: Posición longitudinal centro de gravedad; es decir con respecto al eje *"x"*:

$$x_g = \frac{M_y}{S_T} = \frac{a x \sum m_y}{\sum s} \qquad \text{(XXXIX.1.6)}$$

en nuestro caso: x_g = 3 x 150,6 / 45,8 = 9,86 metros...
4º: Posición transversal del centro de gravedad; es decir con respecto al eje "y":

$$y_g = \frac{M_x}{S_T} = \frac{\frac{1}{2} x \sum m_x}{\sum s} \qquad \text{(XXXIX.1.7)}$$

es decir en nuestro caso: (1/ 2 x 120,16) / 45,8 = 1,31 metros

Simbad: ¡Increíble!, con una tabla Excel lo podemos calcular todo, pero ¿porqué no introducir en la tabla estas últimas formulas también?

Capitán Isidore Caubin: Claro que puedes, lo que pasa es que he querido ser *"didáctico"*, pero lógicamente nada te lo impide y la tabla anterior, quedaría como sigue:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	nº manga	valor manga	factor Simpson	funcion area	brazo X	funcion My	manga2	factor Simpson	funcion Mx	
2	0	1,5	1	1,5	0	0	2,25	1	2,25	
3	1	2	4	8	1	8	4	4	16	
4	2	2,4	2	4,8	2	9,6	5,76	2	11,52	
5	3	2,7	4	10,8	3	32,4	7,29	4	29,16	
6	4	2,9	2	5,8	4	23,2	8,41	2	16,82	
7	5	3	4	12	5	60	9	4	36	
8	6	2,9	1	2,9	6	17,4	8,41	1	8,41	
9			Sa =	45,8	SMy =	150,6		SMx =	120,16	
10	eslora:	18								
11	nºintervalos	6								
12	valor de "a"	3								
13	Xg	9,86462882	metros							
14	Yg	1,31179039	metros							
15										

Figura XXXIX.1.8: La tabla anterior más el cálculo de los centros de gravedad...

Simbad: Las hojas de cálculo veo que permiten muchas cosas, ¿Podríamos seguir con las *"Inercias"*?

Capitán Isidore Caubin: Por supuesto y yo, lo que te aconsejo, es que te hagas una *"biblioteca"* de hojas de cálculo para cada uno de los problemas que quieras resolver; ahora vamos a ver las inercias. Supongamos que tenemos las mismas semimangas que al principio; el cuadro Excel para las Inercias se presentaría para esa carena de la manera siguiente (momento de inercia del área de flotación que pasa por F y con respecto a un eje transversal que pasa también por F):

	A	B	C	D	E	F
1	nº SM	valor SM	SM cubo	F.S	Funcion It	
2	0	1	1	1	1	
3	1	2	8	4	32	
4	2	2,5	15,625	2	31,25	
5	3	2	8	4	32	
6	4	1	1	2	2	
7	5	0,5	0,125	4	0,5	
8	6	0,25	0,015625	1	0,015625	
9				Suma It=	98,765625	
10						

m4

Figura XXXIX.1.9: Cálculo de la inercia de una carena...

Simbad: Cuando vimos el cálculo de inercias de refuerzos, aplicábamos unas formulas en las que finalmente, trabajábamos con I, con Ho...Ahora, calculamos inercias de superficies de carena, y yo me pregunto: ¿Podríamos aplicar indistintamente el cálculo de aquellas con estas?

Capitán Isidore Caubin: Siempre hay que tener presente lo que hacemos. En efecto, en el cálculo de refuerzos, las piezas tenían dimensiones en largo y ancho, bien establecidas y aquí, Simpson se basa en que las alturas (o semimangas) tienen alturas diferentes y se asemejan esas curvas a una parábola de segundo grado tal que: y = ax2 + bx + c..., ya que en efecto la zona superior de esta pieza no es recta

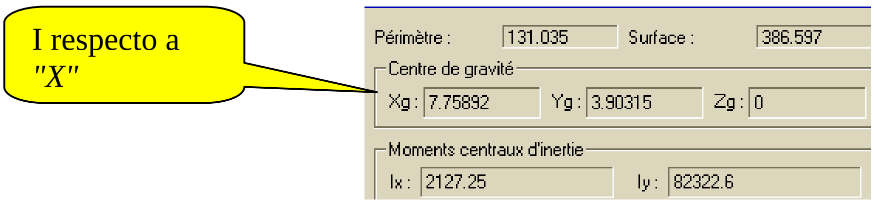

Figura XXXIX.1.10: Cálculo automático de la inercia de la figura XXXIX.1.12...

como la de un refuerzo, sino curva y esa curva Simpson la asimila a una parábola...Si el refuerzo a calcular fuese también *"retorcido como el de una carena"* y se pudiese asimilar a esta parábola, la cosa sería exactamente igual, o mejor dicho, se calcularía por el método de Simpson de la misma manera...

Simbad: ¡Claro, ahora lo entiendo; las semimangas de aquellas piezas *"tendrían siempre el mismo valor"*!

Capitán Isidore Caubin: Exactamente y el resultado daría más o menos lo mismo si les aplicásemos el método de Simpson...Por ejemplo imagina que tienes una pieza tal como en la figura que sigue (figura

XXXIX.1.12), y donde las cotas están dadas en centímetros. Si aplicamos una tabla Excel para calcular su inercia y después realizamos con nuestro software un cálculo automático, la cosa quedaría como sigue:
1º: Por Excel:

	A	B	C	D	E
1	nº SM	valor SM	SM cubo	F.S	Funcion It
2	0	0	0	1	0
3	1	0,29	0,024389	4	0,097556
4	2	0,52	0,140608	2	0,281216
5	3	0,72	0,373248	4	1,492992
6	4	0,9	0,729	2	1,458
7	5	0,97	0,912673	4	3,650692
8	6	1	1	1	1
9				Suma It=	7,980456

Figura XXXIX.1.11: Cálculo por "Excel"

2º: Cálculo automático (figura XXXIX.1.10)

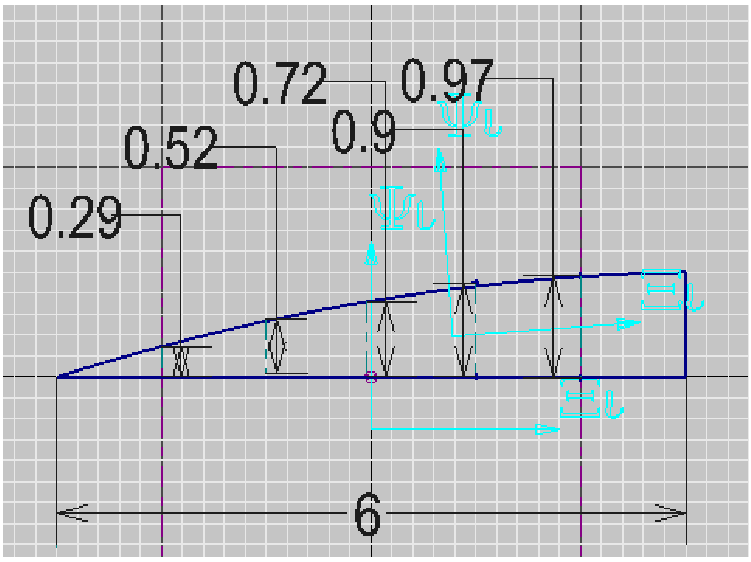

Figura XXXIX.1.12: Pieza calculada por Excel y en automático....

Simbad: ¡Ajá, lo pillé mi capitán!; los resultados no son *"exactamente los mismos"*, ya que en el cálculo automático se obtiene 7,76...y por Excel 7,98....

Capitán Isidore Caubin: Pero puedes apreciar que la diferencia es mínima y ello es debido a la forma de cálculo entre lo que nosotros hemos hecho con Excel y lo que han hecho *"los conceptores del software de dibujo"*. En efecto, y probablemente, el cálculo más exacto es el del software, ya que deben haber aplicado no una formula de parábola de *"segundo grado"* sino de *"tercer grado"* que aquí no vale la pena que veamos, pero que Simpson introdujo en su regla nº2 para obtener más exactitud final...

Simbad: Ud., capitán, siempre tiene respuestas para todo...¡Jamás me apostaría algo con Ud.!

Capitán Isidore Caubin: Confecciónate y guárdate esta hoja Excel de todas maneras, ya que para piezas o refuerzos con *"formas parabólicas"*, te servirá quizás más adelante...
Sin embargo, acuérdate de que puedes emplear para *"cosas rectangulares"*, las formulas aprendidas y así, si por ejemplo quieres calcular la superficie libre de un tanque parcialmente lleno y que es de forma rectangular, volveremos a lo que sabemos.

Simbad: ¿Es decir?

Capitán Isidore Caubin: Imagínate un tanque que posee una superficie libre de liquido de forma rectangular que valga: eslora = 8 metros; manga = 2,5 metros y que quieres calcular sus inercias transversales respecto a un eje longitudinal que pase por el centro de gravedad de su superficie liquida, tendremos:

$I_T = \frac{1}{12} x e x m^3$, donde I_T es su inercia transversal (XXXIX.1.8)

$I_L = \frac{1}{12} x m x e^4$, donde I_L es su inercia longitudinal (XXXIX.1.9)

Y en nuestro caso:

I_T = 1 /12 x 8 x 2,5^3 = 10,42 m^4
I_L = 1 /12 x 2,5 x 8^3 = 106,7 m^4

	A	B	C
1	eslora	8	
2	manga	2,5	
3	Inercia transversal	10,4166667	m4
4	Inercia longitudinal	106,666667	m4
5			

Figura XXXIX.1.13: Calculo de las inercias de una superficie libre...

Como siempre te aconsejo confeccionar y guardar la hoja de cálculo Excel...

Simbad: Bueno mi capitán, creo que hemos avanzado muchísimo, ¿qué veremos en la próxima charla?

Capitán Isidore Caubin: En la próxima charla veremos el tema de flotabilidad, pero esta vez con volúmenes en vez de superficies y quizás otras cosas. Anda...¡Trae ese ron que creo nos hemos merecido!

Simbad: ¡A sus *"muy gratísimas"* ordenes mi capitán!

Fin de la 7ª charla de construcción naval 1ª parte