



## **4- NORMAS PARA LA CONSTRUCCIÓN Y CLASIFICACIÓN DE EMBARCACIONES DE RECREO: RINA 1996**

### **4.1- ÍNDICE GENERAL**

#### **4.2- SECCIÓN A: CLASIFICACIÓN**

##### 4.2.1- Principios y condiciones de clasificación

4.2.1.1- Características generales

4.2.1.2- Características de servicio

4.2.1.2- Características de servicio

4.2.1.3- Categorías

##### 4.2.2- Reconocimientos

4.2.2.1- Durante la construcción

#### **4.3- SECCIÓN B: CONSTRUCCIÓN CASCO**

##### 4.3.1- PARTE I

4.3.1.1- Requisitos generales

4.3.1.2- Accesorios del casco

4.3.1.3- Equipamiento

4.3.1.4 - Tanques de fuel

4.3.1.5- Cargas

4.3.1.5.1- Presiones de diseño para el fondo

4.3.1.5.2- Presiones de diseño para el costado

4.3.1.5.3- Presiones de diseño para la cubierta

4.3.1.5.4- Presiones de diseño para los mamparos estancos

##### 4.3.2-PARTE III Construcción de cascos de RPF

4.3.2.1- Requisitos generales

4.3.2.2- Materiales

4.3.2.3- Construcción y control de calidad

4.3.2.4- Resistencia longitudinal

4.3.2.5- Planchas externas

4.3.2.6- Estructura del fondo

4.3.2.7- Estructura de costado

4.3.2.8- Cubierta

4.3.2.9- Mamparos



4.3.2.10- Superestructura

4.3.2.11- Escantillón con estructura de sándwich

*Nota: En este trabajo solamente se van a desarrollar las partes que sean de interés para nuestro proyecto.*

No me gustaría empezar, sin hacer referencia, a un punto de la guía RINA para la clasificación de embarcaciones de recreo, que me ha llamado mucho la atención, por ello cito textualmente

*“ésta guía no pretende ser un sustituto o un juicio independiente de los diseñadores profesionales, además en esta guía no se cubren todos los aspectos necesarios para el diseño de barcos. Esto es especialmente adecuado para aspectos relacionados con quillas y otros accesorios que no son objeto de estudio en esta guía cuyos diseñadores son los únicos responsables”*

Queda claro por tanto, que además de la aplicación de la norma, durante el desarrollo del diseño, es de vital importancia utilizar el sentido común para interpretar los resultados obtenidos.



## 4.2- SECCIÓN A: CLASIFICACIÓN

### 4.2.1- Principios y condiciones de clasificación

#### 4.2.1-1- Características generales

La clase a la que pertenece nuestra embarcación, construida bajo la supervisión de la sociedad de clasificación, viene representada a través de unos símbolos que expresamos a continuación

**100 – A – 1·1 “Y”**

Siendo

- 100** Características de asignación global
- A** Este carácter es asignado a embarcaciones construidas en concordancia con las reglas RINA u otras reglas reconocidas como equivalentes.
- 1·** Características de asignación al casco separadamente.
- 1** Características de asignación a la maquinaria separadamente.
- Y** Indica que la embarcación es deportiva o de placer

#### 4.2.1-2- Características de servicio

Las características del servicio es expresada por la abreviatura **NAV**, seguido de un símbolo indicando el servicio por el cual dicho barco está reconocido.

En nuestro caso, queremos construir una embarcación con servicio sin restringir, por lo que el símbolo es **A**.

#### 4.2.1-3- Categorías

Embarcaciones propulsadas por motores de combustión interna, con cubierta parcial, es decir que no son de cubierta corrida, llamados motoras, reciben la categoría de **MS**



## **4.2.2- Reconocimientos**

### **4.2.2.1- Durante la construcción**

Durante la construcción del primer modelo deben supervisarse los siguientes puntos:

- a- Cumplimiento con los planos aprobados y con las especificaciones
- b- Llevar a cabo las pruebas requeridas, tanto las destructivas y no destructivas, así como los equipos mecánicos
- c- Realizar las pruebas hidrostáticas
- d- Revisar el alineado de ejes
- e- Poner a prueba el equipo de amarre y fondeo

Además en embarcaciones de fibra, se establece un procedimiento especial de reconocimiento

- a- Al comenzar el laminado con la aplicación de gel-coat
- b- Antes de la disposición de los refuerzos internos
- c- Cuando el casco es sacado del molde
- d- Cuando la cubierta es ensamblada
- e- Si se construye en sándwich, se revisara la colocación del mismo



## 4.3- SECCIÓN B: CONSTRUCCIÓN CASCO

### 4.3.1- PARTE I

#### 4.3.1.1- Requisitos generales

##### Aplicación de la norma

La parte I, se aplica a todas las embarcaciones, independientemente de cual sea el material de construcción, además de la parte I, se aplicara la parte del reglamento que corresponda al material de la embarcación, en nuestro caso nos limitaremos a analizar la parte III, que hace referencia a la construcción de embarcaciones de fibra de vidrio.

##### Cálculos directos

En los cálculos directos, deben tomarse cargas estáticas y dinámicas. Para las cargas estáticas, se tomarán aquellas que el diseñador prevea que va a tener la embarcación o simplemente se podrán tomar las condiciones reflejadas en la norma.

Las cargas dinámicas, deben derivarse de fórmulas reconocidas por la propia sociedad, de medidas tomadas en modelos y extrapoladas a su escala o de embarcaciones similares a escala 1 a 1.

##### Símbolos

- **L [m]** Eslora en flotación, tomada desde el extremo de la roda hasta el codaste en el plano de simetría
- **B [m]** Manga máxima
- **D [m]** Puntal, medido verticalmente en la sección media de L, desde la línea base hasta el bao en el costado de la cubierta mas alta
- **D<sub>1</sub> [m]** Puntal, medido verticalmente en la sección media de L, desde la parte mas baja de la quilla maciza hasta el bao en el costado de la cubierta mas alta
- **T [m]** Calado, medido en la mitad de L, desde la línea de flotación de máxima carga y el lado más profundo de la quilla
- **T<sub>1</sub> [m]** Calado, desde la parte más baja (idealmente extendida si es necesario) hasta la línea de flotación de máxiama carga en L/2



- $\Delta$  [t] Desplazamiento de la embarcación para el calado T
- V [Knot] Máxima velocidad de la embarcación para el desplazamiento  $\Delta$
- s [m] Espaciado entre refuerzos secundarios
- S [m] Espaciado entre cuadernas

### Definiciones

Espaciado entre cuadernas ( $S_R$ ) [m], en general el espaciado entre refuerzos longitudinales o transversales no excederá de 1.2 veces el espaciado entre cuadernas

$$S_R = 0.350 + 0.005 L$$

### Superestructura

La superestructura, es cualquier parte de cubierta situada por encima de la cubierta más alta, que se extienda de lado a lado del casco o que no esté introducida más de un 4% de la manga local.

### Subdivisión e integridad del casco

Para aquellas embarcaciones dotadas de flotabilidad permanente, es decir aquellas que permanecen a flote cuando están completamente inundados, recibirán la notación especial **SBL**.

### Cubierta superior, mamparos y subdivisión

Par  $L \leq 15$  m, la cubierta superior puede ser parcial, dependiendo del tipo de embarcación y servicio que vaya a prestar, no hace falta que la embarcación esté provista de mamparo de colisión, en cuyo caso debería estar situado entre  $0.05 \cdot L$  y  $0.1 \cdot L$ .

La maquinaria propulsora debe ir colocada en un espacio apropiado y separada por un mamparo de cualquier espacio habitable.

La cubierta superior debe ser estanca y cualquier apertura que tenga deberá llevar un sistema fijo para que cierre herméticamente, estas aperturas deben ser operables desde los dos espacios que separe.

Tanto el mamparo de colisión como el de cámara de máquinas, deben estar dotados de aperturas adecuadas para que el personal pueda efectuar las operaciones de mantenimiento, además las aperturas deben poderse abrir con una velocidad adecuada y también desde ambos lados.



El acceso a espacios que contengan tanques de combustible con Flash point (Punto de encendido) menor o igual a 55° C, o a espacios de máquinas que utilizan dicho combustible, debe ser desde la apertura.

Las tuberías y cables que deban atravesar mamparos, estarán provistos de juntas adecuadas para evitar el paso de agua y gas.

### Aperturas

Las aperturas tanto de casco como de superestructuras, deben estar provista de sistemas fijos que eviten la entrada libre de agua

### Tomas de mar

Todas las aperturas situadas por debajo de la línea de flotación, estarán dotadas de válvulas de cierre. Estas válvulas serán de un material adecuado resistente a la corrosión, además estarán instaladas directamente sobre el fondo del casco y en una zona de fácil acceso y practicable.

La toma de mar para el sistema de enfriamiento del motor, estará dotada de una concha acoplada directamente en el fondo del casco, y después de la válvula se colocará un filtro, el filtro será de material resistente a la corrosión y fácil para cambiar, por lo que se instalará por encima de la línea de flotación de máxima carga.

### Tuberías

Todas las tuberías situadas por debajo de la línea de flotación de máxima carga, tendrán el espesor adecuado y serán de material resistente a la corrosión, también se tendrá en cuenta la compatibilidad electroquímica con el resto de materiales (corrientes galvánicas). Las abrazaderas deben ser todas de acero inoxidable.

Las juntas, válvulas, codos etc. se harán del mismo material que la tubería, en casos en los que no sea posible usaremos materiales compatibles.

### Exhaustación

Los conductos de exhaustación situados completamente por debajo de la línea de flotación, deben estar provistos de válvulas anti-retorno en el costado del buque. En embarcaciones de fibra de vidrio esto no hará falta si laminamos el tubo de escape al cosco con un espesor no inferior al del laminado del casco.



Si es necesario colocar abrazaderas, estas serán dobles y de acero inoxidable, la junta más baja no se hará más debajo de 100 mm desde la línea de flotación de máxima carga.

#### Imbornales y descargas higiénicas

En las cubiertas expuestas, donde exista la posibilidad de que se encharquen, deben estar provistas de descargas a través de imbornales.

El área de los imbornales **A**, no será menor a

$$A = 0.07 I \quad [m^2]$$

Donde **I** es la longitud de la regala, [m], pero no será superior a **0.7 L**

#### Bañera

La bañera deberá ser estanca y autoachicante, lo que implica que el piso debe encontrarse por encima de la línea de flotación de máxima carga, para asegurar el achicado automático.

La bañera tendrá unos imbornales con un área no menor a

$$A = 0.003 V$$

Donde **V** es el volumen de la bañera en m<sup>3</sup>

#### Aguas residuales

Las aguas residuales se recogerán en tanques o recipientes adecuados, las descargas estarán provistas de sifones o elementos que impidan la entrada de agua de mar durante la navegación

#### Escotillas, ventanas y puertas de costado

Los siguientes requerimientos afectan a las ventanas, escotillas y puertas, que están localizadas en una zona expuesta a la acción del agua de mar o de las inclemencias del mar.

Para determinar el escantillón de las escotillas, puertas o ventanas, vamos a diferenciar diferentes zonas

- Zona A: Zona entre la línea de flotación de máxima carga y una línea paralela a la cubierta principal a una distancia de 300 mm desde el punto más bajo.



- Zona B: Zona por encima de la Zona A, hasta la cubierta utilizada para calcular el francobordo
- Zona C: Zona correspondiente al primer piso de la superestructura hasta el último piso

#### Escantillón según la zona

Las escotillas de costado se clasifican en dos tipos según sus características

- Tipo B: (series medianas) escotillas que no se pueden abrir o con tapa ciega.
- Tipo C: (series medianas) escotillas que no se pueden abrir o que se pueden abrir sin tapa ciega.

Las escotillas que se monten en las embarcaciones deben cumplir con la normativa ISO 1751 y ISO 3903, escotillas que no cumplan dicha norma deberán ser aprobados específicamente por la sociedad de clasificación.

#### Disposición de las escotillas

En la Zona A no está permitido montar escotillas bajo ningún concepto

En la Zona B están permitidas las escotillas tipo B, donde el borde inferior de la escotilla, está localizado a una distancia por encima de la línea de flotación de como mínimo 500 mm.

En la Zona C, están permitidas las escotillas de tipo C



### Cristales

Los cristales de las escotillas instaladas en las embarcaciones deben cumplir con las normas ISO 1095 e ISO 3254.

El espesor requerido para los cristales, vienen determinados en la siguiente tabla, en función del tipo y del diámetro.

Diámetro [mm]	Espesor del cristal [mm]	
	Tipo B	Tipo C
200	8	6
250	8	6
300	10	6
350	12	8
400	12	8

### Regala y pasamanos

Los pasamanos y las regala deben estar contruidos de forma que sean lo suficientemente fuertes para asegurar su integridad, es imprescindible que la regala y los pasamanos estén sujetos a la estructura principal del casco.



### 4.3.1.2- Accesorios del casco

#### Cargas sobre el timón

Nuestro timón va a ser del tipo III (timón suspendido), por lo que va a estar sometido a una combinación de cargas a torsión y flexión

El diámetro  $D_{TF}$ , en [mm], no será menor que

$$D_{TF} = K \cdot D_T \quad [\text{mm}]$$

Donde

$$D_T = \max\{20 \cdot e^{1/3}; 12 (A \cdot R \cdot V^2 \cdot e)^{1/3}\}$$

$K = 1.08 + 0.24 (H/R)$  Para timones tipo III

$H$  = Distancia vertical en metros desde el centro del área hasta la parte más baja del cojinete de la mecha del timón.

$A$  = Área total del timón en [ $m^2$ ], incluyendo las piezas principales

$R$  = Distancia horizontal en [ $m$ ], desde el centro del área  $A$ , hasta el centro del macho de la mecha, no siendo inferior a  $0.12 \cdot b$

$b$  = Anchura en metros del timón en [ $m$ ], para timones rectangulares

$V$  = velocidad máxima de la embarcación en [ $knot$ ], para el desplazamiento máximo

$e = 235/R_S$ , límite de fluencia mínimo  $R_S$ , no debe ser mayor que  $0.7 R_M$ , donde  $R_M$  es la tensión de rotura de la mecha.

El diámetro  $D_{TF}$ , de la mecha debe extenderse hacia arriba como mínimo un 10% del espesor del cojinete, de todas formas el diámetro nunca será inferior a  $D_T$ .

Si utilizamos mechas tubulares, el diámetro interior  $d_1$ , y el diámetro exterior  $d_2$ , deben cumplir con la siguiente fórmula

$$\left[ \frac{d_2^4 - d_1^4}{d_2} \right]^{1/3} \geq D$$

#### Acoplamiento entre la mecha y la pala del timón

Los pernos de la pala no deben tener un espesor  $d$  en [mm] menor a  $0.65 \cdot D/n^{0.5}$ , donde  $n$  son el número de tornillos, **no siendo inferior a 4**.

La longitud mínima de los pernos no será inferior a  $1.2 d$



### Espesor de la pala

El espesor mínimo para la chapa del timón, viene determinado por la siguiente fórmula

$$t = D_T^{0.45} \cdot (0.7 + s/10^3) \quad [\text{mm}]$$

Donde

**s** = distancia en [mm] entre refuerzos, no debe ser mayor a 1000

### Cojinetes herrajes y prensaestopas

El cojinete debe soportar la carga vertical, la altura mínima del cojinete debe ser de **1.5 D**.

La prensaestopa debe colocarse de forma que se evite la entrada de agua.

### Sistema de gobierno

El sistema de gobierno remoto tipo hidráulico debe cumplir con las especificaciones de la **sección C (Maquinaria y sistemas auxiliares)**

### Arbotantes

Los arbotantes con doble brazo, consisten en dos brazos formando aproximadamente un ángulo de 90° que convergen en el eje. Los brazos deben tener un área de cómo mínimo

$$A = 5 \cdot d_p \cdot b \cdot 10^{-2} \quad [\text{cm}^2]$$

Donde

**d<sub>p</sub>** = Diámetro del eje exigido por el reglamento

**b** = Longitud en [cm] del brazo más largo medido desde su origen hasta la intersección con el casco.

Además se exige un momento de inercia mínimo

$$J = 4 \cdot d_p^3 \cdot 10^{-4} \quad [\text{cm}^4]$$

### Lastre

El lastre interno fijo, debe estar en todo momento asegurado con pinzas o un sistema equivalente, a la estructura resistente del casco.



### 4.3.1.3- Equipamiento

#### General

El equipo de amarre y fondeo de las embarcaciones se estipula a través del numeral de quipo **EN** que más adelante calcularemos, debemos tener en cuenta pero, que para el diseño de dicho equipo se supone que el barco no va a estar expuesto a condiciones de mar muy dura de forma habitual.

#### Equipo de fondeo

El peso del ancla viene determinado en la tabla del final del apartado, aplicado a anclas de tipo normal. Si utilizamos anclas de alto poder de agarre, su peso debe ser de cómo mínimo el 75% de lo estipulado en la tabla.

Las dimensiones de la cadena así como su material, vienen determinado también en la tabla del final de este apartado.

#### Equipo de amarre

El equipo de amarre, puede ser de cabos sintéticos o naturales, si se utilizan cabos de acero, estos deben ser flexibles.

Si utilizamos cabos sintéticos, su diámetro debe calcularse teniendo en cuenta el tipo de material y sus características.

La equivalencia entre fibras sintéticas y naturales puede calcularse a través de la siguiente fórmula.

$$CR_S = 7.4 \cdot \frac{\delta \cdot CR_M}{CR_M^{1/9}}$$

Donde

$\delta$  = Elongación de rotura de la fibra sintética (no inferior al 30% respecto a la natural)

$CR_S$  = Tensión de rotura de la fibra sintética [KN]

$CR_M$  = Tensión de rotura de la fibra natural [KN]

#### Molinete

Normalmente instalamos un solo molinete, debe ser mecánico y además debe estar adecuadamente dimensionado para la cadena y ancla que instalemos a bordo.



El molinete debe instalarse en una posición en la que se asegure la adecuada estiba de la cadena, además la cubierta donde se instale, estará adecuadamente reforzada, además el molinete debe tener un sistema de parada que impida que el ancla se mueva con el movimiento del barco.

#### Numeral de equipo

Las embarcaciones deben tener un equipo de amarre y fondeo de acuerdo con el numeral de equipo determinado por

$$EN = (0.5 \cdot L \cdot B \cdot D)^{2/3} + 2 \cdot B \cdot h + 0.1 \cdot A$$

Donde

$$h = a + \sum h_n$$

**a** = distancia en  $L/2$  desde el calado de verano hasta la cubierta principal [**m**]

**h<sub>n</sub>** = altura en [**m**] en la línea central de cada piso **n** de la superestructura o cabina que tengan una manga superior a **B/4**

**A** = área transversal en [**m<sup>2</sup>**] de las superestructuras y cabinas encima de la línea de flotación de máxima carga.

Si tenemos un valor de **EN** intermedio entre dos valores de la tabla, los valores se obtendrán haciendo una interpolación lineal.



**Tabla numeral de Equipo**

EN	MASA ANCLA		DIÁMETRO DE LA CADENA			LONGITUD CABLE		LÍNEAS DE REMOLQUE		LÍNEAS DE AMARRE		LONGITUD CABOS m
	1ª ANCLA Kg	2ª ANCLA Kg	CONTRETE mm	TIPO 1 mm	TIPO 2 mm	1ª ANCLA m	2ª ANCLA m	DIÁMETRO mm	CARGA ROTURA KN	DIÁMETRO mm	CARGA ROTURA KN	
15	14	10	6	-	-	50	50	18	20	15	13,7	50
20	20	14	6	-	-	50	50	18	20	15	14,7	50
25	27	19	8	-	-	50	50	20	25	16	16,7	55
30	32	22	8	-	-	50	50	23	31	17	17,7	55
35	41	29	8	-	-	60	60	26	39	17	18,6	60
40	50	35	10	-	-	70	60	28	46	18	20,6	60
50	68	48	10	-	-	80	65	32	60	19	23,5	65
60	92	64	10	-	-	90	65	25	71	20	25,5	65
70	116	81	11	-	-	100	70	38	80	22	28,4	70
80	137	96	12,5	-	-	110	70	39	88	22	30,4	70
90	155	110	12,5	-	-	110	80	39	88	24	33,3	80
100	170	120	14,5	14	12,5	110	80	42	99	24	35,3	80
110	183	128	14,5	14	12,5	110	80	43	104	25	37,3	90
120	196	138	16	16	12,5	110	80	44	108	25	38,2	90
130	208	145	17,5	16	14	110	110	45	112	26	39,2	90
140	220	154	17,5	16	14	110	110	45	114	26	40,2	100
150	230	160	19	17,5	16	110	110	45	116	26	41,2	100
160	240	170	20,5	19	16	110	110	46	118	27	42,2	100
170	250	180	20,5	19	16	120	110	46	120	27	43,1	110
180	260	190	22	20,5	17,5	120	110	46	122	27	44,1	110
190	270	200	24	22	19	120	110	47	124	28	45,1	110
200	290	210	24	22	19	120	110	47	126	28	46,1	120



#### **4.3.1.4- Tanques de fuel**

##### General

Los tanques para combustibles líquidos, deben construirse de forma que puedan soportar las cargas dinámicas a las que van a estar sometidos así como asegurar que no van a tener fugas. Los tanques deben estar apoyados en soportes especiales y correctamente asegurados a la estructura del barco para asegurar que van a soportar los esfuerzos inducidos por los movimientos del barco.

La disposición de los tanques a bordo debe permitir inspección visual tanto para el tanque como las tuberías, si el tamaño lo permite deben tener acceso para una inspección visual. En tanques con flash point por debajo de 55° C, el acceso debe hacerse por arriba, además los tanques para este tipo de combustible no podrán ser estructurales.

Los tanques de combustibles deben ser independientes de la acomodación de la embarcación, además estarán situados en un local adecuadamente ventilados, con un sistema de ventilación forzada.

Si los tanques de combustible se instalan en la cámara de máquinas, los tanques se instalaran lo más lejos posible de cualquier fuente de calor, protegidos por un material ignífugo.

En el tanque debe marcarse la siguiente información:

- Nombre del fabricante
- Capacidad
- Tipo de combustible que puede llevar
- Prueba de presión
- Año de construcción

##### Tanques metálicos

Los tanques construidos para llevar diesel deben ser de acero inoxidable, níquel al cobre o aluminio. Los tanques de combustible deben estar adecuadamente protegidos interna y externamente para evitar la corrosión de la sal y del combustible que estén autorizados a llevar. Por esta razón, los tanques para diesel no pueden ser de Zinc.



Escantillonado de los tanques

El espesor mínimo para las chapas de los tanques no debe ser inferior al obtenido en la siguiente fórmula

$$t = 4 \cdot s \cdot (h_s \cdot K)^{0.5}$$

Donde

**s** = Espaciado entre refuerzos en [m]

**h<sub>s</sub>** = Distancia en [m] asumiendo la mayor de las siguientes

- a- distancia desde **pdr** hasta 1 m encima del tanque
- b- dos tercios de la distancia vertical desde **pdr** hasta el reboso
- c- 2.8 metros

**pdr** = punto de referencia que se considerara es la cahpa más baja

**K** = 235 / **R<sub>s</sub>** donde **R<sub>s</sub>** es el límite de fluencia en [N/mm<sup>2</sup>]

En cualquier caso, el espesor de chapa de los tanques no será inferior al obtenido en la siguiente tabla.

Material	V = capacidad tanque en l			
	V<00	300<V<550	550<V<750	V>750
<b>Acero inoxidable</b>	0,8	1	1	1,3
<b>Niquel y cobre</b>	1	1,3	1,3	1,6
<b>Cuproniquel</b>	1,2	1,5	1,8	-
<b>Cobre 999</b>	1,4	2	-	-
<b>Cobre-silicona</b>	1,3	1,6	1,6	2
<b>Acero</b>	2	-	3	-
<b>Aluminio</b>	2	-	3	-

El módulo del refuerzo **Z** en [cm<sup>3</sup>] no será inferior al obtenido en la fórmula

$$Z = 4 \cdot s \cdot S^2 \cdot h_s \cdot K$$

Donde

**S** = Luz del refuerzo en m



### 4.3.1.5- Cargas

#### General

Las cargas dinámicas que vamos a estimar sirven para embarcaciones de menos de 60 m de eslora y para velocidades menores a 60 nudos, para embarcaciones que se salen de estos rangos, deberán hacerse pruebas con prototipos.

Si se toma algún método alternativo para determinar las aceleraciones, deberá darse un informe detallado de la metodología seguida

Se van a considerar las siguientes cargas:

- **Cargas internas:** sirven para escantillar cubiertas,
- **Presión exterior:** que nos sirven para el escantillón del fondo y la piel externa, en ella se incluyen la presión hidrostática y la inducida por olas.
- **Presión externa de impacto:** las cargas internas, además de las anteriores deberemos considerar las cargas dinámicas internas constituidas por la inercia de las masas, tales como motor principal, tanques...

Las presiones sobre los paneles y los refuerzos deberán considerarse uniformes.

#### Definiciones y símbolos

**Barco de desplazamiento** Embarcación en la que no hay sustentación dinámica de ningún tipo  $V/L^{0.5} \leq 4$

**Barco de semi-desplazamiento** Aquellas embarcaciones en las que hay parte de sustentación dinámica y parte de sustentación estática, en cuyo caso nos encontramos

**Embarcación de planeo** Todo el peso de la embarcación es soportado por la presión dinámica

**Codillo** en las embarcaciones sin un claro codillo, consideraremos como tal, el punto en la que la tangente al casco forma un ángulo de 50° respecto a la horizontal

**Fondo** Parte del casco comprendida entre el fondo y el codillo

**Piel de costado** Parte de casco comprendida entre el codillo y la cubierta continua más alta.



$\beta_x$  = Ángulo de la astilla muerta de la sección transversal considerada, en embarcaciones sin un ángulo de astilla muerta definido, se tomara el ángulo formado entre la horizontal y la línea que une la quilla con el codillo.

$Pp_{AV}$  = Perpendicular de proa: intersección entre la línea de máxima carga y la oda

$Pp_{AD}$  = Perpendicular de popa: intersección entre la línea de máxima carga y el codaste

$pd_c$  = Cubierta de diseño, entendiéndose como la primera cubierta encima de la línea de máxima carga, extendiéndose como mínimo  $0.6 \cdot L$  y que constituya un verdadero soporte para la estructura de costado.

$Pdr$  = Punto de referencia, es el borde más bajo del panel o el centro del área que soporta el refuerzo, dependiendo del caso.

$\Delta$  = Desplazamiento en  $t$  de la embarcación para el desplazamiento máximo, si es desconocido lo asumimos como  $0.42 \cdot L \cdot B \cdot T$

$$C_B = \text{Coeficiente de bloque } C_B = \frac{\Delta}{1.025 \cdot L \cdot B \cdot T}$$

$C_s$  = Longitud transversal del casco, es la distancia en  $m$  medida a lo largo del casco desde el codillo entre codillos, en la sección maestra

$g$  = Gravedad  $9.81 \text{ m/s}^2$

$LCG$  = Centro longitudinal de gravedad, si es desconocido tomamos como  $0.6 L$  desde  $Pp_{AV}$

$a_0$  = Valor máximo de la aceleración vertical en  $LCG$ , este dato va en función de las condiciones de servicio (velocidad, altura significativa...) nunca se tomará un valor inferior a  $1.5 g$



#### 4.3.1.5.1- Presiones de diseño para el fondo

##### Embarcaciones de planeo o preplaneo

La presión de diseño **P** en  $[\text{KN/m}^2]$ , para escantillonar la estructura, chapas y refuerzos, situados por debajo de la línea de flotación de máxima carga, debe tomarse la mayor de **P<sub>1</sub>** y **P<sub>2</sub>**.

$$P_1 = 0.24 \cdot L^{0.5} \cdot \left( 1 - \frac{h_0}{2 \cdot T} \right) + 10 \cdot (h_0 + a \cdot L)$$

$$P_2 = 15 \cdot (1 + a_0) \cdot \frac{\Delta}{L \cdot C_s} \cdot g \cdot F_L \cdot F_1 \cdot F_a$$

**P<sub>1</sub>** no será inferior a **10 · D**

Donde

**h<sub>0</sub>** = Distancia vertical en **[m]** desde **pdr** hasta la línea de máxima carga

**a** = Coeficiente, función de la posición longitudinal de **pdr** igual a:

- **0.036** a popa de **0.5 L**

- **0.04/ C<sub>B</sub> – 0.024** en **Pp<sub>AV</sub>**

- Para valores intermedios interpolación lineal

**F<sub>L</sub>** = Coeficiente dado en el *gráfico 5.1* en función de **pdr**

**F<sub>1</sub>** = Coeficiente función de la forma e inclinación dado en la siguiente fórmula

$$F_1 = \frac{50 - \beta_x}{50 - \beta_{LCG}}$$

**β<sub>LCG</sub>** = Astilla muera en la sección donde se encuentra LCG

**F<sub>a</sub>** = Coeficiente dado por

$$F_a = 0.30 - 0.15 \cdot \log \frac{1.43 \cdot A_1 \cdot T}{\Delta}$$

**A<sub>1</sub>** = Área en m<sup>2</sup> del panel considerado o la superficie del área soportada por el refuerzo

**a<sub>0</sub>** = Máxima aceleración vertical en **LCG** dado en **[g]**



#### 4.3.1.5.2- Presiones de diseño para el costado

##### Embarcaciones de planeo o preplaneo (semidesplazamiento)

La presión de diseño **P** en [KN/m<sup>2</sup>], para escantillonar la estructura, chapas y refuerzos, situados por debajo de la línea de flotación de máxima carga, debe tomarse como **P<sub>1</sub>**, dado en la siguiente fórmula

$$P_1 = 66.25 \cdot (a + 0.024) \cdot (0.15 - h_0)$$

$$P_1 \text{ no será inferior a } 10 h_1$$

Para zonas localizadas **0.3·L** contando desde **Pp<sub>AV</sub>**, además la presión no será inferior a **P<sub>2</sub>** definida a continuación

$$P_2 = C_1 \{ K_V \cdot [0.6 + \text{sen } \gamma \cdot \cos (90 - \alpha)] + C_2 \cdot L^{0.5} \cdot \text{sen } (90 - \alpha) \}^2$$

La presión **P<sub>2</sub>** en ningún caso será mayor de **0.5 · p** donde **p** es la presión de diseño calculada para las chapas de fondo en la posición donde se encuentra **LCG**

Donde

**h<sub>0</sub>** = Distancia vertical desde **pdr** hasta la línea de máxima carga

**a** = Coeficiente, función de la posición longitudinal de **pdr** igual a:

- **0.036** a popa de **0.5 L**

- **0.04/ C<sub>B</sub> - 0.024** en **Pp<sub>AV</sub>**

- Para valores intermedios interpolación lineal

**C<sub>1</sub>** = Coeficiente dado en el *gráfico 5.2* en función de la superficie **A** en **m<sup>2</sup>** que soporta el elemento, para chapas tomamos **A = 2.5 s**

**C<sub>2</sub>** = Coeficiente dado en el *gráfico 5.3*, en función del **C<sub>B</sub>** y de la posición longitudinal del elemento considerado

$$K_V = 0.625 \cdot L^{0.5} + 0.25 \cdot V$$

**α** = Ángulo formado por la horizontal y el costado Ver *figura 5.4*

**γ** = Ángulo formado por la tangente en la línea de flotación correspondiente al calado **T**, en la sección transversal considerada ver *figura 5.5*

**h<sub>1</sub>** = Distancia en [m] desde **pdr** hasta la línea recta del bao de cubierta más alto



#### 4.3.1.5.3- Presiones de diseño para la cubierta

La presión de diseño para las diversas cubiertas son las siguientes

Cubierta	Área expuesta al agua		Cubierta abrigada
	FWD 0,075 L desde FWD PP	AFT 0,075 L desde FWD PP	
	$h_0$	$h_0$	
Cubierta debajo de <b>pdc</b>	-	-	0,9
<b>pdc</b>	1,5	1	0,9
Cubierta encima de <b>pdc</b>	1,5	1	0,9

#### 5.3.1.5.4- Presiones de diseño para los mamparos estancos

##### Mamparos de subdivisión o colisión

El Escantillonado de los mamparos, tanto de la chapa como de los refuerzos asociados, debe verificarse asumiendo una altura  $h_B$  igual a la distancia vertical en [m] desde **pdr** hasta el punto más alto del mamparo.

##### Mamparos de tanques:

La altura de columna de agua se tomará la mayor de las tres siguientes

$h_1$  = Distancia vertical desde **pdr** hasta un punto localizado 1 metro encima del punto más alto del tanque

$h_1$  = 2/3 de la distancia vertical desde **pdr** hasta el punto más alto del respiradero

$h_1$  = 2.8 metros



gráfico 5.1

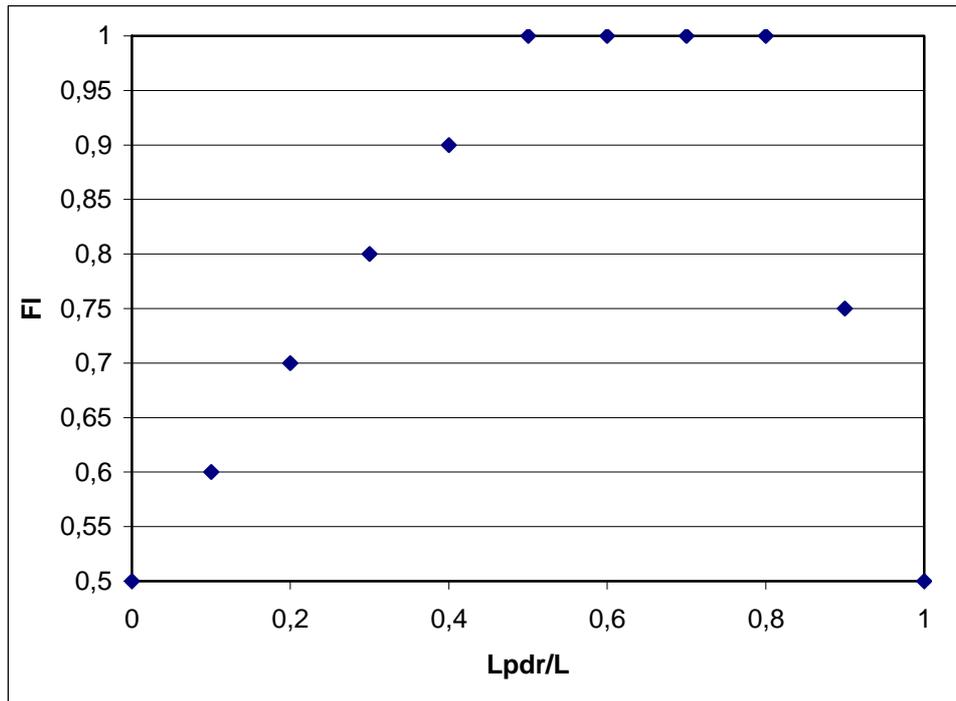


gráfico 5.2

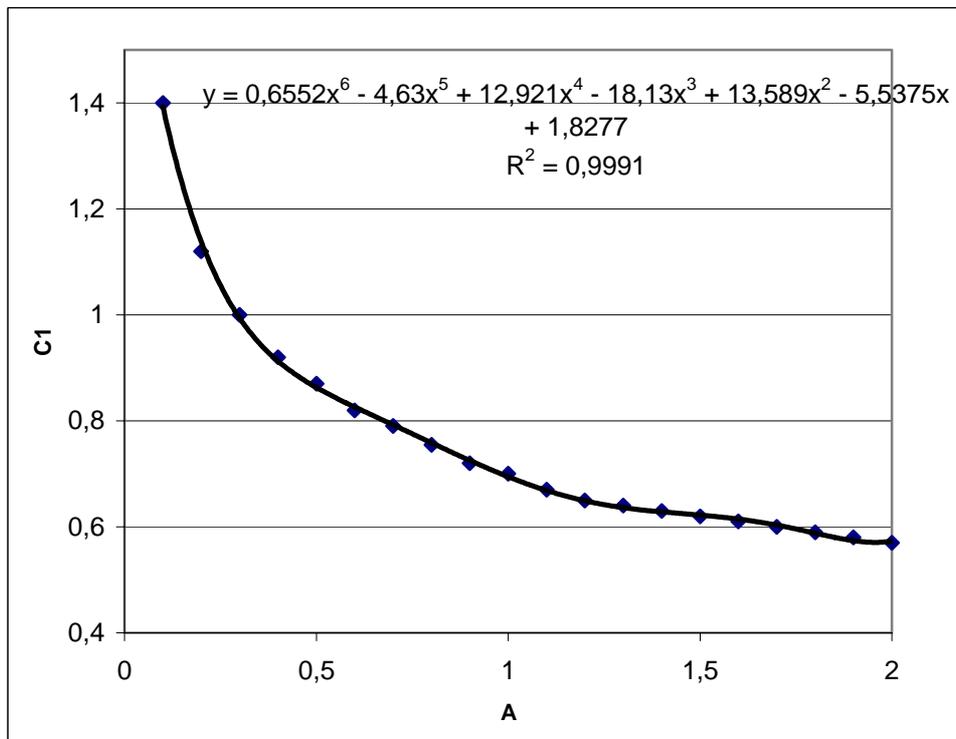




grafico 5.3

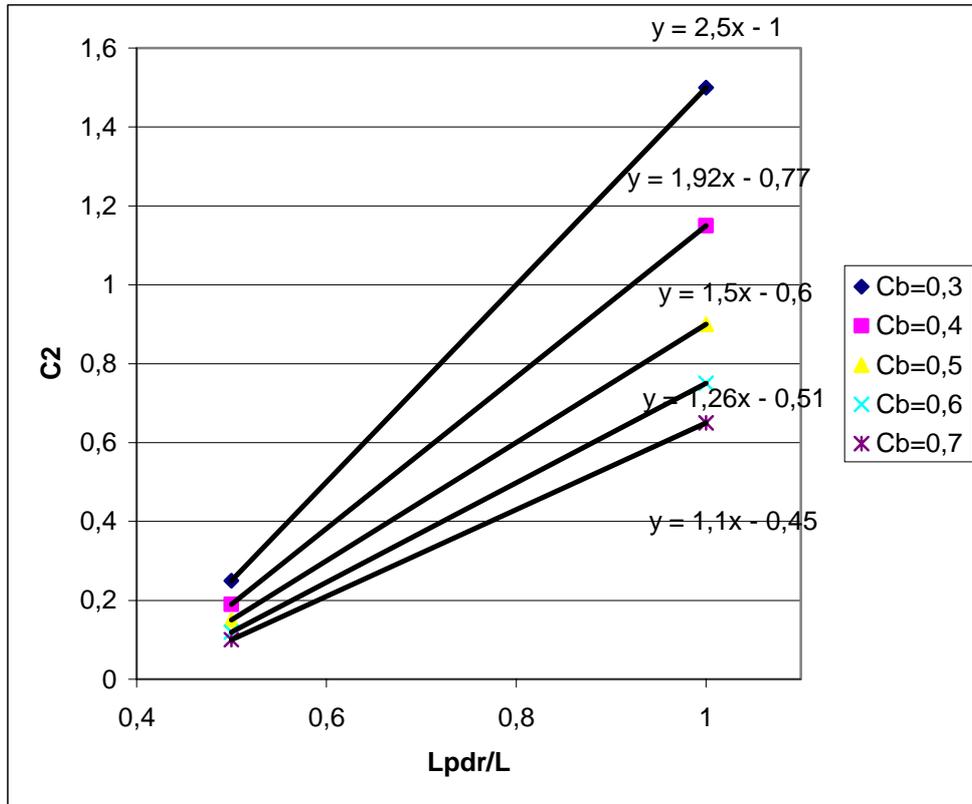


gráfico 5.4

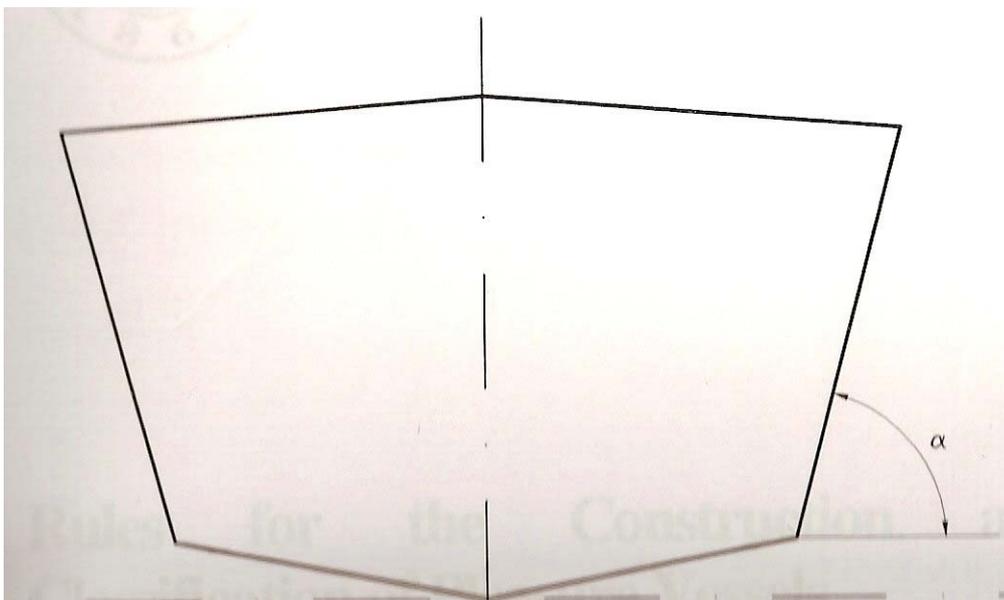
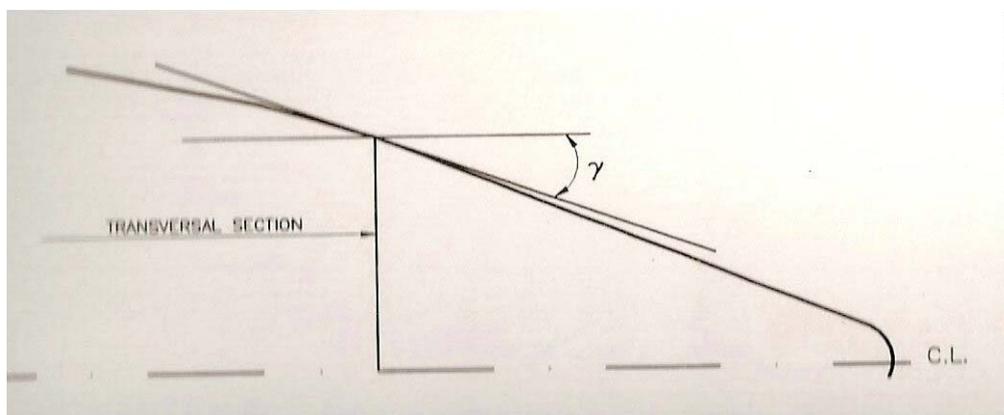




gráfico 5.5





### 4.3.2- PARTE III CONSTRUCCIÓN DE CASCOS EN RPF

- 4.3.2.1- Requisitos generales
- 4.3.2.2- Materiales
- 4.3.2.3- Construcción y control de calidad
- 4.3.2.4- Resistencia longitudinal
- 4.3.2.5- Planchas externas
- 4.3.2.6- Fondo
- 4.3.2.7- Estructura de costado
- 4.3.2.8- Cubiertas
- 4.3.2.9- Mamparos
- 4.3.2.10- Superestructura
- 4.3.2.11- Escantillón con estructura de sándwich

#### 4.3.2.1- Requisitos generales

##### Campo de aplicación

Esta parte III, se aplica a embarcaciones monocasco construidos de plástico reforzado de eslora **L** menor de 60m, ya sean de motor o vela.

##### Definiciones y símbolos

Los símbolos y definiciones que a continuación mostramos son válidos para toda la *PARTE III* de la *sección B*.

$\gamma_r$  = Densidad de resina, valor estándar 1.2 g/cm<sup>3</sup>

$\gamma_f$  = Densidad de fibra, valor estándar 2.56 g/cm<sup>3</sup>

**p** = Masa por m<sup>2</sup> de fibra de una capa de laminado en [g/ m<sup>2</sup>]

**q** = Masa total de una capa de laminado en [g/ m<sup>2</sup>]

**g<sub>c</sub> = p/q** = contenido de fibra de la capa de laminado, para laminados en fibra de vidrio, tomaremos como máximo un valor de **g<sub>c</sub> = 0.34 para mat** y de **g<sub>c</sub> = 0.5 para roving**.

**P** = Masa de fibra en el laminado en [g/m<sup>2</sup>]



$Q$  = Masa total del laminado en  $[g/ m^2]$

$G_c = P/Q$  = contenido de fibra del laminado, para laminados en fibra de vidrio, tomaremos un valor de  $G_c$  no inferior a **0.3**

$t_i$  = espesor de una capa de laminado en  $[mm]$ , para fibra de vidrio este espesor viene determinado por

$$t_i = 0.33 \cdot p \left( \frac{2.56}{g_c} - 1.36 \right)$$

$p$  expresado en  $Kg/m^2$

$t_F = \sum t_i$  = espesor del laminado en  $[mm]$ .

### Planos, cálculos e información que se debe suministrar para clasificación

En los planos debe indicarse el escantillonado, las propiedades mecánicas de los laminados, así como el porcentaje en masa de fibra. En general deben mandarse los siguientes planos por triplicado:

- Sección maestra y la transversal, con las principales dimensiones, además deberán indicarse la velocidad de diseño y la aceleración  $a$
- Planos de cubierta
- Construcción del fondo, longitudinales, sobrequilla etc.
- Subdivisión de mamparos y tanques
- Superestructura
- Motor

### Cálculos directos

Las tensiones permitidas en los cálculos directos, los establecerá la oficina de clasificación, basándose en las condiciones de carga consideradas.

Como orientación, si tomamos las cargas de diseño del *capítulo 5* de la *parte I* (*CARGAS*), la tensión máxima permitida viene determinada en la siguiente tabla, en la cual tomaremos la columna **1** cuando tomamos la carga  $p = p_1$  y la columna **2** cuando asumimos que  $p = p_2$  así como para las cargas dinámicas de cubierta.



ELEMENTO	TENSIÓN MÁXIMA	
	1	2
Planchas de fondo	$0,4 \cdot \sigma$	$0,8 \cdot \sigma$
Planchas de costado	$0,4 \cdot \sigma$	$0,8 \cdot \sigma$
Planchas de cubierta	$0,4 \cdot \sigma$	$0,8 \cdot \sigma$
Longitudinales de fondo	$0,6 \cdot \sigma_t$	$0,9 \cdot \sigma_t$
Longitudinales de costado	$0,5 \cdot \sigma_t$	$0,9 \cdot \sigma_t$
Longitudinales de cubierta	$0,5 \cdot \sigma_t$	$0,9 \cdot \sigma_t$
Varengas y durmientes	$0,4 \cdot \sigma_t$	$0,8 \cdot \sigma_t$
Cuadernas y vagras de costado	$0,4 \cdot \sigma_t$	$0,8 \cdot \sigma_t$
Baos y esloras de cubierta	$0,4 \cdot \sigma_t$	$0,8 \cdot \sigma_t$

#### NOTA

$\sigma$  [N/mm<sup>2</sup>] = tensión de flexión para una capa de laminado. Para laminados de sándwich, tomaremos la menor de la tensión de compresión o tracción del laminado, pero no será menor a  $0.5 \cdot R_t$ , siendo  $R_t$  = la tensión de rotura del núcleo.

$\sigma_t$  [N/mm<sup>2</sup>] = tensión de rotura del laminado

#### Reglas generales de diseño

Para embarcaciones mayores de 25m, el escantillón de las extremidades puede reducirse, esta reducción debe hacerse gradual. Durante el diseño se tendrá especial atención en la continuidad estructural y en particular en las superestructuras y en las aperturas de cubierta y costado.

Para embarcaciones de alta velocidad, la separación entre varengas no será mayor de 2 m en el fondo.

#### Detalles constructivos

En laminados de **Roving**, con una masa  $\geq 600$  g/m<sup>2</sup>, no se pueden superponer directamente, debe colocarse entre medio un **mat** preferentemente con una masa  $\leq 450$  g/m<sup>2</sup>, para mejorar el pegado ínter laminar.



Las juntas entre las capas de laminado deben realizarse como indica la figura 1.2, 1.3 y 1.4 que podemos ver al final es este apartado.

Los refuerzos que no sean prefabricados, se laminarán sobre el mismo refuerzo antes de que se produzca la polimerización, los materiales que se introduzcan deben estar limpios y preparados.

Las chapas expuestas a la intemperie, deben ir cubiertas por una capa de gel coat.

Las discontinuidades de espesor deben hacerse de forma gradual.

El solape en un refuerzo de cada capa debe ser de cómo mínimo 30 mm respecto a la capa anterior

La longitud del estrechamiento del espesor en el paso de un laminado en sándwich a un laminado monolítico debe ser de cómo mínimo dos veces el espesor del núcleo.

Las tuberías y los cables que pasen a través de un laminado deben ir situadas dentro de conductos de plástico para permitir un reemplazamiento fácil.

#### Conexión de laminados

Las conexiones entre laminados debe hacerse de forma que no afecte a la continuidad estructural, antes de proceder a juntar dos laminados, debe limpiarse a fondo la junta, si esta contiene gel coat, debe retirarse completamente.

#### Juntas en el fondo

Si se juntan dos mitades de un casco, se procederá tal i como se indica en la figura 1.1

#### Junta entre cubierta y casco

La junta entre el casco y la cubierta debe ser hermética, la forma de la junta debe ser como en la figura 1.6 o 1.7, para pegar las dos partes, se colocará en medio de ambos un laminado de **mat** en la parte interna del caso. Además se colocaran tornillos de acero, cuyo diámetro **d** no menor al espesor del laminado más delgado, el espaciado máximo entre dichos tornillos será de **10d**, la distribución será tipo zig-zag.



### Esquinas

Las juntas en esquinas, normalmente se dan en los refuerzos, ver *figura 1.8* el escantillón para estas juntas será como sigue

- Refuerzos en  $\Omega$ :
  - longitud del laminado será de **25 mm** para la primera capa más **20 mm** para cada **1000 g/m<sup>2</sup>** siendo el **total no inferior a 50 mm**
  - Espesor: El mayor entre **2 mm** y **0.25 · t**; siendo **t** = espesor de la madera
- Mamparos pegados a la chapa
  - Longitud: **50 mm** la primera capa más **40 mm** para cada **1000 g/m<sup>2</sup>** para las siguientes capas
  - Espesor: la mayor entre **2 mm** y **0.5 · t<sub>min</sub>** siendo **t<sub>min</sub>** el espesor de las capas a juntar

En los sitios donde el refuerzo solo puede laminarse de un costado, el escantillón de dicho costados será el doble del especificado



PLATE 1.1 (Sheet 1 of 2)

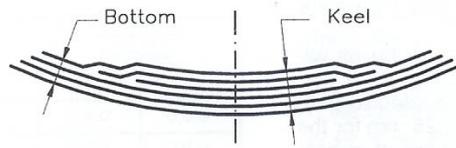


FIGURE 1.1

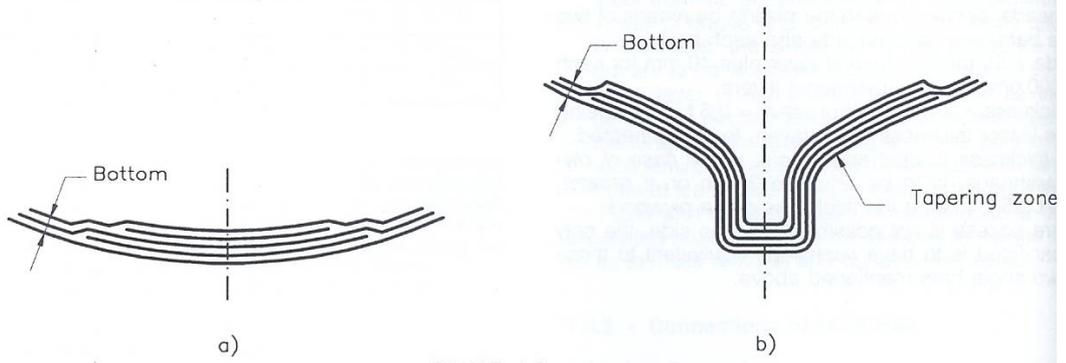


FIGURE 1.2

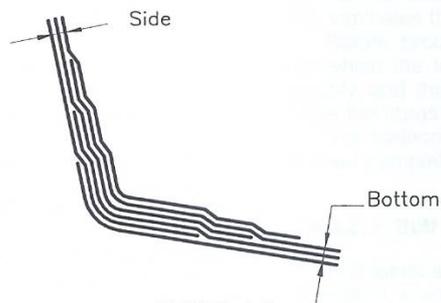


FIGURE 1.3

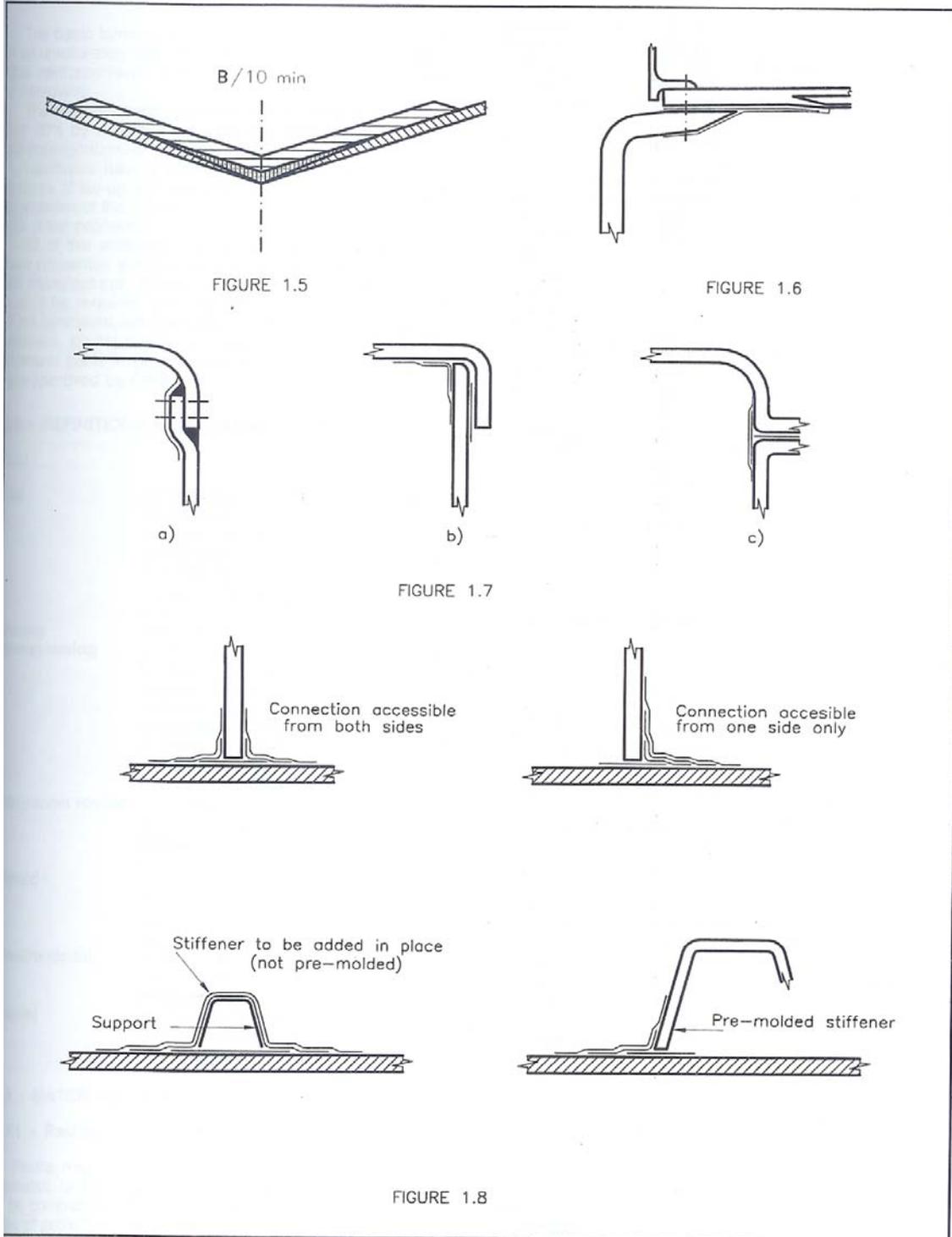


FIGURE 1.4



Chapter 1 - GENERAL REQUIREMENTS

PLATE 1.1 (Sheet 2 of 2)





### 4.3.2.2- Materiales

#### General

El contenido en fibra nunca será menor al 30% en peso, además todos los materiales que se utilicen deben estar cualificados para el uso marino, cualquier material que se utilice en la estructura o casco de la embarcación debe estar aprobado por RINA.

Tanto la fibra como las resinas, debe utilizarse de acuerdo con los procedimientos estándar, si se añade algún aditivo (colorante, acelerador...) debe de asegurarse previamente que no afecta a la correcta polimerización del laminado.

#### Propiedades mecánicas del laminado

Las propiedades de un laminado con fibras de tipo E las podemos obtener a partir de las siguientes fórmulas, en función de  $G_c$

- Tensión de rotura a tracción  $R_m = 1278 \cdot G_c^2 - 510 \cdot G_c + 123$
- Módulo de elasticidad a tracción  $E = (37 \cdot G_c - 4.75) \cdot 10^3$
- Tensión de rotura a compresión  $R_{mc} = 150 \cdot G_c + 72$
- Módulo de elasticidad a compresión  $E_c = (40 \cdot G_c - 6) \cdot 10^3$
- Tensión de rotura a flexión  $R_{mf} = 502 \cdot G_c^2 + 107$
- Módulo de elasticidad a flexión  $E_f = (33.4 \cdot G_c^2 + 2.2) \cdot 10^3$
- Tensión de rotura a cortante  $R_{mt} = 80 \cdot G_c + 38$
- Módulo de elasticidad a cortante  $G = (1.7 \cdot G_c + 2.24) \cdot 10^3$
- Tensión de rotura íter laminar a cortante  $R_{mti} = 22.5 - 17.5 \cdot G_c$

Si el astillero realiza pruebas de resistencia de los laminados obtenidos en de su propia fabricación, todos los valores anteriores pueden verse sujetos a variaciones.

Cuando tratemos el tema del escantillonado de la estructura del casco nos aparecerán unos coeficientes que vamos a definir a continuación

$$K_0 = 85/R_m$$

$$K_{0f} = \left( \frac{152}{R_{mf}} \right)^{0.5}$$



Donde  $R_m$ , y  $R_{mf}$  son los valores de la tensión de rotura a tracción y a flexión en  $[\text{KN}/\text{mm}^2]$ ; cuando  $G_c = 0.3$  se tomara  $K_0 = 1$  y  $K_{0f} = 1$ , los valores de  $K_0$ , y  $K_{0f}$ , en ningún caso se tomaran inferiores a **0.5** y **0.7** respectivamente.

Para laminados de Sándwich el coeficiente viene dado por la siguiente fórmula

$$K'_{0f} = \left( \frac{85}{R_m} \right)^{0.5}$$

Donde  $R_m$  es la tensión de rotura a tracción en  $[\text{N}/\text{mm}^2]$

#### 4.3.2.3- Construcción y controles de calidad

Este apartado es de obligado cumplimiento por parte del astillero, como ellos ya están construyendo otros modelos clasificadas por RINA, ya cumplen con este capítulo de controles de calidad, por tanto no será objeto de estudio de este proyecto.

#### 4.3.2.4- Resistencia longitudinal

La resistencia longitudinal que a continuación vamos a estudiar sirve para embarcaciones de eslora menor a 30m y que tengan una relación eslora - manga moderada.

El módulo de la sección media, en el fondo  $Z_f$ , y en la cubierta  $Z_p$ , en  $[\text{cm}^3]$ , no será menor al valor obtenido en la siguiente fórmula:

$$Z = 3600 \cdot L^2 \cdot B \cdot \frac{1}{\sigma_u}$$

Donde

$\sigma_u$  = La menor tensión de rotura (tracción o compresión) en  $[\text{N}/\text{mm}^2]$ , del fondo y la cubierta

Además, el momento de inercia  $J$  de la cuaderna maestra, en  $[\text{cm}^4]$ , no será menor a

$$J = 0.14 \cdot L \cdot Z \cdot \sigma_u$$

Para el cálculo del módulo de la cuaderna maestra, se tendrán en cuenta todos los refuerzos cuya extensión sea de cómo mínimo **0.4·L**

El módulo de una sección lo obtenemos dividiendo el momento de inercia por la distancia al eje neutro, ya sea del fondo o de la cubierta.



#### 4.3.2.5- Planchas externas

Cuando la diferencia de espesor entre el fondo y el costado es de más de 3 mm, se establecerá una zona de transición. En la zona de la bocina del eje propulsor y en la mecha del timón, el espesor del fondo debe incrementarse en un 100% y deben ubicarse los refuerzos secundarios que sean necesarios.

##### Definiciones y símbolos

**S** = Dimensión mayor del panel en [**m**]

**s** = Espaciado longitudinal o transversal entre refuerzos secundarios en [**m**]

**p** = Presión de diseño, dada en [**KN/m<sup>2</sup>**]

**K<sub>0</sub>**, **K<sub>0f</sub>** = Coeficientes

##### Quilla

La quilla debe extenderse a lo largo de todo el casco y tener una anchura no menor a **b<sub>CH</sub>**, en [**mm**], donde

$$b_{CH} = 30 \cdot L$$

El espesor de la quilla en [**mm**] no será menor al obtenido en la siguiente fórmula

$$t_{CH} = 1.4 \cdot t$$

**t** será el mayor valor obtenido aplicando la fórmula **t<sub>1</sub>** y **t<sub>2</sub>**, que más adelante explicaremos.

El espesor **t<sub>CH</sub>**, debe estrecharse gradualmente al espesor del fondo, el espesor de la quilla debe extenderse tal y como se indica en la figura 1.2 (b) del primer capítulo.

##### Roda, codaste y espejo de popa

El espesor del codaste no será menor al espesor de la quilla, este espesor se mantendrá verticalmente hasta la línea de máxima carga, por encima de esta línea de flotación el espesor puede reducirse hasta el espesor **t** del fondo.

Para el espejo de popa pondremos el espesor obtenido aplicando las fórmulas para las chapas de costado, tomando su correspondiente valor de **s**.



### Mecha del timón

La mecha del timón, para los timones tipo II debe tener un momento de inercia **J** en [**cm<sup>4</sup>**], y módulo resistente **Z**, en [**cm<sup>3</sup>**], de la sección horizontal, no menor al obtenido en la siguiente fórmula

$$J = \frac{A \cdot h^2 \cdot V^2}{36} 10^{-3}$$

$$Z = \frac{A \cdot h \cdot V^2}{55}$$

Donde

**A** = Área del timón en **m<sup>2</sup>**

**h** = Distancia desde el talón de la quilla hasta el cojinete

**V** = Velocidad máxima de diseño de la embarcación

### Chapas de fondo

El espesor de las chapas de fondo no será inferior de los dos espesores obtenidos a continuación en [**mm**]. El espesor del fondo no puede ser tomado en ningún caso menor al espesor del costado. Si el casco tiene una forma redonda, el espesor puede reducirse multiplicando la fórmula por el coeficiente **(1 – f/s)**, siendo **f** la distancia en [**m**] entre las extremidades de la chapa, este coeficiente no puede ser menor a **0.7**.

$$t_1 = k_1 \cdot k_a \cdot s \cdot k_{of} \cdot p^{0.5}$$

$$t_2 = 16 \cdot s \cdot k_{of} \cdot p^{0.5}$$

Donde

**k<sub>1</sub>** = 0.26 si p = p<sub>1</sub>

= 0.15 si p = p<sub>2</sub>

**k<sub>a</sub>** = Coeficiente función de la relación de aspectos S/s dado en la siguiente tabla



S/s	$k_a$
1	17,5
1,2	19,6
1,4	20,9
1,6	21,6
1,8	22,1
2	22,3
>2	22,4

### Chapas de costado

El espesor de las chapas de costado no será inferior al mayor de los valores obtenidos a continuación

$$t_1 = k_1 \cdot k_a \cdot s \cdot k_{of} \cdot p^{0.5}$$

$$t_2 = 16 \cdot s \cdot k_{of} \cdot p^{0.5}$$



#### 4.3.2.6- Estructura del fondo

Hay dos tipos de estructura, la longitudinal y la transversal, la longitudinal es aquella donde los refuerzos principales son longitudinales sobre los que se apoyan las varengas.

En los barcos en los que la quilla tiene forma de U, o un ángulo de astilla muerta superior a 12°, la sobrequilla puede omitirse, en cuyo caso se recomienda la colocación de al menos un longitudinal.

La cámara de máquinas debe tener un adecuado emparrillado de refuerzos, adecuadamente conectado a los refuerzos del resto de la estructura. En la zona del eje del timón y en la bocina del eje propulsor, deben colocarse refuerzos extra.

*La estructura de tipo transversal no la vamos a tratar, ya que no es de estudio en este proyecto.*

#### Definiciones y símbolos

**s** = Espaciado entre refuerzos secundarios, en [m]

**p** = Presión de escantillonado en [KN/m<sup>2</sup>]

**k<sub>0</sub>** = Coeficiente calculado en capítulos anteriores

#### Estructura tipo longitudinal

- Longitudinales de fondo: El módulo de la sección de los refuerzos longitudinales en [cm<sup>3</sup>], no será menor al siguiente

$$Z = k_1 \cdot s \cdot S^2 \cdot k_0 \cdot p$$

Donde

$$k_1 = 1.5 \text{ si } p = p_1$$

$$= 1 \text{ si } p = p_2$$

**S** = Luz de los refuerzos principales, en [m] igual a la distancia entre varengas

- Varengas: El módulo de la sección en el centro de la luz **S**, no será menor al valor **Z<sub>M</sub>**, en [cm<sup>3</sup>] calculado en la siguiente fórmula

$$Z_M = k_1 \cdot b \cdot S^2 \cdot k_0 \cdot p$$

Donde

$$k_1 = 2.4 \text{ si } p = p_1$$

$$= 1.2 \text{ si } p = p_2$$



**b** = Distancia media entre las varengas adyacentes, en [m]

**S** = Luz de la varenga, en [m] igual a la distancia entre puntos de apoyo.

En cascos con forma de U, o con un ángulo de astilla muerta  $\geq 12^\circ$ , el módulo  $Z_M$ , puede reducirse en un 40 %

- Quilla: Cuando la quilla forma un soporte para las varengas, el módulo de la sección no será inferior al obtenido a continuación en [cm<sup>3</sup>]

$$Z_{PC} = k_1 \cdot b_{PC} \cdot S^2 \cdot k_0 \cdot p$$

Donde

$$k_1 = 2.4 \text{ si } p = p_1$$

$$= 1.2 \text{ si } p = p_2$$

$$b_{PC} = B/2 \text{ [m]}$$

**S** = Luz de la quilla, igual a la distancia entre apoyos de la misma

#### 4.3.2.7- Estructura de costado

Al igual que en el apartado anterior, tenemos dos tipos de estructura, una longitudinal y otra trasversal, como nuestra embarcación tendrá una estructura longitudinal, solamente vamos a estudiar este tipo.

#### Definiciones y símbolos

**s** = Espaciado entre refuerzos secundarios, en [m]

**p** = Presión de escantillonado en [N/m<sup>2</sup>]

**k<sub>0</sub>** = Coeficiente definido en capítulos anteriores

#### Estructura tipo longitudinal

- Cuadernas: El módulo de la sección de las cuadernas en [cm<sup>3</sup>], no será menor al siguiente

$$Z = k_1 \cdot K_{CR} \cdot s \cdot S^2 \cdot k_0 \cdot p$$

Donde

$$k_1 = 1.75 \text{ si } p = p_1$$

$$= 1.1 \text{ si } p = p_2$$



$K_{CR} = 2.5$  si sirve de apoyo para otros refuerzos

= 1.1 si no sirve de apoyo para otros refuerzos

$S$  = Luz de las cuadernas, en [m] igual a la distancia entre apoyos

- Longitudinales de costado: El módulo de la sección de los longitudinales en [cm<sup>3</sup>], no será menor al siguiente

$$Z = k_1 \cdot s \cdot S^2 \cdot k_0 \cdot p$$

Donde

$k_1 = 1.9$  si  $p = p_1$

= 1 si  $p = p_2$

$S$  = Luz de los longitudinales, en [m] igual a la distancia entre apoyos, formados normalmente cuadernas o por mamparos.

- Vagras El módulo de la sección de las vagras, en [cm<sup>3</sup>], no será menor al siguiente

$$Z = k_1 \cdot K'_{CR} \cdot s \cdot S^2 \cdot k_0 \cdot p$$

Donde

$k_1 = 1$  si  $p = p_1$

= 0.7 si  $p = p_2$

$K'_{CR} = 2.5$  si sirve de apoyo para otros refuerzos

= 1.1 si no sirve de apoyo para otros refuerzos

$s$  = Espaciado entre vagras.

$S$  = Luz de las vagras, en [m] igual a la distancia entre apoyos, formados normalmente por mamparos transversales o cuadernas



### 4.3.2.8- Cubierta

#### Definiciones y símbolos

**pdc** = Cubierta de cálculo, que es la primera cubierta encima de la línea de flotación de máxima carga que se extiende como mínimo 0.6 L y que suponga un soporte estructural para el resto de elementos del costado

**s** = Espaciado entre refuerzos secundarios (transversales o longitudinales) en [m]

**h** = Altura de escantillado, calculado en la Parte I de la sección B

**k<sub>0</sub>, k<sub>of</sub>** = Coeficiente definido en capítulos anteriores

#### Chapas de cubierta

- Cubierta principal: El espesor **t** de la cubierta principal, en [mm], no será menor al siguiente

$$t = 0.15 \cdot k_a \cdot s \cdot k_{of} \cdot L_1^{0.5}$$

En embarcaciones con  $L > 20m$ , debe añadirse una chapa de refuerzo con una anchura no menor a  $b = 0.025 L$ , y con un espesor mínimo de:

$$t = 0.2 \cdot k_a \cdot s \cdot k_{of} \cdot L_1^{0.5}$$

Donde

**L<sub>1</sub>** = Eslora de escantillón, no será menor a 15 m

**k<sub>a</sub>** = Coeficiente función de la relación de aspectos **S/s** dado en la siguiente tabla

S/s	k <sub>a</sub>
1	17,5
1,2	19,6
1,4	20,9
1,6	21,6
1,8	22,1
2	22,3
>2	22,4



- Cubiertas inferiores: Para las cubiertas inferiores, el espesor lo determinamos a partir de las siguientes fórmulas

$$t = 0.13 k_a \cdot s \cdot k_{of} \cdot L_1^{0.5}$$

Estructura de cubierta

- Refuerzos secundarios: El módulo de la sección de los refuerzos secundarios, en [cm<sup>3</sup>], no será menor al siguiente

$$Z = 14 \cdot s \cdot S^2 \cdot h \cdot k_{of} \cdot C_1$$

Donde

- C<sub>1</sub> = 1 para longitudinales de la cubierta principal
- = 0.63 para los longitudinales de cubiertas inferiores
- = 0.56 para los baos

- Baos de cubierta: El módulo de la sección de los baos, en [cm<sup>3</sup>], no será menor al siguiente

$$Z = 15 \cdot b \cdot S^2 \cdot h \cdot k_o$$

Donde

- b** = Anchura de la tira de cubierta que descansa sobre el bao
- S** = Luz del refuerzo en [m], igual normalmente a la distancia entre apoyos (puntales, otros baos, mamparos...)

- Puntales: Los puntales generalmente serán tubos de acero, o aleaciones ligeras, con chapas en sus extremos que van atornilladas a la estructura del casco, el área de la sección, en [m<sup>2</sup>], no será inferior a la siguiente fórmula

$$A = \frac{Q \cdot C}{12.5 - 0.045\lambda}$$

Donde

- C = 1 para puntales de acero
- = 1.6 para aleaciones ligeras
- Q = Carga sobre el puntal en [KN]
- Q = 6.87 · A · h**

Donde

- A = Área en [m<sup>2</sup>] de cubierta que apoya sobre el puntal



#### 4.3.2.9- Mamparos

Los mamparos para tanques, normalmente son de materiales compuestos, estos tanques ya los hemos tratado en la Parte I de esta sección B. Cuando los mamparos no son para tanques, pueden estar contruidos de madera, en cuyo caso se adaptaran al reglamento específico para la construcción de embarcaciones de madera.

##### Definiciones y símbolos

**s** = Espaciado entre refuerzos, en [m]

**S** = Luz en [m], igual a la distancia entre miembros que soportan el refuerzo que concierne

**h<sub>S</sub>** = Altura de columna de agua, en [m], tomaremos la mayor de estas tres:

**h<sub>1</sub>** = Distancia vertical desde **pdr** hasta un punto localizado 1 metro encima del punto más alto del tanque

**h<sub>1</sub>** = 2/3 de la distancia vertical desde **pdr** hasta el punto más alto del respiradero

**h<sub>1</sub>** = 2.8 metros

**h<sub>B</sub>** = Distancia vertical en [m] desde **pdr** hasta el punto más alto del mamparo.

**K<sub>0</sub>** = 85/R<sub>m</sub>

$$K_{0f} = \left( \frac{152}{R_{mf}} \right)^{0.5}$$

**R<sub>m</sub>** = Tensión de rotura a tracción, en [KN/mm<sup>2</sup>]; Si G<sub>c</sub>=0.3 tomamos **K<sub>0</sub>** = 1, en ningún caso **K<sub>0</sub>** se tomara inferior a 0.5

**R<sub>mf</sub>** = Tensión de rotura a flexión en [KN/mm<sup>2</sup>]; si G<sub>c</sub>=0.3 tomamos **K<sub>0f</sub>** = 1, en ningún caso se tomará **K<sub>0f</sub>**, inferior a 0.7

**Pdr** = Punto de referencia, es el borde más bajo del panel o el centro del área que soporta el refuerzo, dependiendo del caso.

##### Chapa

El espesor mínimo para los mamparos viene determinado por la siguiente fórmula, en [mm]

$$t = k_1 \cdot s \cdot k_{0f} \cdot h^{0.5}$$



Donde  $K_1$ , y la altura de escantillón los determinamos e la siguiente tabla

Tipo mamparo	$K_1$	$h$ [m]
Colisión	5,8	$h_B$
Subdivisión	5	$h_B$
Tanque	5,3	$h_S$

### Refuerzos

- Refuerzos secundarios: El módulo mínimo requerido, en  $[cm^3]$  es el siguiente

$$Z = 13.5 \cdot s \cdot S^2 \cdot h \cdot c \cdot k_0$$

Donde los coeficientes  $h$  y  $c$  los encontramos en la siguiente tabla

Refuerzo	$h$ [m]	$c$
Colisión	$h_B$	0,78
Subdivisión	$h_B$	0,63
Tanque	$h_S$	1

### 4.3.2.10- Superestructura

#### Límite de la chapa de los mamparos

En la zona de la superestructura, el espesor mínimo viene determinado por la siguiente fórmula

$$t = 3.7 \cdot s \cdot K_{0f} \cdot h^{0.5}$$

Donde

$s$  = Espaciado entre refuerzos, en [m]

$$K_{0f} = \left( \frac{152}{R_{mf}} \right)^{0.5}$$



$R_{mf}$  = Tensión de rotura a flexión en  $[N/mm^2]$ ; si  $G_c = 0.3$  tomamos  $K_{of} = 1$ , en ningún caso se tomará  $K_{of}$ , inferior a **0.7**

$h$  = Altura de escantillón, en **[m]**, dado en la siguiente tabla

Tipo mamparo	$h$ [m]
Frontal 1ª tira	3
Frontal 2ª tira	1,5
Otros mamparos	1,2

### Refuerzos

El módulo de la sección de los refuerzos, en  $[cm^3]$ , no será menor al siguiente

$$Z = 5.5 \cdot s \cdot S^2 \cdot h \cdot k_0$$

Donde

$h$  = Altura de escantillón, en **[m]**, dado en la anterior tabla

$$K_0 = 85/R_m$$

$R_m$  = Tensión de rotura a tracción, en  $[N/mm^2]$ ; Si  $G_c=0.3$  tomamos  $K_0 = 1$ , en ningún caso  $K_0$  se tomara inferior a **0.5**

$s$  = Espaciado entre refuerzos, en **[m]**

$S$  = Luz del refuerzo en **[m]**.

### Chapas de cubiertas de superestructura

El espesor de las chapas de las cubiertas de la superestructura, lo determinamos a partir de la siguiente fórmula

$$t = 3.7 \cdot s \cdot K_{of} \cdot h^{0.5}$$

Donde

$s$  = Espaciado entre refuerzos, en **[m]**

$$K_{of} = \left( \frac{152}{R_{mf}} \right)^{0.5}$$

$R_{mf}$  = Tensión de rotura a flexión en  $[KN/mm^2]$ ; si  $G_c = 0.3$  tomamos  $K_{of} = 1$ , en ningún caso se tomará  $K_{of}$ , inferior a **0.7**

$h$  = Altura de escantillón, en **[m]**, dado en la siguiente tabla



Cubierta	Area expuesta al agua		Cubierta abrigada
	FWD 0,075 L desde FWD PP	AFT 0,075 L desde FWD PP	
	h0	h0	
Cubierta debajo de <b>pdc</b>	-	-	0,9
<b>pdc</b>	1,5	1	0,9
Cubierta encima de <b>pdc</b>	1,5	1	0,9

Refuerzos de cubierta de superestructura

El módulo mínimo requerido, en [**cm<sup>3</sup>**], de los refuerzos secundarios, no será inferior al siguiente:

$$Z = 5.5 \cdot s \cdot S^2 \cdot h \cdot c \cdot k_0$$

Donde

**S** = Luz del refuerzo en [**m**]

**s** = Espaciado entre refuerzos, en [**m**]

**h** = Altura de escantillón, en [**m**], dado en la anterior tabla



#### 4.3.2.11-Escantillón con estructura de sandwich

Para los cálculos de los laminados en sándwich, hay que hacer una serie de suposiciones. La primera de ellas, es que el espesor de las pieles externas es despreciable respecto al espesor del núcleo. La segunda de ellas es que las fuerzas normales y los momentos de flexión actúan en las pieles externas, mientras que el esfuerzo cortante es soportado por el núcleo.

En los tanques donde se almacenan combustibles o aceites, es poco recomendable utilizar construcción tipo sándwich.

#### Símbolos y definiciones

- S** = Espaciado entre refuerzos, en [m], donde se apoya la estructura de sándwich
- p** = presión de escantillón en [KN/m<sup>2</sup>], definida en el capítulo 5, de la parte I
- h<sub>S</sub>** = Altura de escantillón, en [m], definida en el capítulo 5, de la parte I
- h<sub>B</sub>** = Distancia vertical en [m] desde **pdr** hasta el punto más alto del mamparo.
- R<sub>to</sub>** = Tensión de rotura a tracción en [N/m<sup>2</sup>] de la piel exterior
- R<sub>ti</sub>** = Tensión de rotura a tracción en [N/m<sup>2</sup>] de la piel interior
- R<sub>co</sub>** = Tensión de rotura a flexión en [N/m<sup>2</sup>] de la piel exterior
- R<sub>ci</sub>** = Tensión de rotura a flexión en [N/m<sup>2</sup>] de la piel interior
- τ** = Tensión de rotura a cortante en [N/m<sup>2</sup>] del núcleo
- h<sub>a</sub>** = Espesor del núcleo en [mm]

#### Espesor mínimo de las pieles

El espesor de las pieles debe ser tal que tenga el módulo mínimo requerido, que más adelante describiremos, además el espesor no será menor al obtenido en las siguientes fórmulas

#### - Fondo

$$t_o = 0.50 \cdot (2.2 + 0.25 \cdot L)$$

$$t_i = 0.40 \cdot (2.2 + 0.25 \cdot L)$$



- Costado y cubierta principal

$$t_o = 0.45 \cdot (2.2 + 0.25 \cdot L)$$

$$t_i = 0.35 \cdot (2.2 + 0.25 \cdot L)$$

Donde

$t_o$  = Espesor de la piel externa del laminado de sándwich, en [mm]

$t_i$  = Espesor de la piel interna del laminado de sándwich, en [mm]

Módulo resistente y momento de inercia

- Fondo: El módulo de la sección  $Z_{so}$  y  $Z_{si}$ , en [cm<sup>3</sup>], correspondientes a la piel externa e interna respectivamente, de una placa de **1 cm de ancho**, no será inferior al obtenido a continuación:

$$Z_{so} = k_1 \cdot p \cdot S^2 \cdot \frac{1}{R_{co}}$$

$$Z_{si} = k_1 \cdot p \cdot S^2 \cdot \frac{1}{R_{ii}}$$

Donde

$$k_1 = 1.6 \text{ si } p = p_1$$

$$= 0.4 \text{ si } p = p_2$$

Por su parte, el momento de inercia  $I_s$ , en [cm<sup>4</sup>], no será inferior al obtenido en la siguiente fórmula

$$I_s = 40 \cdot S \cdot Z \cdot \frac{R}{E_s}$$

Donde

**R** = La mayor tensión de rotura a compresión, de las dos pieles en [N/mm<sup>2</sup>]

**E<sub>s</sub>** = La media entre cuatro valores, los dos módulo de compresión y los dos módulos a cortante, en [N/mm<sup>2</sup>]

**Z** = El mayor valor entre  $Z_{so}$  y  $Z_{si}$ , en [cm<sup>3</sup>].

Por último, el espesor del núcleo,  $h_a$ , en [mm], no será inferior al siguiente

$$h_a = \frac{k_1 \cdot p \cdot S}{\tau}$$



Donde

$$k_1 = 0.5 \text{ si } p = p_1 \\ = 0.2 \text{ si } p = p_2$$

- Costado: El módulo de la sección  $Z_{So}$  y  $Z_{Si}$ , en [**cm<sup>3</sup>**], correspondientes a la piel externa e interna respectivamente, de una placa de **1 cm de ancho**, no será inferior al obtenido a continuación:

$$Z_{So} = k_1 \cdot p \cdot S^2 \cdot \frac{1}{R_{co}} \\ Z_{Si} = k_1 \cdot p \cdot S^2 \cdot \frac{1}{R_{ci}}$$

Donde

$$k_1 = 1.6 \text{ si } p = p_1 \\ = 0.4 \text{ si } p = p_2$$

Por su parte, el momento de inercia  $I_s$ , en [**cm<sup>4</sup>**], no será inferior al obtenido en la siguiente fórmula

$$I_s = 40 \cdot S \cdot Z \cdot \frac{R}{E_s}$$

Donde

**R** = La mayor tensión de rotura a compresión, de las dos pieles en [**N/mm<sup>2</sup>**]

**E<sub>s</sub>** = La media entre cuatro valores, los dos módulo de compresión y los dos módulos a cortante, en [**N/mm<sup>2</sup>**]

**Z** = El mayor valor entre  $Z_{So}$  y  $Z_{Si}$ , en [**cm<sup>3</sup>**].

Por último, el espesor del núcleo,  $h_a$ , en [**mm**], no será inferior al siguiente

$$h_a = \frac{k_1 \cdot p \cdot S}{\tau}$$

Donde

$$k_1 = 0.5 \text{ si } p = p_1 \\ = 0.2 \text{ si } p = p_2$$



- Cubiertas: El módulo de la sección  $Z_{So}$  y  $Z_{Si}$ , en [ $\text{cm}^3$ ], correspondientes a la piel externa e interna respectivamente, de una placa de **1 cm de ancho**, no será inferior al obtenido a continuación:

$$Z_{So} = 15 \cdot h \cdot S^2 \cdot \frac{1}{R_{co}}$$
$$Z_{Si} = 15 \cdot h \cdot S^2 \cdot \frac{1}{R_{ii}}$$

Por su parte, el momento de inercia  $I_s$ , en [ $\text{cm}^4$ ], no será inferior al obtenido en la siguiente fórmula

$$I_s = 40 \cdot S \cdot Z \cdot \frac{R}{E_s}$$

Donde

**R** = La mayor tensión de rotura a compresión, de las dos pieles en [ $\text{N/mm}^2$ ]

**E<sub>s</sub>** = La media entre cuatro valores, los dos módulo de compresión y los dos módulos a cortante, en [ $\text{N/mm}^2$ ]

**Z** = El mayor valor entre  $Z_{So}$  y  $Z_{Si}$ , en [ $\text{cm}^3$ ].

Por último, el espesor del núcleo,  $h_a$ , en [ $\text{mm}$ ], no será inferior al siguiente

$$h_a = \frac{7 \cdot h \cdot S}{\tau}$$

- Mamparos: Los resultados obtenidos en este apartado se aplican a todo tipo de mamparos. El módulo de la sección, en [ $\text{cm}^3$ ], correspondientes a la piel externa e interna respectivamente, de una placa de **1 cm de ancho**, no será inferior al obtenido a continuación:

$$Z_s = 15 \cdot h \cdot S \cdot \frac{1}{R}$$

Por su parte, el momento de inercia  $I_s$ , en [ $\text{cm}^4$ ], no será inferior al obtenido en la siguiente fórmula

$$I_s = 40 \cdot S \cdot Z \cdot \frac{R}{E_s}$$



Donde

**R** = La mayor tensión de rotura a compresión, de las dos pieles en [**N/mm<sup>2</sup>**]

**E<sub>s</sub>** = La media entre cuatro valores, los dos módulo de compresión y los dos módulos a cortante, en [**N/mm<sup>2</sup>**]

Por último, el espesor del núcleo, **h<sub>a</sub>**, en [**mm**], no será inferior al siguiente

$$h_a = \frac{7 \cdot h \cdot S}{\tau}$$