



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

**Trabajo Fin de Máster**

**CURSO 2016/2017**

---

**ANTEPROYECTO PETROLERO DE 80.000 T.P.M.**

---

**Máster en Ingeniería Naval y Oceánica**

**CUADERNO VIII**

**CUADERNA MAESTRA**





UNIVERSIDADE DA CORUÑA



**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA**  
**TRABAJO FIN DE MÁSTER**  
*CURSO 2.016-2017*

**PROYECTO NÚMERO 17/27**

**TIPO DE BUQUE:** Petrolero de crudo de 80.000 TPM

**CLASIFICACIÓN, COTA Y REGLAMENTOS DE APLICACIÓN:** LLOYD'S REGISTER OF SHIPPING. SOLAS. MARPOL. ILO. EXPANAMAX

**CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA:** Transporte de petróleo crudo de densidad relativa 0,88. Calefacción de tanques.

**VELOCIDAD Y AUTONOMÍA:** 15 nudos en condiciones de servicio. 85 % MCR + 10% de margen de mar. 10.000 millas

**SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA / DESCARGA:** Bombas de carga y descarga en cámara de bombas.

**PROPULSIÓN:** Diesel eléctrica con motores tipo dual fuel. Dos líneas de ejes con hélice de paso fijo.

**TRIPULACIÓN Y PASAJE:** 20 Personas en camarotes individuales.

**OTROS EQUIPOS E INSTALACIONES:** Los habituales en este tipo de buques.

Ferrol, Octubre de 2.016

ALUMNO: D. Jose Antonio González Llorente



# CONTENIDO

<b>Capítulo 1. Escantillado de la cuaderna maestra.....</b>	<b>10</b>
1.1. Introducción .....	10
1.2. Metodología y reglamentación.....	10
1.3. Descripción general de la estructura.....	11
1.4. Materiales empleados.....	11
1.5. Parámetros de escantillado .....	12
1.6. Acero longitudinal .....	12
1.6.1. Metodología.....	12
1.7. Planchas del forro exterior .....	15
1.8. Planchas de cubierta .....	20
1.8.1. Espesores de las planchas de cubierta.....	20
1.9. Estudio del pandeo de las planchas de cubierta .....	22
1.9.1. Pandeo a compresión .....	22
1.9.2. Pandeo tangencial (por esfuerzos cortantes).....	23
1.10. Traca de cinta.....	24
1.11. Planchas del costado superior .....	25
1.12. Planchas del costado inferior .....	26
1.13. Planchas del fondo y pantoque.....	27
1.14. Planchas de la quilla.....	28
1.15. Refuerzos de las planchas del forro exterior .....	29
1.16. Planchas del doble costado, doble fondo y mamparos longitudinales de separación de tanques de carga.....	38
1.17. Refuerzos del doble fondo, doble costado y mamparo longitudinal.....	43
1.18. Vagras del doble fondo .....	48
1.19. Palmejares del doble costado .....	52
1.20. Cálculos de resistencia longitudinal .....	54
1.21. Momentos flectores .....	55
1.21.1. Momento flector en olas.....	55
1.21.2. Momento flector en aguas tranquilas .....	57
1.21.3. Módulo resistente mínimo de la sección maestra.....	58
1.21.4. Mínimo momento de inercia.....	58
1.22. Esfuerzos cortantes .....	59
1.22.1. Esfuerzo cortante en olas .....	59
1.22.2. Esfuerzo cortante en aguas tranquilas .....	60
1.23. Acero transversal.....	62

1.23.1. Transversales de fondo .....	62
1.23.2. Transversales de costado .....	64
1.23.3. Transversales de cubierta.....	65
1.23.4. Refuerzos transversales del pantoque .....	66
1.24. Escantillonado de los mamparos transversales .....	66
1.24.1. Escantillonado de las planchas .....	66
1.24.2. Escantillonado de los refuerzos del mamparo.....	67
1.25. Módulo resistente de la cuaderna maestra .....	69
1.26. Resumen gráfico del escantillonado de la cuaderna maestra .....	71
1.26.1. Resumen de espesores de las planchas.....	72
1.26.2. Resumen del escantillón de los refuerzos.....	73
1.26.3. Fuerza tangencial vertical .....	74
1.26.4. Fuerza tangencial horizontal .....	75
1.26.5. Torsión de Sain Venant .....	76
1.26.6. Par de Pandeo.....	77
<b>Capítulo 2. Anexo I. Escantillonado de la cuaderna maestra.....</b>	<b>78</b>

## ÍNDICE FIGURA

FIGURA 1.1 - CUADERNA MAESTRA.....	14
FIGURA 1.2 - QUILLA .....	16
FIGURA 1.3 - FONDO .....	17
FIGURA 1.4 - PANTOQUE .....	18
FIGURA 1.5 - COSTADO .....	19
FIGURA 1.6 - CUBIERTA.....	20
FIGURA 1.7 - MODULO LONGITUDINAL.....	30
FIGURA 1.8 - ESLORA EFECTIVA .....	31
FIGURA 1.9 - VARIABLE F1.....	32
FIGURA 1.10 - VARIABLE F2.....	32
FIGURA 1.11 - VARIABLES C1 Y C2 .....	33
FIGURA 1.12 - MODULO LONGITUDINAL DE CUBIERTA, COSTADO Y FONDO.....	33
FIGURA 1.13 - NOMENCLATURA DE LAS PLANCHAS Y REFUERZOS DOBLE FONDO .....	38
FIGURA 1.14 - NOMENCLATURA PLANCHAS Y REFUERZOS TOLVA .....	39
FIGURA 1.15 - NOMENCLATURA PLANCHAS Y REFUERZOS DOBLE CASCO .....	40
FIGURA 1.16 - NOMENCLATURA PLANCHAS Y REFUERZOS MAMPARO LONGITUDINAL.....	41
FIGURA 1.17 - VARIABLE B1 .....	42
FIGURA 1.18 - VARIABLE F1.....	44
FIGURA 1.19 - VARIABLE F2.....	44
FIGURA 1.20 - VARIABLES C1 Y C2 .....	45
FIGURA 1.21 - VARIABLES R Y B1 .....	45
FIGURA 1.22 - VAGRA CENTRAL .....	49
FIGURA 1.23 - VAGRA DE FONDO .....	50
FIGURA 1.24 - VAGRA TOLVA .....	51
FIGURA 1.25 - PALMEJAR 26.....	52
FIGURA 1.26 - PALMEJAR 27.....	53
FIGURA 1.27 - PALMEJAR 28.....	54
FIGURA 1.28 - ESQUEMA MOMENTOS FLECTORES .....	55
FIGURA 1.29 - FACTOR DE SERVICIO F1 .....	55
FIGURA 1.30 - FACTOR F2 PARA ARRUFO Y QUEBRANTO .....	56
FIGURA 1.31 - FACTOR C1.....	56
FIGURA 1.32 - FACTOR C2.....	56
FIGURA 1.33 - FACTOR DE FONDO Y DE CUBIERTA .....	57
FIGURA 1.34 - DISTRIBUCIÓN ESFUERZO CORTANTE EN OLAS.....	60

FIGURA 1.35 - FACTORES DEL ESFUERZO CORTANTE EN AGUAS TRANQUILAS.....	61
FIGURA 1.36 - TIPO DE ESTRUCTURA DEL BUQUE .....	61
FIGURA 1.37 - TABLA DE VALORES PARA CALCULAR K1 .....	63
FIGURA 1.38 - MOMENTO DE INERCIA MÍNIMO.....	64
FIGURA 1.39 - VALOR MÍNIMO DE ANCHO DE LA PLANCHA.....	68
FIGURA 1.40 - SALIDA PROGRAMA MARS 2000 DE ESCANTILLONADO DE CUADERNA MAESTRA ...	69
FIGURA 1.41 - SALIDA MARS 2000 MOMENTOS FLECTORES Y ESFUERZOS CORTANTES .....	70
FIGURA 1.42 - SALIDA PROGRAMA MARS 2000 PANDEO .....	70
FIGURA 1.43 - RESUMEN DE LOS ESPESORES DE PLANCHAS .....	72
FIGURA 1.44 - RESUMEN DEL ESCANTILLONADO DE LOS REFUERZOS.....	73
FIGURA 1.45 - FUERZA TANGENCIAL VERTICAL .....	74
FIGURA 1.46 - FUERZA TANGENCIAL HORIZONTAL .....	75
FIGURA 1.47 - TORSIÓN DE SAINT VENANT .....	76
FIGURA 1.48 - DIAGRAMA PAR DE PANDEO.....	77



## ÍNDICE TABLAS

TABLA 1.1 - PARÁMETROS DE ESCANTILLONADO.....	12
TABLA 1.2 - ESPESORES PLANCHAS DE CUBIERTA .....	22
TABLA 1.3 - PANDEO PLANCHAS DE CUBIERTA.....	24
TABLA 1.4 - ESPESOR TRACA DE CINTA.....	25
TABLA 1.5 - PANDEO TRACA DE CINTA .....	25
TABLA 1.6 - ESPESOR PLANCHAS COSTADO SUPERIOR .....	25
TABLA 1.7 - PANDEO PLANCHAS DE COSTADO SUPERIOR .....	26
TABLA 1.8 - ESPESOR PLANCHAS DEL COSTADO INFERIOR .....	26
TABLA 1.9 - PANDEO COSTADO INFERIOR .....	27
TABLA 1.10 - ESPESOR PLANCHAS DEL FONDO Y PANTOQUE.....	27
TABLA 1.11 - PANDEO FONDO .....	28
TABLA 1.12 - ESPESOR PLANCHAS DE QUILLA .....	28
TABLA 1.13 - PANDEO QUILLA .....	28
TABLA 1.14 - TABLA RESUMEN PLANCHAS.....	29
TABLA 1.15 - TABLA RESUMEN MÓDULOS REFUERZOS .....	34
TABLA 1.16 - MODULO RESISTENTE DE LOS REFUERZOS DEL FORRO EXTERIOR.....	35
TABLA 1.17 - PANDEO DE REFUERZOS CUBIERTA .....	37
TABLA 1.18 - ESPESOR PLANCHA .....	42
TABLA 1.19 - RESUMEN PLANCHAS.....	46
TABLA 1.20 - RESUMEN REFUERZOS .....	47
TABLA 1.21 - RESUMEN ESCANTILLONADO DEL BUQUE .....	48
TABLA 1.22 - MOMENTOS FLECTORES EN OLAS .....	57
TABLA 1.23 - MOMENTOS EN CUBIERTA Y FONDO .....	58
TABLA 1.24 - COMPARACIÓN INERCIA MÍNIMA Y REAL.....	59
TABLA 1.25 - ESFUERZOS CORTANTES EN OLAS.....	60
TABLA 1.26 - COEFICIENTES CÁLCULO DEL ESFUERZO CORTANTE EN AGUAS TRANQUILAS .....	62
TABLA 1.27 - ESFUERZO CORTANTE EN AGUAS TRANQUILAS .....	62
TABLA 1.28 – CARACTERÍSTICAS MÍNIMAS DE ESCANTILLONADO TRANSVERSALES DE FONDO.....	64
TABLA 1.29 - CARACTERÍSTICAS MÍNIMAS ESCANTILLONADO TRANSVERSALES DE COSTADO .....	65
TABLA 1.30 - ESCANTILLONADO DE REFUERZOS TRANSVERSALES DE CUBIERTA.....	66
TABLA 1.31 - ESPESOR PLANCHAS MAMPAROS TRANSVERSALES.....	67
TABLA 1.32 - MÓDULO RESISTENTE MÍNIMO REFUERZOS PRIMARIOS MAMPAROS TRANS. ....	68
TABLA 1.33 - ESCANTILLONADO REFUERZOS SECUNDARIOS MAMPAROS TRANSVERSALES .....	69
TABLA 1.34 - MÓDULO RESISTENTE DE LA CUADERNA MAESTRA .....	70
TABLA 1.35 - MOMENTOS FLECTORES Y ESFUERZOS CORTANTES .....	71

## Capítulo 1. ESCANTILLONADO DE LA CUADERNA MAESTRA

### 1.1. INTRODUCCIÓN

Un buque con carga o lastre, en aguas tranquilas o con oleaje, está sometido a una serie de esfuerzos estáticos, tanto en sentido longitudinal como transversal, debido principalmente a la distribución de pesos y empujes.

Desde el punto de vista estructural, el buque se puede considerar como una viga flotante, cuya composición de esfuerzos y resistencia propia han de estar en equilibrio. Esta condición ha de cumplirse en distintas condiciones de carga y flotabilidad.

De los esfuerzos que actúan en sentido longitudinal, tienen fundamental importancia el peso de la estructura, generalmente en sentido vertical, el peso de la maquinaria, y el peso de la carga. En oposición a los pesos, estarán los empujes producidos por el agua, en sentido contrario a los mismos.

La importancia de los esfuerzos transversales, es relativa con respecto a los longitudinales, pero no obstante hay que tenerlos en cuenta y básicamente son los mismos que en la resistencia longitudinal, sólo que el sentido estará más definido, y generalmente será perpendicular a la estructura del casco.

A efectos de resistencia, el casco dispondrá de elementos básicos, que soportan tanto los esfuerzos longitudinales, como transversales; así sucede con las planchas del forro exterior y cubiertas, localizando cubiertas en un sentido y en otro, según necesidades estructurales o de soporte de las planchas.

### 1.2. METODOLOGÍA Y REGLAMENTACIÓN

En este cuadernillo se va a desarrollar el cálculo de la cuaderna maestra del buque siguiendo los criterios del Lloyd's Register of Shipping (L.R.S.), tanto para los cálculos de resistencia general como local. Para cada caso se hará referencia a la regla que se use. Para los cálculos comunes a todos los buques se ha seguido lo dispuesto en la Parte 3 del L.R.S., y para los cálculos concretos que se refieren al buque particular se ha seguido lo dispuesto en la Parte 4; Capítulo 9. Pero además de seguir los criterios de nuestra Sociedad de Clasificación, nos hemos ayudado del programa Mars 2000, que más adelante explicaremos, para el cálculo de la cuaderna maestra.

Se trata de un proceso iterativo cuyo objetivo final es el escantillado de la cuaderna maestra de modo que su módulo resistente sea mayor al módulo resistente mínimo exigido por las reglas de la Sociedad de Clasificación (L.R.S.).

Se parte de unos valores iniciales de espesores de planchas y módulos de refuerzos teniendo en cuenta los mínimos exigidos por el reglamento. Se dimensionan los elementos estructurales que contribuyen a la resistencia longitudinal. Se calcula el módulo resistente de la cuaderna maestra y se compara con el valor mínimo obtenido mediante la aplicación del reglamento. Si el módulo resistente de la cuaderna maestra resulta ser inferior al módulo resistente mínimo, se procede a reforzar el escantillón. Una vez se consigue que el módulo resistente de la cuaderna maestra sea superior al mínimo, se ha de verificar que ningún

elemento de la estructura pandee, bien sea debido a la compresión, o bien a los esfuerzos cortantes. De no ser así se aumentaría su escantillado.

### 1.3. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ESTRUCTURA

La estructura del casco ha de calcularse de forma que proporcione una resistencia longitudinal que equilibre los esfuerzos longitudinales y una resistencia transversal para los transversales, y aunque esta última es mínima respecto al total, requiere su cálculo. Los elementos que intervienen en el cálculo son aquellos que son continuos para el 60% de la eslora.

Dicha estructura es continua, y se compone de un fondo (y doble fondo), los costados (interior y exterior), pantoque, cubierta, y en nuestro caso otro mamparo longitudinal que separa los tanques de carga. Todo esto conforma la viga casco. Cada estructura aislada ha de estar compuesta de planchas y elementos de soporte que tienen como misión reducir el escantillón de la plancha, al mismo tiempo que aislar las resistencias longitudinal y transversal.

La estructura elegida para la zona de carga del buque es longitudinal. De esta forma, los elementos secundarios, longitudinales, serán continuos en dichas zonas y estarán soportados por los primarios. Los elementos primarios son los que constituyen el anillo transversal.

La estructura adoptada es de doble casco, consistente en un doble fondo de 2 m y un doble costado de 2 m. La disposición de doble casco se ha elegido para cumplir con la legislación vigente para el transporte de este tipo de mercancías.

La zona de cámara de máquinas tiene estructura transversal y el doble fondo estará constituido por una estructura altamente rígida, con varengas en cada cuaderna que soportarán los esfuerzos generados por el motor principal. Las vagras de la cámara de máquinas estarán dispuestas de forma que estén alineadas con el polín del propulsor y constituirán los límites de los tanques dispuestos en el plano de la cámara de máquinas.

Los piques de proa y de popa tendrán una estructura transversal, también con varengas en cada cuaderna. Las zonas que soporten altos esfuerzos, como los polines del servomotor, la zona bajo maquinaria de cubierta, etc., estarán adecuadamente reforzadas.

En la zona de proa se producen aumentos de presión debido a los pantocazos del buque en su avance, para ello se reforzará convenientemente el fondo y además presentará un mayor espesor en el forro. Las vagras, varengas y bulárcamas tendrán los aligeramientos necesarios para permitir el acceso a todas las zonas del buque.

### 1.4. MATERIALES EMPLEADOS

Una vez realizados los cálculos, no se ha encontrado ninguna razón por la que emplear acero de alto límite elástico, ya que aunque hace unos años era la tendencia, posteriormente se ha comprobado algunas de las ventajas de emplear acero dulce naval:

- Mejor comportamiento del acero dulce ante el pandeo, ya que al usar acero dulce se necesitan espesores mayores en las planchas. Se evita así la causa más común del colapso de la estructura.
- Mejor comportamiento del acero dulce ante la fatiga, ya que las tensiones en éste son menores que en el acero de alta resistencia.
- Facilidad de acopio de material en reparaciones. Más económico, dado que la corrosión tanto en acero dulce como en acero de alta resistencia es la misma.
- Facilidad de soldadura.

- Por tanto, usaremos acero dulce naval con un límite elástico  $\sigma_0=235$  N/mm<sup>2</sup> y un módulo de Young  $E=206.000$  N/mm<sup>2</sup>, para toda la cuaderna maestra del buque proyecto.

## 1.5. PARÁMETROS DE ESCANTILLONADO

El reglamento para la realización de los distintos cálculos establece una serie de parámetros del buque a considerar (Pt4;S4;C1)

Eslora reglamentaria "Lr" es la distancia en la flotación de verano desde la parte trasera del timón hasta la cara de proa de la roda. No debe ser mayor del 97% de la eslora total del buque al calado de diseño ni menor del 96%. Teniendo en cuenta que:

$$LR_{min} = 0,96 * Lwl = 217,127$$

$$LR_{max} = 0,97 * Lwl = 219,2976$$

Tomaremos por tanto:

$$L_{reglamento} = 219,2976 \text{ m}$$

La cual necesitaremos como dato de entrada en el software de escantillado Mars 2000.

Recordamos que junto con la eslora de reglamento, necesitaremos el resto de valores que fueron calculados en capítulos anteriores.

Los principales parámetros reglamentarios del buque que se necesitan para el escantillado de la cuaderna maestra son los siguientes:

Parámetros de escantillado (m)		
Eslora de reglamento	Lr	219,2976
Eslora entre perpendiculares	Lpp	220
Manga	B	34
Puntal	D	21
Calado de escantillado	T	15,6
Coefficiente de bloque	Cb	0,842

Tabla 1.1 - parámetros de escantillado  
Fuente: Propia

## 1.6. ACERO LONGITUDINAL

### 1.6.1. METODOLOGÍA

Para la realización del cálculo del módulo resistente de la cuaderna maestra nos hemos ayudado del software Mars 2000, que como ya hemos comentado, hemos contrastado todos los valores obtenidos del programa, con los exigidos por el L.R.S.

El programa funciona básicamente de la siguiente manera:

- Se distribuye el croquis de la cuaderna maestra en planchas, siguiendo un criterio lógico por zonas y por la distribución normal de este tipo de cuadernas maestras.
- Se da un espesor a dichas planchas teniendo en cuenta que cumplimos con los mínimos exigidos por el L.R.S.
- Se van poniendo refuerzos en cada una de estas planchas, decidiendo el espaciado entre los mismos para que además de que el espesor de la plancha asociada no sea excesivo, la longitud de ésta sea aproximadamente múltiplo de este espaciado.
- Se da escantillón a dichos refuerzos teniendo también en cuenta que cumplan con el módulo resistente mínimo exigido por el L.R.S.
- Se aplican las reglas correspondientes del software utilizado (en el caso del programa son las del Bureau Veritas, BV), y el propio programa va indicando si hemos obtenido el módulo requerido por estas reglas, a la vez que comprueba si alguna de las planchas o refuerzos pandean con el escantillado asignado. Así, vamos ajustando nuestros escantillones hasta cumplir con las reglas y evitar el pandeo, teniendo en cuenta los valores críticos que nos indican las mismas.

En nuestro caso, aunque realicemos los cálculos con este programa que aplica las reglas de la Sociedad de Clasificación de Bureau Veritas, BV, comprobaremos si estamos dentro de los márgenes que nos indican las normas de nuestra Sociedad de Clasificación, L.R.S.

Procedemos pues a la exposición de los datos obtenidos con el programa, y comprobación del cumplimiento de las normas del L.R.S., por las diferentes zonas.

Como ya hemos comentado, la distribución de planchas se ha planificado en sentido lógico, como límites de zonas y según se acostumbra a hacer en este tipo de cuadernas maestras. Para cada grupo mostraremos en una figura las planchas y refuerzos objeto de cálculo, con la correspondiente numeración o nomenclatura adoptada para ambos. No obstante señalamos aquí a continuación la cuaderna maestra completa, con la numeración de las planchas (y el espesor), para después concretar en una tabla la longitud de cada plancha adoptada entre nodos, la numeración de los refuerzos de cada plancha y por tanto el número de ellos y la separación de los mismos en cada plancha.

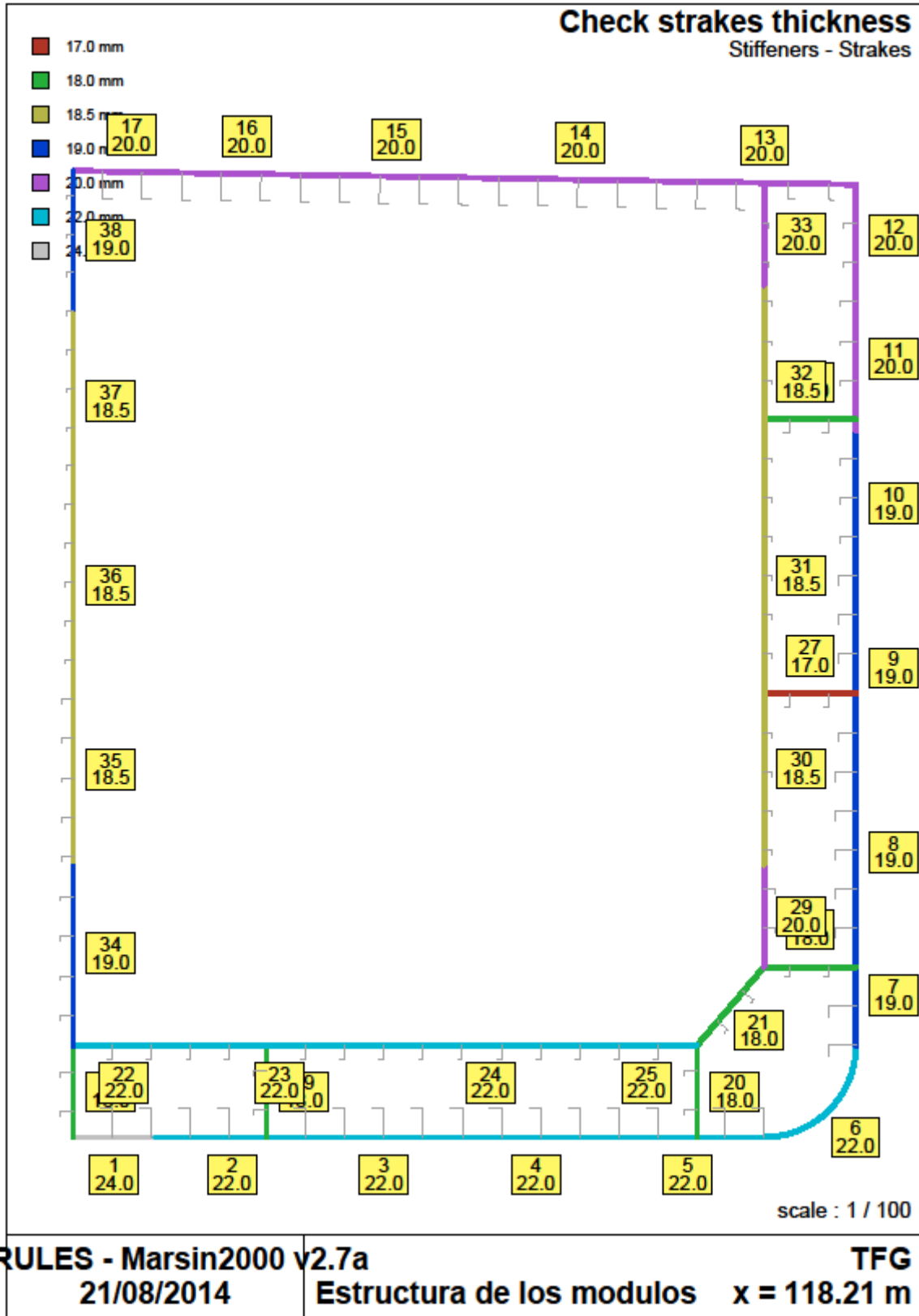


Figura 1.1 - Cuaderna maestra

Fuente: Propia

El espaciado de los refuerzos longitudinales “s” se va tomar en función de la zona en la que éstos se encuentren, todos ellos basados en el reglamento de la sociedad de clasificación (Parte 4-Ch 9-4.2.1) que no debe ser menor de:

$$s = 470 + \frac{L}{0,6} = 835,496 \text{ mm}$$

o bien 700 mm si es menor. Teniendo en cuenta la configuración de la cuaderna maestra se toma un espaciado de refuerzos longitudinales de entre 840 y 860 mm como se verá más adelante.

Para el dimensionamiento de los refuerzos longitudinales en todas las zonas se siguen las indicaciones de la Regla 2.3.2/S8 (Tabla 8.2.5) donde se establece el modulo.

## 1.7. PLANCHAS DEL FORRO EXTERIOR

Para el cálculo del espesor mínimo ( $t_{min}$ ) de las planchas del forro y todas las demás se aplican las reglas especiales para petroleros de doble casco recogidas en la Parte 4, Capítulo 9, Sección 4 (P4;Ch9,S4).

Señalamos en color verde en las siguientes figuras la nomenclatura o numeración adoptada para estos grupos de planchas: quilla, fondo, pantoque, costado exterior y cubierta.

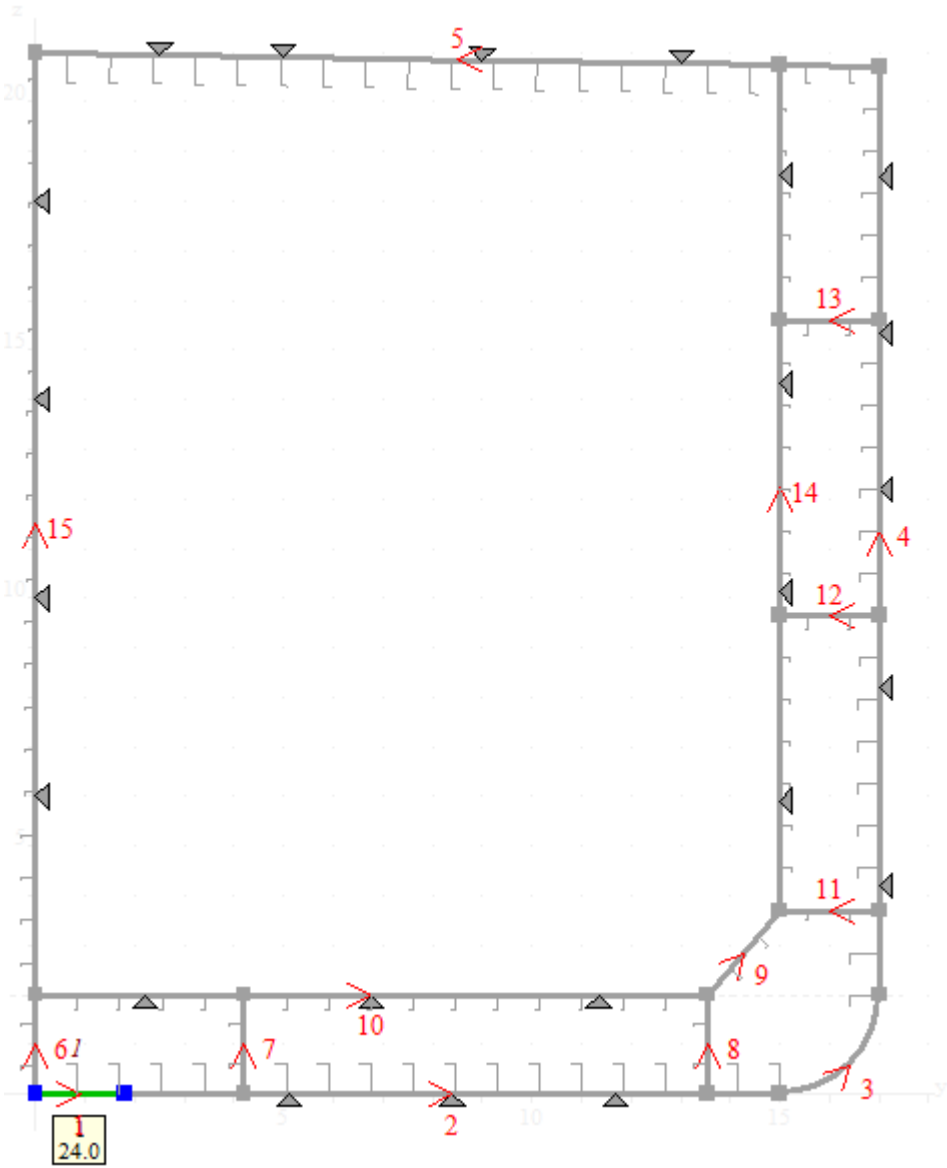


Figura 1.2 - Quilla  
Fuente: Propia



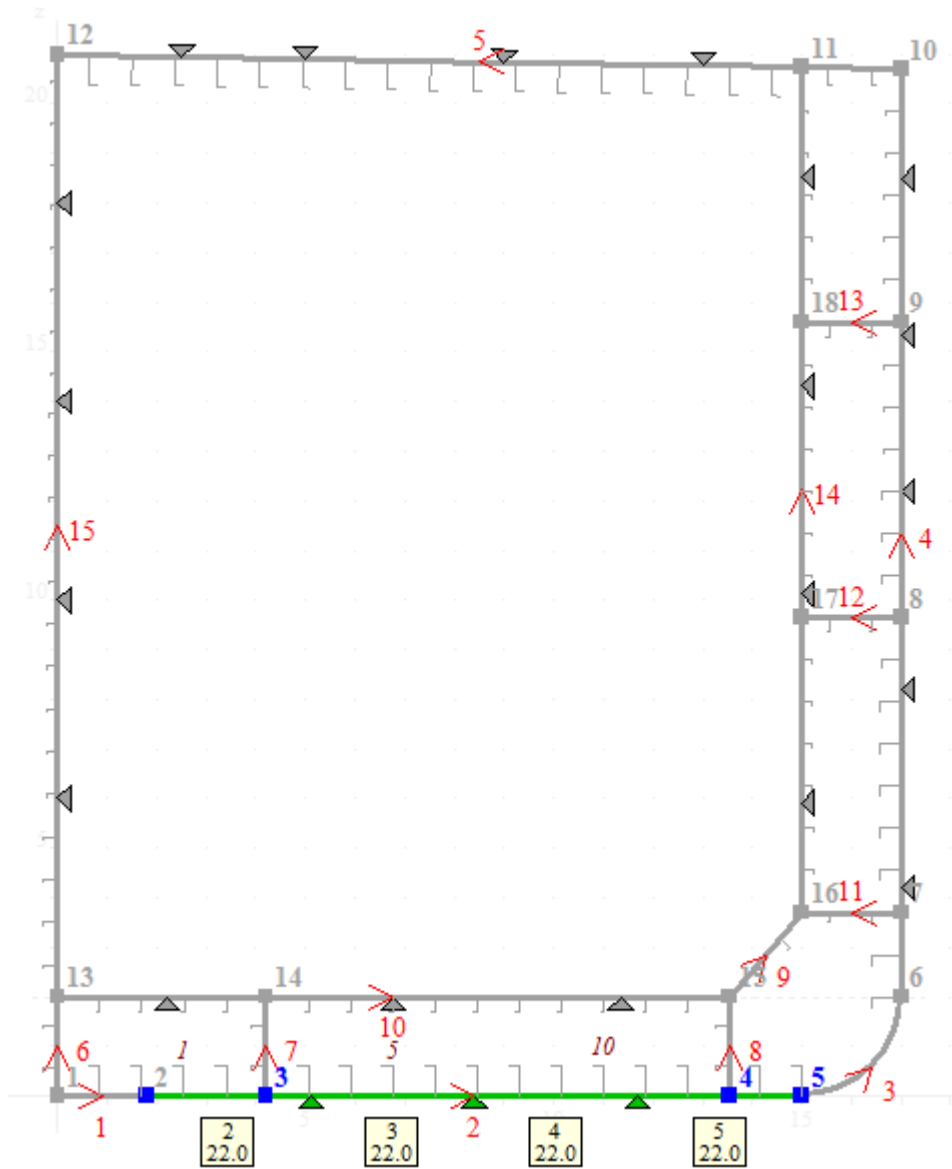


Figura 1.3 - Fondo  
Fuente: Propia

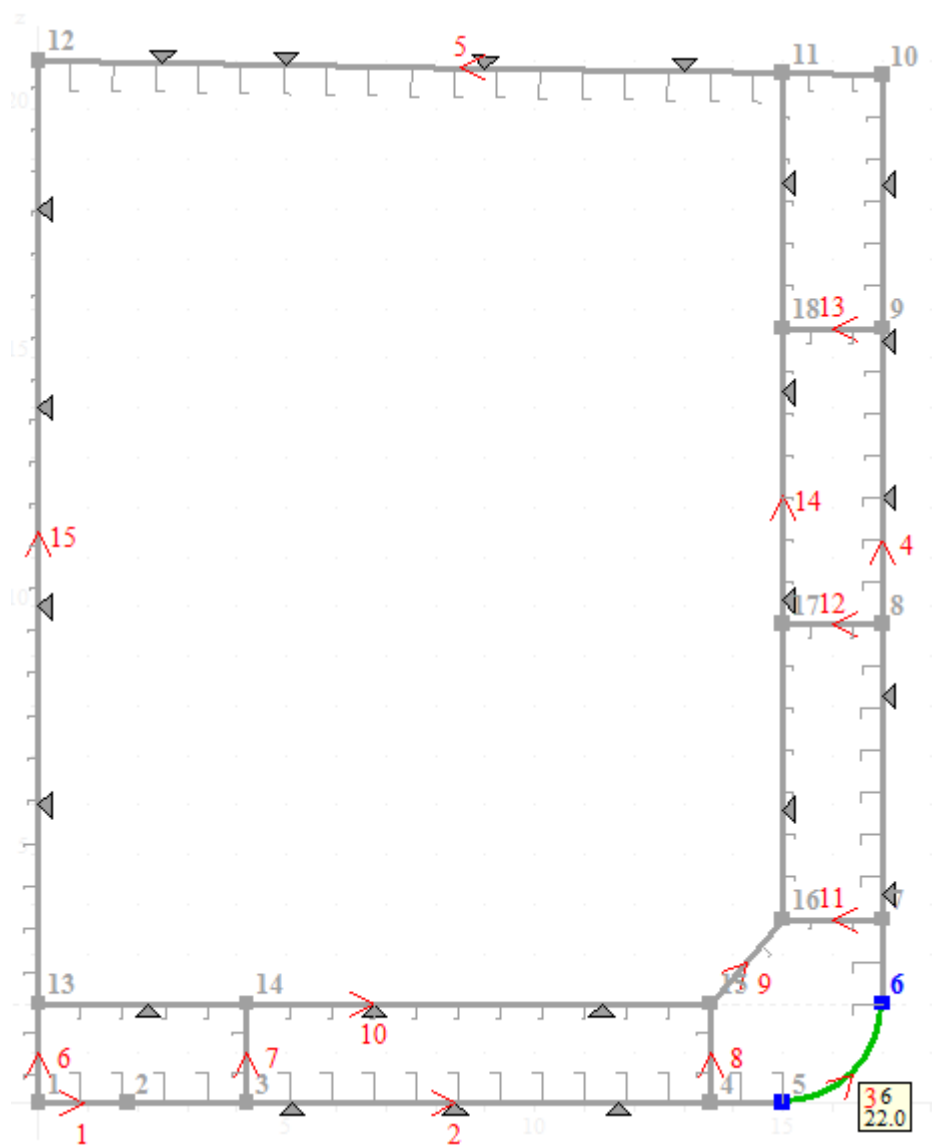


Figura 1.4 - Pantoque  
Fuente: Propia

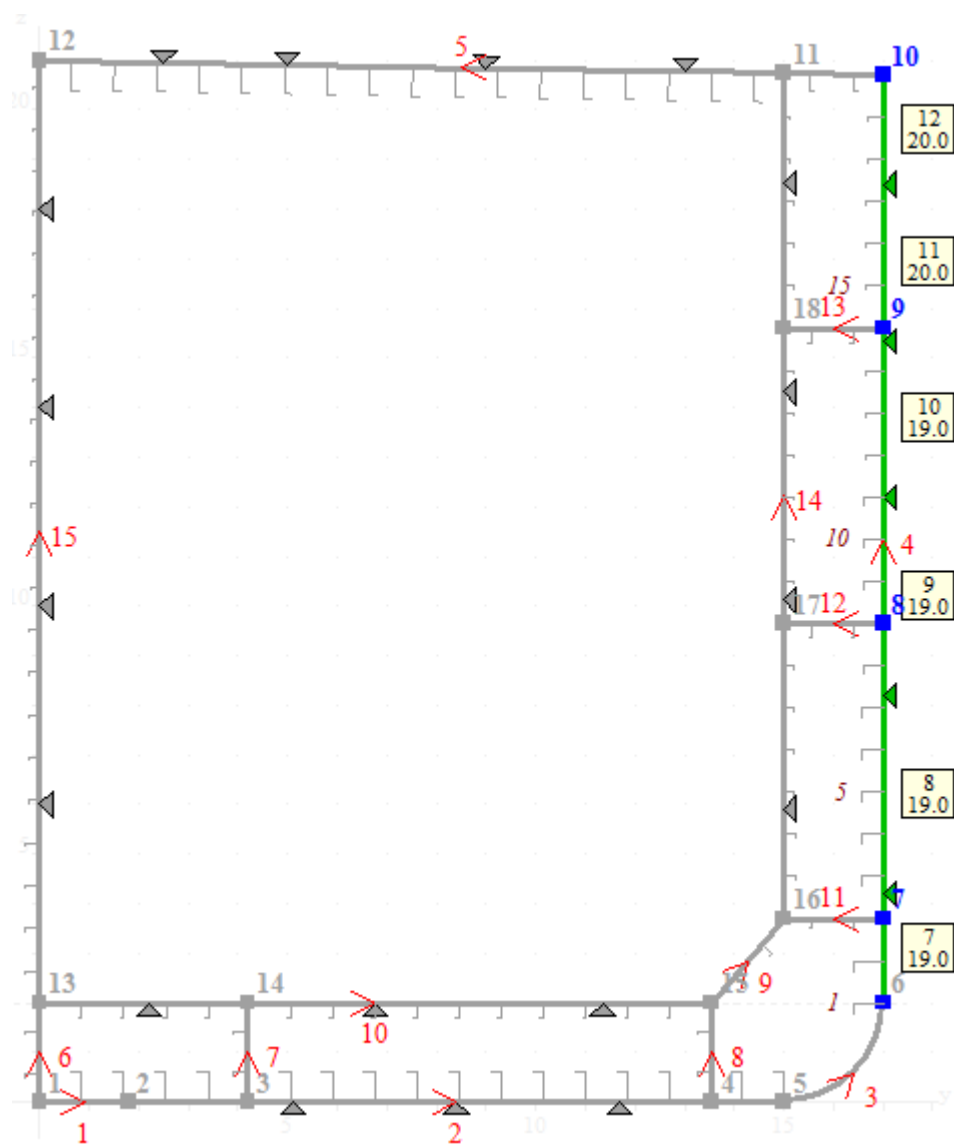
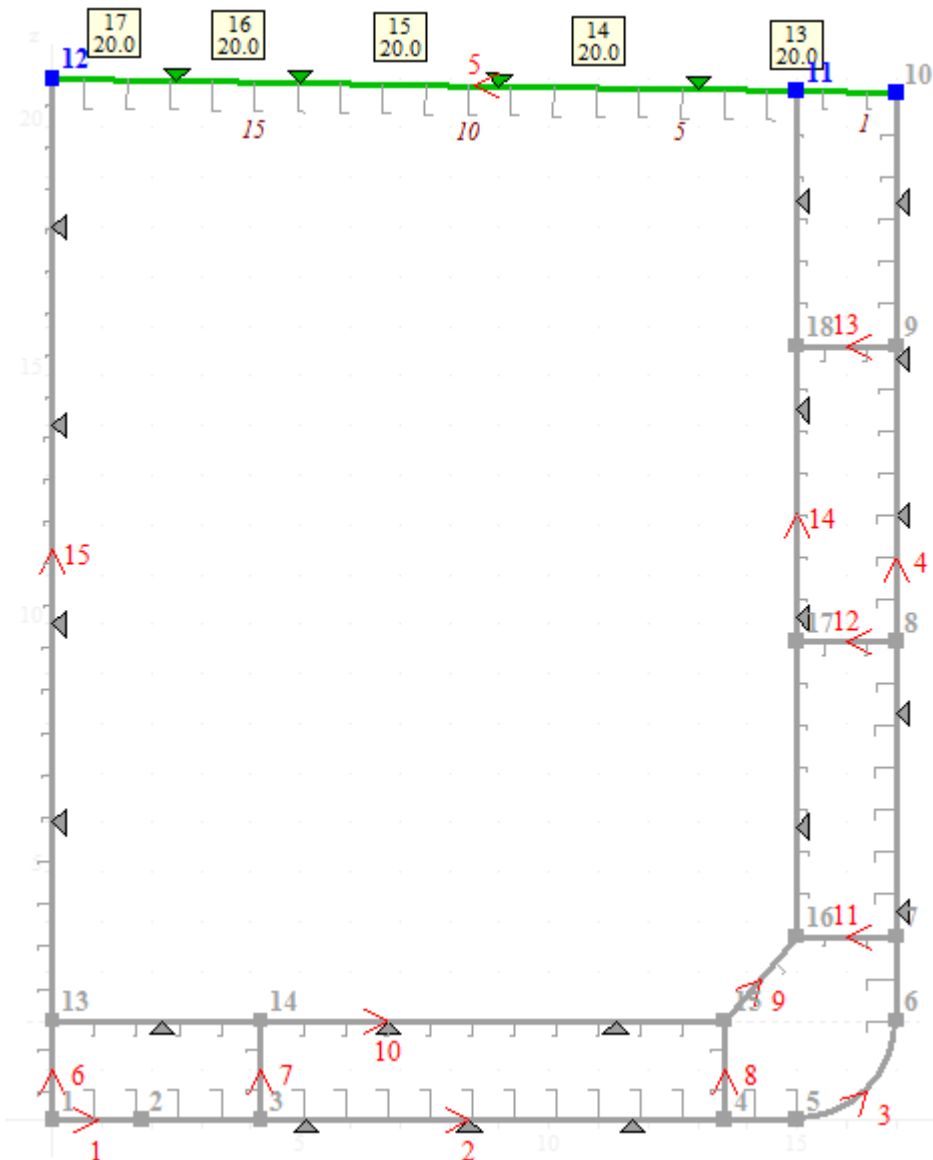


Figura 1.5 - Costado  
Fuente: Propia



**Figura 1.6 - Cubierta**  
 Fuente: Propia

## 1.8. PLANCHAS DE CUBIERTA

Se realizará aquí todo el cálculo para llegar al espesor recomendado por el L.R.S., al igual que los cálculos pertinentes para ver si existe pandeo, tanto por compresión como por esfuerzos tangenciales. Respecto al pandeo, en las planchas de las otras zonas se indicará directamente el resultado obtenido.

### 1.8.1. ESPESORES DE LAS PLANCHAS DE CUBIERTA

Según la norma del L.R.S., el mínimo exigido es :

$$t_{min} = \frac{s}{J} + 2$$

Siendo s=850

(espaciado entre refuerzos secundarios, es decir, longitudinales). Según el L.R.S.(P4;Ch9;S4.2.1) no debe ser menor de:

$$s = 470 + \frac{L}{0,6} = 835,496 \text{ mm}$$

$$700 \leq s \leq 835,496$$

Siendo J=

$$J = 1720,5 * \sqrt{\frac{1 - \frac{1}{\alpha}}{\sigma\sigma}} = 59,1178$$

Siendo  $\sigma\sigma$ =

$$\sigma\sigma = 235 \text{ N/mm}^2$$

Siendo  $\sigma c$ =

$$\sigma c = [\max(\sigma D; \sigma B)] = [\max(168; 169,75)] = 169,75$$

Siendo a su vez :

- $\sigma D$  y  $\sigma B$  , tensiones máximas en la cubierta y en el fondo respectivamente y definidas en el L.R.S.(P3;Ch4;S5.1.1.). En adelante para este tipo de parámetros, los subíndices D y B significarán cubierta y fondo respectivamente, es decir zonas por encima del eje neutro y zonas por debajo del eje neutro.

Siendo  $\alpha$ :

$$\alpha = \frac{|\sigma\sigma|}{\sigma c} = \frac{235}{169,75} = 1,384$$

- FD y FB, factores de reducción local definidos en el L.R.S. (P3;Ch4;S5.1.1.) los cuales estimamos en 0,96 y 0,97 respectivamente, teniendo en cuenta los de otros proyectos similares, y que según el L.R.S.(P3;Ch4;S5.8.1) que no deben ser menores de 0,67 para planchas y 0,75 para refuerzos.

$$FD = \frac{\sigma D}{\sigma} \rightarrow FD = 0,96; \sigma = \frac{175}{kL} \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Si } \sigma\sigma = 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \rightarrow kL = 1$$

Por tanto en nuestro caso:

$$\sigma D = \frac{175}{1} = 175 * 0,96 = 168 \text{ N/mm}^2$$

$$FB = \frac{\sigma B}{\sigma} \rightarrow FB = 0,97; \sigma = \frac{175}{kL} \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Si } \sigma\sigma = 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \rightarrow kL = 1$$

Por tanto en nuestro caso:

$$\sigma_B = \frac{175}{1} = 175 * 0,97 = 169,5 \text{ N/mm}^2$$

Teniendo en cuenta todo lo anterior, según reglamentación el mínimo espesor de las planchas de cubierta será:

$$t_{min} = \frac{s}{J} + 2 = \frac{860}{59,1178} = 16,547 \approx 17 \text{ mm}$$

Según el L.R.S., para el espesor de estas planchas se tomaría la parte entera de este espesor mínimo, 17 mm, todo ello en milímetros. Como podemos, ver en nuestro caso superamos ese mínimo espesor.

Planchas de cubierta (numeración)	t elegido	t reglas (L.R.S.)
13	20	17
14	20	17
15	20	17
16	20	17
17	20	17

**Tabla 1.2 - Espesores planchas de cubierta**  
 Fuente: Propia

## 1.9. ESTUDIO DEL PANDEO DE LAS PLANCHAS DE CUBIERTA

Vamos a realizar aquí el estudio completo del pandeo para las planchas de cubierta.

Teniendo en cuenta el valor del módulo de Young y el límite elástico :

- $E \equiv$  Módulo de Young = 206.000 N/mm<sup>2</sup>.
- $\sigma_0 = 235$  N/mm

### 1.9.1. PANDEO A COMPRESIÓN

Espesor de cálculo para el pandeo:  $t_P = t - 0,9 = 20 - 0,9 = 19,1$  mm

(Siendo 0,9 la deducción por corrosión)

- $\sigma_E$  (P3;Ch4;Tabla4.7.2)

$$\sigma_E = 3,6 * E * \left(\frac{t_P}{s}\right)^2 = 3,6 * 206.000 * \left(\frac{19,1}{850}\right)^2 = 374,454 \text{ N/mm}^2$$

- $\sigma_A$  (P3;Ch4;S7.4)

$$\sigma_A = \sigma_D * \frac{z}{z_D} = 169,75 * \frac{8,880}{12,200} = 123,555 \text{ N/mm}^2$$

Siendo :

- $z = 8,880$  m ; distancia vertical en metros desde el eje neutro al punto considerado, en este caso la cubierta, excluyendo la brisca (en caso de considerarla el cociente entre  $z$  y  $zD$ , también sería 1 para cada zona).
- $zD = 12,200$  m; distancia vertical en metros desde el eje neutro a la cubierta
- $\sigma_{CRB}$  ( P3;Ch4;Tabla4.7.2) y ya que

$$\sigma_E = 374,454 \text{ N/mm}^2 \geq \frac{\sigma_0}{2} = 117,5 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{CRB} = \sigma_0 * \left(1 - \frac{\sigma_0}{4 * \sigma_E}\right) = 198,129 \text{ N/mm}^2$$

Para que se produzca el pandeo a compresión deberá cumplirse lo siguiente:

$$\sigma_{CRB} \geq \sigma_A$$

Vemos como claramente no se produce el pandeo a compresión ya que:

- $\beta = 1$ , para planchas
- $\sigma_{CRB} = 198,129 \text{ N/mm}^2$
- $\sigma_A = 123,555 \text{ N/mm}^2$

### 1.9.2. PANDEO TANGENCIAL (POR ESFUERZOS CORTANTES)

$\tau_A$  (P3;Ch4;S7.4.2)

$$\tau_A = \frac{110}{KL} = 110 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_E = 3,6 * \left[1,335 + \left(\frac{s}{1000 * S}\right)^2\right] * E * \left(\frac{tp}{s}\right)^2 = 499,896 \text{ N/mm}^2$$

Siendo  $S = 3400$  mm, espaciado entre refuerzos primarios (transversales) y  $s = 850$  mm, espaciado entre refuerzos secundarios (longitudinales).

$\tau_{CRB}$  (P3;Ch4;Tabla 4.7.2) y ya que:

$$\tau_E = 499,896 \text{ N/mm}^2 > \frac{\tau_0}{2} = 135,677 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{CRB} = \tau_0 * \left(1 - \frac{\tau_0}{4 * \tau_E}\right)^2 = 117,9 \text{ N/mm}^2$$

Siendo:

$$\tau_0 = \frac{\sigma_0}{\sqrt{3}} = 135,677$$

Para que se produzca el pandeo a compresión deberá cumplirse lo siguiente:

$$\tau_{CRB} \geq \tau_A$$

Vemos como claramente no se produce el pandeo tangencial (esfuerzos cortantes) ya que:

- $\tau_{CRB} = 117,9 \text{ N/mm}^2$
- $\tau_A = 110 \text{ N/mm}^2$

Exponemos aquí en forma de tabla los resultados obtenidos, utilizando como valores críticos los calculados anteriormente con las expresiones de nuestra Sociedad de Clasificación, L.R.S.

Plancha de cubierta (numeración)	Por compresión (N/mm <sup>2</sup> )		Por esfuerzos cortantes (N/mm <sup>2</sup> )		¿Pandeo?
	Valor real	Valor crítico	Valor real	Valor crítico	
13	-131,683	198,29	110	117,9	No
14	-131,683	198,29	110	117,9	No
15	-131,683	198,29	110	117,9	No
16	-131,683	198,29	110	117,9	No

**Tabla 1.3 - Pandeo planchas de cubierta**  
**Fuente: Propia**

## 1.10. TRACA DE CINTA

El espesor mínimo será el mayor de los siguientes valores:

$$t1 = \frac{s}{J} + 2 = 17 \text{ mm}$$

$$t2 = 0,0042 * s * \sqrt{ht1 * k} = 16,443 \text{ mm}$$

Siendo:

- s y J definidos anteriormente.
- $k = \frac{235}{\sigma_o} = 1$  ó 0,66, el que sea mayor, luego en nuestro caso tomamos 1 (P3;Ch2;S1.2.3 y P4;Ch9;S1.5).

$$ht1 = T + Cw = T + (7,71 * 10^{-2} * L * e^{-0,0044 * L}) = 22,042 \text{ m}$$

ht1 deberá ser menor que 1,36T=21,216

Por lo que:

$$tcinta = t1 = 17 \text{ mm}$$

al ser:

$$t1 > t2$$

Luego la traca de cinta debe tener un espesor mayor de 17 mm. Como podemos, ver en nuestro caso superamos ese mínimo espesor.



Planchas de cinta (numeración)	t elegido	t reglas mínimo (L.R.S.)
11	20	17
12	20	17

**Tabla 1.4 - Espesor traca de cinta**  
Fuente: Propia

Plancha de cubierta (numeración)	Por compresión (N/mm <sup>2</sup> )		Por esfuerzos cortantes (N/mm <sup>2</sup> )		¿Pandeo?
	Valor real	Valor crítico	Valor real	Valor crítico	
11	-115,64	-174,59	93,24	115,81	No
12	-99,03	-175,96	92,94	110	No

**Tabla 1.5 - Pandeo traca de cinta**  
Fuente: Propia

### 1.11. PLANCHAS DEL COSTADO SUPERIOR

El espesor mínimo será el mayor de los siguientes valores: P4;Ch9;S4.2

$$t1 = 0,001 * s * (0,059 * L1 + 7) * \sqrt{\frac{FD}{KL}} = 15,244 \text{ mm}$$

$$t2 = 0,0042 * s * \sqrt{ht1 * k} = 16,761 \text{ mm}$$

Siendo :

- L1 : eslora del buque siempre que no sea mayor de 190 m, luego en nuestro caso
- tomaremos esta cantidad (P4;Ch9;S1.5).
- kL = k=1 (definida igual que k en el anterior apartado).
- El resto de los parámetros definidos anteriormente.

Planchas de costado superior (numeración)	t elegido	t reglas mínimo (L.R.S.)
9	19	16,761
10	19	16,761

**Tabla 1.6 - Espesor planchas costado superior**  
Fuente: Propia

Plancha de cubierta (numeración)	Por compresión (N/mm <sup>2</sup> )		Por esfuerzos cortantes (N/mm <sup>2</sup> )		¿Pandeo?
	Valor real	Valor crítico	Valor real	Valor crítico	
9	-51,96	-172,42	93,1	115,36	No
10	-73,79	-171,84	93,1	115,36	No

**Tabla 1.7 - Pandeo planchas de costado superior**  
 Fuente: Propia

### 1.12. PLANCHAS DEL COSTADO INFERIOR

El espesor mínimo será el mayor de los siguientes valores: P4;Ch9;S4.2

$$t1 = 0,001 * s * (0,059 * L1 + 7) * \sqrt{\frac{FB}{KL}} = 15,1657 \text{ mm}$$

Para la parte superior del pantoque, espesores intermedios por interpolación:

$$t2 = 0,0042 * s * \sqrt{ht1 * k} = 16,761 \text{ mm}$$

$$t3 = 0,0054 * s * \sqrt{\frac{ht2 * k}{2 - FB}} = 19,62 \text{ mm}$$

Siendo:

- $ht2 = T + 0,5 * Cw = T + 0,5 * (7,71 * 10^{-2} * L * e^{-0,0044 * L}) = 18,821 \text{ m}$

(Esta cantidad es mayor que 1,2\*T=18,72 m, por tanto como exigen las reglas en P4;Ch9;S4.2 tomaremos como 18,72 m este parámetro).

- Resto de los parámetros definidos anteriormente.

Planchas de costado inferior (numeración)	t elegido	t reglas mínimo (L.R.S.)
7	19	15,1657
8	19	15,1657

**Tabla 1.8 - Espesor planchas del costado inferior**  
 Fuente: Propia

Plancha de cubierta (numeración)	Por compresión (N/mm <sup>2</sup> )		Por esfuerzos cortantes (N/mm <sup>2</sup> )		¿Pandeo?
	Valor real	Valor crítico	Valor real	Valor crítico	
7	-63,93	-171,68	99,80	115,36	No
8	-55,61	-171,86	97,72	115,36	No

**Tabla 1.9 - Pandeo costado inferior**  
Fuente: Propia

### 1.13. PLANCHAS DEL FONDO Y PANTOQUE

En ambos casos, el espesor mínimo es el mayor de los siguientes:

$$t1 = \frac{s}{J} + 2 = 17 \text{ mm}$$

$$t3 = 0,0052 * s * \sqrt{\frac{ht2 * k}{1,8 - FB}} = 21,047 \text{ mm}$$

Siendo:

- Para estas planchas, en el cálculo de hT2, comprobamos según se indica en P4;Ch9;S4.2, que T, no es menor que 0,05.L=11,464 m, que efectivamente no lo es, ya que en nuestro caso T=15,6 m. Por tanto, quedan así definidos todos los parámetros anteriormente.
- El pantoque no está reforzado longitudinalmente, y según la P4;Ch9;S4.6, el espesor de éste además no deberá ser inferior a:

$$\frac{RB}{165 * KL} = \frac{2000}{165} = 12,12 \text{ mm}$$

Siendo RB el radio del pantoque.

Plancha del fondo y pantoque (numeración)	t elegido	t reglas mínimo (L.R.S.)
2	22	21,047
3	22	21,047
4	22	21,047
5	22	21,047
6	22	21,047

**Tabla 1.10 - Espesor planchas del fondo y pantoque**  
Fuente: Propia

Plancha de cubierta (numeración)	Por compresión (N/mm <sup>2</sup> )		Por esfuerzos cortantes (N/mm <sup>2</sup> )		¿Pandeo?
	Valor real	Valor crítico	Valor real	Valor crítico	
2	-71,10	-181,04	84,85	117,15	No
3	-71,10	-181,04	96,40	116,87	No
4	-71,10	-181,04	98,25	116,87	No
5	-71,10	-181,04	94,17	116,87	No
6	-71,10	-199,94	83,06	104,84	No

**Tabla 1.11 - Pandeo fondo**  
 Fuente: Propia

### 1.14. PLANCHAS DE LA QUILLA

El espesor de la quilla debe de ser 2 mm superior al de las planchas del fondo, sin exceder:

$$25 * \sqrt{k} = 25 \text{ mm}$$

Según la P4;Ch9;S4.7 el ancho de la quilla no deberá ser menor de  $70*B=2380$  mm, pero estará comprendido entre 750 y 1800 mm. Por tanto, en nuestro caso el ancho de quilla será de 1800mm.

Plancha de quilla (numeración)	t elegido	t reglas mínimo (L.R.S.)
1	24	23,047

**Tabla 1.12 - Espesor planchas de quilla**  
 Fuente: Propia

Plancha de cubierta (numeración)	Por compresión (N/mm <sup>2</sup> )		Por esfuerzos cortantes (N/mm <sup>2</sup> )		¿Pandeo?
	Valor real	Valor crítico	Valor real	Valor crítico	
1	-71,10	-185,87	85,37	117,56	No

**Tabla 1.13 - Pandeo quilla**  
 Fuente: Propia

A continuación, exponemos una tabla resumen de todos los resultados obtenidos respecto a las planchas de fondo, costado y la cubierta:

ZONA	Planchas (numeracion)	Espesor mínimo resultante (mm)	Espesor real (mm)	Por compresion N/mm2		Por esfuerzos cortantes N/mm2		¿Pandeo?
				Valor real	Valor critico	Valor real	Valor critico	
QUILLA	1	23,047	24	-71,1	-185,87	85,37	117,56	No
FONDO	2	21,047	22	-71,1	-181,04	84,85	117,15	No
	3	21,047	22	-71,1	-181,04	96,4	116,87	No
	4	21,047	22	-71,1	-181,04	98,25	116,87	No
	5	21,047	22	-71,1	-181,04	94,17	116,87	No
PANTOQUE	6	21,047	22	-71,1	-199,94	83,06	104,84	No
COSTADO	7	15,1657	19	-63,93	-171,68	99,8	115,36	No
	8	15,1657	19	-55,61	-171,86	97,72	115,36	No
	9	16,761	19	-51,96	-172,42	93,1	115,36	No
	10	16,761	19	-73,79	-171,84	93,1	115,36	No
	11	17	20	-115,64	-174,59	93,24	115,81	No
	12	17	20	-99,03	-175,96	92,94	110	No
CUBIERTA	13	17	20	-131,683	198,29	110	117,9	No
	14	17	20	-131,683	198,29	110	117,9	No
	15	17	20	-131,683	198,29	110	117,9	No
	16	17	20	-131,683	198,29	110	117,9	No
	17	17	20	-131,683	198,29	110	117,9	No

**Tabla 1.14 - Tabla resumen planchas**  
**Fuente: Propia**

## 1.15. REFUERZOS DE LAS PLANCHAS DEL FORRO EXTERIOR

Tanto los refuerzos de las planchas del forro, del doble costado y del doble fondo, se calculan según las reglas del L.R.S. en la Parte 4, Capítulo 9, Sección 5. Se calcularán los módulos mínimos que correspondan a los refuerzos y a su plancha de acero asociada.

Para determinar el módulo resistente mínimo que deben tener los refuerzos, dividiremos el forro en fondo, cubierta y cada una de las planchas del costado. Para cada grupo de refuerzos se hallará un módulo mínimo ( $Z_{\min}$ ) y en teoría se escogería el refuerzo tal que cumpliendo con este requisito con su plancha asociada, tenga menor peso.

Nosotros escantillaremos los refuerzos con el programa Mars 2000 comprobando que cumplimos con los requisitos del L.R.S. En el escantillado con el programa dividimos los refuerzos en grupos, cada uno de los cuales tiene una plancha asociada que también se han definido ya anteriormente.

Para cada refuerzo se estudia su fallo por pandeo de la misma forma que se hizo con las planchas del forro. Así, al igual que en el caso de las planchas, la tensión crítica de pandeo por compresión deberá cumplir que:

$$\sigma_{CRB} \geq \beta * \sigma_A$$

Siendo:

- $\sigma_{CRB}$  ( P3;Ch4;Tabla4.7.2), y ya que

$$\sigma_E = 198,129 \frac{N}{mm^2} \geq \frac{\sigma_o}{2} = 117,5N/mm^2$$

$$\sigma_{CRB} = \sigma_o * \left(1 - \frac{\sigma_o}{4 * \sigma_E}\right) = 165,316 N/mm^2$$

El módulo mínimo requerido para todos los refuerzos longitudinales del forro exterior es el mayor de las siguientes expresiones (P4;Ch9;S5.3.1):

5.3.1 The modulus of longitudinals within the cargo tank region, except as provided for in 5.3.2 and 5.5 is to be not less than the greater of the following:

(a)  $Z = 0,056skh_1 l_e^2 F_1 F_s$  cm<sup>3</sup>, or

(b)  $Z = 0,0051skh_3 l_e^2 F_2$  cm<sup>3</sup>

where  $F_1$  and  $F_2$  values are as given in Tables 9.5.1 and 9.5.2 and  $F_s$  is a fatigue factor to be taken as follows:

$$F_s = \frac{1,1}{k} \left[ 1 - \frac{2b_{f1}}{b_f} (1 - k) \right] \text{ at } 0,6D \text{ above the base line}$$

= 1,0 at upper deck at side and at the base line,  
 intermediate values by linear interpolation

For flat bars and bulb plates  $\frac{b_{f1}}{b_f}$  may be taken as 0,5

**Figura 1.7 - Modulo longitudinal**  
**Fuente Lloyd's Register**

$$Z1 = 0,056 * s * k * h1 * l_e^2 * F1 * F_s$$

$$Z2 = 0,0051 * s * k * h3 * le^2 * F2$$

Donde los coeficientes varían según el grupo de refuerzos considerado y están definidos en P4;Ch4;S5.2.1. Para el buque-proyecto:

- $k = 1$  en acero dulce, que es el de nuestra cuaderna maestra y ya se definió anteriormente.

$$h1 = h0 + \frac{D1}{8}$$

- $h0$ , en metros, es la distancia en metros del punto medio del refuerzo a la parte alta del tanque. Consideraremos la brisca cuando proceda para obtener la solución más exigente. Siempre y cuando no sea menor del mayor de:

$$h1 = \frac{L1}{56} (m)$$

ó

$$h1 = 0,01 * L1 + 0,7 (m)$$

Y tampoco sea mayor para el caso de los longitudinales del fondo de:

$$h1 = 0,75 * D + \frac{D1}{8} (m)$$

$D1$  es  $D$  pero sin ser menor de 10m ni mayor de 16m, luego en nuestro caso tomaremos 16m.

$$h3 = h0 + 0,72 * b1$$

Donde  $b1$  se determinará en cada caso según la Tabla 9.5.3.. Para el caso de los refuerzos del fondo, tomaremos  $b1$  como la distancia del refuerzo más cercano a crujía, ya que según se indica en la tabla, nuestros tanques de lastre de babor y estribor están conectados con los de doble fondo. Además, para los longitudinales del fondo, no debe ser mayor de:

$$h3 = 0,75 * D + 0,72 * b1$$

$le$ = longitud efectiva = 5 m mínimo en doble fondo y 2,5 metros en cualquier sitio

$l_e$  = effective length, in metres, of longitudinals measured between span points, but is not to be taken less than 2,5 m. For determination of span points, see Pt 3, Ch 3,3

**Figura 1.8 - Eslora efectiva  
Fuente Lloyd's Register**

$F1$  según Tabla 9.5.1.; y siendo como mínimo 0,12.

**Table 9.5.1 Values of  $F_1$**

Item	$F_1$
Deck longitudinals and side longitudinals above $\frac{D}{2}$	$\frac{Dc_1}{4D + 20h}$
Side longitudinals and bottom longitudinals below $\frac{D}{2}$	$\frac{Dc_1}{25D - 20h}$
NOTE Minimum $F_1 = 0,12$	

**Figura 1.9 - Variable F1**  
**Fuente: Lloyd's Register**

F2 según Tabla 9.5.2.; y siendo como mínimo 0,73.

**Table 9.5.2 Values of  $F_2$**

Item	$F_2$
Deck longitudinals and side longitudinals above $\frac{D}{2}$	$\frac{Dc_2}{D + 2,18h}$
Side longitudinals and bottom longitudinals below $\frac{D}{2}$	$\frac{Dc_2}{3,18D - 2,18h}$
NOTE Minimum $F_2 = 0,73$	

**Figura 1.10 - Variable F2**  
**Fuente Lloyd's Register**

c1 y c2 son coeficientes que se necesitan para hallar F1 y F2 cuyo valor varía según el puntal del refuerzo considerado según P4;Ch9;S5.2.1.



$$\begin{aligned}
 c_1 &= \frac{60}{225 - 165F_D} \text{ at deck} \\
 &= 1,0 \text{ at } \frac{D}{2} \\
 &= \frac{75}{225 - 150F_B} \text{ at base line of ship} \\
 &\text{intermediate values of } c_1 \text{ by interpolation} \\
 c_2 &= \frac{165}{345 - 180F_D} \text{ at deck} \\
 &= 1,0 \text{ at } \frac{D}{2} \\
 &= \frac{165}{345 - 180F_B} \text{ at base line of ship}
 \end{aligned}$$

**Figura 1.11 - Variables C1 y C2**  
**Fuente Lloyd's Register**

Fs = factor de fatiga. según P4;Ch9;S5.3.1.

### 5.3 Deck, side and bottom longitudinals

5.3.1 The modulus of longitudinals within the cargo tank region, except as provided for in 5.3.2 and 5.5 is to be not less than the greater of the following:

- (a)  $Z = 0,056skh_1 I_g^2 F_1 F_s \text{ cm}^3$ , or
- (b)  $Z = 0,0051skh_3 I_g^2 F_2 \text{ cm}^3$

where  $F_1$  and  $F_2$  values are as given in Tables 9.5.1 and 9.5.2 and  $F_s$  is a fatigue factor to be taken as follows:

$$F_s = \frac{1,1}{k} \left[ 1 - \frac{2b_{f1}}{b_f} (1 - k) \right] \text{ at } 0,6D \text{ above the base line}$$

= 1,0 at upper deck at side and at the base line,  
intermediate values by linear interpolation

For flat bars and bulb plates  $\frac{b_{f1}}{b_f}$  may be taken as 0,5

The modulus of side longitudinals need not exceed that of a bottom longitudinal having the same spacing and configuration.

**Figura 1.12 - Modulo longitudinal de cubierta, costado y fondo**  
**Fuente Lloyd's Register**

NOTA: Todos los refuerzos de la sección maestra son tipo L.

ZONA	Plancha (numeración)	Coeficientes para el cálculo del módulo resistente mínimo de los refuerzos del forro exterior											Módulos resistentes mínimos (cm3)			
		h0	h1	b1	h3 inicial	h3 máx.	h3	c1	c2	h	F1	F2	Fs	Z1	Z2	Zfinal
Cubierta	13-17	0,49	3,392	34	24,966	-	24,966	0,901	0,958	0,486	0,202	0,912	1,1	909,848	3020,873	3020,873
Costado	12	2	4	2	3,44	-	3,44	0,92	0,97	2	0,156	0,803	1,1	729,287	366,6014	729,287
	11	4,55	6,55	2	5,99	-	5,99	0,95	0,98	4,55	0,12	0,730	1,1	835,905	580,1545	835,905
	10	7,95	9,95	2	9,39	-	9,39	0,97	0,99	7,95	0,12	0,730	1,1	1269,810	909,4576	1269,810
	9	12,2	14,2	2	13,64	-	13,64	1	1	12,2	0,12	0,730	1,1	1812,192	1321,086	1812,192
	8	16,5	18,45	2	17,89	-	17,89	0,98	0,99	16,45	0,12	0,730	1,1	2354,573	1732,715	2354,573
	7	19	21	2	20,44	-	20,44	0,956	0,98	19	0,138	0,812	1,1	3437,450	2200,751	3437,450
Fondo	2-5	20,8	17,75	34	45,28	40,23	40,23	0,943	0,968	20,8	0,182	0,948	1,1	4455,183	5061,682	5061,683

**Tabla 1.15 - Tabla resumen módulos refuerzos**  
**Fuente: Propia**

De los dos módulos resistentes de la tabla anterior Z1 y Z2, escogemos el mayor y lo comparamos con el real obtenido del programa Mars 2000, para ver que cumplimos con lo establecido en el L.R.S. Agrupamos las tablas según la nomenclatura y grupos adoptados.

ZONA	Refuerzo	Alma (mm)	Ala (mm)	Z min (cm <sup>3</sup> )	Z real (cm <sup>3</sup> )
CUBIERTA	43-60	600x16	200x14	3020,873	3179,97
	41-42	350x12	125x12	909,848	936,24
COSTADO	39-40	300x16	100x12	729,288	768,38
	35-38	350x12	100x12	835,906	843,44
	32-34	350x16	150x16	1269,811	1340,26
	27-31	400x16	200x16	1812,192	1905,40
	22-26	450x16	225x16	2354,574	2403,63
	19-21	600x16	250x16	3437,451	3524,68
FONDO	1-18	650x18	250x20	5061,683	5065,68

**Tabla 1.16 - Modulo resistente de los refuerzos del forro exterior.**  
**Fuente: Propia**

Asimismo, con el programa comprobamos que no pandean, cumpliendo además con lo expuesto en P3;Ch4;S7;Tabla4.7.3.

Refuerzos de fondo		
Refuerzo (numeración)	Tensión de pandeo por compresión (N/mm <sup>2</sup> )	
	Real	Crítica
1-18	-71,1	-184,85
Refuerzos de Costado		
19	-63,93	-181,83
20	-59,77	-181,83
22	-51,45	-194,16
23	-47,29	-194,16
24	-43,13	-194,16
25	-38,97	-194,16

26	-34,81	-194,16
27	-30,65	-197,47
29	-41,05	-197,47
30	-46,51	-197,47
31	-51,96	-197,47
32	-57,42	-200,37
33	-62,87	-200,37
34	-68,33	-200,37
36	-79,24	-191,24
37	-84,7	-191,24
38	-90,74	-191,24
39	-99,03	-202,68
40	-107,32	-202,16
<b>Refuerzos de Cubierta</b>		
1	-118,43	-181,64
2	-118,28	-181,64
3	-118,14	-181,64
4	-117,99	-181,64
5	-117,85	-181,64
6	-117,70	-181,64
7	-117,55	-181,64
8	-117,41	-181,64
9	-117,26	-181,64
10	-117,12	-181,64
11	-116,97	-181,64
12	-116,82	-181,64
13	-116,68	-181,64

14	-116,53	-181,64
15	-116,39	-181,64
16	-116,24	-181,63
17	-116,09	-181,63
18	-115,90	-189,23
19	-115,75	-189,23

**Tabla 1.17 - Pandeo de refuerzos cubierta**  
**Fuente: Propia**

### 1.16. PLANCHAS DEL DOBLE COSTADO, DOBLE FONDO Y MAMPAROS LONGITUDINALES DE SEPARACIÓN DE TANQUES DE CARGA

El espesor mínimo de las planchas del doble costado viene determinado en P4;Ch9;S6;Tabla 9.6.1 del L.R.S., en la cual se determinan tres zonas diferenciadas según su altura:

Mostramos a continuación la nomenclatura o numeración adoptada para estos tres grupos de planchas:

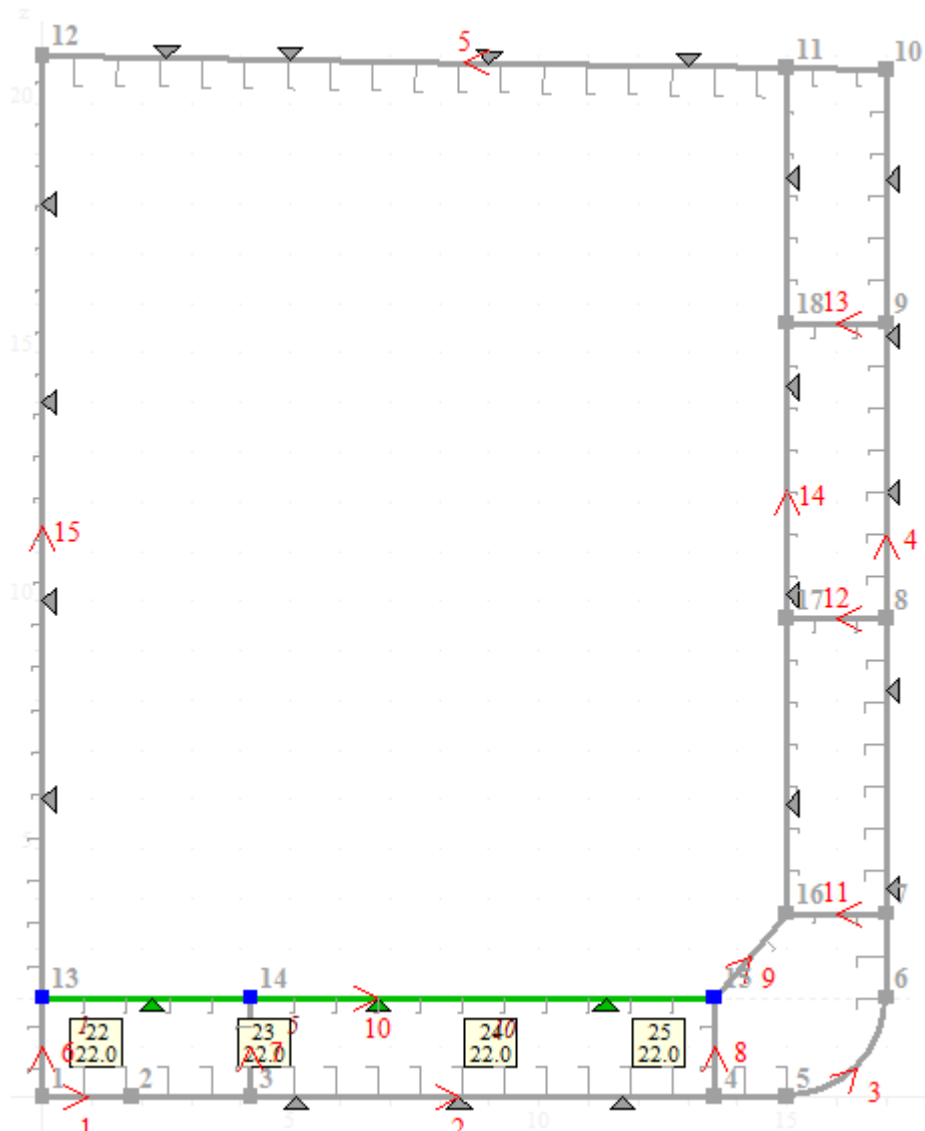


Figura 1.13 - Nomenclatura de las planchas y refuerzos Doble fondo  
Fuente: Propia

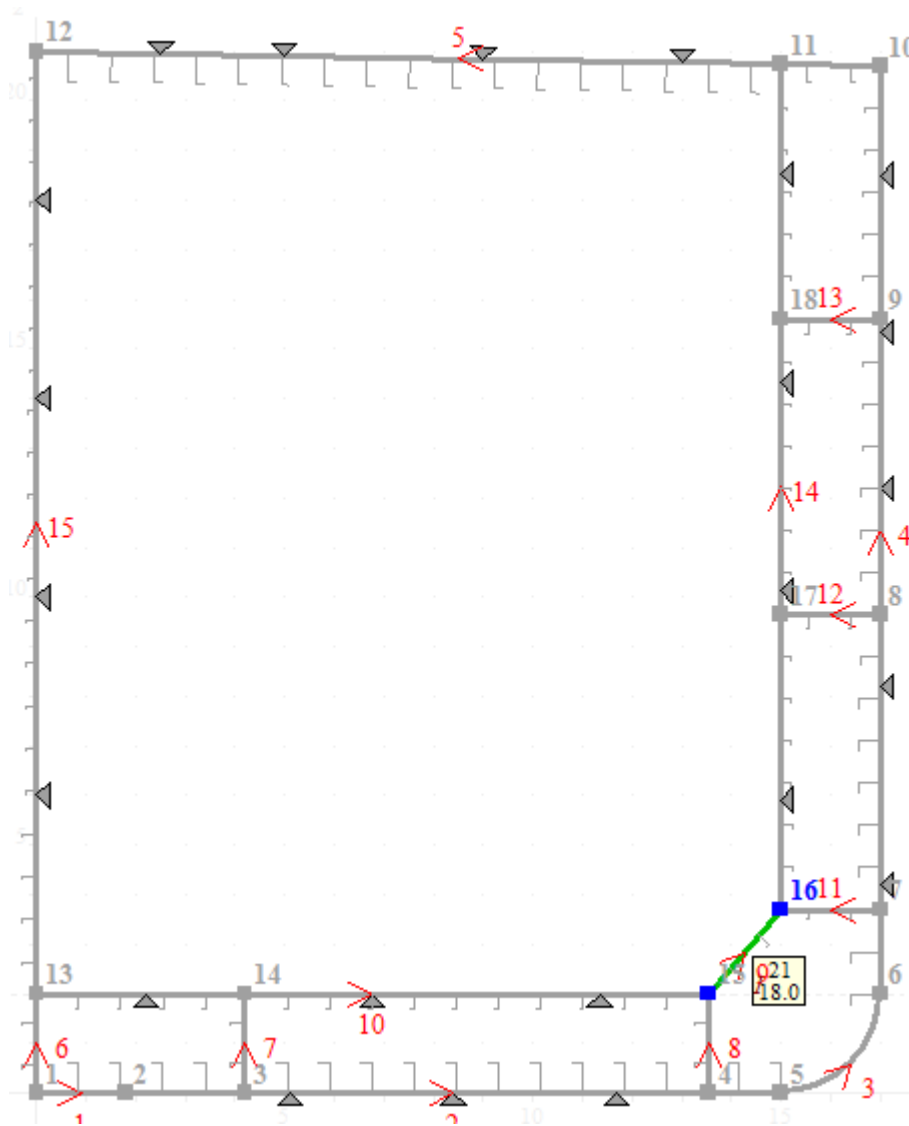


Figura 1.14 - Nomenclatura planchas y refuerzos tolva  
Fuente: Propia

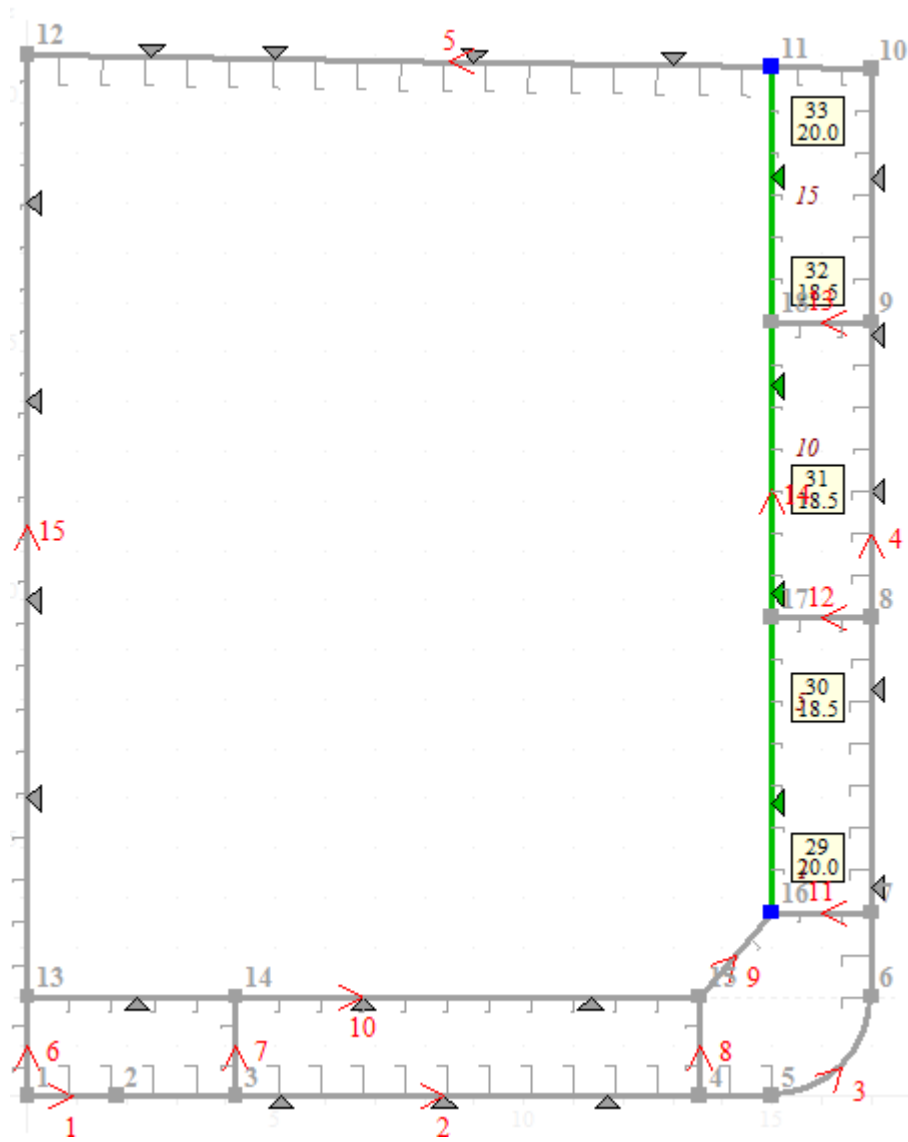
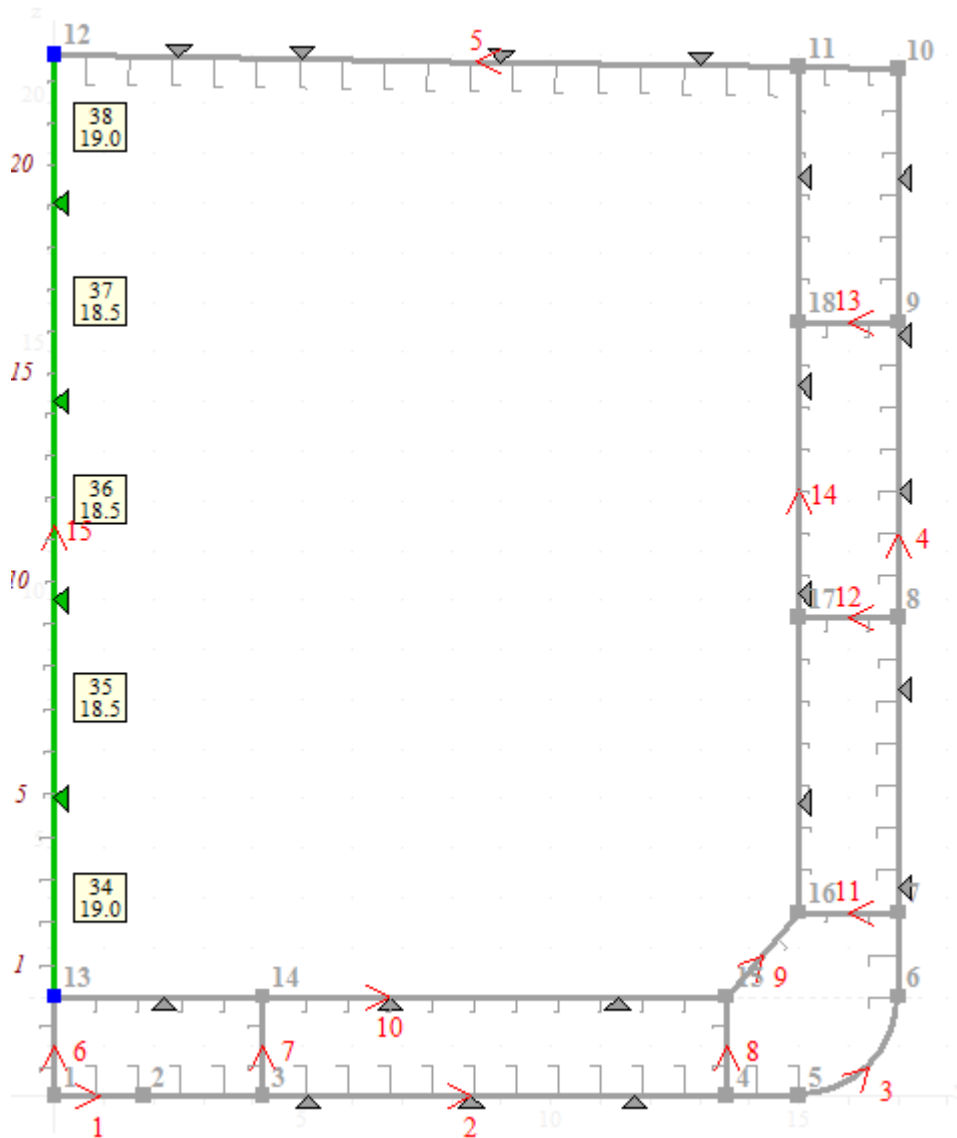


Figura 1.15 - Nomenclatura planchas y refuerzos doble casco  
Fuente: Propia





**Figura 1.16 - Nomenclatura placas y refuerzos mamparo longitudinal**  
**Fuente: Propia**

El valor mínimo del espesor de ha de ser en todo caso mayor que:

$$t_{min} = 0,0009 * s * (0,059 * L1 + 7) = 13,93 \approx 14 \text{ mm}$$

Siendo  $L1=190\text{m}$  y  $s=850\text{mm}$  definidos anteriormente. En la placa número 15,  $s=900\text{mm}$ , pero escogemos el valor de  $850\text{ mm}$  para todo el grupo y obtener así la solución más exigente.

Las placas situadas a  $0,1 * D=2,1\text{m}$  de la cubierta, han de tener un espesor:

$$t_0 = 0,005 * s * \sqrt{k * h_1}$$

Siendo:

$h_1=h+D1/8$ ; No debemos de tomar menor de  $0,72 \cdot (h+R \cdot b_1)$ , estando  $R$ ,  $b_1$  y  $D1$  definidos anteriormente.  $D1=16$

Tipo	t0 0,1D	t	t elegido
Doble fondo	21,7	21	22
Doble casco	18,5	19	20
Mamparo longitudinal	18,5	19	19

**Tabla 1.18 - Espesor plancha**  
**Fuente: Propia**

h ; distancia en metros desde un punto a 1/3 de la altura de la plancha por encima del borde inferior al punto más alto del tanque.

b1= Para doble casco = 34m, para doble fondo=17m, para el mamparo longitudinal=30m

**Table 9.5.3 Determination of b<sub>1</sub>**

Item No.	Structural arrangement	Location	Value of b <sub>1</sub> , metres
1	Where wing and double bottom ballast tanks port and starboard are interconnected	(a) Bottom longitudinals	The greater horizontal distance from ship side to the longitudinal
		(b) Side longitudinals	Breadth of ship
		(c) Deck longitudinals	(i) In way of cargo tanks and inboard ballast tanks, the greater horizontal distance from tank corner at top of tank to longitudinal, either side  (ii) In way of wing ballast tanks, the greater horizontal distance from ship side to longitudinal, either side
2	Where wing ballast tanks port and starboard are separate	(a) Bottom longitudinals	The horizontal distance from ship side to longitudinal
		(b) Side longitudinals	Width of wing ballast tank

**Figura 1.17 - Variable b1**  
**Lloyd's Register**

s y k definidos anteriormente.

Para el resto de las planchas:

$$t_1 = t_0 * \left( 0,84 + 0,16 * \left( \frac{tm}{t_0} \right)^2 \right) = 21,71 \text{ m}$$

Además, para las planchas del doble fondo:

$$t = \frac{t_0}{\sqrt{2 - FB}} = 20,692 \text{ mm}$$

sin llegar a ser menor que t1, y

$$t > 0,004 * s * f * \sqrt{\frac{\rho * h^4 * k}{1,025}} + 2,5 = 14,193 \text{ mm}$$

(no menor de 7,5mm para buques con L90m según P4;Ch1;Tabla1.9.1) para cumplir con las exigencias de planchas para tanques profundos. Tomaré ρ=0,9 para el petróleo.

Siendo:

$$h_4 = h + R \cdot b_1$$
$$f = 1,1 - \frac{s}{2500 * S} = 1,06$$

pero no mayor que 1, luego tomamos  $f = 1$ . (P4;Ch1;Tabla1.4.1).

Al igual que se hizo en el caso de los refuerzos del forro, se consideran zonas distintas según las planchas asociadas.

Comprobaremos además los valores críticos y reales para el pandeo de las planchas, al igual que se hizo con las planchas del forro exterior.

### 1.17. REFUERZOS DEL DOBLE FONDO, DOBLE COSTADO Y MAMPARO LONGITUDINAL

Se determinan a continuación los refuerzos del doble costado y doble fondo, según los requerimientos de las normas en la Parte 4, Capítulo 9, Sección 6. Para ello, mediante la formulación establecida por el L.R.S., se determinan los módulos mínimos correspondientes a los refuerzos y a su plancha asociada.

Para cada refuerzo se estudia su fallo por pandeo de la misma forma que se hizo con las planchas, y de la misma forma que se presentó para los refuerzos del forro exterior.

El módulo mínimo requerido para todos los refuerzos longitudinales es el mayor de las siguientes expresiones (Parte 4, Capítulo 9, Tabla 9.6.1):

El módulo mínimo requerido para todos los refuerzos (P4;Ch9;Tabla9.6.1):

$$Z_1 = 0,056 * s * k * h_2 * l_e^2 * F_1$$

$$Z_2 = 0,0051 * s * k * h_4 * l_e^2 * F_2$$

Para refuerzos verticales el módulo mínimo es:

$$Z = 0,0067 * k * s * l_e^2 * h_5$$

Siendo:

- $k = 1$  en acero dulce, que es el de nuestra cuaderna maestra y ya se definió anteriormente.
- $l_e$  = longitud efectiva = 5 m mínimo en doble fondo y 2,5 metros en cualquier sitio

$l_e$  = effective length, in metres, of longitudinals measured between span points, but is not to be taken less than 2,5 m. For determination of span points, see Pt 3, Ch 3,3

**Figura 16. 8 eslora efectiva  
Lloyd's Register**

F1 y F2 según tablas 9.6.2 y 9.6.3

**Table 9.6.2 Values of  $F_1$**

Longitudinal bulkhead longitudinals	$F_1$
Above $\frac{D}{2}$	$\frac{Dc_1}{4D + 20h_3}$
Below $\frac{D}{2}$	$\frac{Dc_1}{25D - 20h_3}$
NOTE Minimum $F_1 = 0,12$	

**Figura 1.18 - Variable F1  
 Lloyd's Register**

**Table 9.6.3 Values of  $F_2$**

Longitudinal bulkhead longitudinals	$F_2$
Above $\frac{D}{2}$	$\frac{Dc_2}{D + 2,18h_3}$
Below $\frac{D}{2}$	$\frac{Dc_2}{3,18D - 2,18h_3}$
NOTE Minimum $F_2 = 0,73$	

**Figura 1.19 - Variable F2  
 Lloyd's Register**

$c_1$  y  $c_2$  son coeficientes que se necesitan para hallar  $F_1$  y  $F_2$  cuyo valor se calcula según las expresiones en P4;Ch9;S6.2.1.

$$\begin{aligned}
 c_1 &= \frac{60}{225 - 165F_D} \text{ at deck} \\
 &= 1,0 \text{ at } \frac{D}{2} \\
 &= \frac{75}{225 - 150F_B} \text{ at base line of ship} \\
 &\text{intermediate values of } c_1 \text{ by interpolation} \\
 c_2 &= \frac{165}{345 - 180F_D} \text{ at deck} \\
 &= 1,0 \text{ at } \frac{D}{2} \\
 &= \frac{165}{345 - 180F_B} \text{ at base line of ship}
 \end{aligned}$$

**Figura 1.20 - Variables C1 y C2  
Lloyd's Register**

$h_2 = h_0 + \frac{D_1}{8}$  en metros, siempre y cuando no sea menor del mayor de:

$$h_2 = \frac{L_1}{56} = 3,3928 \text{ (m)}$$

$$h_2 = 0,01 * L_1 + 0,7 = 2,6 \text{ (m)}$$

$h_4 = h + R \cdot b_1$  , en metros (r definida anteriormente y b1 en figura 9.6.1)

$$R = \sin \theta$$

where  $\theta$  is the roll angle, in degrees

$$\text{and } \sin \theta = \left( 0,45 + 0,1 \frac{L}{B} \right) \left( 0,54 - \frac{L}{1270} \right).$$

$b_1$  = the greater horizontal distance in metres, from a point one third of the height of the strake above its lower edge or mid-point of the stiffener span, to the corners at the top of the tank on either side.

**Figura 1.21 - Variables R y b1  
Lloyd's Register**

$h_5 = h_2$ , pero nunca menor que el 55% de  $h_4$ .

En cada caso se ha ido escogiendo el refuerzo más conveniente, cumpliendo los requisitos de resistencia estructural mencionados e intentando minimizar el peso de la estructura para no penalizar el peso en rosca.

A continuación se presenta las tablas resumen con refuerzos escogidos y todos los cálculos realizados.

ZONA	Plancha (numeración)	Coeficientes para el cálculo del modulo resistente mínimo de los refuerzos										Módulos resistentes mínimos (cm3)		
		h0	h2	b1	h3	h4	h5	c1	c2	F1	F2	Z1	Z2	Zfinal
Vagra	19-20	20	22	13,55	13,55	25,42	22	0,500	0,960	0,12	0,730	785,400	502,768	785,400
Tolva	21	18,28	20,28	2,725	2,24	19,37	20,280	0,560	0,954	0,12	0,730	723,996	383,108	723,996
Doble fondo	22-25	19,2	21,2	34	13,55	32,8	21,200	0,440	0,968	0,12	0,730	756,840	648,733	756,840
Palmejar	26	5,4	7,4	2	2	6,2	7,4	0,956	0,976	0,16	0,808	356,430	135,763	356,430
	27	11,35	13,35	2	2	12,15	13,35	1	1	0,17	0,828	672,614	272,593	672,614
	28	17,3	19,3	2	2	18,1	19,3	0,850	0,980	0,14	0,812	826,534	397,964	826,534
Doble casco	29	14,75	16,75	2	2	15,55	16,750	0,685	0,966	0,12	0,730	597,975	307,555	597,975
	30	10,5	12,5	2	2	11,3	12,500	0,850	0,980	0,12	0,730	446,250	223,496	446,250
	31	8,8	10,8	2	2	9,6	10,800	1	1	0,12	0,730	385,560	189,873	385,560
	32	4,55	6,55	2	2	5,35	6,550	0,956	0,976	0,16	0,808	315,489	117,150	315,489
	33	1,575	3,575	2	2	2,375	3,575	0,920	0,958	0,16	0,793	165,710	51,057	165,710
Mamparo longitudinal	34	17,06	19,06	15	27,1	23,06	8,330	0,720	0,890	0,12	0,730	680,442	456,091	680,442
	35	13,25	15,25	15	27,1	19,25	8,330	0,720	0,890	0,12	0,730	544,425	380,735	544,425
	36	9,05	11,05	15	27,1	15,05	8,330	0,720	0,890	0,12	0,730	394,485	297,665	394,485
	37	4,85	6,85	15	27,1	10,85	8,330	0,720	0,890	0,12	0,730	244,545	214,596	244,545
	38	1,91	3,91	15	27,1	7,91	8,330	0,720	0,890	0,12	0,730	139,587	156,447	156,447

Tabla 1.19 - Resumen planchas  
 Fuente: Propia

ZONA	Plancha	Alma (mm)	Ala (mm)	Z min (cm3)	Z real (cm3)
Vagra	19	300x14	100x16	785,400	796,28
Vagra	20	300x14	100x16	785,400	796,28
Palmejar	26	200x14	90x12	356,430	373,39
Palmejar	27	300x14	90x14	672,614	707,73
Palmejar	28	300x14	125x16	826,534	906,82
Doble fondo	22-25	300x14	100x14	756,840	774,37
Tolva	21	300x14	100x14	723,996	754,46
Doble casco	33	120x14	90x12	165,710	197,57
	32	200x14	90x12	315,489	372,18
	31	200x14	90x14	385,560	399,02
	30	200x14	125x16	446,250	529,5
	29	250x14	100x16	597,975	625,99
Mamparo longitudinal	34	300x14	90x14	680,442	723,43
	35	250x14	100x14	544,425	583,45
	36	200x14	100x14	394,485	425,41
	37	150x14	90x14	244,545	268,03
	38	150x10	80x10	156,447	188,86

Tabla 1.20 - Resumen refuerzos  
Fuente: Propia

**ORDINARY SECTION**

SCANTLING OF LONGITUDINALS			
LOCATION	LONG. Nº.	SCANTLING	GRADE
BOTTOM & SIDE SHELL	1-18	650x18/250x20	A
	19-20	600x16/250x16	A
	22-26	450x16/225x16	A
	27-31	400x16/200x16	A

**ORDINARY SECTION**

<b>SCANTLING OF LONGITUDINALS</b>			
<b>LOCATION</b>	<b>LONG. Nº.</b>	<b>SCANTLING</b>	<b>GRADE</b>
	32-34	350x16/10x16	A
	36-40	300x16/100x12	A
<b>INNER BOTTOM &amp; LONG. BULKHEAD</b>	1-15	300x14/100x14	A
	17-18	300x14/100x14	A
	20-21	250x14/10x16	A
	22-25	200x14/125x16	A
	27-31	200x14/90x14	A
	32-36	200x14/90x12	A
	37-38	125x14/90x12	A
	<b>CENTER LONG. BULKHEAD</b>	20-23	300x14/90x14
24-28		250x14/100x14	A
29-33		200x14/100x14	A
34-38		150x14/90x14	A
39-41		150x10/80x10	A
<b>UPPER DECK</b>	1-17	600x16/200x14	A
	18-19	350x12/125x12	A
<b>CENTER GIRDER</b>	1-2	300x14/100x16	A

**Tabla 1.21 - Resumen escantillado del buque**  
**Fuente: Propia**

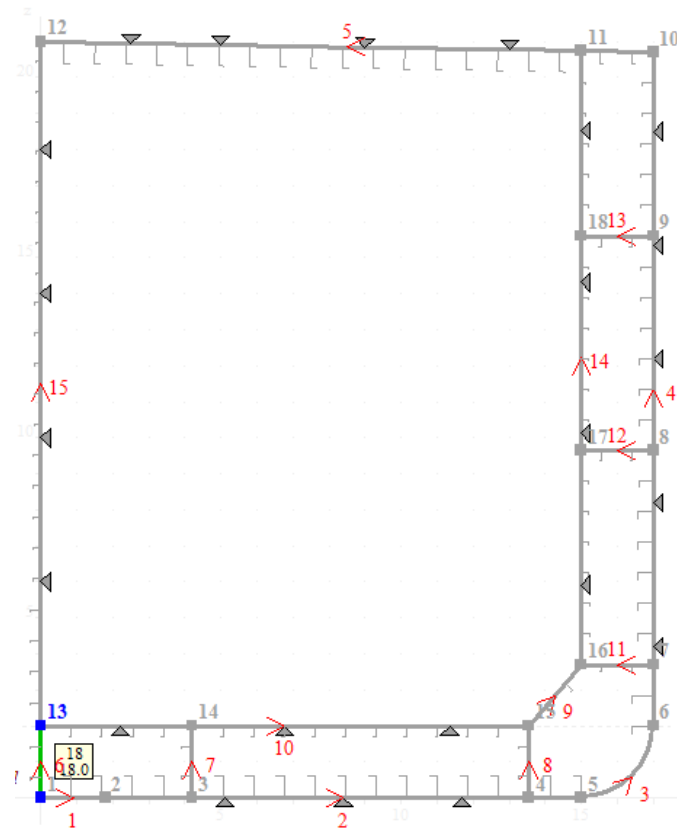
**1.18. VAGRAS DEL DOBLE FONDO**

Como podemos ver en el croquis y en el plano de la cuaderna maestra, el doble fondo tiene una vagra central y otras dos vagras laterales a 4200mm y 13550mm de dicha carlinga central.

Estas vagras constan de una plancha de la altura del doble fondo (2m), con un determinado espesor y dos refuerzos longitudinales cada una, con un espacio entre ellos en las tres vagras de 0,850m. De la misma forma que se hicieron todos los cálculos anteriores, se muestra a continuación una tabla resumen con el escantillado de dichos elementos.



A continuación se muestra unas figuras con la nomenclatura o numeración adoptada para este grupo de planchas (en color verde) y sus correspondientes refuerzos.



**Figura 1.22 - Vagra central**  
**Fuente: Propia**

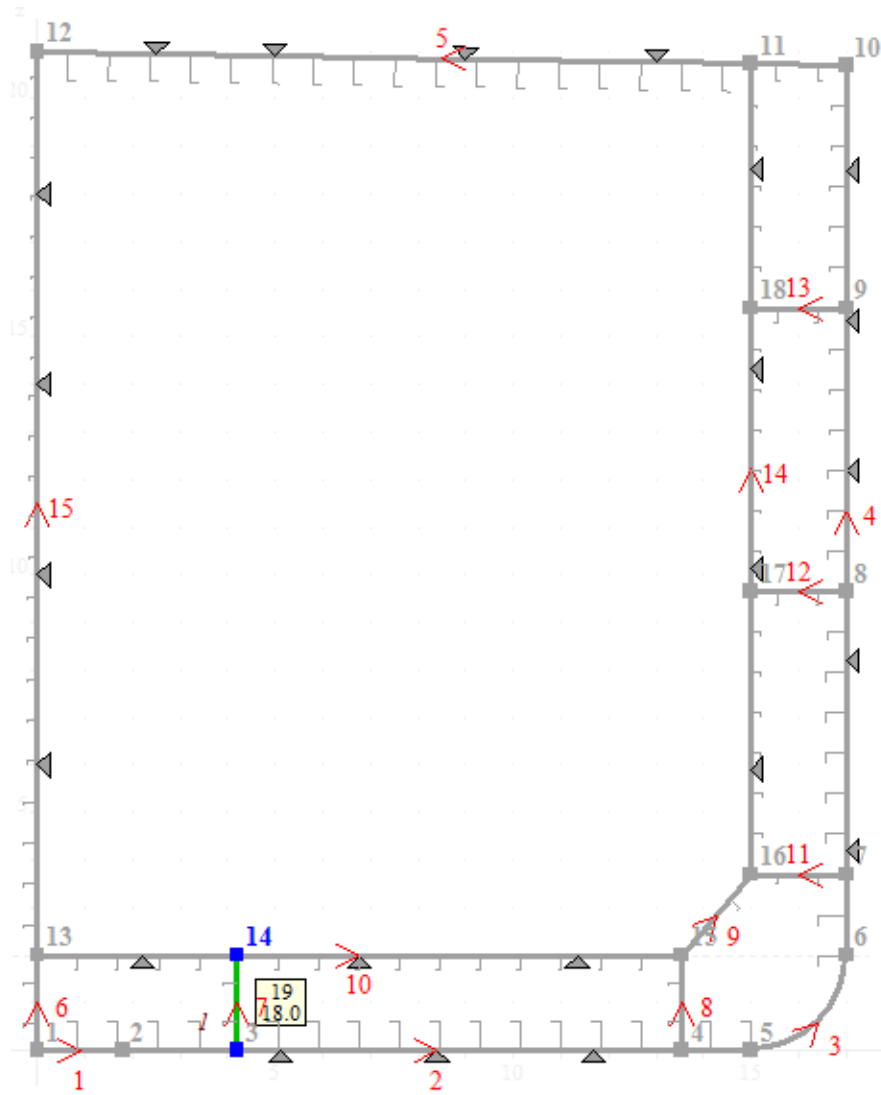


Figura 1.23 - Vagra de fondo  
Fuente: Propia

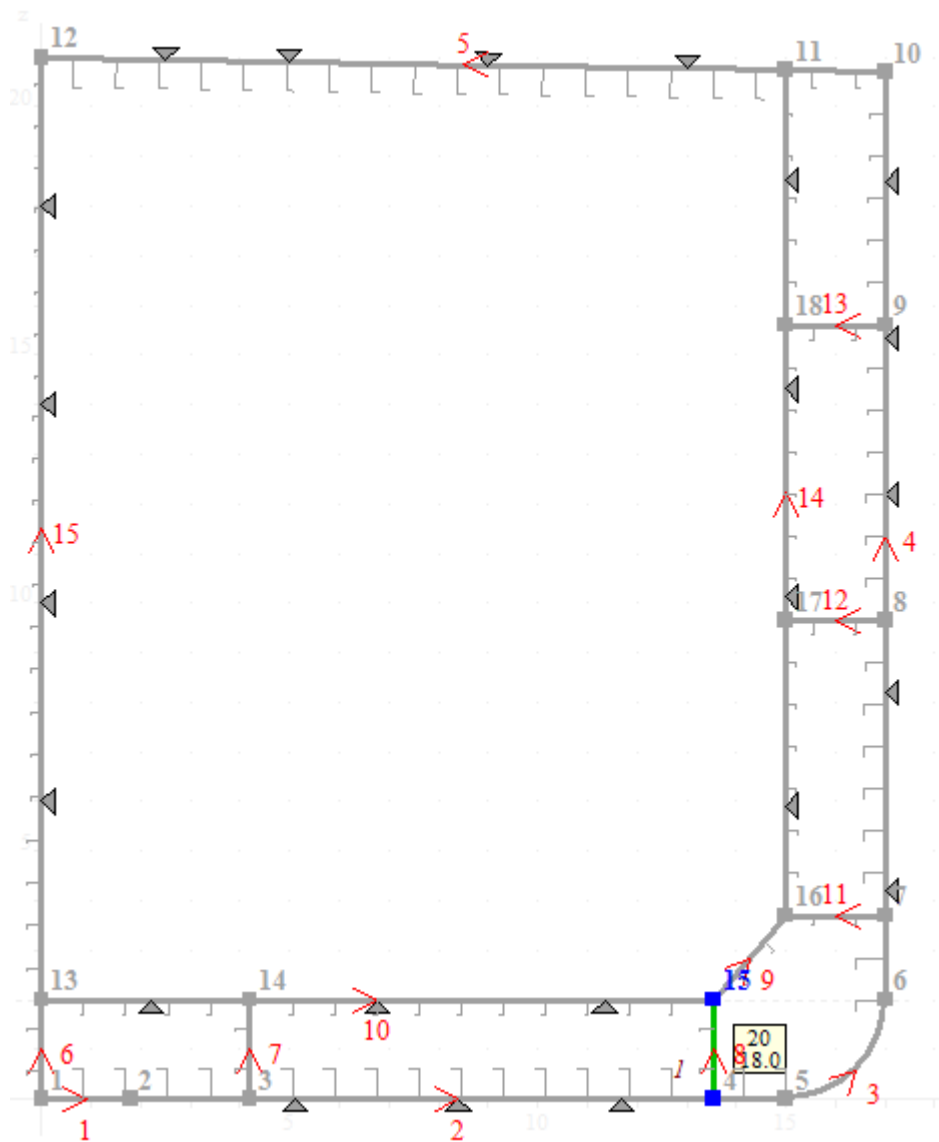


Figura 1.24 - Vagra tolva  
Fuente: Propia

### 1.19. PALMEJARES DEL DOBLE COSTADO

De la misma forma que en el apartado anterior y como podemos ver en el croquis y en el plano de la cuaderna maestra, el doble costado tiene tres palmejares a una altura de 3,7 m, 9,65 m y 15,6 m de la línea base, es decir, separadas entre sí por 9 m. Estos palmejares constan de una plancha de ancho el doble costado (4 m), con un determinado espesor y tres refuerzos longitudinales cada uno, con un espacio entre ellos de 1m. De la misma forma que se hicieron todos los cálculos anteriores, se muestra a continuación una tabla resumen con el escantillado de dichos elementos.

A continuación se muestra unas figuras con la nomenclatura o numeración adoptada para este grupo de planchas y sus correspondientes refuerzos.

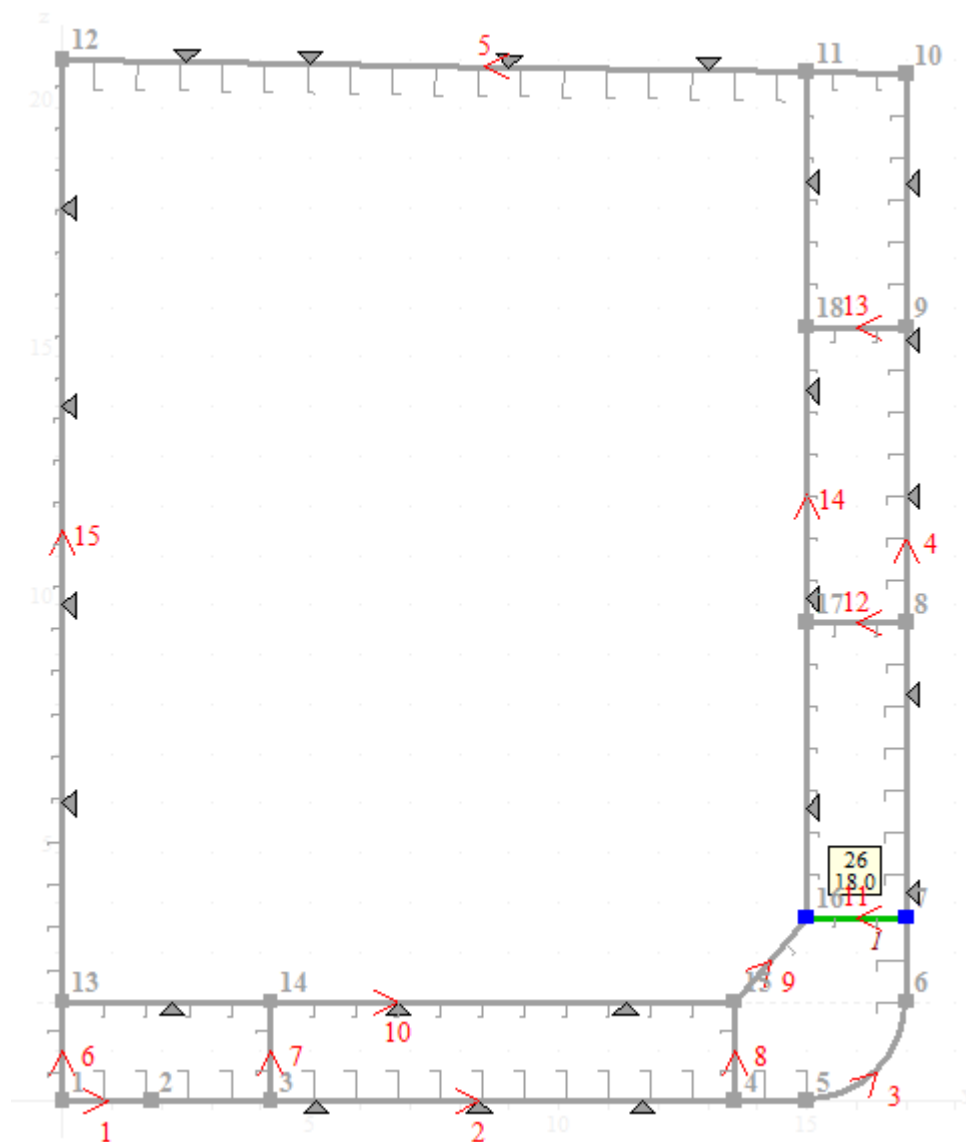


Figura 1.25 - Palmejar 26  
Fuente: Propia

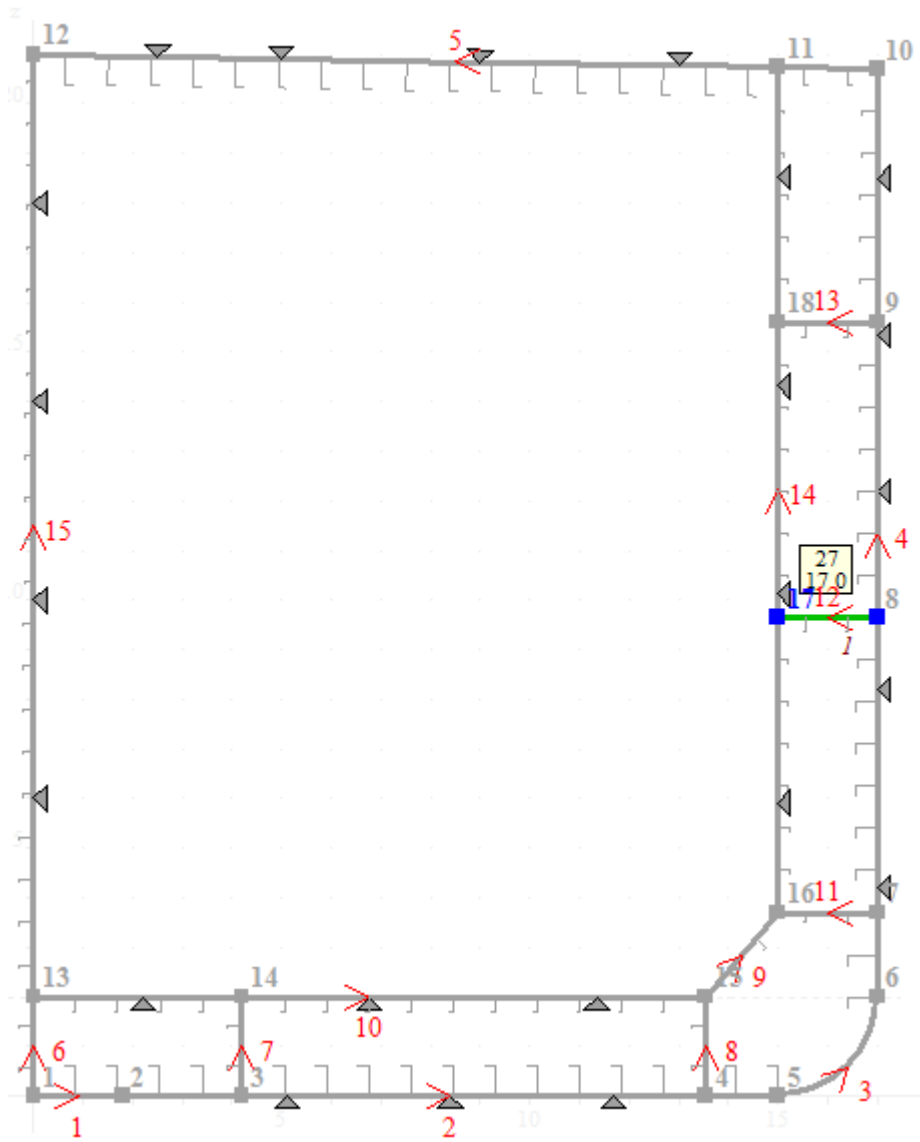
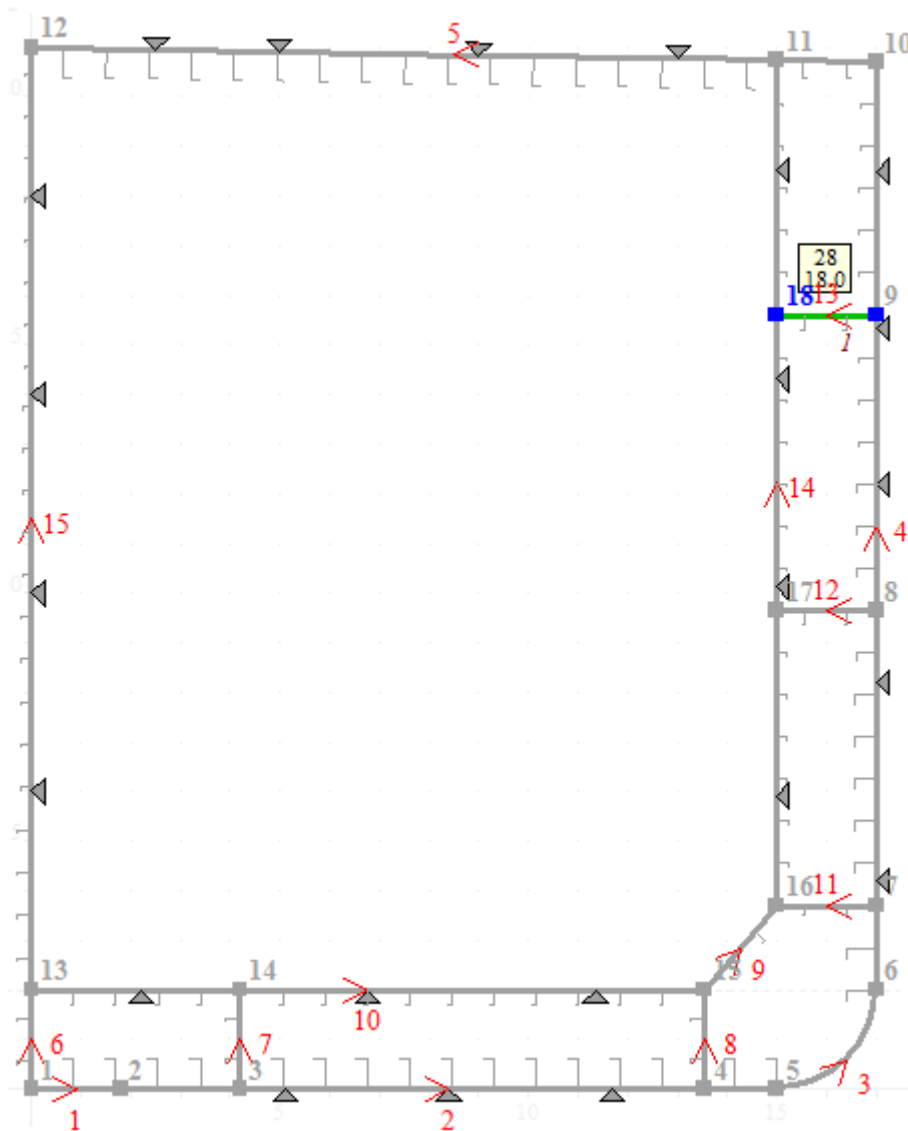


Figura 1.26 - Palmejar 27  
Fuente: Propia

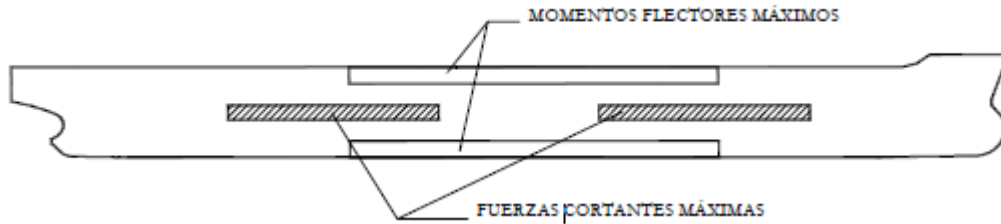


**Figura 1.27 - Palmejar 28**  
Fuente: Propia

## 1.20. CÁLCULOS DE RESISTENCIA LONGITUDINAL

La cuaderna maestra, por esfuerzos longitudinales se encuentra sometida a momentos flectores de tipo alternativo. La máxima magnitud del momento flector se da en las esquinas superior e inferior de la viga casco, siendo cero en la línea neutra o punto en el que no actúan ni compresión ni tracción. El signo del momento que define la tracción o compresión variará según las condiciones de arrufo y quebranto.

Las fuerzas cortantes son máximas en el centro de la sección, que es la zona de esfuerzos mínimos de flexión. Los esfuerzos cortantes están sobre la línea neutra y en los márgenes de esfuerzos de flexión máximos.



**Figura 1.28 - Esquema momentos flectores**  
**Fuente: El proyecto básico del buque mercante**

### **Momentos flectores y fuerzas cortantes máximos**

La Sociedad de Clasificación establece cuáles han de ser los valores estándar del momento flector debido al efecto de las olas, el momento de inercia mínimo del casco (como viga) y el módulo resistente mínimo en la sección maestra.

## **1.21. MOMENTOS FLECTORES**

Para determinar los límites admisibles de los momentos flectores a los que puede estar sometida la estructura, se descompone el momento flector como suma de:

- Momento flector en olas
- Momento flector en aguas tranquilas.

### **1.21.1. MOMENTO FLECTOR EN OLAS**

El momento flector debido a las olas en la sección maestra viene definido por las siguientes ecuaciones del L.R.S. (P3;Ch4;S5.2):

$$M_{wo} = 0,1 * C1 * C2 * L^2 * B * (Cb + 0,7) = 2.532.562,326 \text{ Kn} * m$$

$$M_w = f1 * f2 * M_{wo}$$

Siendo:

- $f_1 = 1$  al ser factor de servicio y no poder ser menor a 0,5  
 $f_1$  = ship service factor. To be specially considered depending upon the service restriction and in any event should be not less than 0,5. For unrestricted sea-going service  $f_1 = 1,0$

**Figura 1.29 - Factor de servicio  $f_1$**   
**Fuente: Lloyd's Register**

- $f_2$ :

$$f_2(\text{arrufo}) = -1,1$$

$$f_2(\text{quebranto}) = \frac{1,9 * Cb}{Cb + 0,7} = 1,039$$

$$f_2 = -1,1 \text{ for sagging (negative) moment}$$

$$f_2 = \frac{1,9C_b}{(C_b + 0,7)} \text{ for hogging (positive) moment}$$

**Figura 1.30 - factor f2 para arrufo y quebranto**  
**Fuente: Lloyd's Register**

- C1:

Length L, in metres	Factor C <sub>1</sub>
<90	0,0412L + 4,0
90 to 300	$10,75 - \left(\frac{300-L}{100}\right)^{1,5}$
>300 ≤350	10,75
>350 ≤500	$10,75 - \left(\frac{L-350}{150}\right)^{1,5}$

**Figura 1.31 - Factor C1**  
**Fuente: Lloyd's Register**

Al estar la eslora de nuestro buque entre 90 y 300:

$$C1 = 10,75 - \left(\frac{300 - L}{100}\right)^{1,5} = 10,025$$

- Siendo C2= 1 al estar la cuaderna maestra, entre 0,4L y 0,65L

5.2.2 The longitudinal distribution factor, C<sub>2</sub>, of wave bending moment is to be taken as follows:

- 0 at the aft end of L
- 1,0 between 0,4L and 0,65L from aft
- 0 at the forward end of L

Intermediate values are to be determined by linear interpolation.

**Figura 1.32 - Factor C2**  
**Fuente: Lloyd's Register**

Sustituyendo valores obtenemos el momento debido a las olas en la sección maestra:

$$Mwo = 0,1 * C1 * C2 * L^2 * B * (Cb + 0,7) = 2.532.562,326 \text{ Kn} * m$$

$$Mw = f1 * f2 * Mwo$$

$$Mw \text{ arrufo} = -2.785.818,559 \text{ kN} * m$$

$$Mw \text{ quebranto} = 2.631.332,257 \text{ kN} * m$$



Mwo arrufo (kN*m)	Mwo quebranto (kN*m)
-2785818,559	2.631.332,257

**Tabla 1.22 - Momentos flectores en olas**  
**Fuente: Propia**

### 1.21.2. MOMENTO FLECTOR EN AGUAS TRANQUILAS

El momento flector en aguas tranquilas, MS, deberá ser evaluado a partir de las condiciones de carga, y en particular, en aquella en que los momentos sean máximos. Estos momentos flectores no sobrepasarán en ningún caso, el máximo momento flector permitido S M , de forma que deberá cumplirse que en cualquier situación de carga según P3;Ch4;S5.3.1:

$$|Ms| \leq |\overline{Ms}|$$

A su vez, los máximos momentos flectores permitidos en cubierta y en el fondo deberán ser calculados respectivamente, según las expresiones siguientes (P3;Ch4;S5.6-7-8)

$$|Ms| = FD * \sigma * ZD * 10^3 - |Mw| = 4.719.888,863 \text{ kN} * m$$

$$|Ms| = FB * \sigma * ZB * 10^3 - |Mw| = 7.507.108,713 \text{ kN} * m$$

Expresiones que utilizan el subíndice D para los términos referidos a cubierta, y B para los del fondo. Los parámetros que intervienen en la expresión del momento flector máximo permitido, se definen asimismo como sigue:

$$FD = \frac{\sigma D}{\sigma} \quad FB = \frac{\sigma B}{\sigma}$$

$$\sigma D = \frac{|\overline{Ms} + Mw|}{ZD} \quad \sigma B = \frac{|\overline{Ms} + Mw|}{ZB}$$

$$\sigma B = \frac{|\overline{Ms} + Mw|}{ZB}$$

Siendo:

For hull members above the neutral axis

$$FD = \frac{\sigma D}{\sigma}$$

For hull members below the neutral axis

$$FB = \frac{\sigma B}{\sigma}$$

In general the values of  $\sigma_D$  and  $\sigma_B$  to be used are the greater of the sagging or hogging stresses, and  $F_D$  and  $F_B$  are not to be taken less than 0,67 for plating and 0,75 for longitudinal stiffeners.

**Figura 1.33 - Factor de fondo y de cubierta**  
**Fuente: Lloyd's Register**

- FD y FB, factores de reducción local definidos en el L.R.S. (P3;Ch4;S5.1.1.) los cuales estimamos en 0,96 y 0,97 respectivamente, teniendo en cuenta los de otros proyectos similares, y que según el L.R.S.(P3;Ch4;S5.8.1) que no deben ser menores de 0,67 para planchas y 0,75 para refuerzos.
- ZD y ZB, los módulos resistentes de la sección en la cubierta y en el fondo respectivamente, y según las salidas del programa Mars 2000 son:

$$ZD = 32,58516 \text{ m}^3$$

$$ZB = 44,47655 \text{ m}^3$$

- FD, FB,  $\sigma_D$ ,  $\sigma_B$  y  $\sigma$ , definidos en el apartado 2.2.1.1 de este cuadernillo.

Se usará el valor del momento flector en arrufo ya que es la situación más desfavorable. Así se obtiene que el momento flector máximo permitido en aguas tranquilas tiene por valor (el referido a la cubierta, ya que es el más restrictivo)

Ms cubierta (kN*m)	Ms fondo (kN*m)
4.719.888,863	7.507.108,713

**Tabla 1.23 - Momentos en cubierta y fondo**  
**Fuente: Propia**

En las situaciones de carga se comprobará que no se supera este valor.

### 1.21.3. MÓDULO RESISTENTE MÍNIMO DE LA SECCIÓN MAESTRA

El mínimo módulo resistente de la sección maestra exigido por el L.R.S., se calcula mediante la expresión (P3;Ch4;S5.5):

*Fórmula para obtener el modulo:*

$$Z_{min} = f_1 * KL * C_1 * L^2 * B * (Cb + 0,7) * 10^{-6}$$

- Siendo  $KL=1$
- Siendo  $f_1 = 1$  al ser factor de servicio y no poder ser menor a 0,5
- Siendo  $C_1$ :

$$C_1 = 10,75 - \left( \frac{300 - L}{100} \right)^{1,5} = 10,025$$

Sustituyendo todos los valores, los cuales se han definido ya anteriormente obtenemos:

$$Z_{min} = 25,325 \text{ m}^3$$

*Módulo resistente mínimo de la sección maestra*

### 1.21.4. MÍNIMO MOMENTO DE INERCIA

El mínimo momento de inercia exigido por el L.R.S., se calcula mediante la expresión (P3;Ch4;S5.9):

$$I_{min} = 3 * L * \frac{|Ms + Mw|}{Kl * \sigma} * 10^{-5} = 301,295 m^4$$

Calculamos este momento de inercia para el MW de arrufo anteriormente calculado, ya que es la situación más desfavorable.

Imín (m4)	I real (m4)
301,295	394,940

**Tabla 1.24 - Comparación inercia mínima y real**  
**Fuente: Propia**

## 1.22. ESFUERZOS CORTANTES

Al igual que para los momentos flectores, para determinar los límites admisibles de los esfuerzos cortantes a los que puede estar sometida la estructura, se descompone el esfuerzo cortante como suma de :

- Esfuerzo cortante en olas
- Esfuerzo cortante en aguas tranquilas

### 1.22.1. ESFUERZO CORTANTE EN OLAS

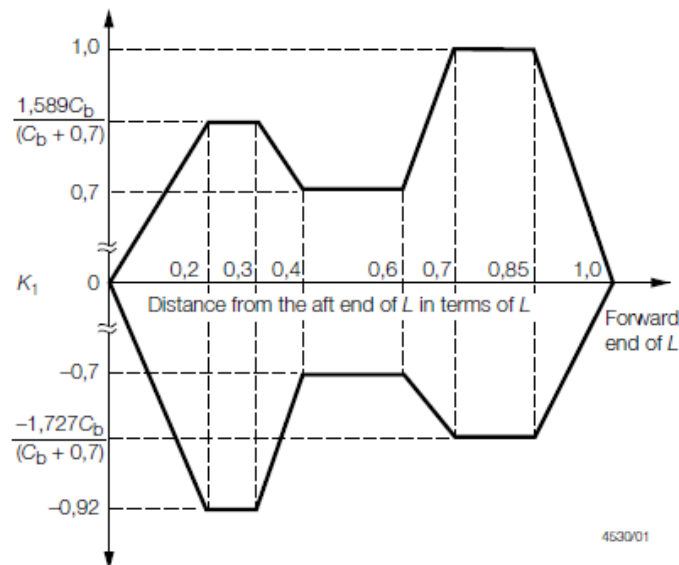
El valor de la fuerza cortante en olas viene definido por las siguientes expresiones del L.R.S. (P3;Ch4;S6.3):

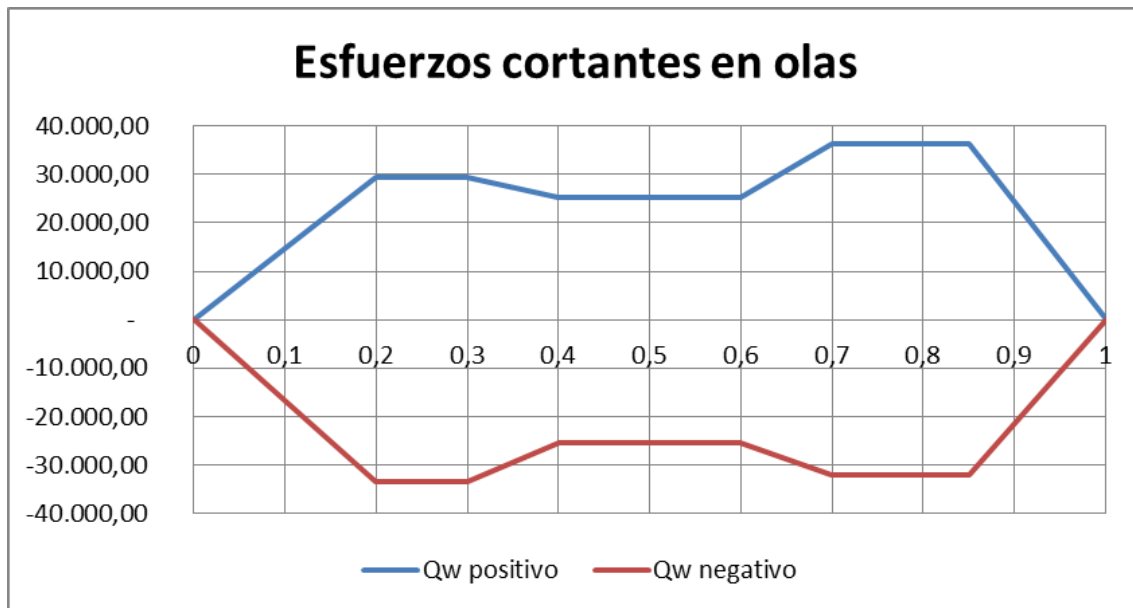
$$Q_{wo} = 0,3 * C1 * L * B * (Cb + 0,7)$$

$$Q_w = K1 * K2 * Q_{wo}$$

Siendo:

- $K1 = \pm 0,7$  ; según sea para la fuerza cortante positiva o negativa. El valor es 0,7 ya que la cuaderna maestra se encuentra entre el 0,4.L y el 0,6.L de la eslora desde la perpendicular de popa).





**Figura 1.34 - Distribución esfuerzo cortante en olas**  
 Fuente: Lloyd's Register

- K2 (factor de servicio) = 1
- El resto de los parámetros están especificados anteriormente.

Sustituyendo valores obtenemos los esfuerzos cortantes debidos a las olas en la sección maestra :

Qw positivo (kN)	Qw negativo (kN)
25.357,742	-25.357,742

**Tabla 1.25 - Esfuerzos cortantes en olas**  
 Fuente: Propia

### 1.22.2. ESFUERZO CORTANTE EN AGUAS TRANQUILAS

El valor de las fuerzas cortantes en aguas tranquilas, deberá ser siempre inferior o igual al de la fuerza cortante en aguas tranquilas de diseño, de forma que según P3;Ch4;6.4.1:

$$|Q_s| \leq |\overline{Q_s}|$$

Para el cálculo de la fuerza cortante en aguas tranquilas se debe definir el tipo de estructura del buque, en este caso es de Tipo E según P3;Ch4;Tabla 4.6.1. El valor de la fuerza cortante máxima permitida en aguas tranquilas viene dado por la expresión (P3;Ch4;S6.5):

$$|Q_s| = \tau * \frac{I * \delta i}{100 * A_z} - |Q_w|$$

Siendo:

- $\tau = \frac{110}{Kl} = 110 \text{ N/mm}^2$

- $I$ ; momento de inercia de la sección definida anteriormente
- $\delta_i = \frac{t_i}{f_i + m_i}$
- $t_i$ ; espesor de elemento estructural considerado (tabla 4.6.1)
- $m_i, f_i$ , factores determinar según tablas 4.6.1 y 4.6.2. También en estas tablas
- encontramos definidos  $A_i$  y  $b_i$ .
- $A_z$ : Primer momento respecto al eje neutro ( $\text{cm}^3$ ) del área de los elementos
- bajo consideración.

$$|\bar{Q}_s| = \tau \frac{I \delta_i}{100A_z} - |Q_w| \quad \text{kN (tonne-f)}$$

when

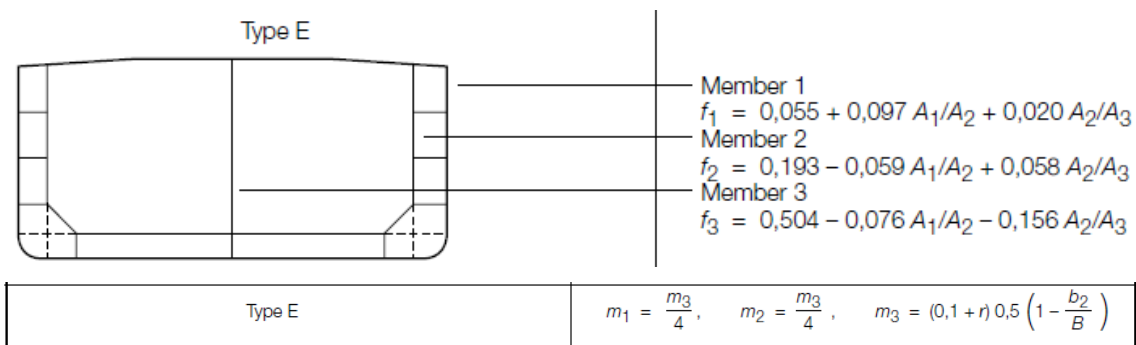
$$\delta_i = \frac{t_i}{f_i + m_i}$$

$i$  = structural member index for the hull configuration under consideration, see Table 4.6.1

$t_i$  = the plate thickness of the structural member at the vertical level and section under consideration, in mm

$f_i, m_i$  = factors determined from Tables 4.6.1 and 4.6.2 respectively, for the hull configuration under consideration.

**Figura 1.35 - Factores del esfuerzo cortante en aguas tranquilas  
 Fuente Lloyd's Register**



**Figura 1.36 - Tipo de estructura del buque  
 Fuente Lloyd's Register**

i	ti (mm <sup>2</sup> )	Ai (cm <sup>2</sup> )	fi	Bi (m)	mi	δ
1	20	360710	0.182	0	0.0894	73.733
2	18.5	321880	0.179	2	0.0894	68.803
3	18.5	355000	0.277	17	0.3576	29.132

**Tabla 1.26 - Coeficientes cálculo del esfuerzo cortante en aguas tranquilas**  
**Fuente: Propia**

Se utiliza el menor valor de δ<sub>i</sub>, y se obtiene:

$$|Q_s| = \tau * \frac{I * \delta_i}{100 * A_z} - |Q_w| = 25357.742 \text{ kN}$$

Q <sub>w</sub> (kN)
25.357,703

**Tabla 1.27 - Esfuerzo cortante en aguas tranquilas**  
**Fuente: Propia**

Este valor es el esfuerzo cortante en aguas tranquilas para la sección maestra, pero hay que hacer notar que este valor varía con la posición de la sección considerada a lo largo de la eslora. Este valor no puede ser superado en las distintas condiciones de carga.

## 1.23. ACERO TRANSVERSAL

El anillo transversal que sirve como soporte para recibir los esfuerzos de la estructura secundaria longitudinal, está compuesto por transversales de fondo, costado y cubierta. Este anillo se repite a lo largo de la zona de carga cada 5 m, cumpliendo con ello los requerimientos de la Sociedad de Clasificación (P4;Ch1;S6.4.2) y como ya se explicó en el cuadernillo 3 de disposición general.

El escantillón de estos elementos ha sido determinado siguiendo los criterios que la normativa del L.R.S. establece para los buques de casco sencillo, dado que, como tal anillo, no es considerado como doble casco y por ello no está incluido en el capítulo 9, específico para buques tanque de doble casco.

### 1.23.1. TRANSVERSALES DE FONDO

El espesor mínimo de los transversales de fondo viene dado por la expresión (P4;Ch9;S9.3):

$$t = (0,007 * dDB + 1) * \sqrt{k} = 13.331 \text{ mm}$$

Pero no excederá a:

$$t = 12 * \sqrt{k} = 12 \text{ mm}$$

Por lo que el espesor será de:

$$t = 12 * \sqrt{k} = 12 \text{ mm}$$

Siendo:

- dDB = 2000 mm ; altura de la quilla central. Vemos que cumplimos con la altura mínima reglamentaria, que viene dada por P4;Ch9;S9.3.3 como:

$$dDB = 28 * B + 205 * \sqrt{T} = 1761,685 \text{ mm}$$

- k = 1 (definido anteriormente)

Para la determinación del módulo, área y momento de inercia mínimos de estos refuerzos se usa la reglamentación correspondiente a Parte 4, Capítulo 10, Sección 2.5:

$$Z = 62 * K1 * s * hb * S^2 t * k = 70.440,2 \text{ cm}^3$$

$$A = 0,12 * Qx * k = 541 \text{ cm}^2$$

$$I = \frac{10,75}{k} * St * Z = 20.043.759,91 \text{ cm}^4$$

Siendo:

- K1 = 0,025 y K2 = 0,2675 (que posteriormente necesitaremos) obtenidos de P4;Ch10;Tabla10.2.1, a partir de los coeficientes  $\alpha$  y  $\beta$ , que a su vez (P4;Ch10;S2.4.1) :

$\beta$	Girder											
	$K_1$						$K_2$					
	$\alpha$						$\alpha$					
	0,0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	0,0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
0,02	0,210	0,210	0,195	0,175	0,125	0,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,04	0,210	0,210	0,195	0,175	0,125	0,0	0,960	0,960	0,980	1,000	1,000	1,000
0,06	0,210	0,210	0,195	0,170	0,125	0,0	0,940	0,940	0,960	0,980	1,000	1,000
0,08	0,205	0,205	0,190	0,167	0,125	0,0	0,920	0,920	0,940	0,970	1,000	1,000
0,10	0,200	0,200	0,185	0,165	0,125	0,0	0,900	0,900	0,920	0,960	0,990	1,000
0,20	0,180	0,180	0,170	0,150	0,120	0,0	0,800	0,820	0,860	0,920	0,980	1,000
0,40	0,150	0,150	0,150	0,135	0,115	0,0	0,670	0,730	0,760	0,840	0,950	1,000
0,60	0,130	0,130	0,135	0,125	0,110	0,0	0,580	0,630	0,690	0,790	0,910	1,000
0,80	0,120	0,120	0,120	0,120	0,105	0,0	0,520	0,540	0,630	0,730	0,880	1,000
1,00	0,100	0,100	0,115	0,115	0,100	0,0	0,460	0,500	0,580	0,680	0,850	1,000
	Transverses											
0,02	0,022	0,022	0,022	0,022	0,021	0,020	0,255	0,255	0,255	0,255	0,250	0,250
0,04	0,023	0,023	0,023	0,022	0,021	0,020	0,263	0,263	0,257	0,255	0,250	0,250
0,06	0,025	0,025	0,023	0,022	0,021	0,020	0,265	0,265	0,263	0,260	0,250	0,250
0,08	0,026	0,026	0,024	0,023	0,021	0,020	0,270	0,270	0,267	0,260	0,253	0,250
0,10	0,027	0,027	0,025	0,023	0,022	0,020	0,275	0,275	0,270	0,263	0,255	0,250
0,20	0,033	0,033	0,029	0,026	0,023	0,020	0,300	0,300	0,285	0,272	0,257	0,250
0,40	0,041	0,041	0,036	0,032	0,025	0,020	0,330	0,330	0,307	0,287	0,265	0,250
0,60	0,047	0,047	0,041	0,036	0,026	0,020	0,355	0,355	0,325	0,302	0,273	0,250
0,80	0,051	0,051	0,045	0,038	0,028	0,020	0,370	0,370	0,342	0,315	0,278	0,250
1,00	0,054	0,054	0,048	0,041	0,030	0,020	0,385	0,385	0,355	0,327	0,285	0,250

Figura 1.37 - Tabla de valores para calcular K1

Fuente; Lloyd's Register

$$\alpha = \frac{l1 - Sg}{2 * s} = 0,9$$

$$\beta = \frac{Sg^3 * It}{S^3 t * Ig} = 1$$

- $s = 3.400$  mm, es la separación de transversales definida ya en el cuadernillo 3 de disposición general en la zona de carga, que es donde escantillamos nuestra cuaderna maestra
- $hb = 0,75 \cdot D + 2,45 = 18,2$  m (Pt4;Ch10;S2.2.1)
- $ST = 27,1$  m, es la longitud efectiva de los transversales (Pt4 Ch10 ;S2.2.1;Fig10.2.1)
- $k = 1$  por tratarse de acero dulce (Pt4;Ch9;S1.6.1)
- $l = 33$  m es la longitud total del tanque (Pt4;Ch10;S2.2.1)
- $SG = 26,88$  m es la longitud efectiva de la quilla, que en ningún caso será menor de la eslora del tanque menos 1,8 veces la distancia entre anillos transversales, es decir, no será menor de 26,88 m en nuestro caso (Pt4;Ch10;S2.2.1)
- $IT = 4.248.208$  cm<sup>4</sup> es la inercia estimada de los transversales (Pt4;Ch10;S2.2.1)

2.5.3 The moment of inertia of bottom transverses is to be not less than:

$$I = \frac{10,5}{k} S_T Z \text{ cm}^4$$

**Figura 1.38 - Momento de inercia mínimo**  
**Fuente Lloyd's Register**

- $IG = 4.144.593,171$  cm<sup>4</sup> es la inercia estimada de la quilla (Pt4;Ch10;S2.2.1)

$$Q_x = 10,05 * K^2 * s * hb * St = 4508,265 \text{ kN}$$

Por tanto, exponiendo los resultados en una tabla resumen

Z (cm <sup>3</sup> )	A (cm <sup>2</sup> )	I (cm <sup>4</sup> )
704.402,2	541	20.043.759,91

**Tabla 1.28 – Características mínimas de escantillado transversales de fondo**  
**Fuente: Propia**

### 1.23.2. TRANSVERSALES DE COSTADO

Las expresiones que determinan el espesor mínimo en la zona de carga (P4;Ch9;S10.2.1) son las siguientes:

$$t = 2,15 * L^{0,3} = 10,97 \text{ mm}$$

$$t = 7 \text{ mm}$$

Lo que sea mayor.

Para cubrir estos requisitos se elige una plancha de 14 mm de espesor. Por tanto, baos y varengas tendrán este espesor.

Los espesores de los refuerzos secundarios, no excederán de 11 mm



Las expresiones que determinan el módulo mínimo (P4;Ch10;S2.7.1), el área (P4;Ch10;S2.7.2) y el momento de inercia mínimos (P4;Ch10;S2.7.3) del transversal de costado, son las siguientes:

$$Z = K3 * s * h_s * S^2 s * k = 16.692,703 \text{ cm}^3$$

$$A = 0,12 * Q_x * k = 412,829 \text{ cm}^2$$

$$I = 7,5 * \frac{S_s * Z}{k} = 744.911,8714 \text{ cm}^4$$

Siendo:

- $K3 = 8$  (Tabla 10.2.2)
- $h_s = 17,335\text{m}$  ; es la distancia del punto más bajo del transversal de costado hasta la cubierta (Fig. 10.2.3)
- $S_s = 5,950 \text{ m}$  ; es la longitud efectiva de los transversales (Fig. 10.2.3).
- $K4 = \text{no aplica}$  (Tabla 10.2.2)
- $Q_x = Q3 = 9,81 * K4 * h_s * s * S_s = 3440,24 \text{ kN}$

Por tanto, exponiendo los resultados en una tabla resumen

Z (cm <sup>3</sup> )	A (cm <sup>2</sup> )	I (cm <sup>4</sup> )
166.692,703	412,829	744.911,8714

**Tabla 1.29 - Características mínimas escantillado transversales de costado**  
**Fuente: Propia**

### 1.23.3. TRANSVERSALES DE CUBIERTA

Las expresiones que determinan el módulo mínimo (P4;Ch10;S2.8.1), el área seccional mínima (P4;Ch10;S2.5-8.2) y el momento de inercia mínimo (P4;Ch10;S2.8.3) , requerido para estos refuerzos transversales de cubierta será :

$$Z = 53,75 * (0,0269 * s * L + 0,8) * (S_t + 1,83) * k = 22.035,266 \text{ cm}^3$$

$$A = 0,12 * Q_x * k = 63,398 \text{ cm}^2$$

$$I = 7,5 * \frac{S_s * Z}{k} = 2.809.496,415 \text{ cm}^4$$

Siendo:

- $ST = 17 \text{ m}$  ; longitud efectiva del transversal de cubierta. Considero el transversal del tanque de carga central para obtener el resultado más exigente. (P4;Ch10;Fig10.2.1)
- $hb = \frac{L1}{56} = 3,4 \text{ m}$ , y  $K2$  el correspondiente a los transversales de fondo (L1 fue definida anteriormente como L, pero sin ser mayor de 190m según señala en P4;Ch1;Tabla1.4.1), luego en nuestro caso es 190m.

$$Q_x = Q_1 = 10,05 * K_2 * s * hb * St = 528,319 \text{ kN}$$

Por tanto, exponiendo los resultados en una tabla resumen:

Z (cm3)	A (cm2)	I (cm4)
22.035,266	63.398	2.809.496,415

**Tabla 1.30 - Escantillado de refuerzos transversales de cubierta**  
**Fuente: Propia**

#### 1.23.4. REFUERZOS TRANSVERSALES DEL PANTOQUE

Dado que el pantoque no está reforzado longitudinalmente procede el estudio de la necesidad de disponer refuerzos transversales entre dos anillos. En caso de ser necesario, se trataría de cartelas soldadas desde el último refuerzo del fondo hasta el último inferior del costado. El L.R.S. establece la separación máxima entre cada dos de estas consolas, que será (P4;Ch9;S5.4):

$$Separacion \ max = \frac{8 * 10^6 * ts^2}{D * Rb} * \sqrt{\frac{ts}{Rb}} = 3150 \text{ mm}$$

donde ts es el espesor de las planchas del pantoque, de 22 mm.

Dado que el valor de la separación máxima es inferior a la separación de 5000 mm entre dos anillos, podemos poner una cartela cada 3400 mm.

#### 1.24. ESCANTILLONADO DE LOS MAMPAROS TRANSVERSALES

Los tanques de carga están separados entre sí por mamparos transversales estancos colocados sobre una tolva que limita el tanque de lastre, como ya sabemos por la disposición general.

El escantillado de los mismos se realiza siguiendo los requerimientos dados por el L.R.S. en la P4;Ch9;S7. Vamos a calcular los mínimos que deben cumplirse, pero hemos considerado oportuno escantillonar estos mamparos transversales de igual forma que el mamparo longitudinal de separación de tanques de carga, escantillonado que está definido en la cuaderna maestra.

##### 1.24.1. ESCANTILLONADO DE LAS PLANCHAS

En primer lugar obtenemos el espesor mínimo de las planchas (P4;Ch9;Tabla9.7.1):

$$t = 0,0044 * s * f * \sqrt{k * h_1}$$

Siendo:

- s=850 mm la separación entre los refuerzos del mamparo (P4;Ch9;S7.2.1)
- $f = 1,1 - \frac{s}{2500 * s_1}$  aunque no necesita tomarse mayor de 1, con lo que se toma  $f = 1$
- k=1

$$h1 = h + \frac{D1}{8}$$

- 
- h es la distancia entre el elemento a considerar y el punto más alto del tanque y h1 nunca será menor de 0,72. (h+R. b1). Calcularemos h desde la mitad de la longitud vertical de cada plancha, y tomaremos como punto más alto del tanque el considerado en el punto más alto de la brusca, siendo ésta 2 m
- R = senθ = 0,404 ; donde θ es el ángulo de balanceo en grados y
 
$$\text{sen}\theta = \left(0,45 + 0,1 * \frac{L}{B}\right) * \left(0,54 - \frac{L}{1270}\right) = 0,404$$
- 
- b1 = 15 m ; es la distancia horizontal entre el centro del elemento a
- considerar y la esquina del tanque (para este cálculo hemos considerado que hablamos del tanque central, ya que al tener mayor manga hará que el resultado final sea más exigente).
- D1 = D en metros aunque puede no tomarse mayor de 16 m.

Dividimos pues el mamparo transversal en las mismas zonas horizontales en que en están divididos los mamparos longitudinales de separación de tanques, y lo están en 5 planchas de diferentes espesores. Espesores que hemos considerado iguales a los de los mamparos longitudinales teniendo en cuenta los mínimos exigidos, excepto el espesor de la plancha de más arriba, ya que el espesor que necesitaba la plancha superior del mamparo transversal era bastante menor, además compensaremos, como posteriormente se verá, poniendo refuerzos de mayor escantillón que los de los mamparos longitudinales. Empezando por la zona más baja (la más contigua al doble fondo), los espesores mínimos y reales serán:

Zona	s (mm)	h (m)	h1 (m)	0,72*(h+R*b1)	tmin (mm)	t real (mm)
1	850	2	4	5,8032	9,00959712	10
2	850	6	8	8,6832	11,020759	12
3	850	10	12	11,5632	12,95574	13
4	850	14	16	14,4432	14,96	15
5	850	15,5	17,5	15,5232	15,6455425	16

**Tabla 1.31 - Espesor planchas mamparos transversales**  
Fuente: Propia

### 1.24.2. ESCANTILLONADO DE LOS REFUERZOS DEL MAMPARO

Hemos considerado oportuno que los refuerzos longitudinales (palmejares) de los mamparos transversales estén situados a la misma altura para de esta manera favorecer la transición de tensiones entre la estructura.

Calcularemos el módulo mínimo que han de tener estos refuerzos según la expresión del L.R.S. (P4;Ch9;Tabla9.7.1):

$$Z = 0,0067 * k * s * S1^2 * h2$$

Siendo:

- $k = 1$
- $s = 850 \text{ mm}$  ; definido anteriormente.
- $S1 = 3.4 \text{ m}$  ; separación entre anillos transversales.

$$h2 = h + \frac{D1}{8}$$

- $h$  ya se definió en el punto anterior, y en este caso  $h2$  nunca será menor de  $0,55 \cdot (h+R \cdot b1)$ , estando  $R$  , $b1$   $D1$  definidos también en el punto anterior.

En las tablas siguientes se calcula pues el módulo resistente mínimo exigido, y el real obtenido con su plancha asociada, para comprobar así, que escogiendo los mismos refuerzos por grupos que ya se escantillaron y escogieron para los mamparos longitudinales, no cumplimos con lo exigido en los mamparos transversales, excepto en los refuerzos de la zona 1. Por tanto, en este caso, aumentaremos un poco el escantillado de los refuerzos para superar el mínimo módulo resistente calculado a continuación.

Zona	s (mm)	h (m)	h2 (m)	$0,55 \cdot (h+R \cdot b1)$	Zmin (cm <sup>3</sup> )
1	850	2	4	4,433	263,3368
2	850	6	8	6,633	526,6736
3	850	10	12	8,833	790,0104
4	850	14	16	11,033	1.053,3472
5	850	15,5	17,5	11,858	1.152,0985

**Tabla 1.32 - Módulo resistente mínimo refuerzos primarios mamparos trans.**  
**Fuente: Propia**

El ancho de plancha asociada se toma como el mayor valor entre 600 mm. o  $(40 \cdot t_p)$  (P3;Ch3;S3.2.3) siendo  $t_p$  el espesor de la plancha. En nuestro caso, resulta mayor en las tres primeras planchas, exceptuando la 4 y 5 que serán de 600mm  $(40 \cdot t_p)$ , así que hemos tomado esta dimensión junto con el espesor, para la plancha asociada en cada caso de la tabla anterior.

3.2.3 The geometric properties of rolled or built stiffener sections and of swedges are to be calculated in association with effective area of attached load bearing plating of thickness  $t_p$  mm and of width 600 mm or  $40t_p$  mm, whichever is the greater. In no case, however, is the width of plating to be taken as greater than either the spacing of the stiffeners or the width of the flat plating between swedges, whichever is appropriate. The thickness,  $t_p$ , is the actual thickness of the attached plating. Where this varies, the mean thickness over the appropriate span is to be used.

**Figura 1.39 - Valor mínimo de ancho de la plancha**  
**Fuente Lloyd's Register**

Por otra parte, verticalmente los mamparos transversales estarán reforzados con vigas también en forma de L como las escogidas para todo el escantillado de la cuaderna maestra, que se situarán encima de las dos vagras del doble fondo. Habrá por tanto en total 4 refuerzos verticales de este tipo (2 en cada semimanga). Su escantillado será:

Ala (mm)	Alma (mm)	Z (cm <sup>3</sup> )
350x16	150x16	1.333,24

**Tabla 1.33 - Escantillado refuerzos secundarios mamparos transversales**  
**Fuente: Propia**

### 1.25. MÓDULO RESISTENTE DE LA CUADERNA MAESTRA

Una vez definido el escantillado de los elementos que constituyen la cuaderna maestra, se procede al cálculo del momento de inercia, la posición del eje neutro y el módulo resistente de dicha sección. Los cálculos se han realizado empleando una tabla Excel. Estos datos son:

$$heje\ neutro = 8.880\ m$$

Geometric Properties		Geometric Properties	
<input checked="" type="radio"/> Gross scantling <input type="radio"/> Net scantling		<input type="radio"/> Gross scantling <input checked="" type="radio"/> Net scantling	
Full section   Half section		Full section   Half section	
Gross area of cross-section	6.07736 m <sup>2</sup>	Gross area of cross-section	5.50986 m <sup>2</sup>
Effective area of cross-section	6.07736 m <sup>2</sup>	Effective area of cross-section	5.50986 m <sup>2</sup>
Moment of inertia / GY axis	394.9404 m <sup>4</sup>	Moment of inertia / GY axis	357.4521 m <sup>4</sup>
Moment of inertia / GZ axis	863.3427 m <sup>4</sup>	Moment of inertia / GZ axis	780.1543 m <sup>4</sup>
Neutral axis (above base line)	8.880 m	Neutral axis (above base line)	8.845 m
Section modulus at deck (w/p)	32.5852 m <sup>3</sup>	Section modulus at deck (w/p)	29.4087 m <sup>3</sup>
Section modulus at bottom (w/f)	44.4766 m <sup>3</sup>	Section modulus at bottom (w/f)	40.4113 m <sup>3</sup>
Reference Young Modulus = 206000 Mpa		Reference Young Modulus = 206000 Mpa	

**Figura 1.40 - Salida programa Mars 2000 de escantillado de cuaderna maestra**  
**Fuente: Propia**

Concepto	Escantillado total	Escantillado neto
Momento de inercia	394,9404 m4	357,4521 m4
Distancia del eje neutro a la línea base	8,880 m	8,845 m
Módulo resistente de la cubierta	32,5852 m3	29,40787 m3
Módulo resistente del fondo	44,4766 m3	40,4113 m3

**Tabla 1.34 - Módulo resistente de la cuaderna maestra**  
**Fuente: Propia**

Además, hacemos un resumen de los momentos y los esfuerzos cortantes que nos da como salida el programa.

	Hogging	Sagging	
Design S.W.B.M. (still water bending moment)	2 034 052.	- 1 877 012.	(kNm)
Design vertical wave bending moment (Rule)	2 606 146.	- 2 763 186.	(kNm)
Design horizontal wave bending moment (Rule)	1 942 917.		(kNm)
	Positive	Negative	
Rule vertical wave shear force	23 036.	- 23 036.	(kN)

**Figura 1.41 - Salida Mars 2000 momentos flectores y esfuerzos cortantes**  
**Fuente: Propia**

Ultimate Bending Capacity (kN.m)				
Calculated with net scantling (with corrosion margin x 1.000)				
	Mu	Navigation	Mb	%
Hogging	8 742 129.	8 321 083.	2 966 761.	35.65 Hogging
Sagging	- 7 480 018.	- 7 119 758.	- 3 189 505.	44.80 Sagging

**Figura 1.42 - Salida programa Mars 2000 pandeo**  
**Fuente: Propia**

Concepto	Quebranto (kN)	Arrufo (kN)
Momento flector de diseño en aguas tranquilas	2.034.052	-1.877.012
Momento flector de diseño en olas	2.606.146	-2.763.186
Concepto	Positivo	Negativo
Esfuerzo cortante	23.036	-23.036

**Tabla 1.35 - Momentos flectores y esfuerzos cortantes**  
**Fuente: Propia**

## 1.26. RESUMEN GRÁFICO DEL ESCANTILLONADO DE LA CUADERNA MAESTRA

A continuación se reproducen las figuras en las que se recogen, mediante códigos de color, la resistencia del casco, la resistencia local de las planchas, la resistencia local de los refuerzos, el estudio del pandeo de cada uno de los elementos que integran la estructura, los esfuerzos tangenciales verticales y horizontales, así como un croquis con los espesores de todas las planchas y los escantillones de todos los refuerzos. Todo esto es el resultado del programa empleado y ya explicado Mars 2000.

Cada figura va acompañada de su leyenda de colores, tanto para evaluar los ratios correspondientes en la resistencia de la estructura como para indicar los espesores de las planchas y escantillones de refuerzos adoptados por grupos.

### 1.26.1. RESUMEN DE ESESORES DE LAS PLANCHAS

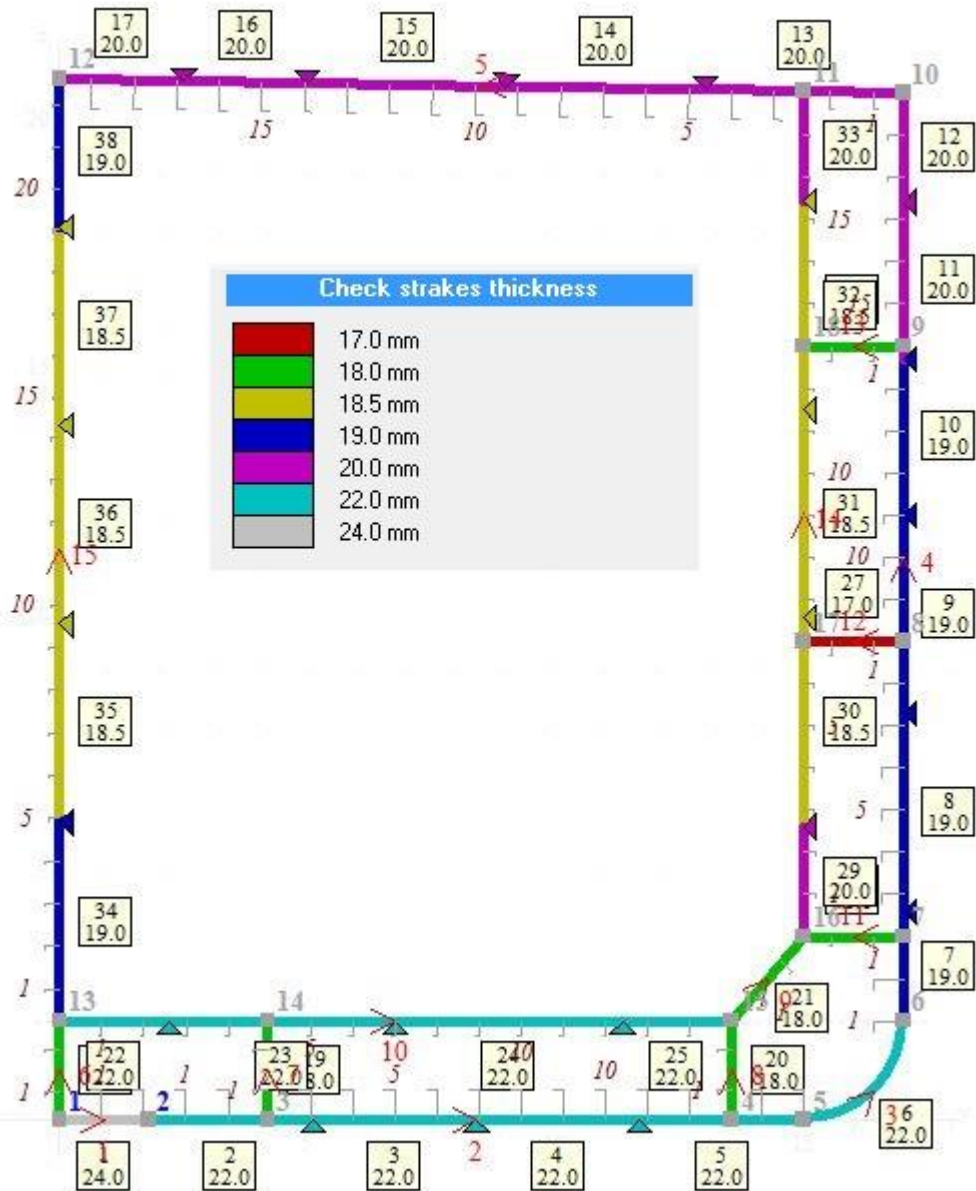


Figura 1.43 - Resumen de los espesores de planchas  
 Fuente: Propia



1.26.2. RESUMEN DEL ESCANTILLÓN DE LOS REFUERZOS

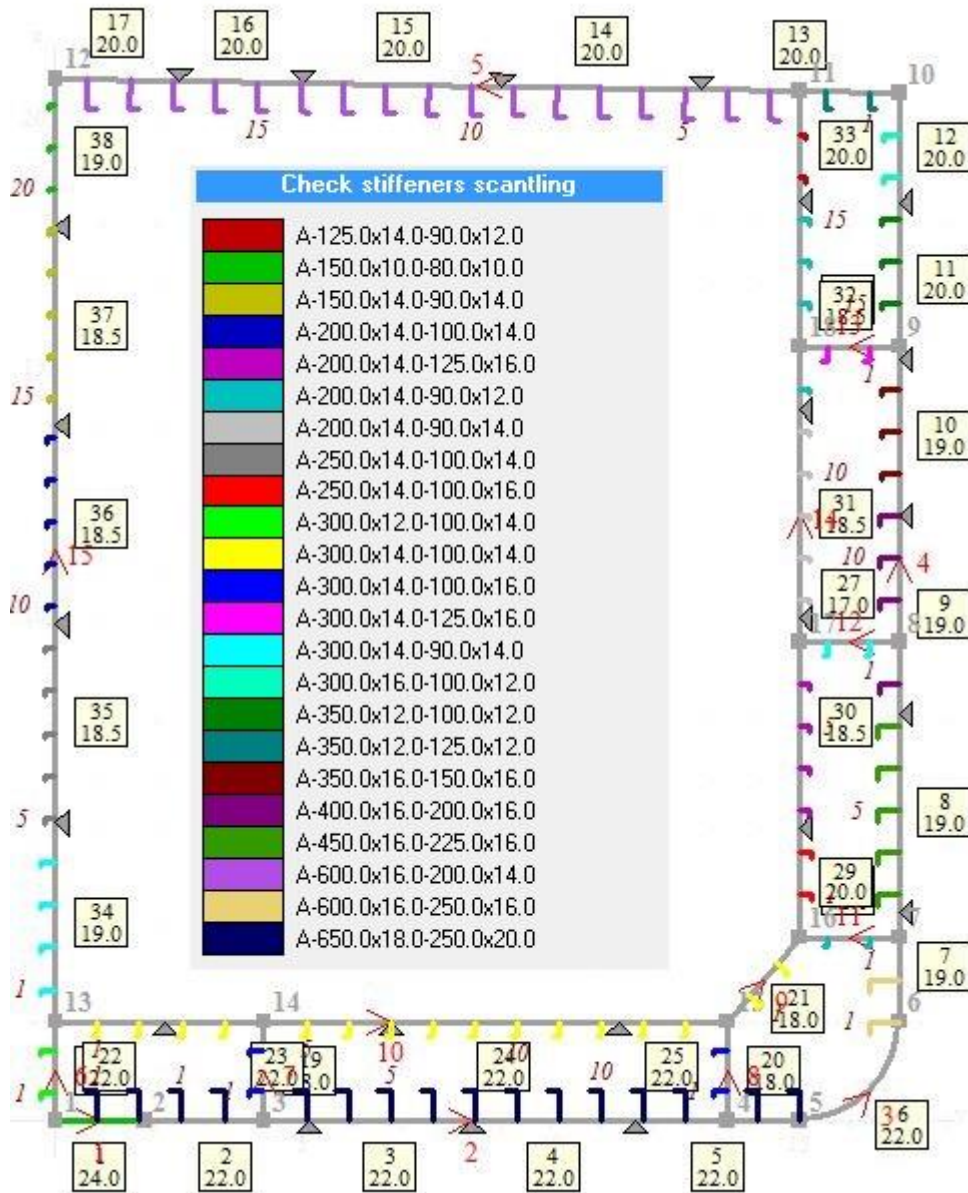


Figura 1.44 - Resumen del escantillado de los refuerzos  
 Fuente: Propia

### 1.26.3. FUERZA TANGENCIAL VERTICAL

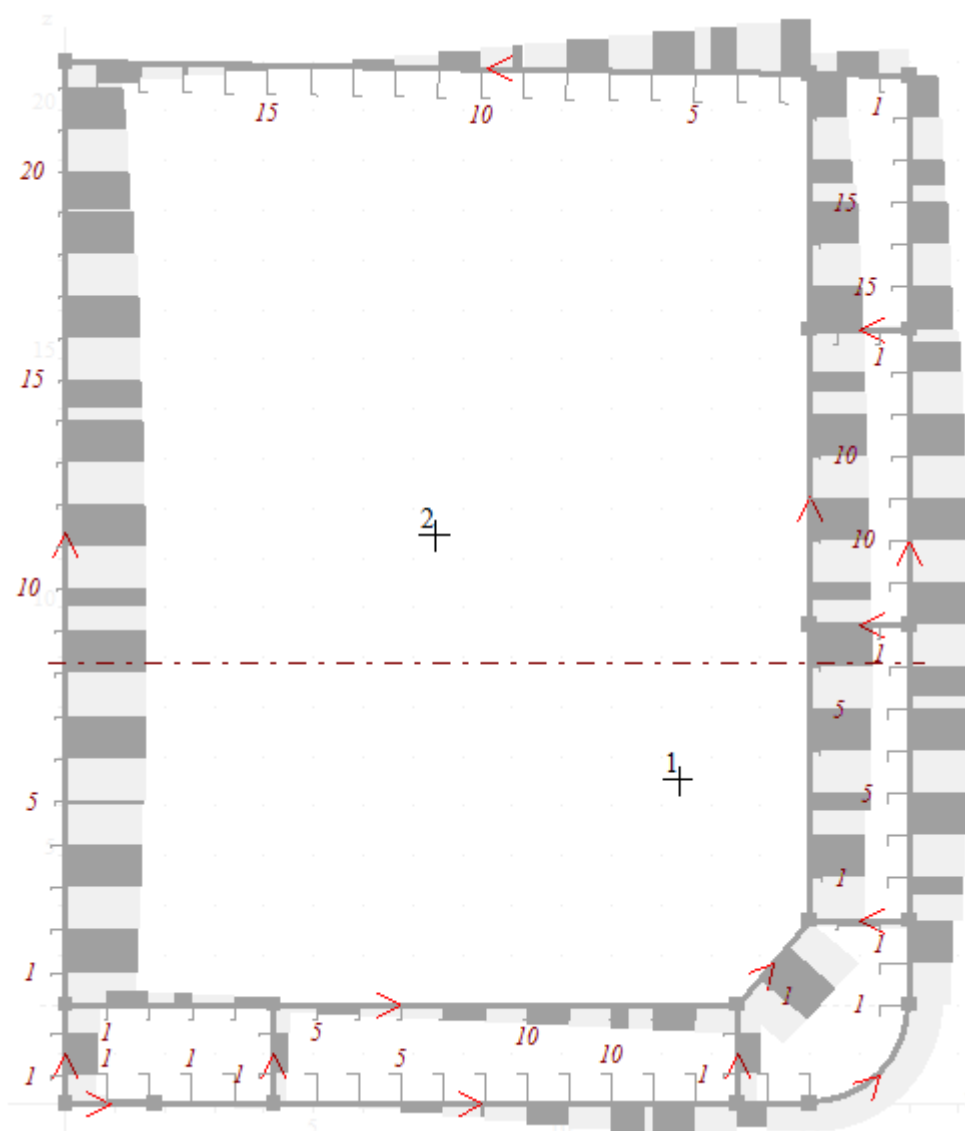


Figura 1.45 - Fuerza tangencial vertical  
Fuente: Propia

#### 1.26.4. FUERZA TANGENCIAL HORIZONTAL

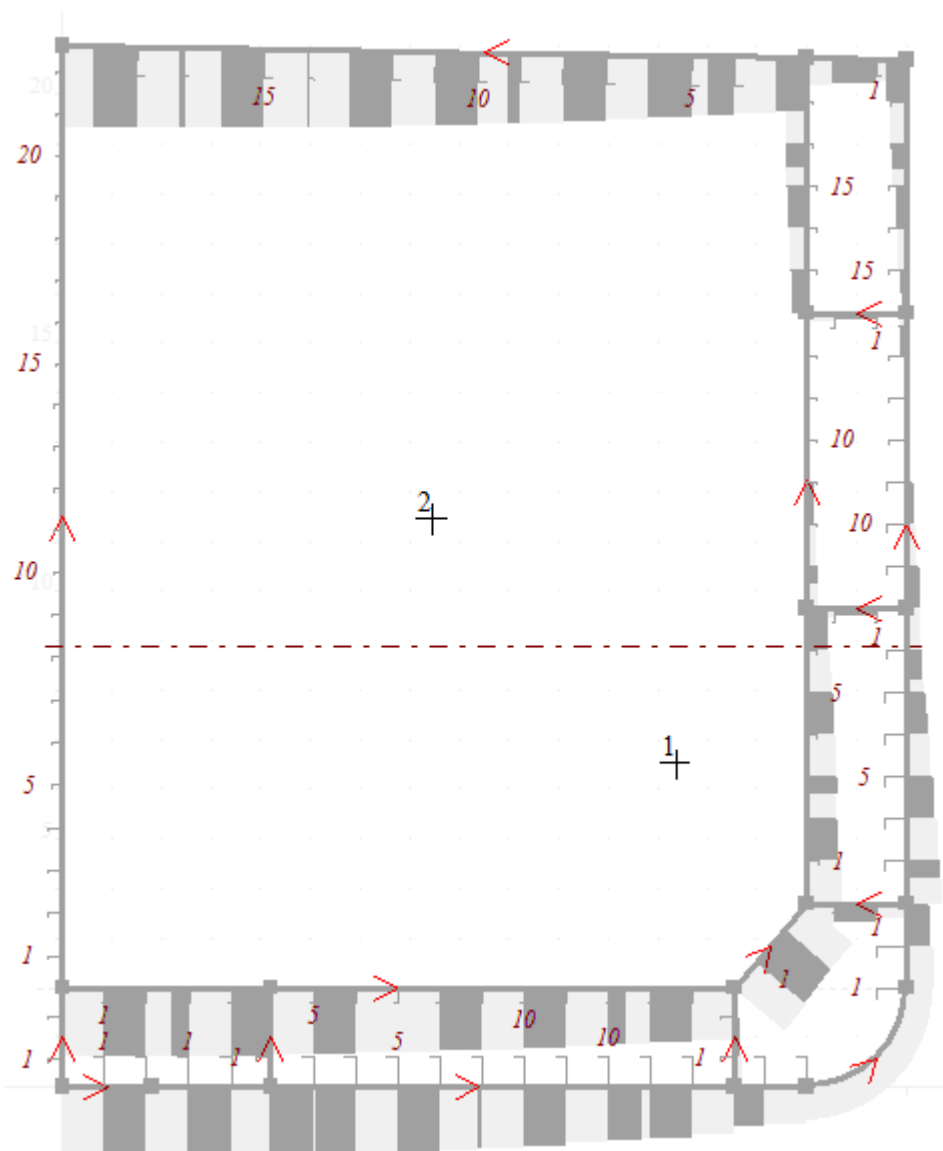


Figura 1.46 - Fuerza tangencial horizontal  
Fuente: Propia

### 1.26.5. TORSIÓN DE SAINT VENANT

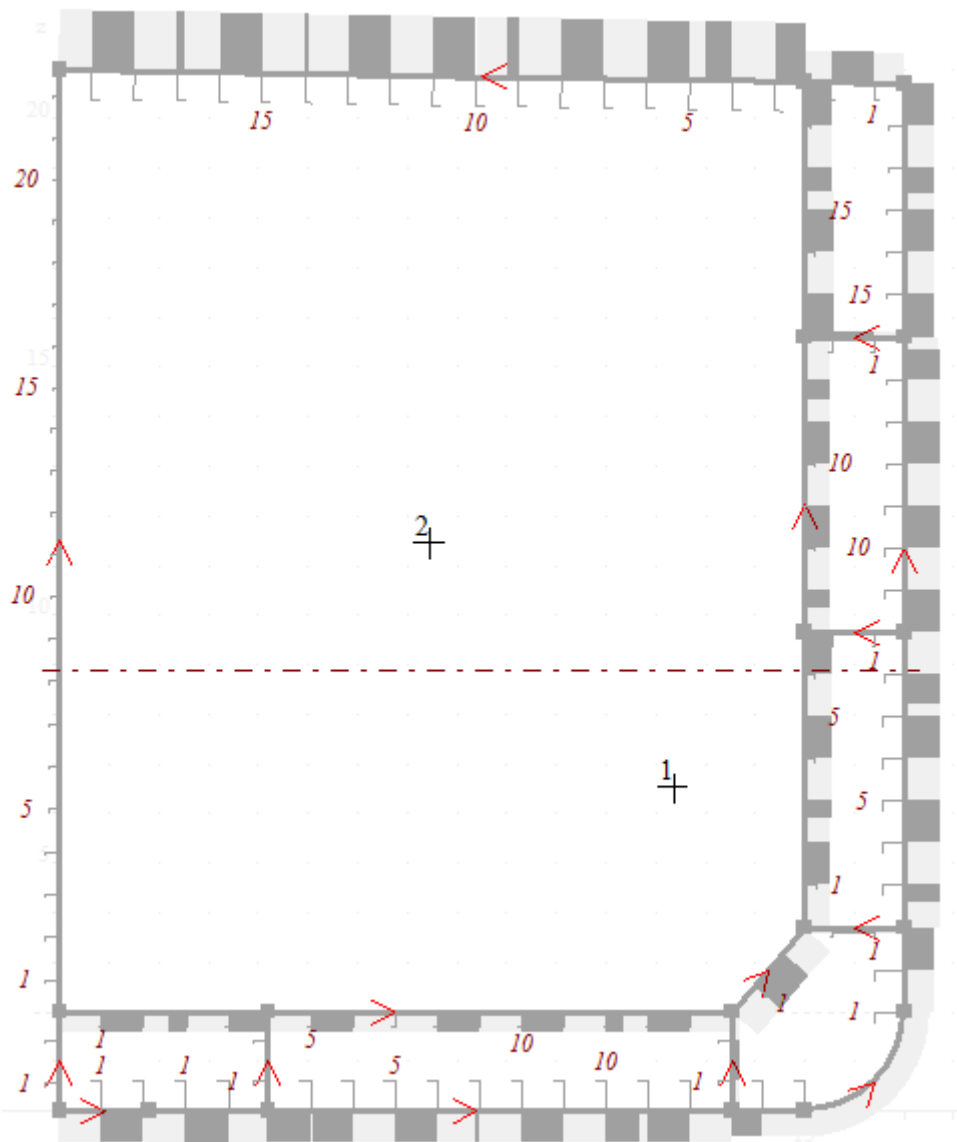


Figura 1.47 - Torsión de Saint Venant  
Fuente: Propia

### 1.26.6. PAR DE PANDEO

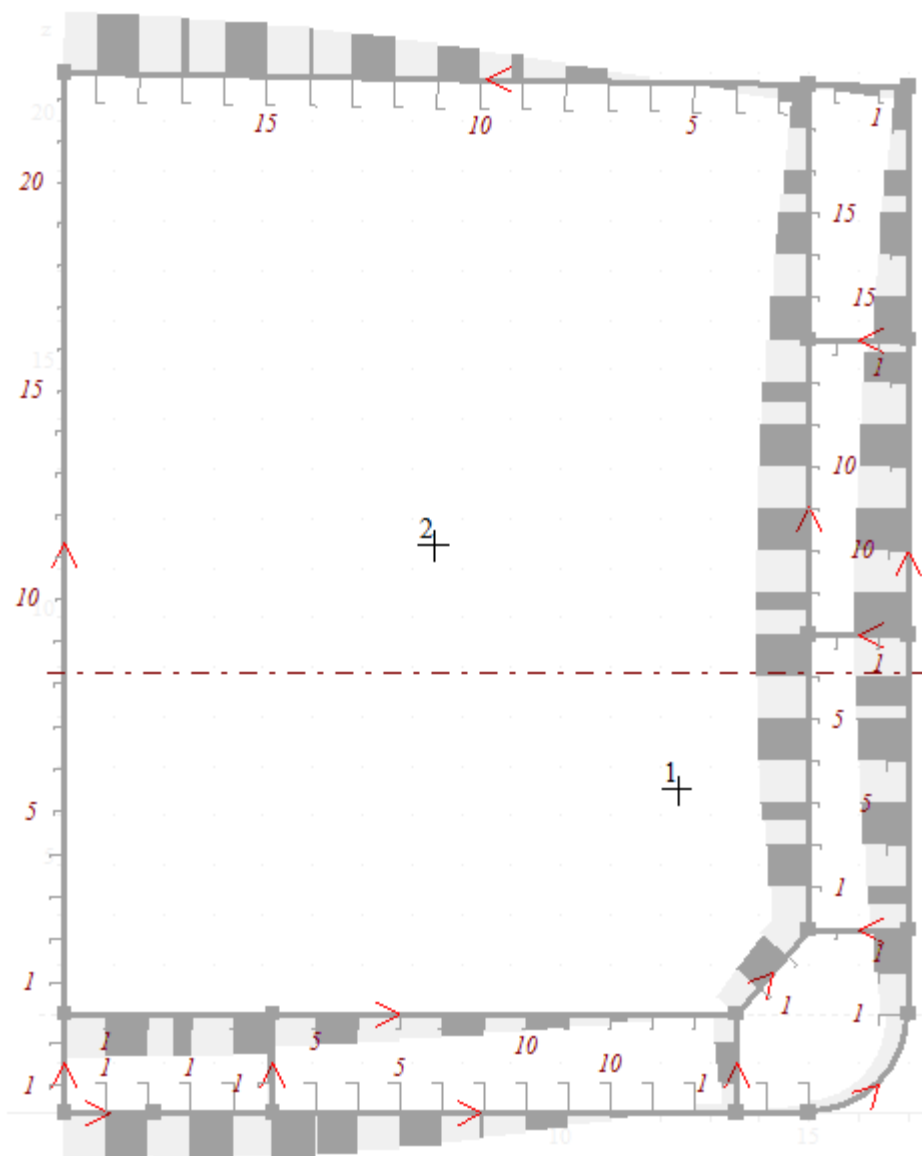
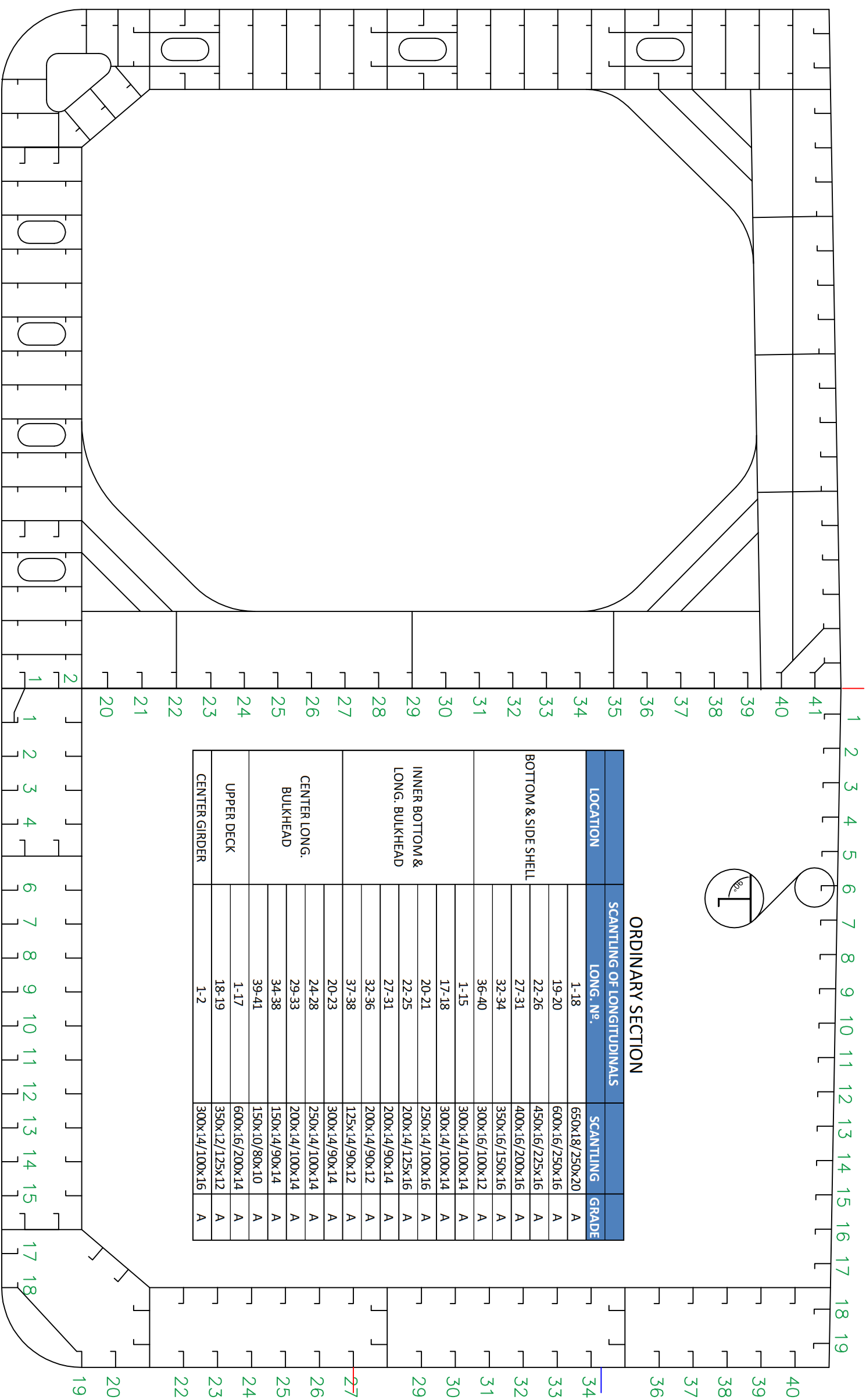


Figura 1.48 - Diagrama par de pandeo  
Fuente: Propia

## **Capítulo 2. ANEXO I. ESCANTILLONADO DE LA CUADERNA MAESTRA**

# CRUJÍA



WL

E.N

## ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR (UDC)

ANTEPROYECTO PETROLERO AFRAMAX DE 80.000 DWT

Revisado por: Jose Antonio González Lorente	Revisado por: Marcos M. G.	Aprobado por: Marcos M. G.	Archivo CAD: DGDWG	Fecha 19/02/2017	Escala 1/110	T. Papel A/3
Máster en Ing. Naval y Oceanica			Descripción del plano: Escantillonado C. Maestra			
Trabajo fin de máster			Número de proyecto: 17-27	Edición 0		Hoja nº: 1/1