

Prefectura Naval Argentina

ORDENANZA N° 3-02 (DPSN)

TOMO 1

“RÉGIMEN TÉCNICO DEL BUQUE”

Ordenanza actualizada mediante DISFC-2025-1416-APN-PNA#MSG.
Buenos Aires, 6 de octubre de 2025.

NORMAS DE CONSTRUCCIÓN PARA BUQUES Y ARTEFACTOS NAVALES

Visto lo propuesto por la Dirección de Policía de Seguridad de la Navegación, mediante EX-2022-71661801- -APN-DPSN#PNA, lo analizado por la Dirección de Planeamiento, y

CONSIDERANDO:

Que, de acuerdo con la Resolución MSC.476 (102) -aprobada por la Organización Marítima Internacional (OMI)- el Comité de Seguridad Marítima adoptó las “ENMIENDAS AL CÓDIGO INTERNACIONAL PARA LA CONSTRUCCIÓN Y EL EQUIPO DE BUQUES QUE TRANSPORTEN GASES LICUADOS A GRANEL (CÓDIGO CIG)”.

Que, la Ordenanza N° 3/02 (DPSN) del TOMO 1 “RÉGIMEN TÉCNICO DEL BUQUE” titulada “NORMAS DE CONSTRUCCIÓN PARA BUQUES Y ARTEFACTOS NAVALES”, tiene por objeto normalizar el uso de los materiales aptos para la construcción naval y los requisitos que los mismos deben cumplir.

Que, la Dirección de Policía de Seguridad de la Navegación promueve la actualización de la normativa nacional de referencia, con la consecuente derogación de la Ordenanza Marítima N° 5/74 del TOMO 2 “RÉGIMEN ADMINISTRATIVO DEL BUQUE” titulada “REALIZACIÓN, CALIFICACIÓN Y PRESENTACIÓN DE EXÁMENES RADIOGRÁFICOS DE SOLDADURAS DE BUQUES”.

Que, acorde las últimas innovaciones, cuando empresas radicadas en el país realicen soldaduras de materiales y pruebas no destructivas, las mismas deberán encontrarse inscriptas en el registro que a tal efecto lleva la Prefectura Naval Argentina (PNA), conforme lo normado en la Ordenanza N° 6-94 (DPSN) del TOMO 2 “RÉGIMEN ADMINISTRATIVO DEL BUQUE”, titulada “NORMAS PARA LA INSCRIPCIÓN Y REINSCRIPCIÓN DE LAS EMPRESAS Y ESTABLECIMIENTOS DE LA INDUSTRIA NAVAL, SUBSIDIARIAS DE LA INDUSTRIA NAVAL Y LAS DEDICADAS A LA FABRICACIÓN, EL MANTENIMIENTO Y/O LA REPARACIÓN DEL EQUIPO DE LOS BUQUES, RELACIONADAS Estrictamente con la seguridad de la navegación, de la vida humana en las aguas, el transporte de mercancías peligrosas y la prevención de la contaminación”.

Que, asimismo, las empresas radicadas en el extranjero deberán contar con la certificación de una organización reconocida por la PNA conforme lo requerido por la Ordenanza N° 3-15 (DPSN), TOMO 2 “RÉGIMEN ADMINISTRATIVO DEL BUQUE” titulada “AUTORIZACIÓN DE ORGANIZACIONES RECONOCIDAS Y REQUISITOS PARA EL RECONOCIMIENTO DE BUQUES PROVENIENTES DE OTROS ESTADOS DE ABANDERAMIENTO”.

Que, en las construcciones de buques que transporten gases licuados a granel, se aplicará lo normado en el Capítulo 6, párrafo 6.5. del Código CIG.

Que, por otra parte, a nivel nacional mediante el Decreto N° 891/2017, se aprobaron las “BUENAS PRÁCTICAS EN MATERIA DE SIMPLIFICACIÓN”, aplicables al Sector Público Nacional, entre cuyos objetivos, está el de garantizar la mejora continua de los procesos, circunstancia a la cual se adapta la presente modificación.

Que, se han cumplido los principios normativos establecidos en la Resolución N° 390/2018 (14/05/2018) del Ministerio de Seguridad que aprobó los “PRINCIPIOS RECTORES DE LAS BUENAS PRÁCTICAS EN MATERIA DE SIMPLIFICACIÓN” aplicables al MINISTERIO DE SEGURIDAD y las Fuerzas Policiales y de Seguridad Federales”.

Que, la Dirección de Planeamiento no tiene objeciones que formular, toda vez que el contenido de la publicación propiciada se adecua a los criterios de coherencia y cohesión requeridos dentro del sistema reglamentario y el de publicaciones, vigentes en la organización.

Que ha tomado intervención la Dirección de Asuntos Jurídicos, la cual se expidió mediante Dictamen obrante en el IF-2022-134982677-APN-PNAR#PNA.

Que esta instancia está facultada para dictar el correspondiente acto administrativo, de acuerdo con los preceptos del Artículo 5°, inciso a), apartado 23 de la Ley N° 18.398 “Ley General de la Prefectura Naval Argentina”.

Por ello,

EL PREFECTO NACIONAL NAVAL
DISPONE:

ARTÍCULO 1°. APRUÉBASE el Volante Rectificativo N° 1-2023 a la Ordenanza N° 3/02 (DPSN) del TOMO 1 “RÉGIMEN TÉCNICO DEL BUQUE” titulada “NORMAS DE CONSTRUCCIÓN PARA BUQUES Y ARTEFACTOS NAVALES”, que se adjunta como Anexo DI-2023-115770322-APN-DPLA#PNA y que forma parte de la presente.

ARTÍCULO 2°. La citada norma actualizada entrará en vigencia a partir de la fecha de la publicación del presente acto administrativo en el Boletín Oficial de la República Argentina.

ARTÍCULO 3°. DERÓGASE la Ordenanza Marítima N° 5/74 del TOMO 2 “RÉGIMEN ADMINISTRATIVO DEL BUQUE” titulada “REALIZACIÓN, CALIFICACIÓN Y PRESENTACIÓN DE EXÁMENES RADIOGRÁFICOS DE SOLDADURAS DE BUQUES”.

ARTÍCULO 4°. Por la Dirección de Planeamiento, procédase a la publicación en el Boletín Oficial de la República Argentina, la impresión de UN (1) ejemplar patrón y su actualización en los sitios oficiales de internet e intranet de la Prefectura Naval Argentina.

ARTÍCULO 5°. Comuníquese, publíquese, dese a la DIRECCIÓN NACIONAL DEL REGISTRO OFICIAL y archívese.

(1) Actualizada por DISFC-2025-218-APN-PNA#MSG

(2) Actualizada por DISFC-2025-1416-APN-PNA#MSG

**NORMAS DE CONSTRUCCIÓN PARA BUQUES
Y ARTEFACTOS NAVALES**

1. GENERALIDADES.

1.1 OBJETO:

La presente Ordenanza tiene por objeto normalizar el uso de los materiales aptos para la construcción naval, estableciendo las pruebas y requisitos que los mismos deben cumplir así como las solicitudes que deben soportar y las tensiones máximas admisibles para las cuales deben estar diseñadas las estructuras.

1.2. AMBITO DE APLICACIÓN:

- 1.2.1. La presente Ordenanza se aplicará a todo buque o artefacto naval que se construya con destino a la matrícula nacional, a partir de la entrada en vigor de la misma. *

Los buques de navegación marítima que se construyan a partir del 1 de enero de 2026 cumplirán con lo establecido en los incisos 1.2.5., 1.2.6. y 1.2.7. respectivamente. *

** (Texto modificado de acuerdo con el V.R. 2-2025)*

- 1.2.2. También se aplica a todo buque existente de la matrícula nacional sobre el que se realicen modificaciones que afecten la resistencia estructural de su casco o que solicite el cambio de navegación a zonas con mayor carga hidrodinámica.

- 1.2.3. Los buques o artefactos navales existentes de matrícula extranjera que deseen incorporarse a la Matrícula Nacional, con posterioridad a la entrada en vigor de la presente, presentarán una certificación de una Sociedad de Clasificación reconocida por la Prefectura o de la Autoridad Marítima del país de origen, demostrando que la construcción ha sido supervisada y aprobada con arreglo a normas de construcción naval aceptadas.

En los buques nuevos contruidos en el extranjero, sin la supervisión de Prefectura y con destino a la matrícula Nacional, la Prefectura requerirá el correspondiente protocolo de materiales con las especificaciones y ensayos efectuados y las pruebas a las que fuera sometida la estructura, con indicación clara del tipo de navegación y servicio asignados y de la carga máxima admisible autorizada. En este caso, aceptará los certificados de materiales emitidos por una Sociedad de Clasificación IACS, que indiquen que se satisfacen las normas de desempeño establecidas o recomendadas por la OMI. *

** (Texto modificado de acuerdo con el V.R. 2-2025)*

- 1.2.4. Las embarcaciones contruidas en el extranjero que no presenten la documentación indicada en 1.2.3 serán sometidas a las pruebas y estudios estructurales y de materiales que la Prefectura determine de modo que a través de los elementos técnicos de juicio presentados y los ensayos de los materiales realizados, se pueda obtener la información necesaria para determinar el tipo de material de construcción y las cargas que soportará la estructura de la embarcación a efectos de autorizar la navegación y servicio solicitados.

- 1.2.5. Los buques tanques quimiqueros definidos en la Regla VII/8.2 del Convenio SOLAS, además cumplirán con las prescripciones del Capítulo 6 del “Código internacional para la construcción y el equipo de buques que transporten productos químicos peligrosos a granel” (Código CIQ). *

Los buques gaseros definidos en la Regla VII/11.2 del Convenio SOLAS, asimismo cumplirán con las prescripciones del Capítulo 4 del “Código internacional para la construcción y el equipo de buques que transporten gases licuados a granel” (Código CIG). *

- 1.2.6. Los buques que utilicen combustible de bajo punto de inflamación, por otro lado, cumplirán con las prescripciones del “Código internacional de seguridad para los buques que utilicen gases u otros combustibles de bajo punto de inflamación” (Código IGF) aprobado por Disposición DISFC-2022-188-APN-PNA#MSG. *
- 1.2.7. Las Naves de gran velocidad definidas en la Regla X/1.3 del Convenio SOLAS, adicionalmente cumplirán con las prescripciones del Capítulo 3 del “Código internacional de seguridad para naves de gran velocidad” (Código NVG 2000). *
* (Incorporado por V.R. 1-2025)
- 1.2.8. Las embarcaciones construidas con destino al Registro Especial de Yates de la matrícula nacional, cuya estructura haya sido diseñada conforme a una norma de construcción aplicable al servicio deportivo o de placer y que posteriormente deseen cambiar a la matrícula mercante nacional, cumplirán con la presente para el servicio comercial y la zona de navegación solicitadas. *
* (Reenumerado de acuerdo con el V.R. 1-2025)
- 1.2.9. Los buques graneleros y petroleros a los que se aplica la Regla II-1/3-10 del Convenio SOLAS “Normas de construcción de buques basadas en objetivos para graneleros y petroleros” que se vayan a construir con destino a la bandera nacional, en lugar de satisfacer las disposiciones del Agregado N° 1 de la presente, deberán satisfacer las prescripciones de una norma de construcción de una Organización Reconocida por la Prefectura Sociedad de Clasificación IACS o una norma nacional, que haya sido verificada de conformidad con el párrafo 6 de la Resolución MSC.287(87).*

El listado de las normas verificadas se publica mediante Circular del Comité de Seguridad Marítima de la Organización Marítima Internacional (véase Circular MSC.1/Circ.1518). *
*(Texto modificado de acuerdo con el V.R. 2-2025)

1.3. DEFINICIONES.

- 1.3.1. **Autorización Preliminar:** Es la autorización que otorga la Prefectura para iniciar una obra y proseguirla hasta el límite establecido en cada caso, en base a un número determinado de elementos técnicos de juicio aportados. Esta autorización de construcción será registrada en el expediente de tramitación de la construcción, cuando en dicho expediente consten agregados los elementos técnicos de juicio necesarios que establezca la reglamentación vigente.
- 1.3.2. **Calado de Escantillonado:** Es el máximo calado moldeado medido en la sección media y en aguas tranquilas para el cual la estructura ha sido aprobada. Dicho calado será solicitado por el proyectista y asignado por el Departamento Técnico de la Navegación.
- 1.3.3. **Cubierta resistente:** Es la cubierta completa más elevada, continua de proa a popa y de banda a banda, la cual contribuye efectivamente a la resistencia longitudinal del buque y a la cual el módulo resistente mínimo de la sección debe ser verificado. En buques sin cubiertas efectivas parciales de superestructuras, es decir que no se encuentren dentro del 40% de la eslora L al centro por al menos el 15% de la eslora L, la cubierta resistente coincidirá con la cubierta completa y continua más elevada. En buques con cubiertas efectivas parciales de superestructuras, la cubierta resistente será una cubierta escalonada que se extienda hasta la cubierta más alta de esas superestructuras cuando su longitud sea mayor al 60% de la eslora L y cuya parte más baja la constituirá la cubierta expuesta al costado de dichas

superestructuras.

- 1.3.4. **Módulo Resistente de la Sección:** Es el obtenido de dividir el momento de inercia de la sección con respecto a su eje neutro, por la distancia a la fibra más alejada del fondo y a la cubierta resistente al costado, respectivamente. En el cálculo del módulo los troncos o brazolas longitudinales de escotilla continuas pueden ser incluidos cuando ellos estén efectivamente soportados. En tales casos el módulo a cubierta se obtendrá dividiendo el momento de inercia de la sección completa por la distancia “Y”, donde dicha distancia se calculará como sigue:

$$Y = Y_t(0,9 + 0,2 X/B)$$

donde:

Y_t : distancia vertical desde el extremo del tronco o brazola al eje neutro.

X : distancia horizontal desde el extremo del tronco o brazola a la crujía del buque.

B : Manga del buque.

- 1.3.5. **Eslora de escantillonado (L):** longitud del buque en flotación entre las perpendiculares de proa y popa, al calado de máxima carga, siempre que no sea inferior al 96% de la eslora total en dicha flotación y no siendo necesario que supere al 97% de ésta.
- 1.3.6. **Respuesta de la viga buque o primaria:** tensión nominal que resulta de la deformación del casco del buque debido al desequilibrio de las fuerzas de peso y empuje a lo largo de su eslora y comprende tanto la tensión normal por efecto de la flexión como la tensión tangencial por efecto del corte.
- 1.3.7. **Respuesta de los miembros principales de la estructura o secundaria:** tensión nominal que resulta de la deformación de los miembros principales (vigas y paneles reforzados) debido al desequilibrio entre la fuerza hidrostática y el peso de la carga sobre un área de la estructura del buque soportada entre sus costados o mamparos longitudinales y los mamparos transversales y comprende, tanto la tensión normal (en el plano y de flexión) como la tensión tangencial en las vigas y la tensión normal (en el plano) de los paneles reforzados.
- 1.3.8. **Respuesta local o terciaria:** tensión nominal que resulta de la deformación por flexión del enchapado entre refuerzos debido a cargas locales normales. A los efectos de la presente, es también la tensión local de flexión de los refuerzos componentes de los paneles reforzados, cuando éstos se calculan en forma independiente de la respuesta secundaria.
- 1.3.9. **Convenio SOLAS:** Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar (SOLAS 1974) en su forma enmendada, adoptado por la Organización Marítima Internacional. *

* (Incorporado por V.R. 2-2025)

2. MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.

2.1. ACERO.

2.1.1. General:

- 2.1.1.1. Todo buque de eslora de arqueo mayor o igual a 60 m deberá construirse con acero que presente la identificación de aprobación de una Sociedad de Clasificación IACS y cuyo grado esté en concordancia con lo establecido por una norma de construcción de una de dichas Sociedades.*

*(Texto modificado de acuerdo con el V.R. 2-2025)

2.1.1.2. Todo buque de eslora de arqueado menor a 60 m, podrá construirse o repararse con un acero que cumpla con las características más abajo indicadas.

2.1.2. Acero Laminado:

2.1.2.1. La composición química en análisis de cuchara o de colada será:

Carbono:	Máximo 0,23 %
Manganeso:	Máximo % Carbono + % Manganeso/6 \leq 0,40 % (*)
Silicio:	Máximo 0,35 %
Fósforo:	Máximo 0,040 %
Azufre:	Máximo 0,040 %

(*) En espesores de más de 12,5 mm el contenido de manganeso no será menor a 2,5 veces el de Carbono.

2.1.2.2. El grado de desoxidación o calado mínimo requerido será:

Semicalmado o Calmado. Para espesores de hasta 12,5 mm podrán aceptarse aceros parcialmente descuidados (efervescentes).

2.1.2.3. Las características mecánicas mínimas cuando se someta una probeta del material a una prueba de tracción serán

Resistencia a la Rotura:	Entre 400 y 490 N/mm ² .
Tensión de Fluencia:	Mínimo 235 N/mm ² .

Alargamiento en la Rotura:

Probeta cilíndrica ($5,65 \sqrt{S_0}$) = Mínimo 22 %.

Probeta Plana (e = 25 mm, medición = 200 mm)

Espesor (e) hasta 5 mm	Mínimo 14 %
5 < e \leq 10 mm	Mínimo 16%
10 < e \leq 15 mm	Mínimo 17 %
15 < e \leq 20 mm	Mínimo 18 %

2.1.2.4. No se requerirán tratamiento térmico o prueba de impacto (Charpy).

2.1.2.5. Cuando a solicitud del armador se emplee acero de alta resistencia o aceros grados B, C o D, según la clasificación de una Sociedad de Clasificación IACS, el material cumplirá con las especificaciones determinadas en las normas de dicha Sociedad.*

*(Texto modificado de acuerdo con el V.R. 2-2025)

2.1.3. Acero Fundido o Colado:

2.1.3.1. En las zonas de la estructura del casco en las que se utilice fundición de acero al carbono manganeso, la composición química de dicho acero será:

Carbono:	Máximo 0,23 %
Manganeso:	Máximo 1,60 %, pero no menor a 3 veces el contenido actual de carbono
Silicio:	Máximo 0,60 %
Azufre:	Máximo 0,040 %
Fósforo:	Máximo 0,040 %
Elementos Residuales:	Total Máximo 0,80 %

2.1.3.2. Para contenidos de carbono excedentes de 0,18 % se requerirá precalentamiento y control de temperatura interfase cuando se suelde.

2.1.3.3. Los aceros fundidos deberán ser tratados térmicamente con el objeto de asegurar un mayor refinamiento del grano de los cristales del metal, una mejor atenuación de las

tensiones residuales y propiedades mecánicas adecuadas. A tal efecto deberán ser normalizados o normalizados y templados a una temperatura no menor a 550 ° C o un recocido por encima de la temperatura crítica superior con enfriamiento lento.

- 2.1.3.4. Se hará al menos una prueba de tracción por cada colada. Donde la colada exceda de 10 toneladas, se realizarán al menos dos de dichas pruebas, a efectos de verificar las siguientes características mecánicas:

Resistencia a la Rotura: Mínima 400 N/mm².
Tensión de Fluencia: Mínima 200 N/mm².
Alargamiento a la Rotura: Mínimo 25 % sobre probeta cilíndrica ($5,65 \sqrt{S_0}$)
Reducción de Área: Mínimo 40 %

- 2.1.3.5. El acero fundido utilizado en la construcción de codastes, soporte de timones etc. deberá ser examinado por ultrasonido y partículas magnéticas.

2.1.4. Acero Forjado.

- 2.1.4.1. En las zonas de la estructura del casco en las que se utilice de acero forjado al carbono manganeso que deba unirse por soldadura, la composición química de dicho acero será:

Carbono: Máximo 0,23 %
Manganeso: Entre 0,30 % y 1,70 %, pero no menor a 3 veces el contenido actual de carbono para piezas en las que no se vaya a realizar un tratamiento térmico después de la soldadura.
Silicio: Máximo 0,45 %
Azufre: Máximo 0,045 %
Fósforo: Máximo 0,045 %
Elementos Residuales: Total Máximo 0,80 %

- 2.1.4.2. Los aceros forjados deberán ser tratados térmicamente con el objeto de asegurar un mayor refinamiento del grano de los cristales del metal, una mejor atenuación de las tensiones residuales y propiedades mecánicas adecuadas. A tal efecto deberán ser normalizados o normalizados y templados a una temperatura no menor a 550 ° C o un recocido por encima de la temperatura crítica superior con enfriamiento lento.

- 2.1.4.3. Se hará al menos una prueba de tracción por cada forja. Donde el material forjado exceda de 4 toneladas, se realizarán al menos dos de dichas pruebas de cada extremo de la pieza, a efectos de verificar las siguientes características mecánicas:

Resistencia a la Rotura: Mínima 430 N/mm².
Tensión de Fluencia: Mínima 215 N/mm².
Alargamiento a la Rotura: Mínimo 25 % en probeta cilíndrica longitudinal ($5,65 \sqrt{S_0}$)
Mínimo 18 % sobre probeta cilíndrica transversal ($5,65 \sqrt{S_0}$)

- 2.1.4.4. Las pruebas de tracción de cada extremo especificadas anteriormente no producirán valores de resistencia a la rotura que difieran en más de 70 N/mm².

2.1.5. Pruebas.

- 2.1.5.1. Los materiales que presenten la documentación, identificación y certificación por parte de una Sociedad de Clasificación IACS o de un fabricante reconocido por la Prefectura, serán aceptados sin necesidad de ensayos de verificación de material adicionales.*

*(Texto modificado de acuerdo con el V.R. 2-2025)

- 2.1.5.2. Cuando el acero utilizado no se presente a la inspección con la documentación

indicada precedentemente, se realizarán ensayos de características físicas y químicas con arreglo a la norma IRAM IAS U 500-42 para chapas e IRAM IAS U 500-503 para perfiles. En cualquier caso deberá cumplir con las características previstas para aceros F-24 o F-30 de dichas normas.

- 2.1.5.2.1. En este caso se tomarán para el ensayo de tracción al menos dos probetas por cada espesor diferente de chapa, perfil o barra utilizada, a menos que el peso total de dichos lotes sea menor a 20 t en cuyo caso bastará con una probeta por cada uno. Sin embargo en chapas o barras planas de espesor menor a 5 mm y para perfiles de sección menor a 645 mm² o redondos de diámetro menor a 12.5 mm, no será necesario realizar el ensayo de tracción siempre que los resultados de los análisis químicos sean consistentes con las propiedades físicas requeridas para ese material.
- 2.1.5.2.2. Sin perjuicio de lo expresado en 2.1.5.2.1, cuando los resultados de los ensayos o los indicios demuestren que se ha utilizado acero de composición química no uniforme la Prefectura podrá requerir la realización de ensayos adicionales. En tales casos con el objeto de prevenir la corrosión galvánica por pila interna del material, la Prefectura podrá reducir los tiempos de puesta a seco de la embarcación con el objeto de realizar un seguimiento del comportamiento del material a la corrosión por agua de mar.
- 2.1.5.2.3. La ejecución de los ensayos relativos a la determinación de la composición química de las muestras será realizada por un laboratorio reconocido por la Prefectura con arreglo a lo indicado en las normas IRAM-IAS 850, 852, 854, 856 y 857. El ensayo de tracción será realizado acorde a lo establecido en la norma IRAM-IAS U 500-102.
- 2.1.5.2.4. A los efectos de la presentación de los resultados de laboratorio a la Prefectura, el mismo contendrá la información que permita comprobar el cumplimiento de lo indicado en 2.1.5.1 y adicionalmente contendrán:
 - a) Indicación de la identificación del Inspector en la muestra
 - b) Fecha de realización e identificación del comitente.
 - c) Especificaciones del equipo y procedimiento utilizado.
 - d) Identificación del laboratorio y firma del responsable técnico del mismo.
 - e) Conclusiones

2.2. MADERA.

- 2.2.1. La madera utilizada deberá ser de buena calidad, convenientemente estacionada libre de savia, picaduras, descomposición, ataque de insectos, fisuras, grandes ondulaciones y otras imperfecciones que puedan afectar la eficiencia del material, aún cuando ocasionales nudos pueden ser aceptables.
- 2.2.2. El escantillonado de las embarcaciones de casco de madera, será especialmente considerado, cuando su velocidad supere los 20 nudos o la eslora supere los 30 m.
- 2.2.3. La densidad de la madera utilizada en las distintas partes del casco, con un 15 % de humedad, será en general la indicada a continuación y cuando se utilicen otras densidades menores los escantillones deberán ser aumentados:

Zona del Casco	Densidad en kg/m ³
Cuadernas y Varengas	720
Quilla, Roda y Codaste	640
Tablas del Casco, Baos, Serretas,	560
Tablas de Cubierta	430

2.3. PLASTICO REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO (PRFV).

- 2.3.1. Las especificaciones de la resina, los aceleradores y catalizadores y los fieltros de fibra de vidrio utilizados, así como las prescripciones relativas a la preparación, moldeo, laminado y condiciones del local de fabricación, serán las que determinan las normas de la Prefectura o las de una Sociedad de Clasificación IACS.*

*(Texto modificado de acuerdo con el V.R. 2-2025)

- 2.3.2. Salvo lo prescrito en 2.3.3, el valor medio de los resultados de ensayos en muestras de laminados convencionales en resina polyester y con un contenido vidrioso Gc de al menos el 30% en capas alternadas de fibra de vidrio clase E (“mat - roving”), no será menor a:

$$\begin{aligned}\text{Resistencia a la Rotura por Tracción (N/mm}^2\text{)} &= 1278 Gc^2 - 510 Gc + 123 \\ \text{Módulo de Elasticidad a la Tracción (N/mm}^2\text{)} &= (37 Gc - 4,75) 10^3 \\ \text{Resistencia a la Rotura por Flexión (N/mm}^2\text{)} &= 502 Gc^2 + 107 \\ \text{Módulo de Elasticidad a la Flexión (N/mm}^2\text{)} &= (33,4 Gc^2 + 2,2) 10^3\end{aligned}$$

Donde: Gc (contenido vidrioso) es la relación entre la masa del contenido de vidrio del laminado en g/m² y la masa total del laminado en g/m².

En cualquier caso valor individual obtenido en los ensayos será menor al 80% de dicho valor medio.

- 2.3.3. La Prefectura podrá aceptar laminados con contenido vidrioso no menores al 27 % siempre que sus características de resistencia mínima verifiquen los siguientes valores:

$$\begin{aligned}\text{Resistencia a la Tracción} &\geq 80 \text{ N/mm}^2 \\ \text{Resistencia a la Flexión} &\geq 118 \text{ N/mm}^2 \\ \text{Módulo de Elasticidad a la Tracción} &\geq 6000 \text{ N/mm}^2 \\ \text{Módulo de Elasticidad a la Flexión} &\geq 5000 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

- 2.3.4. Los ensayos de las propiedades mecánicas y el contenido vidrioso (Gc) especificados precedentemente se realizarán de acuerdo con las normas correspondientes que especifique la Prefectura. Los resultados de dichos ensayos serán suministrados a esta Autoridad Marítima con arreglo a lo dispuesto en 2.1.5.2.3.

- 2.3.5. Las propiedades mecánicas de laminados que utilicen otras resinas y fibras de vidrio que las consignadas en 2.3.2, serán establecidas acorde a una norma reconocida por la Prefectura, aunque en ningún caso, sus propiedades mecánicas serán menores a las indicadas en dicho párrafo.

2.4. ALUMINIO.

- 2.4.1. El aluminio utilizado en la construcción de cascos, normalmente, poseerá la siguiente composición química:

Cobre:	Máximo 0,10 %
Magnesio:	Entre 3,5 y 5,6 %
Silicio:	Máximo 0,5 %
Hierro:	Máximo 0,5 %
Manganeso:	Máximo 1,0 %
Zinc:	Máximo 0,2 %
Cromo:	Máximo 0,35 %
Titanio y Otros:	Máximo 0,2 %
Aluminio:	Resto

- 2.4.2. Las propiedades mecánicas mínimas del aluminio indicado en el párrafo precedente serán:

Tensión de Proporcionalidad (0,2%) N/mm ² :	125
Resistencia de Rotura a la Tracción N/mm ² :	260
Alargamiento a la rotura (5,65 $\sqrt{S_0}$):	11 %

- 2.4.3. Otras aleaciones de aluminio podrán ser utilizadas bajo consideración especial de la Prefectura.

2.5. Soldadura de materiales y pruebas no destructivas. (actualizado por DISFC-2023-1173-APN-PNA#MSG)

- 2.5.1. Cuando se realicen ensayos no destructivos tales como pruebas ultrasónicas, métodos superficiales, radiográficos, relativos a la estructura del buque o sus apéndices, entre otros, las empresas radicadas en el país deberán encontrarse inscriptas en el registro que a tal efecto lleva la Prefectura Naval Argentina.

Tanto los procesos de ensayos como su instrumental deberán estar acreditados por un organismo de certificación nacional o internacional reconocido.

Asimismo, tales empresas deberán acreditar en el registro mencionado la capacitación de su personal de conformidad a una norma nacional o internacional reconocida como "norma END" (ISO 9712:2012, IDT), entre otras.

Las empresas radicadas en el extranjero deberán contar con la certificación de una Sociedad de Clasificación IACS.*

*(Texto modificado de acuerdo con el V.R. 2-2025)

- 2.5.2 La realización de los ensayos practicados por empresas radicadas en el país deberá ser efectuados de conformidad a una norma nacional o internacional reconocida.*

*(Texto modificado de acuerdo con el V.R. 2-2025)

- 2.5.3 Los informes de ensayos realizados en el extranjero, aceptados por una Organización Reconocida por la Prefectura Naval Argentina, Sociedad de Clasificación IACS, serán reconocidos por esta Autoridad Marítima.*

*(Texto modificado de acuerdo con el V.R. 2-2025)

- 2.6 En construcciones de buques que transporten gases licuados a granel, se aplicará lo normado en el Capítulo 6, párrafo 6.5. del "Código Internacional para la Construcción y el Equipo de Buques que Transporten Gases Licuados a Granel" (CIG) o norma que lo reemplace.

3 CRITERIOS PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL DE LOS CASCOS DE ACERO.

3.1 Relaciones normales de las características principales del casco:

En general las relaciones entre la eslora (L), la manga máxima moldeada (B) y el puntal a la cubierta resistente (D), serán las que se indican en la siguiente tabla. Proporciones distintas a las indicadas a continuación serán objeto de estudio particular por parte de la Prefectura:

Navegación	L / D	B / D
Marítima irrestricta	≤ 17	≤ 3
Marítima costera	≤ 17	≤ 3
Marítima protegida y Río de la Plata Exterior	≤ 22	≤ 3

Río de la Plata Exterior	≤ 22	≤ 3
Río de la Plata Interior y Lagos del Sur	≤ 25	≤ 4
Ríos Interiores	≤ 25	≤ 4

3.2 Factor de Resistencia del Acero:

Los criterios de diseño de la presente, serán aplicables a aceros de distinta tensión de fluencia (σ_f) a través de la utilización de un factor “ f_1 ” de resistencia del material acorde la siguiente tabla:

$235 \text{ N/mm}^2 \leq \sigma_f < 265 \text{ N/mm}^2$	$f_1 = 1,00$
$265 \text{ N/mm}^2 \leq \sigma_f < 315 \text{ N/mm}^2$	$f_1 = 1,08$
$315 \text{ N/mm}^2 \leq \sigma_f < 355 \text{ N/mm}^2$	$f_1 = 1,28$
$355 \text{ N/mm}^2 \leq \sigma_f < 390 \text{ N/mm}^2$	$f_1 = 1,39$
$\sigma_f \geq 390 \text{ N/mm}^2$	$f_1 = 1,43$

3.3 Mínimo Espesor y Margen por Corrosión:

3.3.1 Margen por corrosión: los valores determinados para los elementos estructurales (enchapado y estructura interna) conforme sus tensiones máximas admisibles, constituyen valores netos y no incluyen margen por corrosión (t_c). Por tanto a los efectos de determinar los escantillones de construcción con margen incluido, los espesores se aumentarán, al menos, en la siguiente proporción:

a) En cualquier otra área de la estructura, no incluida en b):

$$t_c = 1,5 \text{ mm} \quad \text{para, } t' \text{ (espesor neto)} \leq 10 \text{ mm.}$$

$$t_c = 0,1 t' / \sqrt{f_1} + 0,5 \quad \text{para, } t' \text{ (espesor neto)} > 10 \text{ mm. Máximo 3 mm.}$$

b) En las siguientes áreas

Zona del Casco	t_c (mm)
En tanques de lastre cuyo cielo forma una cubierta a la intemperie (hasta 1,5 m por debajo de dicho cielo)	2,5
Idem anterior, en tanques de combustible y miembros horizontales dentro del tanque	2,0
Enchapado de cubierta de casillajes con montaje elástico	3,0

c) Cuando el proyectista considere necesario utilizar otros márgenes de corrosión o sistemas especiales de control de corrosión, dejará expresa constancia de ello en los planos de estructura del buque.

3.3.2 Mínimo Espesor: Cualquiera sea el valor de espesor neto requerido por los cálculos prescritos en la presente, en buques sujetos a plazos ordinarios de puesta en seco, el espesor mínimo de los elementos estructurales no será inferior al prescrito en una norma de construcción reconocida. En particular, el enchapado del casco verificará los siguientes valores mínimos:

L (m)	Enchapado de	Mínimo Espesor t_m (mm)
$L \leq 21$ m	Fondo y Costado (bajo flotación)	$t_m = 1,5 + 0,2 L \geq 3$ mm
	Costado (sobre flotación)	$t_m = 1,0 + 0,2 L \geq 3$ mm
	Cubierta	$t_m = 1,0 + 0,2 L \geq 3$ mm
$L > 21$ m	Fondo y Costado (bajo flotación)	$t_m = 5,0 + 0,04 L / \sqrt{f_1} + t_c$ t_c margen de corrosión según 3.3.1 f_1 factor de resistencia del material según 3.2
	Costado (sobre flotación)	$t_m = 5,0 + 0,04 k L / \sqrt{f_1} + t_c$ $k=0,04$ hasta 4,6m por encima de la flotación (por cada 2,3m por encima de este nivel se puede reducir 0,01) hasta un mínimo de $k=0,01$.
	Cubierta Resistente	$t_m = t_0 + 0,04 k L / \sqrt{f_1} + t_c$ $t_0 = 5,5$ en cubiertas sin revestimientos $t_0 = 5,0$ en cubiertas de acomodación o con revestimientos $k=0,02$ en buques de una cubierta continua $k=0,01$ en buques de dos cubiertas continua por encima del 70% del puntal. $k=0$ en buques con más de dos cubiertas continuas por arriba de 70% del puntal.

3.4 Condiciones de Carga – Manual de Carga:

- 3.4.1 Los cálculos de resistencia y estabilidad estructural serán presentados para las condiciones de: máxima carga, carga parcial, lastre y toda otra condición compatible con el manual de estabilidad que resulte relevante para la respuesta estructural.
- 3.4.2 A menos que el proyectista estipule otra cosa, el factor de estiba mínimo de la carga seca será de $0,7 \text{ t/m}^3$.
- 3.4.3. Las cargas utilizadas para el dimensionado de la estructura serán establecidas por el Proyectista. No obstante, no se utilizarán cargas de diseño menores a las establecidas en las normas de construcción de Sociedades de Clasificación IACS, salvo que las mismas no resulten totalmente aplicables al servicio o navegación requerido.*
 *(Texto modificado de acuerdo con el V.R. 2-2025)
- 3.4.3 Los buques de eslora (L) mayores a 100 m presentarán un manual de carga con el cálculo o gráfica de la respuesta primaria de la viga buque, para cada una de las condiciones prescritas, indicando los máximos admisibles de momento flector y esfuerzo de corte calculados conforme lo prescrito en 3.6.5. Dicho manual contendrá además un plano de la “Sección Maestra” del buque indicando el módulo resistente mínimo, calculado acorde con 3.6.4

3.5 Cálculo de Escantillones de la Estructura:

3.5.1 Requerimientos Generales para la Aprobación:

3.5.1.1 El Proyectista presentará a aprobación del organismo técnico de la Prefectura, cálculos que demuestren condiciones adecuadas de resistencia y estabilidad para la estructura del buque. Los cálculos deberán responder ya sea a los criterios de una norma de construcción de una Sociedad de Clasificación IACS o a los métodos de cálculo directo aceptados por la presente. En todo caso, los mismos responderán a los siguientes criterios generales:*

*(Texto modificado de acuerdo con el V.R. 2-2025)

- a) Serán realizados utilizando modernas técnicas de cálculo y en caso de aplicarse programas para ordenadores, los mismos serán aceptados previamente por la Prefectura o en su defecto se acompañarán las hipótesis de cálculo y datos de entrada al programa.
- b) El modelo de la estructura se corresponderá a las condiciones reales de borde de la misma y contemplará las limitantes de la teoría elástica de las deformaciones.
- c) Condiciones de borde normalmente aceptadas:
 - Los refuerzos se considerarán empotrados cuando en sus extremos posean escuadras de dimensiones reglamentarias o atraviesen en forma continua una viga o miembro principal de soporte
 - Las vigas poseerán escuadras de dimensiones reglamentarias en sus extremos y por tanto podrán ser consideradas empotradas.
 - Los refuerzos se considerarán simplemente apoyados cuando los mismos estén despuntados en sus extremos o los mismos se unan directamente a la chapa.
 - Las chapas se consideraran empotradas cuando junto con las chapas adyacentes estén sometidas a cargas uniformemente distribuidas aproximadamente iguales.
 - Las chapas se considerarán simplemente apoyadas cuando estén sometidas a cargas concentradas.
- d) En los casos que se requiera, se tendrán en cuenta factores tales como la corrosión acelerada, cargas de impacto, durabilidad, máxima deformación o mínima rigidez, etc.

3.5.1.2 Sin perjuicio de lo prescrito en 3.9.3, las vigas y refuerzos sin arriostramientos tendrán proporciones que le brinden una adecuada estabilidad estructural. A tal efecto en general, verificarán las siguientes relaciones:

- Alt/espesor del alma: $< 19,5$ en pletinas y < 60 en ángulos, te, bulbos.
- Ancho/espesor del ala $< 19,5$

3.5.1.3 Los elementos apéndices del casco moldeado, como, por ejemplo, arbotantes, henchimientos, rodas o codastes, zapatas, quillas de barra, bordas etc., serán dimensionados conforme a una norma de construcción de una Sociedad de Clasificación IACS.

*(Texto modificado de acuerdo con el V.R. 2-2025)

3.5.2 Convenciones de Signos en los Esfuerzos Primarios:

En general se adoptará la siguiente convención:



3.5.3 Ancho Efectivo:

3.5.3.1 El ancho efectivo (b_e) de una viga vinculada al casco, podrá ser calculado mediante la siguiente expresión $b_e = C b$

Donde C se determinará conforme la siguiente tabla:

a/b	0	1	2	3	4	5	6	≥ 7
$C (r \geq 6)$	0,00	0,38	0,67	0,84	0,93	0,97	0,99	1,00
$C (r = 5)$	0,00	0,33	0,58	0,73	0,84	0,89	0,92	0,93
$C (r = 4)$	0,00	0,27	0,49	0,63	0,74	0,81	0,85	0,87
$C (r \leq 3)$	0,00	0,22	0,40	0,52	0,65	0,73	0,78	0,80

a = distancia entre puntos de momento flector nulo, igual a la luz entre vigas simplemente apoyadas o 60 % de dicha luz en vigas empotradas en ambos extremos.

b = ancho de carga, tomado como la semisuma de la distancia de la distancia entre vigas.

r = número de refuerzos entre puntos de apoyo de la viga.

Los refuerzos continuos que se encuentren dentro de dicho ancho efectivo podrán ser incluidos en el cálculo del módulo resistente.

3.5.3.2 El ancho efectivo de un refuerzo vinculado al enchapado será, normalmente, igual a la distancia o clara entre refuerzos.

3.6 Métodos de Cálculo y Análisis de la Respuesta de la Viga Buque:

3.6.1 General:

La respuesta primaria de la viga buque, tal como se definen en 1.3.7, generalmente, será calculada mediante la teoría de la flexión simple, para cada condición de carga prescrita en 3.4.

3.6.2 Momentos Flectores en Aguas Tranquilas:

Salvo que la Prefectura lo requiera para buques de eslora menor, en todo buque de eslora (L) igual o mayor a 65 m, se presentará el cálculo de momentos flectores verticales en aguas tranquilas mediante la integral doble de la carga residual sobre la viga buque. En los buques de eslora menor a la prescrita, el momento flector vertical en la sección media se podrá estimar conforme a las expresiones siguientes.

3.6.2.1 Para buques de carga convencionales que efectúen navegación marítima el menor de los siguientes valores:

$$M_s = 5 [(\Delta - PB) g + \sum (p_i \cdot y_i) - \Delta \cdot x_B] \quad (\text{si } M_s > 0 \quad M_{sh} = M_s)$$

$$M_s = 0,0052 L^3 B (C_b + 0,7)$$

Donde:

M_{st} = momento flector en aguas tranquilas, en kN.m

Δ = Desplazamiento del buque, en toneladas

PB = Porte bruto, toneladas

$\sum p_i = PB$

p_i = pesos que componen el porte bruto, en toneladas

y_i = valor absoluto de la distancia de cada peso (p_i) a la sección media del buque, en m
 $x_B = 0.18.(C_b + 0,35) L$, en metros
 $g = 0,2$ para máquinas al centro, $0,24$ para máquinas a un cuarto de L a popa y $0,27$ para máquinas a popa
 L = Eslora de escantillonado, en metros
 C_b = Coeficiente de block
 B = manga del buque, en metros

Luego, M_{ss} y M_{sh} serán el momento flector en aguas tranquilas en arrufo y quebranto, respectivamente, acorde el signo de M_s , según 3.5.2.

3.6.2.2 Para buques de carga que realizan navegación Fluvial:

$$\begin{aligned}
 M_{sh} &= 0,12 B D L^2 \\
 M_{ss} &= - 0,08 B D L^2 (1,45 T/D - 0,45)
 \end{aligned}$$

Donde B , T , D , L son: la manga, calado, puntal y eslora respectivamente, en m, M_{ss} y M_{sh} los momentos flectores en arrufo y quebranto, respectivamente, en kN.m.

En ningún caso se tomará menor a $0,09 B D L^2$

3.6.2.3 Para barcas de navegación Ríos Interiores:

$$\begin{aligned}
 M_{sh} &= 0,105 B D L^2 \\
 M_{ss} &= - 0,13 B D L^2 (1,37 T/D - 0,37)
 \end{aligned}$$

M_{ss} y M_{sh} los momentos flectores en arrufo y quebranto, respectivamente, en kN.m.

3.6.2.4 Alternativamente para buques de carga convencionales, el momento flector en aguas tranquilas, en cualquier navegación, podrá ser calculado mediante la siguiente expresión:

$$M_s = (P_{proa} + P_{popa})/2 - C \cdot L \cdot \Delta/2 \quad (\text{si } M_s > 0 \quad M_{sh} = M_s)$$

Donde:

P_{proa} y P_{popa} son respectivamente, los momentos totales de los pesos a proa y a popa de la sección maestra, L es la eslora de escantillonado, en m, según 1.3.6, C_b es el coeficiente de block, Δ el desplazamiento y C es función del calado como sigue:

Calado	C
0,06 L	$0,179 C_b + 0,063$
0,05 L	$0,189 C_b + 0,052$
0,04 L	$0,199 C_b + 0,041$
0,03 L	$0,209 C_b + 0,030$

3.6.2.5 Finalmente cuando se desconozca el momento flector en aguas tranquilas, la Prefectura podrá adoptar como tensión longitudinal primaria nominal, la siguiente:

$$\begin{aligned}
 \sigma_{cubierta} &= 2 L - 50 \text{ (N/mm}^2\text{)} \\
 \sigma_{fondo} &= 1,4 L - 35 \text{ (N/mm}^2\text{)} && \text{en buques con doble fondo al centro.} \\
 \sigma_{fondo} &= 1,8 L - 45 \text{ (N/mm}^2\text{)} && \text{en buques sin doble fondo al centro.}
 \end{aligned}$$

3.6.3 Momentos Flectores y Esfuerzos de Corte en la Ola

- 3.6.3.1 Módulo Resistente Básico: El módulo resistente básico de la sección media del buque, en cm^3 , se calculará como sigue:

$$W = m \cdot L^2 \cdot B \cdot (C_b + 0,7)$$

Donde: L, B y C_b son los definidos 3.6.3.2 y el coeficiente, m, es el indicado en la siguiente tabla:

Eslora L (m)	m
$L < 90$	$0,0412 L + 4$
$90 \leq L < 300$	$10,75 - [(300-L)/100]^{1,5}$
$300 \leq L < 350$	10,75
$L \geq 350$	$10,75 - [(L-350)/150]^{1,5}$

- 3.6.3.2 Momento Flector en la Ola: El momento flector combinado (vertical y horizontal) inducido por la ola en arrufo y en quebranto, en kN.m , se calculará como:

$$M_{wh} = 190 \cdot F_s \cdot C_x \cdot W \cdot 10^{-3} \cdot C_b / (C_b + 0,7) \quad (\text{Quebranto})$$

$$M_{ws} = - 110 \cdot F_s \cdot C_x \cdot W \cdot 10^{-3} \quad (\text{Arrufo})$$

Donde:

C_b = Coeficiente de block, no se adoptará inferior a 0,60.

L = Eslora de escantillonado, en metros, según 1.3.6.

B = Manga máxima moldeada, en metros.

C_x = 1 entre 0,4 y 0,65 de L y 0 en los extremos. Valores intermedios se obtienen por interpolación lineal.

F_s : Acorde a la siguiente tabla:

Navegación	F_s
Marítima irrestricta	1
Marítima costera	0,80
Marítima protegida (rada, puerto, canales, etc)	0,50
Río de la Plata Exterior	0,40
Río de la Plata Interior y Lagos del Sur	0,20
Ríos Interiores	0,10

- 3.6.3.3 Esfuerzo de Corte en la Ola: El máximo esfuerzo de corte, en kN , inducido por la ola se calculará como:

$$Q_w = 0,3 \cdot K_1 \cdot F_s \cdot m \cdot L \cdot B \cdot (C_b + 0,7)$$

F_s , L , B y C_b son los definidos en 3.6.3.2 y m el definido en 3.6.3.1.

Para esfuerzos de corte positivos

$$\begin{aligned} K_1 &= 0 \text{ en los extremos de } L. \\ &= 1,589 C_b / (C_b + 0,7) \text{ entre } 0,2 \text{ y } 0,3 \text{ de } L \text{ desde popa} \\ &= 0,7 \text{ entre } 0,4 \text{ y } 0,6 \text{ de } L \text{ desde popa} \\ &= 1 \text{ entre } 0,7 \text{ y } 0,85 \text{ de } L \text{ desde popa} \end{aligned}$$

Para esfuerzos de corte negativos

$$\begin{aligned} K_1 &= 0 \text{ en los extremos de } L \\ &= -0,92 \text{ entre } 0,2 \text{ y } 0,3 \text{ de } L \text{ desde popa} \\ &= -0,7 \text{ entre } 0,4 \text{ y } 0,6 \text{ de } L \text{ desde popa} \\ &= -1,727 C_b / (C_b + 0,7) \text{ entre } 0,7 \text{ y } 0,85 \text{ de } L \text{ desde popa.} \end{aligned}$$

3.6.4 Mínimo Módulo Resistente y Momento de Inercia de la Viga Buque

3.6.4.1 El mínimo módulo resistente W_m , en el 40% de la eslora al centro, no será menor al mayor de los valores calculados como se indica a continuación y según 3.6.4.2:

$$W_m = F_n \cdot W$$

W es el módulo resistente básico calculado según 3.6.3.1, en cm^3 .

F_n calculado según se indica en la tabla siguiente:

Navegación	F_n
Marítima irrestricta	1
Marítima costera	0,85
Marítima protegida (Rada, puertos, canales etc.)	0,60
Río de la Plata Exterior	0,40
Río de la Plata Interior y Lagos del Sur	0,40
Ríos Interiores	0,40

3.6.4.2 Cuando alguno de los momentos flectores en aguas tranquilas, M_{sh} o M_{ss} , calculados conforme al punto 3.6.2, sean mayores a los siguientes momentos nominales en aguas tranquilas M_{sq} y M_{sa} :

$$\begin{aligned} M_{sq} &= 175 \cdot F_n \cdot f_l \cdot W \cdot 10^{-3} - M_{wh} \\ M_{sa} &= 175 \cdot F_n \cdot f_l \cdot W \cdot 10^{-3} - |M_{ws}| \end{aligned}$$

el módulo resistente mínimo W_m será al menos igual al mayor de los dos valores siguientes:

$$\begin{aligned} W_h &= (M_{wh} + M_{sh}) 10^3 / 175 f_l \\ W_s &= (M_{ws} + M_{ss}) 10^3 / 175 f_l \end{aligned}$$

Donde:

M_{sh} , M_{ss} , M_{wh} , y M_{ws} , son los momentos flectores verticales máximos positivos y mínimos negativos, calculados acorde 3.6.2 y 3.6.3, respectivamente.

W es el módulo básico, calculado según 3.6.3.1.

F_n es el factor de navegación, acorde a tabla indicada en 3.6.4.1.
 f_l es el factor de resistencia del material, definido en 3.2

3.6.4.3 Luego el módulo resistente de la sección W_d , tal como se define en 1.3.5, no será menor al mínimo módulo resistente calculado como se indica en 3.6.4.1 y 3.6.4.2.

3.6.4.4 Los valores del módulo resistente de las secciones fuera de la zona central podrán ser reducidos en forma gradual, siempre que no sean menores al módulo W_m calculado según 3.6.4.1.

3.6.4.5 El momento de inercia, en cm^4 , respecto al eje neutro de las secciones transversales en la zona central de buques de eslora L mayor a 100 m, no será menor a:

$$I_n = 3 W_m L$$

Donde: W_m es el mínimo módulo resistente en cm^3 , según 3.6.4.1.
 L es la eslora de escantillonado, en m, según 1.3.6.

3.6.5 Máximo Momento Flector y Esfuerzo de Corte, en Aguas Tranquilas.

3.6.5.1 El máximo momento flector vertical admisible M_{adm} en aguas tranquilas, en el 40% central de la viga buque, será:

a) Cuando el módulo resistente de la sección W_d sea igual al módulo mínimo reglamentario W_m calculado según 3.6.4.3:

$$\begin{aligned} M_{adm} &= M_{sq} && \text{en quebranto} \\ M_{adm} &= M_{sa} && \text{en arrufo} \end{aligned}$$

Donde: M_{sq} y M_{sa} son los momentos flectores definidos en 3.6.4.2.
 W_d módulo resistente de la sección, definido en 1.3.5.

b) Cuando el módulo de resistente de la sección W_d sea superior al módulo mínimo reglamentario W_m calculado según 3.6.4.3:

$$\begin{aligned} M_{adm} &= 175 F_n f_l \cdot W_d \cdot 10^{-3} - M_{wh} && \text{en quebranto} \\ M_{adm} &= 175 F_n f_l \cdot W_d \cdot 10^{-3} - |M_{ws}| && \text{en arrufo} \end{aligned}$$

Donde M_{wh} y M_{ws} son los momentos flectores en la ola, en kN.m , según 3.6.3.2.
 F_n es el factor de navegación, acorde a tabla indicada en 3.6.4.1.
 f_l es el factor de resistencia del material definido en 3.2.
 W_d módulo resistente de la sección, definido en 1.3.5, en cm^3 .

3.6.5.2 En buques con grandes aberturas en cubierta, esto es aquellos donde el ancho de escotillas sobre cubierta supere al 70 % de la manga del buque o la longitud de las mismas supere al 90% de clara entre escotillas el momento flector vertical en aguas tranquilas será aquel que permita satisfacer el límite de tensión combinada establecido en 3.6.6.

3.6.5.3 En buques convencionales sin mamparos o de hasta dos mamparos longitudinales, el máximo esfuerzo de corte admisible (Q_{adm}) en aguas tranquilas, no será superior a:

$$Q_{adm} = \frac{\tau \cdot t' \cdot I_n}{(0,5 - \alpha) S_n} - Q_w$$

Donde:

I_n = momento de inercia, en cm^4 de la sección transversal considerada respecto del eje neutro.

S_n = momento estático, en cm^3 de la sección transversal considerada respecto del eje neutro.

τ = tensión tangencial máxima admisible = 110 f_1

Q_w = esfuerzo de corte inducido por la ola (kN), 3.6.3.3.

t' = espesor del enchapado del costado o del mamparo longitudinal a la altura del eje neutro en la sección considerada, descontando el margen de corrosión definido en 3.3, es decir $t' = t - t_c$, en mm.

α	Buques sin mamparos longitudinales		
	Buques con uno o dos mamparos longitudinales	En enchapado de costado	$0,16 + 0,08 A_s / A_l$
		En enchapado de mamparos	$0,34 - 0,08 A_s / A_l$

A_s = área de la sección del costado del casco dentro del puntal (cm^2)

A_l = área de la sección de mamparo longitudinal dentro del puntal (cm^2)

3.6.5.4 En buques con otras configuraciones o cantidad de mamparos, la distribución de la tensión tangencial deberá determinarse acorde a una norma reconocida o cálculo directo.

3.6.5.5 Cuando exista un estado alternativo de carga la curva de esfuerzos cortantes, se podrá corregir conforme lo establecido en las normas de construcción.

3.6.6 Cálculo de la Respuesta de la Viga Buque:

3.6.6.1 Salvo lo prescrito en 3.6.6.2, la tensión normal longitudinal de la viga buque, en N/mm^2 , será:

$$\sigma_{x1} = \frac{M_s + M_w}{W_d} 10^3$$

M_s = momento flector vertical en aguas tranquilas, M_{ss} o M_{sh} , en (kN.m), según 3.6.2.

M_w = momento flector en la ola, M_{ws} o M_{wh} , en (kN.m), según 3.6.3.

W_d = módulo resistente de la sección considerada, según 1.3.5.

3.6.6.2 En buques con grandes aberturas la tensión normal longitudinal combinada por los efectos del momento flector vertical, horizontal y de alabeo por torsión, en N/mm^2 será:
Donde:

$$\sigma_{x1} = \sigma_s \pm \sqrt{(0,75 \sigma_w)^2 \pm \sigma_H^2 \pm \sigma_T^2}$$

$$\sigma_s = 1000 \frac{|M_s|}{W_c} \quad \sigma_H = 1000 \frac{M_H}{W_H} \quad \sigma_w = 1000 \frac{M_w}{W_c}$$

$\sigma_S, \sigma_H, \sigma_W$ son las tensiones normales longitudinales debido al momento flector vertical en aguas tranquilas, horizontal y vertical en la ola, respectivamente y:

M_S es el momento flector en aguas tranquilas calculado conforme a 3.6.2.

M_W es el momento flector combinado inducido por la ola calculado conforme a 3.6.3.

M_H es el momento flector horizontal en la ola igual a:

$$M_H = 0,22L^{3/4}(T + 0,3B)C_b(1 - \cos(360x/L))F_S \quad (\text{kNm})$$

Donde:

L, B, F_S y C_b son los definidos en 3.6.3.2, T es el calado, en metros, para la condición de carga analizada y x es la distancia en metros de la sección transversal considerada desde el extremo popel de L .

W_C es el módulo resistente a la cubierta de la sección considerada, definido en 1.3.5

W_H es el módulo resistente al costado de la sección considerada respecto al eje neutro vertical.

Finalmente la tensión por alabeo de torsión, es igual a:

$$\sigma_T = 0,000318 \frac{\omega l M_T}{I_\omega + 0,04l^2 J}$$

Donde:

l distancia entre el mamparo de colisión y el mamparo proel de sala de máquinas, (m).

$$I_\omega = B_1^2 [d_1 t_d I_d + (D_1 - d_1) t_s I_s + B_1 t_b I_b]$$

$$M_T = 7K_2 C_\omega^2 B^3 \left(1,75 + 1,5 \frac{e}{D_S} \right) \quad M_T, \text{ momento torsor inducido por la ola, en kN.m}$$

$$\omega = \frac{B_1}{2} (D_1 - e_1) + \frac{d_1}{2} (D_1 + e_1)$$

$$J = \frac{2[Bd_0 + 2(D_S - d_0)d_1]^2}{3d_1/t_d + 2(D_1 - d_1)/t_s + B_1/t_b}$$

Donde:

C_ω es el coeficiente de flotación

e es la constante de torsión que para buques del tipo de los portacontenedores será:

$$e = e_1 - \frac{d_0}{2} \quad \text{donde} \quad e_1 = \frac{(3D_1 - d_1)d_1 t_d + (D_1 - d_1)^2 t_s}{3d_1 t_d + 2(D_1 - d_1) t_s + B_1 t_b / 3}$$

$D_1 = D_S - d_0/2$ donde D_S es el puntal del buque y d_0 la altura del doblefondo en metros

$B_1 = B - d_1$ donde B es la manga del buque y d_1 es el ancho del doblecasco al costado (m).

t_b, t_s, t_d son los espesores medios del fondo, costado y cubierta, en metros, pudiéndose incluir el espesor equivalente de los refuerzos longitudinales continuos.

$$\text{Para esloras } L < 300 \text{ m} \quad K_2 = \sqrt{1 - \left(\frac{300 - L}{300} \right)^2}$$

$$\text{Para esloras } L \geq 300 \text{ m} \quad K_2 = 1$$

$$I_d = (D_1 - e_1) \left[\frac{3}{2} (D_1 - e_1) - d_1 \right] + \frac{d_1^2}{3}$$

$$I_s = (D_1 - d_1) \left[\frac{1}{3} (D_1 - d_1) - e_1 \right] + e_1^2$$

$$I_b = \frac{e_1^2}{6}$$

t_b , t_s , t_d , son los espesores medios del fondo, costado y cubierta, en metros, sin incluir el espesor equivalente de los refuerzos longitudinales continuos.

3.6.6.3 La Prefectura podrá aceptar que las tensiones normales debidas al momento flector horizontal y el momento torsor sean calculadas conforme a las normas de una Sociedad de Clasificación reconocida o a través del cálculo directo por elementos finitos.

3.6.6.4 La tensión tangencial τ , en N/mm², a la altura del eje neutro de la sección considerada será:

$$\tau = \frac{(0,5 - \alpha) |Q_{adm} + Q_w| S_n}{t' I_n} \quad (\text{los valores son los definidos en 3.6.5.3})$$

3.7 Métodos de Cálculo de la Respuesta Secundaria y Terciaria:

3.7.1 Cálculo de la Respuesta Secundaria:

3.7.1.1 Tanto las deformaciones como tensiones en el plano y normales, sobre un panel de la estructura de la viga buque, salvo lo prescrito más abajo, se calcularán a través de un análisis tridimensional de elementos finitos mediante un adecuado modelado de las vigas y de la rigidez axial de los paneles reforzados apoyados en dichas vigas

3.7.1.2 La Prefectura, cuando se verifiquen las hipótesis adecuadas de contorno podrá aceptar, en lugar del método prescrito en 3.7.1.1, el cálculo de la respuesta de las vigas mediante los siguientes métodos:

- a) Métodos matriciales de resolución de sistemas de barra.
- b) Métodos basados en la teoría de la placa ortotrópica.
- c) Métodos simplificados de resolución de grillas o emparrillados.
- d) Método basado en la teoría de la flexión simple con apoyos elásticos.

A tal efecto se tendrá en cuenta el efecto de retraso de corte a través del ancho efectivo calculado acorde lo prescrito en 3.5.3. Dicho ancho efectivo podrá incluir a los correspondientes refuerzos entre vigas y determinará la tensión secundaria en el enchapado.

En tal caso, la respuesta de los refuerzos a la flexión podrá ser analizado como una respuesta local a través de alguno de los correspondientes métodos:

- a) Teoría de la flexión simple, cuando se trate de refuerzos unidireccionales.
- b) Métodos de resolución de grillas, cuando se encuentren orientados en ambas direcciones.

3.7.2 Cálculo de la Respuesta Terciaria o Local:

3.7.2.1 El cálculo de las tensiones en el enchapado del casco, en general, podrá resolverse por el método de elementos finitos.

3.7.2.2 La Prefectura, salvo en casos particulares como por ejemplo grandes cargas concentradas, podrá aceptar el cálculo de las respuestas terciarias en el enchapado entre refuerzos, mediante la teoría de placas. A tal efecto cuando la flecha sea superior al espesor de la placa o las restricciones de apoyo restrinjan la deformación en el plano se emplearán métodos de cálculo basados en la teoría de las grandes deformaciones, que tengan en cuenta el efecto “membrana”.

3.8 Análisis de las Respuestas Secundarias y Terciarias – Criterios de Resistencia:

3.8.1 Las tensiones nominales máximas para el escantillado de los miembros principales y secundarios de la estructura, surgirán de la combinación más desfavorable de las respuestas primarias, secundarias y terciarias, correspondientes.

3.8.2 A tal efecto las tensiones primarias serán calculadas como se indica en 3.6.6, adoptando un momento flector M_{wd} y esfuerzo de corte Q_{wd} inducidos por la ola con una probabilidad de excedencia de 10^{-4} , igual a:

$$\begin{aligned}M_{wd} &= 0,59 M_w \\ Q_{wd} &= 0,59 Q_w\end{aligned}$$

Donde, M_w y Q_w son determinados conforme a 3.6.3.2 y 3.6.3.3, respectivamente

3.8.3 Tensiones Admisibles en el Enchapado: La tensión normal equivalente σ_e , en (N/mm²), en el centro de la chapa, no superará el siguiente valor:

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3\tau_{xy}^2} < 235 f_1$$

Donde: $\sigma_x = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x3}$ es la tensión normal longitudinal total, en N/mm².

$\sigma_y = \sigma_{y1} + \sigma_{y2} + \sigma_{y3}$, es la tensión normal transversal total, en N/mm².

$\tau_{xy} = \tau_{xy1} + \tau_{xy2} + \tau_{xy3}$ es la tensión tangencial total, en N/mm².

f_1 = factor de resistencia de material, como se define en 3.6.2.

Donde: σ_{x1} = tensión normal longitudinal primaria, acorde 3.6.6

σ_{x2} = tensión normal longitudinal secundaria acorde 3.7.1.

σ_{x3} = tensión normal longitudinal terciaria (por flexión) acorde 3.7.2. Adicionalmente se verificará que $\sigma_{x3} < 160 f_1$ N/mm²

σ_{y1} = tensión normal transversal primaria, normalmente despreciable.

σ_{y2} = tensión normal transversal secundaria acorde 3.7.1.

σ_{y3} = tensión normal transversal terciaria (por flexión) acorde 3.7.2. Adicionalmente se verificará que $\sigma_{y3} < 160 f_1$ N/mm².

τ_{xy1} = tensión tangencial primaria, acorde 3.6.6.4.

τ_{xy2} y τ_{xy3} : = tensiones tangenciales secundaria y terciaria respectivamente, normalmente despreciables.

En buques de eslora menor a 65 m, en los que no se hayan calculado directamente las respuestas primarias, la tensión normal local, en N/mm², calculada mediante la siguiente expresión:

$$\sigma_3 = 0,25 p (s/t)^2$$

p es la presión lateral, en N/mm²
 s es la clara entre refuerzos
 t = espesor neto de la chapa, según 3.3

no será mayor a los valores indicados a continuación:

a) Chapas del fondo, pantoque o cubierta (en el 40% al centro de L):

- Reforzadas transversalmente : $60 W_f / W_m$ para el fondo o
: $60 W_c / W_m$ para la cubierta.
En ambos casos menor a $120 f_1$.
- Reforzadas longitudinalmente: $120 f_1$.

Donde W_f y W_c son los módulos resistentes definidos en 1.3.5, en cm³.

W_m , es el módulo mínimo, definido en 3.6.4, en cm³.

p : es la presión lateral uniforme sobre la placa, en N/mm^2
 s : clara entre refuerzos, en mm.
 t : espesor de la placa, sin incluir el margen por corrosión, en mm.
 f_l = factor de resistencia de material, como se define en 3.6.2.

- b) Para chapas de doblefondo: $140 f_l$
- c) Para chapas de varengas o carlingas estancas: $130 f_l$
- d) Para chapas de costado:
 - Reforzadas transversalmente: $120 f_l$ a la altura del eje neutro. Para otras ubicaciones el máximo valor de tensión será el indicado en a), con el módulo resistente de la sección que corresponda.
 - Reforzadas longitudinalmente: $140 f_l$ a la altura del eje neutro y $120 f_l$ en ubicaciones cercanas a la cubierta o al fondo.
- e) Para chapas de mamparos:
 - Transversalmente reforzados: $140 f_l$ en 40% de L cerca del eje neutro y como chapas de fondo o cubierta, en zonas cercanas a esos puntos.
 - Reforzados longitudinalmente: $160 f_l$ en 40% de L cerca del eje neutro y como chapas de fondo o cubierta, en zonas cercanas a esos puntos.
 - Para mamparos de tanques o de piques: $160 f_l$ y para mamparos estancos: $220 f_l$.
- f) Cualquier chapa en los extremos del buque (fuera del 40% central): $160 f_l$

3.8.4 Tensiones Admisibles en Refuerzos y Vigas: las tensiones secundarias calculadas según 3.7.1, las terciaras calculadas según 3.7.2, serán tales que sumadas entre sí y teniendo en cuenta el aporte de la tensión primaria calculada según 3.6.6, cuando corresponda, no superarán los valores establecidos en la siguiente tabla:

Estructura	Tipo de Respuesta				Máxima Tensión Normal (N/mm ²)	Máx. Tensión Tangencial (N/mm ²)		Máxima Tensión Equivalente
	Primaria	Secundaria Transversal	Secundaria Longitudinal	Local		c/ Un Ala	c/ Dos Alas	
Viga Longitudinal	X		X		190 f _l	90 f _l	100 f _l	
Vigas Transversales		X			160 f _l	90 f _l	100 f _l	180 f _l
Refuerzos Longitudinales				X	160 f _l			
			X	X	180 f _l	90 f _l		
	X		X	X	235 f _l			
Refuerzos Transversales		X	X	X	180 f _l			

En buques de eslora menor a 65 m, en los que no se hayan calculado directamente las respuestas primarias, la tensión local, en N/mm^2 , calculada mediante las expresiones indicadas más abajo, no será mayor a las siguientes valores:

3.8.4.1 Tensión Local Máxima Admisible en Refuerzos:

$$\sigma_3 = (1000 l^2 s p) / (m Z) \quad \text{tensión normal por flexión en N/mm}^2$$

Donde: l = luz del refuerzo, en m.

s = clara entre refuerzos, en m.

p = presión lateral uniforme, en kN/m²

Z = modulo resistente del refuerzo, con chapa asociada, en cm³

m = coeficiente de flexión según la siguiente tabla

Tabla de coeficientes m y k					
Tipo de carga y condición de apoyo			Coeficiente de Momento Flector y de Esfuerzo de Corte		
Posición			1	2	3
1 Apoyo	2 Máximo	3 Apoyo	m1 k1	m2	m3 k3
			12,0 0,50	24,0	12,0 0,50
			0,38	14,2	8,0 0,63
			0,50	8,0	0,50
			15,0 0,30	23,3	10,0 0,70
			0,20	16,8	7,5 0,80
			0,33	7,8	0,67

No será mayor a los siguientes valores, según corresponda:

a) Longitudinales de fondo y cubierta:

95 f_l si $W_f = W_m$ o $W_c = W_m$, en fondo y cubierta, respectivamente

160 f_l si $W_f \geq 2W_m$ o $W_c \geq 2W_m$ (interpolándose en valores intermedios)

Donde W_f y W_c son los módulos resistentes definidos en 1.3.5, en cm³.

W_m , es el módulo mínimo, definido en 3.6.4.

b) Longitudinales de cielo doble fondo:

110 f_l si $W_f = W_m$

160 f_l si $W_f \geq 2W_m$ (interpolándose en valores intermedios)

c) Longitudinales de costado o de mamparos:

160 f_l dentro del 0,25 del puntal, por encima o debajo del eje neutro.

Los valores indicados en a), fuera del 0,25 del puntal.

d) Transversales de fondo (varenga armada) y baos de cubierta: 130 f_l .

e) Verticales y transversales de mamparos de tanques y bodegas: 160 f_l y 220 f_l en mamparos estancos.

f) Cuadernas, la que surja de verificar el mayor de los siguientes módulos:

$$Z = 6,5 \sqrt{L}$$

$$Z = 0,5 l^2 s p$$

Donde f_1 , l , s y p son los definidos en 3.8.4.1 y L es la eslora definida 3.6.2.

3.8.4.2 Tensión Máxima Admisible en Vigas:

En estructuras conformadas por entramados de vigas longitudinales y transversales, la tensión secundaria deberá calcularse a través de un método matricial de resolución de sistemas de barras o equivalente.

Cuando conforme a la disposición de la estructura se pueda considerar a las vigas como “viga simple”, luego la tensión secundaria normal σ_2 y tangencial τ_2 , podrán calcularse conforme la siguientes expresiones:

$$\sigma_2 = 100 S^2 b p / Z$$

$$\tau_2 = 10 k P / A_s$$

Donde:

S = la luz de la viga, en m

b = ancho de carga sobre la viga, en m.

p es la presión lateral sobre la viga, en kN/m^2

Z módulo resistente de la viga, con chapa asociada, en cm^3

P = carga total sobre refuerzo, kN

A_s = Area efectiva de corte, en cm^2

K = coeficiente de corte según tabla en 3.8.4.

Luego las tensiones máximas admisibles, afectadas por el factor f_1 de resistencia de material como se define en 3.6.2, serán:

a) Vigas del fondo:

En vigas transversales: $160 f_1$ para la tensión normal.

En vigas longitudinales: acorde a 3.8.4.1 a).

$90 f_1$ para la tensión tangencial

b) Vigas de costado:

En vigas longitudinales: acorde a 3.8.4.1 c).

$160 f_1$ para otras vigas.

$90 f_1$ para la tensión tangencial

c) Vigas de cubierta:

En vigas longitudinales: acorde a 3.8.4.1 a).

$160 f_1$ para otras vigas.

$90 f_1$ para la tensión tangencial

3.9 Análisis de las Respuestas Secundarias y Terciarias – Criterios de Estabilidad:

3.9.1 La tensión de compresión actuante σ_a , en N/mm^2 , se calculará para la combinación más desfavorable de momentos flectores. En buques de eslora mayor a 21 m, no se adoptará un valor menor a 30 N/mm^2 .

$$\sigma_a = \frac{M_s + M_w}{I_n} (Z_n - Z_a) 10^5$$

Donde: M_s y M_w son los momentos flectores definidos en 3.6.6.1.

I_n es el momento de inercia respecto del eje neutro de la sección, en cm^4 .

Z_n es la distancia vertical entre la cubierta o el fondo (según corresponda) y el eje neutro, en metros.

Z_a es la distancia vertical entre el punto de la estructura a analizar y el eje neutro, en metros.

3.9.2 Estabilidad Estructural del Enchapado: Los escantillones del enchapado, determinados conforme a 3.8.3, no aseguran estabilidad al pandeo. A tal efecto, se deberá verificar la estabilidad elástica de las placas conforme a lo prescrito a continuación:

- a) En chapas sujetas a compresión uniaxial la tensión de compresión σ_u deberá verificar la siguiente relación:

$$\sigma_c \geq \sigma_u / \eta$$

Donde:

$\eta = 1$ para enchapado de cubierta, fondo simple y costados reforzados longitudinalmente.

$\eta = 0,9$ para enchapado de fondo con doblefondo y costados reforzados transversalmente

$\eta = 0,8$ para chapas locales con cargas laterales importantes.

σ_c es la tensión crítica de pandeo determinada conforme a la siguiente expresión:

$$\begin{aligned} \sigma_c &= \sigma_E & \text{para } \sigma_E < 0,5 \sigma_f \\ \sigma_c &= \sigma_y [1 - (\sigma_y / 4 \sigma_E)] & \text{para } \sigma_E \geq 0,5 \sigma_f \end{aligned}$$

Donde: $\sigma_f = 235 f_1$, es la tensión de fluencia en N/mm².

$$\sigma_E = 0,9 k E \left(\frac{t'}{1000 b} \right)^2$$

f_1 = factor de resistencia de material, como se define en 3.6.2.

$k = 8,4 / (\varphi + 1,1)$ para placas reforzadas longitudinalmente

$k = C [1 + (b/a)^2]^2 (2,1/(\varphi + 1,1))$

para placas reforzadas transversalmente

$E = 2,06 \cdot 10^5$ (N/mm²)

t' (espesor neto) = $t - t_c$ en mm.

t espesor de construcción y t_c margen por corrosión, según 3.2.6.

b = ancho de la placa, en mm (lado más corto)

a = largo de la placa, en mm (lado más largo)

C = factor dependiente del tipo de refuerzo del lado más largo:

$C = 1,3$ chapa soportada por varengas o vigas longitudinales

$C = 1,21$ chapa soportada por refuerzos en ángulo o en "T"

$C = 1,10$ chapa soportada por refuerzos tipo bulbo

$C = 1$ chapa soportada por planchuelas sin alas

φ = relación entre el valor menor y el mayor de la tensión de compresión en un lado (entre 0 y 1). Para placas uniformemente cargadas $\varphi = 1$

- b) Cuando no se trate de elementos estructurales especialmente comprometidos a juicio de la Prefectura, se podrá admitir una tensión de compresión superior a la crítica siempre que no supere la tensión de colapso σ_u calculada según la siguiente expresión:

$$\sigma_u = \psi \sigma_E \quad \sigma_E \text{ calculada según a)}$$

$$\text{donde para chapas reforzadas longitudinalmente: } \psi = 1 + 0,375 \left(\frac{\sigma_f}{\sigma_E} - 2 \right)$$

y para chapas reforzadas transversalmente

$$\psi = 1 + c \left(\frac{\sigma_f}{\sigma_E} - 2 \right) \quad \text{donde } c = \frac{0,75}{\frac{b}{a} + 1}$$

σ_f , b y a son los definidos en a).

En tales casos se tendrá especialmente en cuenta la reducción de su ancho efectivo en el

cálculo del módulo resistente de la sección transversal del buque.

- c) Para chapas sujetas al corte, la tensión tangencial actuante τ_a no deberá superar el valor de la tensión tangencial crítica τ_c conforme la siguiente expresión.

$$\tau_c \geq \tau_a / \eta$$

Donde:

$\eta = 0,9$ para enchapados de costados y mamparos longitudinales sujetos a la tensión tangencial primaria.

$\eta = 0,85$ para enchapados efectivos de vigas donde la tensión tangencial se calcula al corte simple y 0,90 si se determina mediante elementos finitos.

$$\begin{aligned} \tau_c &= \tau_E & \text{para } \tau_E < 0,5 \tau_f \\ \tau_c &= \tau_f [1 - (\tau_f / 4 \tau_E)] & \text{para } \tau_E \geq 0,5 \tau_f \end{aligned}$$

donde $\tau_f = \sigma_f / \sqrt{3}$

$$\tau_E = 0,9 k_I E \left(\frac{t'}{1000b} \right)^2$$

donde $k_I = 5,34 + 4 (b/a)^2$ y t' , b y a son los definidos en a)

- d) Para estados de carga biaxiales, la tensión crítica será determinada con arreglo a procedimientos de cálculo aceptados o de acuerdo a una norma de construcción.

3.9.3 Estabilidad Estructural de Refuerzos y Vigas: Los escantillones de refuerzos, determinados conforme a 3.8.4, no aseguran estabilidad al pandeo. A tal efecto, se deberá verificar la estabilidad elástica de las placas conforme a lo prescrito a continuación.

- a) Para refuerzos longitudinales sujetos a la compresión proveniente de la respuesta primaria del buque, la tensión σ_a calculada según 3.9.1, a fin de que no se produzca el pandeo lateral del refuerzo, deberá verificar la siguiente relación

$$\sigma_c \geq \sigma_a / \eta$$

Donde $\eta = 0,85$

σ_c es la tensión crítica calculada según 3.9.2 a) pero con σ_E igual a:

$$\sigma_E = 0,001 \lambda E \frac{I_A}{A l^2}$$

Donde:

E = módulo de elasticidad del material $2,06 \cdot 10^5$ N/mm²

I_A = momento de inercia del refuerzo con un ancho efectivo igual a 0,8 veces la distancia entre los mismos, en cm⁴, respecto del eje neutro vertical

A = área del refuerzo con el ancho efectivo prescrito, en cm².

l = luz, en m, del refuerzo entre apoyos.

$\lambda = 1$ para extremos simplemente apoyados.

$= 2$ para un extremo fijo y otro simplemente apoyado.

$= 4$ para ambos extremos fijos.

- b) A requerimiento de la Prefectura, la estabilidad al pandeo torsional de los refuerzos longitudinales será verificada conforme a una norma reconocida.

- c) Para vigas transversales soportando refuerzos longitudinales sometidos a compresión el

momento de inercia I (incluyendo su ancho efectivo), en cm⁴, no será menor a:

$$I = 0,3 \frac{S^4}{b^3 s} I_A$$

Donde:

S = luz de la viga, en m.

b = clara entre vigas, en m.

s = clara entre refuerzos, en m.

$I_A = 1000 \sigma_{el} A l^2 / E$ donde A, l y E son los definidos en a).

$\sigma_{el} = 1,18 \sigma_a$ si es menor a $\sigma_f / 2$.

$$= \frac{\sigma_f^2}{4(\sigma_f - 1,18\sigma_a)}$$

σ_a es la tensión actuante según 3.9.1 y σ_f la de fluencia del material.

4 CRITERIOS PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL DE CASCOS DE OTROS MATERIALES QUE EL ACERO.

4.1 General:

- 4.1.1 Los cascos con eslora de escantillonado menor a 30 m podrán construirse en madera o plástico reforzado con fibra de vidrio. La presente parte, salvo para cascos de aluminio, será aplicable a buques de eslora igual o menor a la prescrita. La construcción de buques en materiales no metálicos de eslora mayor a la prescrita será objeto de estudio particular por parte de la Prefectura.
- 4.1.2 El material utilizado en cascos contruidos en madera, aluminio y plástico reforzado con fibra de vidrio satisfará los requisitos correspondientes prescritos en el punto 2 del presente Agregado.
- 4.1.3. Salvo lo prescrito en 4.1.2, los cálculos presentados por el Proyectista / Calculista a efectos de gestionar la aprobación de una construcción, responderán a los criterios de una norma de construcción de una de una Sociedad de Clasificación IACS.
**(Texto modificado de acuerdo con el V.R. 2-2025)*
- 4.1.4. Las cargas utilizadas para el dimensionado de la estructura, serán establecidas por el Proyectista. No obstante no se utilizarán cargas de diseño menores a las establecidas en las normas de construcción de Sociedades de Clasificación reconocidas por la Prefectura. No obstante, en las construcciones de características innovadoras, la Prefectura podrá aceptar que se utilicen criterios de diseño amparados en la experimentación con modelos, escala real o a partir de métodos analíticos o semiempíricos desarrollados específicamente para dicho tipo de embarcaciones.
**(Texto modificado de acuerdo con el V.R. 2-2025)*
- 4.1.5. En las embarcaciones contempladas en el presente punto, en general, la Prefectura sólo requerirá la verificación estructural por respuesta local o terciaria.

4.2 Cálculo Directo de Elementos Estructurales:

- 4.2.1 Como alternativa a lo requerido en 4.1.3, el Proyectista podrá presentar cálculos directos de verificación de elementos estructurales de primer y segundo orden, adoptando las cargas de diseño indicadas en 4.1.4 de la presente parte.
- 4.2.2. Los apéndices del casco moldeado, como, por ejemplo, arbotantes, henchimientos, rodas o codastes, zapatas, quillas de barra, bordas etc., serán dimensionados conforme a una norma de construcción de una Sociedad de Clasificación IACS.

4.2.3. Los demás elementos estructurales, en general, podrán ser calculados bajo las hipótesis de la teoría de la flexión simple, siempre que se verifiquen las prescripciones siguientes.

4.2.2 Cascos de Aluminio:

En general, los cascos de aluminio podrán dimensionarse conforme a lo prescrito en el punto 3 de la presente Ordenanza, adoptando un factor de resistencia del material igual a:

$f_l = \sigma_f / 235$ donde σ_f es la tensión de fluencia del aluminio, en N/mm², no pudiendo adoptarse mayor al 70% de la tensión de rotura.

4.2.3 Cascos de Madera:

La tensión admisible para el escantillonado de los elementos estructurales prescritos será función del tipo de madera conforme a la siguiente tabla:

Tipo de Madera	Dureza	Tensión Admisible (N/mm ²)		
		Tracción	Compresión	Flexión
Palo Santo (Bulnesia Sarmientii)	12,7	12,5	9,0	13,0
Guayacán (Caesalpineia melanocarpa)	12,6	8,5	9,5	11,5
Quebracho colorado (Schinopsis balansae)	12,0	11,0	9,0	12,5
Quina (Miroxylon perniiferum)	11,5	11,0	8,5	12,0
Lapacho (Tecoma ipé)	9,8	10,0	8,0	13,0
Viraró (Pterogyne nitens)	9,7	7,5	6,0	10,0
Incienso (Myrocarpus frondosus)	8,7	8,5	7,5	12,5
Guatambú (Ballaurodendron riedelianum)	7,8	7,0	6,0	11,0
Quebracho blanco (Aspidosperma)	7,6	6,0	5,0	8,5
Virapitá (Peltophorum dubium)	6,8	6,5	6,0	8,0
Algarrobo (Prosopis nigra o alba)	6,8	5,0	5,0	9,5
Petiribí (Cordia trichotoma)	5,6	5,5	5,5	8,0
Roble pellín (Nothofagus obliqua)	4,5	5,0	4,5	8,0
Coihué (Nothogafus dombeyi)	4,3	5,0	4,5	7,0
Nogal (Junglans australis)	4,2	5,0	5,0	7,0
Timbó Colorado (Enterolobium)	2,9	3,5	3,5	4,5
Cedro misionero (Cedreta fissikis o lilloa)	3,3	3,5	4,0	6,0
Pino misionero (Araucaria agustifolia)	3,1	3,0	4,0	7,0

4.2.4 Casco de Plástico Reforzado con Fibra de Vidrio:

4.2.4.1 Principios de diseño:

4.2.4.1.1 Las condiciones de apoyo, tanto en paneles como en refuerzos, a fin de obtener su respuestas terciaras, en general, serán las siguientes:

Fondo y costado (bajo flotación): extremos fijos.
Costado (sobre flotación) y cubierta: simplemente apoyados.

- 4.2.4.1.2 En los laminados simples (con capas de “mat”, “cloth”, “woven roving” o con combinaciones de éstos materiales) en general, el diseño de los elementos estructurales podrá resolverse por las teorías de la flexión simple y de la placa isotrópica, a excepción de los laminados unidireccionales o sujetos condiciones particulares, como en las embarcaciones de muy alta velocidad o “deslizadoras”.
- 4.2.4.1.3 El ancho efectivo del laminado que participe del módulo de los refuerzos o vigas, será igual a 15 veces el espesor de dicho laminado a cada lado del extremo de la capa de unión de refuerzo al laminado, ni que sea mayor a la clara entre refuerzos o vigas.
- 4.2.4.1.4 En los paneles de laminados las tensiones tangenciales provenientes de la flexión no necesitarán verificarse.
- 4.2.4.1.5 En los casos de laminados “sándwich” con núcleos de no efectivos a la flexión (p.ej. espuma de poliuretano, balsa etc.) el cálculo se realizará conforme a los métodos específicos para éstos casos. En los laminados con núcleos de madera, dicho cálculo podrá efectuarse mediante la teoría de la flexión simple para vigas de material compuesto.
- 4.2.4.2 Para esquemas de laminación convencionales como los prescritos en el punto 2.3 del presente, a fin de determinar la tensión admisible para el diseño de los elementos estructurales, serán utilizados los siguientes factores de seguridad FS, respecto de la resistencia a la rotura:
- | | |
|--|--------------|
| Cargas hidrostáticas sobre el casco y cubierta | $\phi = 4,0$ |
| Cargas de impacto sobre el casco y cubierta | $\phi = 1,5$ |
| Cargas estáticas sobre cubierta no expuestas | $\phi = 3,0$ |
| Cargas sobre superestructuras | $\phi = 3,0$ |
| Cargas de inundación sobre mamparos estancos | $\phi = 2,0$ |
| Vinculaciones de aparejos o basamentos | $\phi = 4,0$ |
- 4.2.4.3 La presión pico de impacto P_i , para calcular la correspondiente presión de diseño será:

$$P_i = \frac{49,1v\Delta}{kLG} + 10d$$

Donde:

P_i = presión pico de impacto, en kN/m².

v = velocidad de diseño de la embarcación, en nudos.

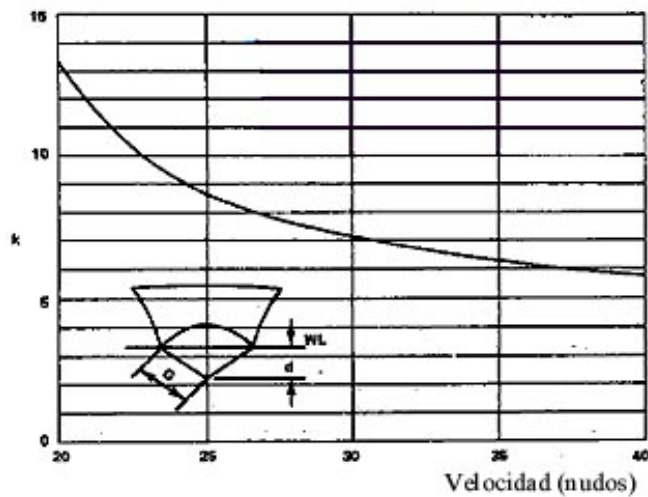
Δ = masa de la embarcación, en kilogramos.

L = eslora en flotación, en metros.

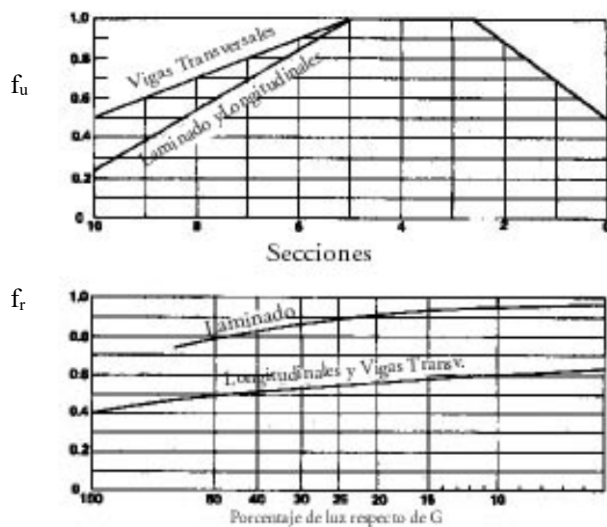
d = calado de diseño, en metros.

G = longitud de la arista del casco como se muestra en el gráfico, en mm.

k = coeficiente función de velocidad, de acuerdo al siguiente gráfico.



Luego la presión de impacto de diseño será : $P_d = P_i \cdot f_u \cdot f_r$
 Donde, f_u es el factor de reducción por ubicación del elemento en la eslora de la embarcación y f_r el factor de reducción por relación de áreas de carga, conforme a los siguientes gráficos:



4.2.4.4 Las respuestas terciarias se podrán calcular a través de las siguientes expresiones:

Momento flector (Nm):
$$M = \frac{Wl^2}{r}$$

Esfuerzo de corte (N):
$$Q = gWl$$

Flecha por Flexión (mm):
$$\delta = \frac{\alpha Wl^4}{384EI}$$

Donde:

W = Carga de diseño, en N/m = $P_d \cdot b$

P_d = Presión de diseño calculada, en kN/m² como se indica en 2.6.2.

b = ancho de carga (clara entre refuerzos o 1/mm en placas), en mm.

l = longitud del lado más corto del panel o del refuerzo entre apoyos, en m.

E = módulo de elasticidad a la flexión, en N/mm².

I = momento de inercia de una faja unitaria de panel o del refuerzo, en cm⁴.

r , g y α son constantes que dependen de la condición de los apoyos, según la siguiente tabla:

Constante	Ambos Fijos	Fijo - Articulado	Ambos Articulados
r	12	8	8

g	0,5	0,5	0,625
α	1.10^5	5.10^5	$2,07. 10^5$

Luego por ejemplo, la verificación a la flexión será: $\sigma_u \geq \frac{\phi M}{z}$

donde:

σ_u = tensión de rotura a la flexión

ϕ = factor de seguridad prescrito en 2.6.1

M = momento flector calculado según, 2.6.4

z = módulo del refuerzo o del laminado (en este último caso igual a $t^2/6$, donde t es el espesor del laminado).

- 4.2.4.5 La deformación de los paneles de laminado y refuerzos, por unidad de longitud entre apoyos para refuerzos o del lado más corto para paneles, no excederá los siguientes valores:

Cubiertas bajo cargas uniformes o concentradas	= 1/100
Casco bajo cargas hidrostáticas	= 1/100
Casco bajo cargas de impacto	= 1/50
Mamparos sometidos a inundación	= 1/50
Basamentos de Motor	= 1/200
Superestructuras bajo cualquier carga	= 1/100

No obstante cuando la flecha supere el espesor del panel y éste se encuentre restringido por los soportes para deformarse, se podrá tener en cuenta el efecto “membrana”, a fin de calcular la flecha de la deformada.