



CONCEPTO TÉCNICO

Código: F-GESDIS-022

Versión: 6

Fecha de Aprobación: 26-Nov-2014



GERENCIA DE DISEÑO E INGENIERÍA

HOJA DE CUBIERTA

REGISTRO No.: CT-ARC-3321-100-01	Proceso N°: 2
ELABORÓ: CC David Ignacio Fuentes	SERV: 835
ARCHIVO: \\hermes\Proyecto_OPV_MK2\Diseño Conceptual\Documentos Técnicos\Informes Técnicos - Conceptos Técnicos\100	
INFORME DE EVALUACIÓN DE DISEÑO ESTRUCTURAL	

SOLICITANTE: Armada República de Colombia

INFO:

BUQUE: OPV Mk II

SISTEMA: 100 - Estructuras y Materiales

FECHA SOLICITUD : 20/10/2015

FECHA DE EMISIÓN: 18/12/2015

CONTROL DE ACTUALIZACIONES:

REVISIONES	FECHA REVISION	ELABORÓ	REVISÓ	APROBÓ	FECHA APROBACIÓN

DESCRIPCIÓN DEL CAMBIO

1. OBJETIVOS

- 1.1. Elaborar un análisis de las reglas de escantillonado de las sociedades de clasificación, que se consideren aplicables al desarrollo de la ingeniería básica y de detalle en el proyecto OPV MkII, tanto para buques de propósitos comerciales como navales.
- 1.2. Evaluar cuantitativamente el aumento de la resistencia estructural y la reducción de peso que resultan como producto de la utilización de diferentes tipos de materiales en el cálculo de escantillones.
- 1.3. Analizar diferentes modelos de disposición estructural, considerando tanto arreglo longitudinal como transversal, así como la disposición de zonas del buque con doble casco, y la introducción de medidas de reducción de vulnerabilidad del buque.
- 1.4. Redactar el cuaderno del escantillonado de acuerdo a las reglas de clasificación seleccionadas, de forma que el procedimiento de cálculo quede como un registro documental y estándar del desarrollo del astillero.
- 1.5. Realizar un estudio comparativo de los resultados del cuaderno de escantillonado con la aplicación de los programas de escantillonado de la sociedad de clasificación seleccionada.

2. ALCANCE:

- 2.1. El cálculo de escantillones, a nivel conceptual, se realizará bajo los lineamientos establecidos en los documentos de referencia [5.1] y [5.2], pertenecientes a la sociedad de clasificación Lloyd's Register.
- 2.2. La comparación de los atributos estructurales del buque, mediante la utilización de diferentes materiales, será elaborada con base en los resultados obtenidos empleando el cuaderno de escantillonado.
- 2.3. El análisis de diversas disposiciones estructurales será de carácter cualitativo, con miras establecer propuestas de diseño a implementar en fases futuras del proyecto

3. ANTECEDENTES

A mediados de 2015, la Armada República de Colombia, mediante un documento realizado por la Jefatura de Operaciones, estableció el perfil operacional del buque OPV Segunda Generación (MkII), en el cual se establecen los requerimientos necesarios a cumplir, teniendo como referencia el diseño ya existente del buque OPV III. Dentro de tales requisitos se precisa la necesidad de elaborar, de manera conceptual, el diseño estructural del buque.

Aprovechando que el diseño de este buque será un desarrollo propio de Cotecmar, se incorporarán mejoras propias del aprendizaje durante la construcción de los buques de primera generación.

4. DEFINICIONES Y ACRÓNIMOS:

LOA: (length overall) eslora total

LWL: (length water length) eslora de flotación

LR: (rule length) eslora de trazado

LPP : (length between perpendiculars) eslora entre perpendiculares

B: (breadth) manga máxima moldeada
Td : (design draught) calado de diseño
D : (depth) puntal
Vel : velocidad de diseño
Vel. crucero : velocidad de crucero
Cb : coeficiente de bloque
LCG : (longitudinal center of gravity) centro de gravedad longitudinal
Δ : desplazamiento
NS3 : clasificación naval tipo 3
OPV : (offshore patrol vessel) buque patrullero de alta mar
SA1: (service area 1) área de servicio tipo 1, incluye buques con operaciones en todo el mundo sin restricciones.
RAS(AV) : (Replenishment at Sea, Astern and VERTREP) tipo de sistema de reaprovisionamiento en el mar, específicamente, transferencia de cargamento sólido suspendido desde un helicóptero, y transferencia de carga líquida por medio de manguera(s) con estación del buque receptor a popa del buque de suministro.
LMC : (propulsion and essential machinery) notación asignada cuando el sistema de propulsión y sistemas auxiliares han sido construidos, instalados y probados bajo inspección especial de acuerdo a las reglas y regulaciones de Lloyd's Register.
PMR* : (propulsion system redundancy in separate compartments) notación asignada cuando los sistemas de propulsión principales están dispuestos tales que, en el evento de una falla en un equipo, el buque conservará no menos del 50% de la capacidad de movimiento, y conservará disponibilidad del sistema de propulsión en caso de algún tipo de pérdida en un compartimento de maquinaria.
AIR : (aircraft operations) notación cuando se desarrollan operaciones de aeronaves.
SMR*: (steering system redundancy in separate compartments) notación asignada cuando los sistemas de gobierno para maniobras son dispuestos tales que la capacidad de gobierno continuará disponible en el evento de una falla de un equipo de gobierno o pérdida de la fuente de alimentación o sistema de control, y conservará la capacidad de gobierno en caso de algún tipo de pérdida en un compartimento de gobierno.
Whipping: vibración de la *viga buque*, producida por cargas de impacto, inducida principalmente en el modo fundamental de dos nodos.
SSC: Special Service Craft
P_p: Presión de Cabeceo
P_{di}: Presión de Impacto
P_s: Presión de Envoltura de Casco
P_r: Presión de Impacto de Proa
P_{cd}: Presión de Carga en Cubierta
P_{dhp}: Presión de Puente, Amurada y Superestructura
P_{bh}: Presión de Mamparo y Tanque de fondo
P_{wl}: Presión sobre la Cubierta de Intemperie
P_{BP}: Presión de diseño para planchaje de fondo
P_{BF}: Presión de diseño para reforzamiento de fondo
P_{SP}: Presión de diseño para planchaje de casco de costado
P_{SF}: Presión de diseño para reforzamiento de casco de costado
P_h: Presión Hidrostática
P_{WDP}: Presión de diseño para planchaje de Cubierta de Intemperie
P_{WDF}: Presión de diseño para reforzamiento de Cubierta de Intemperie
P_{IDP}: Presión de diseño para planchaje de Cubierta interior
P_{IDF}: Presión de diseño para reforzamiento de Cubierta interior
P_{IBP}: Presión de diseño para planchaje de Doble fondo
P_{IBF}: Presión de diseño para reforzamiento de Doble fondo
P_{DHP}: Presión de diseño para reforzamiento de Puente, Amurada y Superestructura

P_{DHF}: Presión de diseño para reforzamiento de Puente, Amurada y Superestructura

P_{BHP}: Presión de diseño para Mamparos

5. DOCUMENTOS DE REFERENCIA:

- 5.1. Lloyd's Register. *Rules and Regulations for the Classification of Special Service Craft*, 2012
- 5.2. Lloyd's Register. *Rules and Regulations for the Classification of Naval Ships*, 2015
- 5.3. JEMAT, ARC. *Anexo de entregables según contrato al diseño OPV MkII*. Cartagena. 2015.
- 5.4. JEMAT, ARC. *Especificaciones de desempeño y restricciones al diseño OPV MkII*. Cartagena. Junio, 2015.
- 5.5. JEMAT, ARC. Documento No. 20150042730206661/MD-CGFM-CARMA-SECAR-JEMAT-DINA-25.8. Recomendaciones para mejoras en la construcción unidades tipo OPV. Bogotá. Julio, 2015
- 5.6. Jefatura de Operaciones Navales. Documento No. 20150422100002133/MD-CGFM-CARMA-SECAR-JONA-COFNA-25. *Perfil Operacional Buque OPV Segunda Generación*. Cartagena. Julio, 2015
- 5.7. Jefatura de Operaciones Navales. Documento No. 20150422100007493/MD-CGFM-CARMA-SECAR-JONA-COFNA-25. *Modificación Perfil Operacional Buque OPV Segunda Generación*. Octubre, 2015.
- 5.8. Cotecmar. Informe técnico Visita Técnica OPV I-II, IT-ARC-3321-800-01. Cartagena. Agosto, 2015
- 5.9. Cotecmar. Informe técnico Diseño Conceptual Buque OPV, IT-ARC-3077-835-01.
- 5.10. Martin Rodriguez, R. *Cálculo de Estructuras de Buques*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros. Madrid, 1969.
- 5.11. Gerr, D. *The Elements of Boat Strength for Builders, Designers, and Owners*. McGraw Hill. 1999.
- 5.12. Okumoto, Y. *Design of Ship Hull Structures, A practical guide for engineers*. Springer. 2008
- 5.13. Bai, Y. *Marine Structural Design*. Elsevier. 2003

6. RECURSOS:

- 6.1. Microsoft Office
- 6.2. AutoCAD

7. CRITERIOS DE ACEPTACIÓN:

- 7.1. Cumplimiento de las reglas para cálculo de escantillones, establecidas en los documentos de referencia [5.1] y [5.2].

8. ANÁLISIS:

- 8.1. **Análisis de las reglas de escantillonado, tanto en sus reglas comerciales como navales.**

Para el presente análisis, las reglas de escantillonado contenidas en los documentos de referencia [5.1] y [5.2], pertenecientes a la sociedad de clasificación Lloyd's Register, han sido consideradas aplicables al desarrollo de la ingeniería básica y de detalle, en virtud de la idoneidad de las mismas en relación a las características deseadas del buque OPV de segunda generación (ver tabla 1), ofreciendo lineamientos suficientes para el desarrollo de las fases de diseño y construcción.

Clasificación LR	100-A1-NS3-OPV-SA1-AIR-RAS(AV) - LMC- PMR*- SMR* ¹
LOA (m)	93,0
LWL (m)	85,0
LR (m)	82,5
B (m)	14,2
Td (m)	4,1
D (m)	7,0
vel crucero (kn)	12
Cb	0,48
LCG(m) ²	45

Tabla 1. Características generales OPV MkII

En la tabla 2 se presentan algunas características generales de OPV III de acuerdo a [5.8].

LOA (m)	80.6
LPP (m)	74.4
B (m)	13
D (m)	6.5
Td (m)	3.80
Δ (ton)	1828
vel (kn)	21
vel crucero (kn)	12

Tabla 2. Características generales OPV III. Fuente: [5.8]

8.1.1. Rules and Regulations for the Classification of Special Service Craft - LR

De acuerdo a lo establecido en [5.1], estas reglas son aplicables a formas de cascos correspondientes a los siguientes tipos de embarcaciones:

- Embarcaciones de planeo (planing craft)
- Aerodeslizador (hovercraft)
- Embarcaciones de desplazamiento (displacement craft)
- Embarcaciones de efecto superficie (surface effect ship)
- Acuaplaneo doble casco y área pequeña (small waterplane-area twin hull)
- Catamarán

Dichas reglas cubren embarcaciones de alta velocidad, embarcaciones livianas, embarcaciones multicasco, yates con eslora total menor o igual a 24 m, yates de carrera y alta velocidad, yates multicasco, embarcaciones fabricadas en materiales compuestos, embarcaciones en acero o aluminio con una relación calado a puntal menor o igual 0.55, y embarcaciones con eslora menor a 24 m.

¹ Ver 4. Definiciones y Acrónimos

² LCG asumido para fase conceptual

En términos de materiales, son aplicables a embarcaciones en acero (empleando soldadura como método de unión) con por lo menos los siguientes valores de propiedades mecánicas.

Propiedad mecánica	N/mm^2
Resistencia a la fluencia (mínima)	235
Resistencia a la tensión	400 – 490
Módulo de elasticidad	200×10^3

Tabla 3. Propiedades mecánicas mínimas para acero dulce (*mild steel*)

Este grado de acero es el mínimo aceptado en la determinación de los escantillones requeridos.

Independiente del tipo de arreglo estructural elegido, bien sea longitudinal o transversal, se proveen los escantillones mínimos requeridos para cada elemento estructural de la embarcación, de tal manera que se cumplan requerimientos de control de fallas por deflexión excesiva, esfuerzos superiores al límite elástico, pandeo elástico y vibración. Lo anterior aplica también ciertamente para embarcaciones de aleaciones de aluminio o materiales compuestos.

El grado mínimo de la aleación de aluminio, empleado en el cálculo de escantillones, marino grado 5083-0 con las siguientes propiedades mecánicas

Propiedad mecánica	N/mm^2
Resistencia a la fluencia (mínima)	125
Resistencia a la tensión	260
Módulo de elasticidad	69×10^3

Tabla 4. Propiedades mecánicas mínimas para aleación de aluminio 5083-0

De igual manera, para embarcaciones de aleaciones de aluminio se proveen los escantillones mínimos para cada ítem estructural, independiente de si el arreglo estructural es longitudinal o transversal.

Para embarcaciones de materiales compuestos, evidentemente se establecen lineamientos de carácter constructivo de mayor rigor, dado que las propiedades mecánicas de estos materiales son altamente dependientes de la manufactura de los mismos.

En cada caso, para embarcaciones de un solo casco, o bien multicasco, e independientes del tipo de material empleado, se evalúa por supuesto la resistencia del modelo viga-buque, y además se proveen indicaciones específicas para requerimientos especiales tales como cubiertas de carga, cubiertas de vuelo, requerimientos de reforzamiento para navegación en condiciones heladas, entre otros.

Las reglas incorporan los requerimientos de la *International Convention for Safety of Life at Sea*, 1974 (SOLAS 74). En términos del tipo de servicio prestado por la embarcación, estas reglas son perfectamente aplicables a embarcaciones de patrullaje, así como a embarcaciones de carga y de pasajeros.

De esta manera, puede concluirse que, mediante lo anteriormente descrito, las reglas en cuestión son adecuadas para abordar el diseño y futura construcción del buque objetivo tipo OPV MkII, toda

vez que el buque objetivo, por sus características operacionales, puede estar incluido en la clasificación descrita.

8.1.2. *Rules and Regulations for the Classification of Naval Ships - LR*

De acuerdo a lo establecido en [5.2], este compendio de reglas abarca la clasificación de buques de carácter naval, suministrando lineamientos suficientes para proveer resistencia estructural e integridad estanca para todas las partes esenciales del casco y sus apéndices, incluyendo el cumplimiento de los estándares adecuados de estabilidad en avería, así como seguridad y confiabilidad en el sistema de propulsión y sistemas auxiliares, acordes a las condiciones de operación de un buque naval.

Estas reglas son aplicables a buques navales diseñados y construidos con el propósito de transportar y operar sistemas navales. Estos buques pueden ser agrupados en las categorías descritas a continuación.

a) *Buques NS1*

Esta categoría cubre aquellos buques usados para el despacho de aviones o equipos, y buques que pueden ser usados como centros de comando. Diseñados para la operación en todo el mundo, y usualmente soportados por buques de la categoría NS2. Típicamente esta categoría cubrirá buques de más de 140 metros de eslora con un desplazamiento de 10000 toneladas o más. Se incluirá además, portaaviones, portahelicópteros, buques de soporte anfibio, y buques de asalto.

b) *Buques NS2*

Esta categoría cubre buques usados para defender a los buques NS1 como parte de tareas de fuerza o actuar como unidades independientes. Pueden tener una variedad de roles únicos o múltiples incluyendo defensa aérea, antisubmarina, defensa en el mar, y serán diseñados para operar en cualquier parte del mundo. Típicamente esta categoría cubrirá buques de eslora entre 70 a 140 metros con desplazamientos de 1200 a 20000 toneladas. Los buques NS2 pueden ser descritos como cruceros, fragatas, destructores, corbetas o similares.

c) *Buques NS3*

Esta categoría cubre buques que tienen un rol de frente de línea, pero no son cubiertos por los buques descritos anteriormente. Esta categoría incluye una variedad de buques típicamente debajo de las 1500 toneladas de desplazamiento. Pueden operar independientemente o como parte de tarea de fuerza, y son usualmente diseñados y construidos para roles específicos como barrido de minas, desembarcos, defensa costera o misiones de patrulla rápida. Un servicio en área restringida puede ser especificado.

Es evidente que, el buque objetivo tipo OPV (*offshore patrol vessel*), estaría incluido en esta categoría. Por consiguiente, el conjunto de reglas también resultan adecuadas para el diseño y construcción del buque de interés, pero incluyendo consideraciones de mayor rigor que aquellas descritas para SSC, debidas al carácter naval.

Este tipo de buques no sólo deben cumplir con regulaciones tales como *International Convention for the Safety of Life at Sea*, *Code of Safety for Special Purpose Ships* (SPS Code), *MARPOL Annex I, V, IV, VI* (para prevención de contaminación por petróleo, basuras, residuos y contaminación del aire), sino que deben estar certificados para estabilidad intacta y en avería y para el porte de municiones por una organización reconocida.

d) Buques NSA

Esta categoría cubre buques navales auxiliares usados para soporte de operaciones civiles o navales. Pueden tener una variedad de roles, incluyendo traslado de personal militar u otros, municiones, vehículos, almacenes y combustible, y la transferencia de estos a otros buques. Ellos no tienen un rol ofensivo definido pero pueden tener una limitada capacidad de autodefensa.

A diferencia de las reglas para buques tipos SSC, estas reglas añaden otros aspectos de resistencia global del modelo viga buque, tales como evaluaciones de resistencia extrema (ESA1, ESA2, grados 1 y 2 respectivamente), así como evaluaciones de resistencia residual (RSA1, RSA2 y RSA3, grados 1, 2 y 3 respectivamente). Del mismo modo, debido al rol y labor que desempeñan los buques navales, en estas reglas se considera que debería incorporarse un *nivel básico de redundancia estructural* en el diseño de los buques, asegurando siempre que el buque esté en condiciones adecuadas aún en escenarios de daño. Bajo estas reglas, pueden emplearse tres tipos de evaluación estructural, indicadas a continuación.

- 1) Análisis estructural con modelo lineal elástico, empleado intrínsecamente en las reglas de clasificación, el cual ofrece resultados aceptables pero muy conservativos.
- 2) Modelo de resistencia última o elasto-plástico.
- 3) Análisis dinámico 3D para la determinación de cargas en el modelo elasto-plástico. Normalmente esto es empleado en áreas de interés local.

Debido a la naturaleza de la operación de los buques navales, la estructura del casco debe ser evaluada, mediante las reglas, frente a explosiones externas e internas, explosiones de choque bajo el agua y *whipping*. En lo que respecta a los materiales, la preferencia está orientada hacia el acero, debido al pobre desempeño del aluminio en temperaturas altas, lo cual hace que por lo general no sea empleado para elementos de la estructura del casco.

Propiedad mecánica	N/mm^2
Resistencia a la fluencia (mínima)	235
Resistencia a la tensión	400 – 490
Módulo de elasticidad	200×10^3

Tabla 5. Propiedades mecánicas mínimas para acero dulce (*mild steel*) en NS

Este grado básico de acero puede ser usado en la determinación de los escantillones requeridos.

8.2. Análisis utilización de diferentes tipos de materiales para aumentar la resistencia estructural

Evidentemente las propiedades mecánicas de los materiales considerados en el cálculo de escantillones tienen una influencia directa en el dimensionamiento estructural, y por supuesto, en la resistencia estructural. Adicional a lo anterior, cabe mencionar que debido a la naturaleza de la operación de los buques navales, las reglas designadas para este tipo de buques presentan mayor exigencia estructural, lo cual presupone un aumento de escantillones frente a sus reglas análogas para buques comerciales.

En ese sentido, se ha decidido emplear diferentes tipos de materiales en los cálculos de escantillones, con el fin de evaluar cuantitativamente el aumento en la resistencia mecánica y el

decremento en los pesos muertos. Además, el tipo de regla también será incluida en el análisis. Esta comparación podrá permitir evaluar la opción de emplear uno u otro material, según el criterio ingenieril preponderante, en fases futuras del diseño.

Para este fin, se ha decidido elaborar dicho análisis considerando dos tipos de materiales ampliamente utilizados en la construcción naval: acero naval A131 y acero de alta resistencia AH36, exclusivamente a la cubierta principal. En la tabla 6 se muestran las propiedades mecánicas de ambos materiales.

Propiedad Mecánica	Acero A 131	Acero AH36
$E \text{ (N/mm}^2\text{)}$	200000	210000
$\sigma_s \text{ (N/mm}^2\text{)}$	235	350
$\sigma_u \text{ (N/mm}^2\text{)}$	400	490

Tabla 6. Propiedades mecánicas de Acero A131 y Acero AH36

8.2.1. Metodología general de cálculo de escantillones

La metodología de cálculo de escantillones empleada por la mayoría de sociedades clasificadoras, incluyendo Lloyd's Register, es generalmente la misma, y puede ser descrita de forma general de la siguiente manera.

De acuerdo a [5.9], inicialmente puede trazarse una disposición aproximada de la estructura de la cuaderna maestra de un buque, precisando previamente información de entrada como, desplazamiento a plena carga, desplazamiento en rosca, dimensiones principales (eslora, manga, calado, y puntal), el contorno de la cuaderna maestra (determinada principalmente considerando como base la potencia, estabilidad y protección), el contorno de las cubiertas y ubicación tentativa de puntales según disposición general, separación de los mamparos transversales, así como separación de bulárcamas y varengas, material a utilizar, y exigencias militares (en caso de que existan). La anterior estimación inicial permite obtener luego unos escantillones suficientes para el cálculo aproximado del peso y resistencia longitudinal.

Se calcula una presión de diseño correspondiente a cada región del buque, a partir de las dimensiones del mismo, de su comportamiento en el mar, entre otros factores. Con base en criterios especiales de resistencia de materiales y de acuerdo al tipo de servicio del buque y demás información de entrada pertinente, se procede a calcular espesores de planchas según las expresiones matemáticas estipulado en reglas, las cuales incluyen, entre otras cosas, factores de diseño o parámetros estadísticos obtenidos a partir de información de buques anteriormente construidos, considerando las incertidumbres presentes en las propiedades mecánicas del material, la naturaleza estocástica de las cargas, y demás factores que induzcan variabilidad en los resultados.

Del mismo modo, una vez elegido el espesor de plancha para cada región, el espaciamento de sus correspondientes refuerzos longitudinales principales es seleccionado y validado de acuerdo a las necesidades de soporte de la placa asociada y a la presión de diseño resultante en la respectiva ubicación. Se elige y se verifica el espaciamento de refuerzos transversales, basado por lo general en lo que resulte práctico en términos de la disposición de los espacios interiores.

Una vez que los espaciamentos (longitudinal y transversal) han sido elegidos, se seleccionan los tipos de refuerzo longitudinal a emplear, luego se calculan y verifican sus dimensiones y mínimas

propiedades geométricas requeridas, (i.e., módulo de sección, área de sección transversal), según sus respectivas ubicaciones, espesores de planchas asociadas, y el máximo espaciamiento transversal (*span*).

Se seleccionan los tipos de refuerzos transversales a emplear para cada zona, y luego se calculan y verifican sus escantillones frente a los respectivos valores mínimos requeridos de módulo de sección, los cuales están basados en la presión de diseño local, el *span* local, y el espesor local de la plancha asociada.

Las reglas de cálculo de escantillones contenidas en los documentos [5.1] y [5.2], basadas en la metodología anteriormente expuesta, han sido implementadas a través de un cuaderno de escantillado. Haciendo uso del cuaderno de escantillones, se evaluó la influencia del tipo de material de la cubierta principal y el tipo de regla elegidos, frente al desempeño estructural, en términos de los escantillones. En la tabla 5. se ilustran los resultados obtenidos .

Tipo de Acero	Planchaje de cubiertas y sus refuerzos	SPECIAL SERVICE CRAFT				NAVAL			
		t_p (mm)	A_w (cm ²)	Z (cm ³)	I (cm ⁴)	t_p (mm)	A_w (cm ²)	Z (cm ³)	I (cm ⁴)
A131	Cubierta principal	4,7				4,7			
	Reforzamiento secundario		0,5	6,6	21,0		0,7	8,0	29,4
	Reforzamiento primario		1,5	28,6	170,6		2,1	40,1	191,6
	Reforzamiento primario long.		3,6	123,5	1326,6		6,3	187,9	1862,4
AH36	Cubierta principal	4,3				4,2			
	Reforzamiento secundario		0,4	4,9	21,0		0,4	5,4	29,4
	Reforzamiento primario		1,1	21,3	170,6		1,4	27,0	191,6
	Reforzamiento primario long.		2,7	92,1	1326,6		4,2	126,1	1862,4

Tabla 7. Resultados del análisis de desempeño, considerando dos tipos de acero y dos tipos de reglas

Los valores de t_p son espesores de plancha (en este caso, sólo la cubierta principal), A_w es el área de sección transversal de un refuerzo, e I es su correspondiente momento de inercia.

En la siguiente tabla se muestra el espesor equivalente (t_e) al tomar en cuenta la separación y cantidad de refuerzos para un panel característico. El cálculo del espesor equivalente viene dado por la siguiente expresión, deducida geoméricamente para un panel de las mismas medidas para todos los casos:

$$t_e = t_p + \left(\frac{A_{w(sec. stiff)}}{s} \right) + \left(\frac{A_{w(prim. stiff)}}{l} \right) + \left(\frac{A_{w(prim. long. stiff)}}{5s} \right)$$

La variable l es la longitud no soportada para los refuerzos primarios, en este caso 1200mm, ya que esta medida se mantuvo constante y lo que se varió fue el espaciamiento s . Cabe indicar que el divisor ($5s$) resulta de asumir que el espaciamiento de los refuerzos longitudinales primarios será igual a 5 veces el espaciamiento de los refuerzos secundarios (s). A continuación se muestran los resultados en la tabla 8.

	Special Service Craft	Naval	Naval / SSC
Tipo de Acero	t_e (mm)	t_e (mm)	%
A131	5,07	5,31	5%
AH36	4,58	4,64	1%
AH36 / A131	-10%	-13%	-9%

Tabla 8. Resultados relativos del análisis de desempeño, considerando dos tipos de acero y dos tipos de reglas

Se observa claramente la reducción en cantidad de material, y por consiguiente en peso, al cambiar de acero A131 a acero AH36. Así, aplicando las reglas de Special Service Craft se reduce un 10% mientras que en las reglas de tipo naval, un 13%. Por lo tanto, en la Naval hay una mayor reducción de peso.

Por otro lado, se observa que para una misma configuración estructural, aplicando las diferentes reglas mencionadas, sobre la cubierta principal se exige mayor material con reglas navales, así tenemos que, con acero A131, las reglas navales exigen 5% más material que con las reglas de Special Service Craft, y con acero AH36 y reglas navales, un 1% más.

8.3. Análisis de diferentes modelos de disposición estructural.

8.3.1. Variación de escantillones frente a diferentes espaciamientos de refuerzos secundarios

Mediante la aplicación del cuaderno de escantillones, se analizó la variación del área, inercia y módulo de sección requeridos por las reglas de clasificación consideradas, frente a diferentes valores del espaciamiento entre los refuerzos secundarios, así, para $s = 300, 400$ y 500 mm, en fondo, costado y cubierta principal, obteniéndose los siguientes resultados³:

³ Convenciones iguales a aquellas empleadas en la tabla 7

		s (mm)	Special Service Craft		Naval	
			t_p (mm)	A_w (cm ²)	t_p (mm)	A_w (cm ²)
	Shell envelope					
BOTTOM	Bottom shell plating	300	5,7		5,6	
	Secondary stiffening	300		2,0		1,5
	Primary Stiffening	300		7,4		4,7
	Primary Long Stiffening	300		22,1		14,2
	Bottom shell plating	400	7,6		6,5	
	Secondary stiffening	400		2,7		2,0
	Primary Stiffening	400		9,8		6,3
	Primary Long Stiffening	400		29,4		18,9
	Bottom shell plating	500	9,5		8,1	
	Secondary stiffening	500		3,4		2,5
	Primary Stiffening	500		12,3		7,9
	Primary Long Stiffening	500		36,8		23,7
SIDE	Side shell plating	300	4,7		4,7	
	Secondary stiffening	300		1,0		1,2
	Primary Stiffening	300		3,7		3,6
	Primary Long Stiffening	300		11,2		10,8
	Side shell plating	400	5,8		4,7	
	Secondary stiffening	400		1,4		1,5
	Primary Stiffening	400		5,0		4,8
	Primary Long Stiffening	400		15,0		14,5
	Side shell plating	500	7,2		4,7	
	Secondary stiffening	500		1,7		1,9
	Primary Stiffening	500		6,2		6,0
	Primary Long Stiffening	500		18,7		18,1
	Deck plating and stiffeners					
DECK	Strength/Main deck plating	300	4,7		4,7	
	Secondary stiffening	300		0,4		0,5
	Primary Stiffening	300		1,1		1,6
	Primary Long Stiffening	300		2,7		4,7
	Strength/Main deck plating	400	4,7		4,7	
	Secondary stiffening	400		0,5		0,7
	Primary Stiffening	400		1,5		2,1
	Primary Long Stiffening	400		3,6		6,3
	Strength/Main deck plating	500	4,7		4,7	
	Secondary stiffening	500		0,6		0,8
	Primary Stiffening	500		1,9		2,6
	Primary Long Stiffening	500		4,5		7,8

Tabla 9. Resultados de escantillones frente a la variación del espaciamiento entre refuerzos secundarios

En la tabla 9 se muestra el espesor del planchaje y el área del reforzamiento requeridos por cálculo de reglas SSC y Naval respectivamente, separados por zonas (fondo, costado y cubierta) y a su vez definidos en términos de los espaciamientos establecidos.

En la tabla 10 se muestra el espesor equivalente t_e de las zonas mencionadas, con el mismo procedimiento del inciso anterior.

			Special Service Craft		Naval	
	$s(mm)$	$l_e(mm)$	$t_e(mm)$	$A_e(cm^2)$	$t_e(mm)$	$A_e(cm^2)$
BOTTOM	300	10	8,4	84,2	7,5	74,8
	400		10,5	105,3	8,4	84,3
	500		12,6	126,4	10,2	101,9
SIDE	300	3	6,1	18,2	6,1	18,2
	400		7,3	21,9	6,2	18,5
	500		8,8	26,5	6,3	18,8
DECK	300	7	5,0	35,3	5,3	36,8
	400		5,1	35,5	5,3	37,1
	500		5,1	35,7	5,4	37,6

Tabla 10. Escantillones para diferentes zonas, con diferentes reglas de clasificación

Vale la pena resaltar los valores de t_e y A_e para **Bottom** y **Side**, donde se observa que, entre el análisis con las reglas de Special Service Craft y las reglas navales, hay una mayor exigencia de material en la primera, lo cual es opuesto a lo que sucede en **Deck**, que se ve una mayor una exigencia de material en las reglas navales.

El área equivalente (A_e) mostrada en la tabla 10, consiste en el producto $t_e l_e$, el cual se tomará en cuenta para la sumatoria "Bottom + Side + Deck", para cada espaciamiento, como se muestra en la tabla 11.

$s(mm)$	A_e (SSC)	A_e (Naval)	Naval/SSC
300	137,7	129,8	-6%
400	162,7	140,0	-14%
500	188,6	158,3	-16%
400/300	18%	8%	
500/300	37%	22%	

Tabla 11. Variación porcentual de peso empleando los dos tipos de reglas, según espaciamiento

En la tabla 11 se muestra la variación porcentual en peso, al cambiar de 300 mm a 400mm y 500mm de espaciamiento respectivamente (verticalmente), como de comparar la norma para buques navales respecto a la SSC (horizontalmente).

Se resaltan las áreas equivalentes máxima y mínima para un panel de las mismas medidas, estos valores pueden ser tomados en cuenta para escantillonar aplicando una u otra regla de clasificación y en qué medida de espaciamiento.

8.3.2. Análisis de arreglos estructurales

En construcción naval existen dos tipos de arreglo estructural fundamentales, a saber, arreglo longitudinal y arreglo transversal. De acuerdo a [5.10], el arreglo estructural de tipo transversal tiene la ventaja de definir la forma del casco muy fuertemente, empleando cuadernas estrechamente espaciada. Estas numerosas cuadernas son moldeadas más pequeñas que aquellas cuadernas que están ampliamente espaciadas.

Esto permite ganar volumen útil en el interior para alojamientos, maquinaria y cargamento. Sin embargo, el arreglo transversal con pocos longitudinales no es estructuralmente tan eficiente, toda

vez que se necesita una gran cantidad de reforzamiento longitudinal para contribuir a la rigidez de la viga buque en ese sentido.

El otro tipo de arreglo estructural disponible, el arreglo longitudinal, por su parte consta de cuadernas más profundas que soportan numerosos refuerzos longitudinales espaciados estrechamente. Este esquema resulta más eficiente para una estructura monocasco, dado que con este tipo de arreglo es más fácil, desde el punto de vista constructivo, obtener planchas (o cáscaras) más suaves y uniformes, y además se requieren cortar menos cuadernas para conformar el casco. Los longitudinales se ubican sobre los marcos transversales y algunos de ellos son doblados conforme a la forma del casco en los costados y el fondo. La única desventaja del arreglo totalmente longitudinal es que los anillos ampliamente espaciados deben ser moldeados bastante profundos, lo cual demanda valioso volumen del interior. Para reducir el moldeado de esas cuadernas, y así tener mayor volumen interior de utilidad, se ha utilizado un arreglo que combina cuadernas poco espaciadas con largueros longitudinales.

Una alternativa a los arreglos mencionados es el arreglo mixto, el cual emplea un arreglo longitudinal en algunas zonas del buque, mientras que en otras zonas se emplea arreglo transversal, buscando aprovechar las ventajas particulares de cada uno. Por ejemplo, emplear arreglo transversal (con reforzamiento longitudinal) en el tercio medio del buque, y en el resto de mismo emplear arreglo longitudinal. Cabe anotar que, si se emplea este tipo de arreglo mixto, las transiciones entre los dos tipos de arreglo deben hacerse preferiblemente en un mamparo transversal. En fases futuras del proyecto, podría considerarse emplear este tipo de arreglo mixto según las necesidades de espacios y exigencias estructurales a lo largo de las diferentes zonas del buque.

El arreglo actual de 10 mamparos estancos proporciona al buque las características de menor vulnerabilidad respecto a la primera generación de patrulleros OPV80, ya que se logra el cumplimiento de los criterios de estabilidad en averías para dos compartimientos adyacentes inundados. En este mismo sentido la ubicación de tanques laterales que se extienden sobre la línea de flotación en los cuartos de máquina, evita la inundación de estos compartimientos por daños en el casco aumentando la capacidad de supervivencia del buque.

8.4. Redacción cuaderno de escantillonado de acuerdo a reglas de clasificación.

La herramienta de cálculo desarrollada está basada en las reglas consideradas en la sección anterior, empleando la metodología descrita brevemente en 8.2.1. En principio, por ser ambas normas pertenecientes a la sociedad de clasificación Lloyd's Register, se tiene un proceder similar en el escantillonado. A continuación se define parte de la información de entrada que fue empleada para el cálculo de escantillones.

8.4.1. Definición estructural

En este paso se divide al buque en 4 zonas básicas: popa, centro, proa y superestructura; cada una de ellas están divididas a su vez se dividen en 3 "rebanadas": I, II y III, de las cuales se tomará la central de cada una para evaluarlas. Se recomienda tomar como "rebanada" central la que esté más cerca de un mamparo, con el fin de coger toda la variedad de estructuras presentes, ya sean bulárcamas, refuerzos secundarios, etc. En la tabla 10 se especifican las posiciones de estas zonas, así como de sus respectivas divisiones. A pesar de que esta división resulte conveniente para el desarrollo del diseño de la totalidad del buque, en este análisis sólo se considerará una tercera parte del cuerpo medio paralelo.

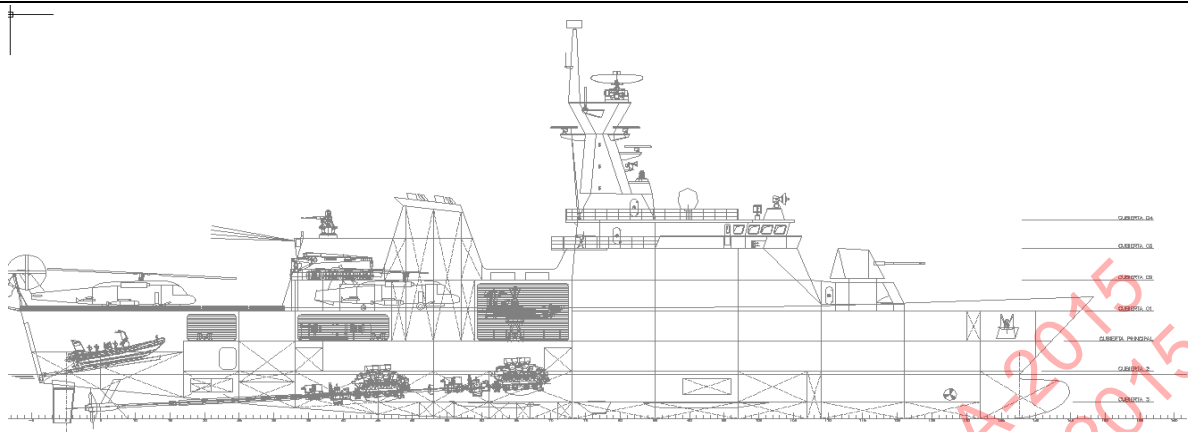


Figura 1. Vista de perfil de disposición general OPV MkII

	POPA			CENTRO			PROA			SUPERESTRUCTURA		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
	M01 - FR05	M03 - FR25	M04 - FR33	M05 - FR53	M07 - FR85	M07 - FR85	M08 - FR97	M10 - FR121	M11 - FR132	M05 - FR53	M07 - FR85	M07 - FR85
X _{LR} (m)	3	15	19,8	31,8	51	51	58,2	72,6	79,2	31,8	51	51
X _{Wl} (m)	5,4	17,4	22,2	34,2	53,4	53,4	60,6	75,0	81,6	34,2	53,4	53,4
B _{Wl} (m)		13,313			13,313			13,313		—	—	—
Tx (m)		4,1			4,1			4,1				

Tabla 12. Definición de las zonas básicas del buque.

8.4.2. Definición de Materiales

A continuación se listan las propiedades mecánicas relevantes empleadas en el cálculo de escantillones para los materiales generalmente dispuestos para construcción naval, los cuales son acero naval A131, aceros de alta resistencia: AH32 y AH36 y aleaciones de aluminios: AW 6082 y AW 5083. En la tabla 11, E es el módulo de elasticidad, σ_s es la resistencia a la fluencia y σ_u es la resistencia última.

Propiedad / Material	A 131	AH32	AH36	AW 6082	AW 5083
E (N/mm ²)	200000	210000	200000	70000	71000
σ_s (N/mm ²)	235	315	350	240	115
σ_u (N/mm ²)	400	440	490	275	270

Tabla 13. Propiedades mecánicas de materiales para construcción naval

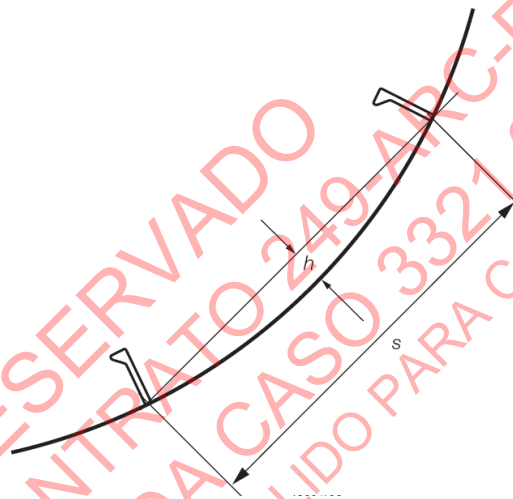
8.4.3. Configuración estructural

Se define un panel que contenga refuerzos secundarios, refuerzos transversales primarios y refuerzos longitudinales primarios, con sus respectivos espaciamientos como se muestra en la siguiente tabla:

Refuerzos secundarios		Refuerzos Trans. Primarios		Refuerzos Long. Primarios	
$s(mm)$	$l(m)$	$S(mm)$	$l(m)$	$s(mm)$	$l(m)$
400	1,2	1200	2	2000	1,2

Tabla 14. Espaciamientos de refuerzos en panel

Para los paneles pertenecientes al casco se requerirá la medida de la flecha " h " para definir la curvatura del panel en evaluación, como se muestra en la gráfica 2:



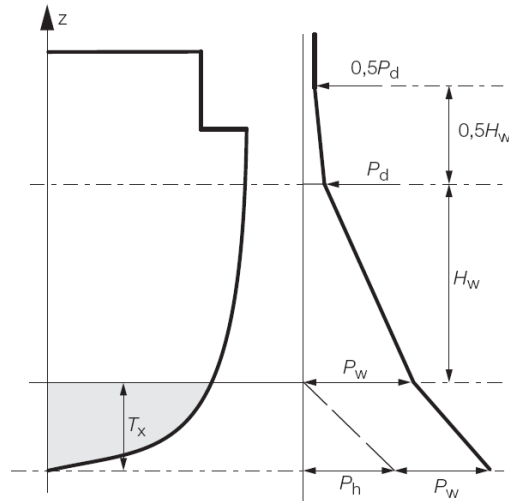
Gráfica 2. Medida de curvatura en panel. Fuente : [5.1]

La medida de " h " naturalmente variará a lo largo de la curvatura del casco, por lo que para efectos de cálculo crítico se elegirá el valor mínimo que se pueda encontrar en la zona a evaluar, ya que mientras más curvatura, colaboraría a un mayor módulo de sección.

8.4.4. Presiones respecto a altura " Z " del panel a evaluar

Las diferentes presiones con que trabaja Lloyd's Register vienen dadas en función de las zonas a estudiar, ya sea la envolvente (fondo y costado), cubierta principal, otras cubiertas, mamparos, doble fondo, superestructura, etc. En la herramienta este cálculo fue prácticamente automatizado para lo que es la envolvente, que dependerá básicamente de la altura " Z ", con el fin de evaluar el nivel de presión hidrostática e hidrodinámica, así como también de la presión de impacto debido a olas en la zona de proa; igual con los otros elementos estructurales como cubiertas, mamparos, doble fondo y superestructuras. El cálculo de las presiones sobre el forro envolvente es realizado como una combinación de presión hidrostática (si se está por debajo de la línea de agua), la presión hidrodinámica y presión por impacto de olas.

A continuación se muestra la distribución de presión combinada sobre la envolvente.



Gráfica 3. Distribución de presión combinada, P_s . Fuente: [5.1]

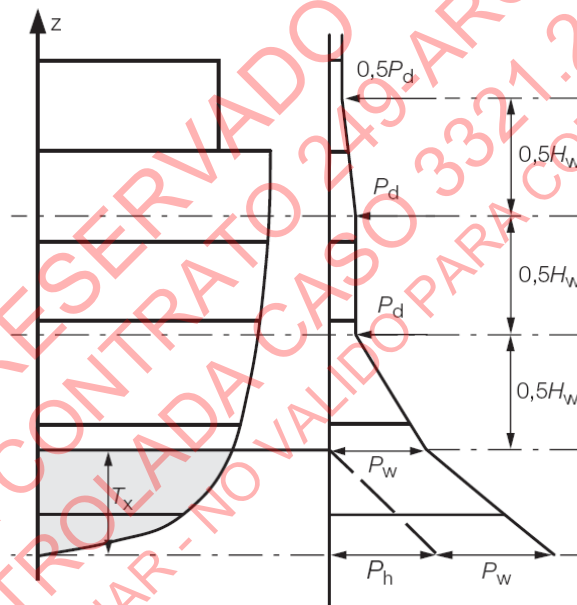


Figura 4. Distribución de presión sobre costado en intemperie. Fuente: [5.1]

A continuación se muestran los coeficientes empleados para el cálculo de presiones sobre la superestructura.

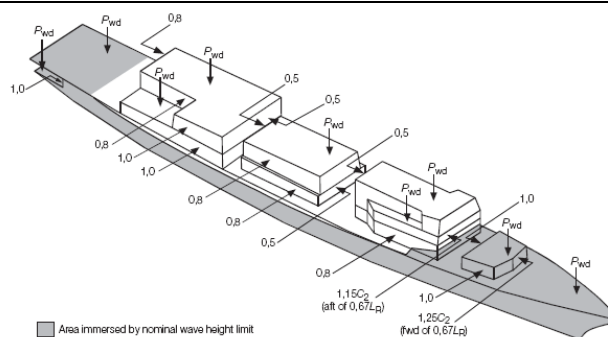


Figura 5. Coeficientes de Presión en Superestructura. Fuente: [5.2]

Las alturas empleadas para el cálculo de presiones en tanques de doble fondo se muestran a continuación.

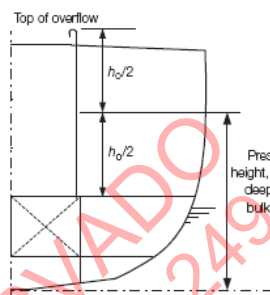


Figura 6. Altura para cálculo de Presión en Tanques de Doble fondo. Fuente: [5.2]

Las alturas para el cálculo de presiones sobre mamparos estancos está basado según de describe en la siguiente figura.

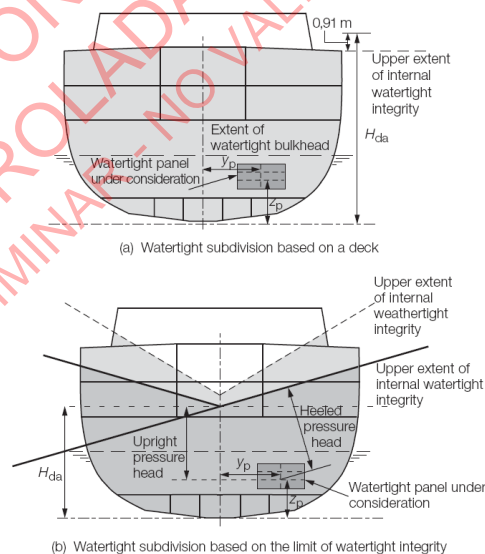


Figura 7. Altura para cálculo de presión sobre mamparos estancos. Fuente: [5.2]

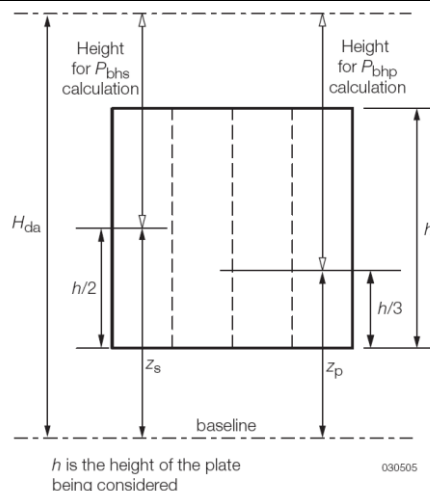


Figura 8. Alturas para cálculo de presiones sobre plancha de mamparo estanco y sus refuerzos. Fuente: [5.2]

8.4.5. Cálculo de espesor y módulo de sección mínimo para perfiles

De acuerdo a las fórmulas que cada regla, asociada a los documentos de referencia [5.1] y [5.2], adopta para el cálculo de espesor y requerimientos mecánicos para los perfiles y sus planchas asociadas, se llegan a resultados parecidos a los que se presentan a continuación para cada panel y zona a evaluar:

Estructura de Casco	$A_w (cm^2)$	$Z (cm^3)$	$I (cm^4)$	$tp (mm)$
Planchaje de Fondo				5,65
Refuerzos Secundarios	2,0	28,3	83,1	
Refuerzos Trans. Secundarios	7,4	106,2	380,3	
Refuerzos Trans. Primarios	22,1	764,9	380,3	

Tabla 15. Resultados de propiedades geométricas requeridas de plancha envolvente y refuerzos

8.4.6. Selección de Perfil

Los refuerzos primarios se dimensionarán con perfiles tipo "T", los cuales cumplen con mejor desempeño los requerimientos de las normas empleadas

$h (cm)$ alto web	$t_w (cm)$ espesor web	$b (cm)$ ancho flange	$t_f (cm)$ espesor flange	$W_{\frac{2}{3}} / A_p$
17	0,8	10	0,95	1,5
48	0,8	15	0,95	2,0

Tabla 16. Medidas de los refuerzos primarios seleccionados, perfiles T

Cabe indicar que para el presente diseño conceptual se asumió un ancho efectivo de plancha asociada igual a 40 veces el espesor de la misma.

Web Area	Section Modulus	Inertia		
(cm^2)	(m^3)	(cm^4)		
A_w	Z	I	t_p (mm)	
			8	BIEN
8,7	37,9	320	HP 100 x 7.0	BIEN
22,34	203,69	2401,4	T 170 x 8 x 100 x 9,5	BIEN
51,89	1032,11	28863,6	T 480 x 8 x 150 x 9,5	BIEN

Tabla 17. Comprobación de requerimientos de norma

8.4.7 Resumen resultados cálculos de escantillones

En las siguientes tablas se resumen los resultados obtenidos para la zona II del centro (cuerpo medio paralelo), de acuerdo a los cálculos elaborados en el cuaderno de escantillones, empleando las reglas para buques *navales* de Lloyd's Register [5.2] . Los cálculos se encuentran desarrollados a detalle en el cuaderno de escantillado anexo a este documento.

													REQUERIMIENTOS DE NORMA				
Configuración Estructural del Panel													Web Area		Section Modulus	Inertia	
Item	Secondary member Strong												[kNm]	[cm ²]	[cm ³]	[cm ⁴]	
Shell envelope	s [mm]	l [m]	S [m]	I [m]	S [m]	I [m]	h [mm]	Tx [m]	z [m]	Zk [m]	Xwl [m]	W _{cd}	Aw [cm ²]	Z [cm ³]	I [cm ⁴]	tp final	
Bottom shell and bilge plate	300	1,2	1,2	1,5	1,5	3,6	3	4,1	0	0	53,4					5,6	
Secondary stiffening	300	1,2	1,2	1,5	1,5	3,6	3	4,1	0	0	53,4		1,52	18,2	53,5		
Primary Stiffening	300	1,2	1,2	1,5	1,5	3,6	3	4,1	0	0	53,4		4,74	68,4	244,7		
Primary Long Stiffening	300	1,2	1,2	1,5	1,5	3,6	3	4,1	0	0	53,4		14,21	426,6	4229,2		
Bottom shell and bilge plate	400	1,2	1,2	2	2	3,6	3	4,1	0	0	53,4					6,5	
Secondary stiffening	400	1,2	1,2	2	2	3,6	3	4,1	0	0	53,4		2,02	24,3	71,3		
Primary Stiffening	400	1,2	1,2	2	2	3,6	3	4,1	0	0	53,4		6,32	121,5	580,1		
Primary Long Stiffening	400	1,2	1,2	2	2	3,6	3	4,1	0	0	53,4		18,95	568,8	5638,9		
Bottom shell and bilge plate	500	1,2	1,2	2,5	2,5	3,6	3	4,1	0	0	53,4					8,1	
Secondary stiffening	500	1,2	1,2	2,5	2,5	3,6	3	4,1	0	0	53,4		2,53	30,3	89,1		
Primary Stiffening	500	1,2	1,2	2,5	2,5	3,6	3	4,1	0	0	53,4		7,89	189,9	1133,1		
Primary Long Stiffening	500	1,2	1,2	2,5	2,5	3,6	3	4,1	0	0	53,4		23,68	711,0	7048,6		
Side shell plating [mm]	300	1,2	1,2	1,5	1,5	3,6	0	4,1	4,3	0	53,4					4,7	
Secondary stiffening	300	1,2	1,2	1,5	1,5	3,6	0	4,1	4,3	0	53,4		1,16	13,9	40,8		
Primary Stiffening	300	1,2	1,2	1,5	1,5	3,6	0	4,1	4,3	0	53,4		3,61	52,2	186,8		
Primary Long Stiffening	300	1,2	1,2	1,5	1,5	3,6	0	4,1	4,3	0	53,4		10,84	325,6	3227,6		
Side shell plating [mm]	400	1,2	1,2	2	2	3,6	0	4,1	4,3	0	53,4					4,7	
Secondary stiffening	400	1,2	1,2	2	2	3,6	0	4,1	4,3	0	53,4		1,54	18,5	54,4		
Primary Stiffening	400	1,2	1,2	2	2	3,6	0	4,1	4,3	0	53,4		4,82	92,8	442,7		
Primary Long Stiffening	400	1,2	1,2	2	2	3,6	0	4,1	4,3	0	53,4		14,46	434,1	4303,4		
Side shell plating [mm]	500	1,2	1,2	2,5	2,5	3,6	0	4,1	4,3	0	53,4					4,7	
Secondary stiffening	500	1,2	1,2	2,5	2,5	3,6	0	4,1	4,3	0	53,4		1,93	23,2	68,0		
Primary Stiffening	500	1,2	1,2	2,5	2,5	3,6	0	4,1	4,3	0	53,4		6,02	144,9	864,7		
Primary Long Stiffening	500	1,2	1,2	2,5	2,5	3,6	0	4,1	4,3	0	53,4		18,07	542,6	5379,3		
Deck structure																	
Strength deck	300	1,2	1,2	1,5	1,5	3,6	0	4,1	7,2	0	53,4	0				4,7	
Secondary Stiffening	300	1,2	1,2	1,5	1,5	3,6	0	4,1	7,2	0	53,4	0	0,50	6,0	22,1		
Primary Stiffening	300	1,2	1,2	1,5	1,5	3,6	0	4,1	7,2	0	53,4	0	1,56	22,6	80,8		
Primary Long Stiffening	300	1,2	1,2	1,5	1,5	3,6	0	4,1	7,2	0	53,4	0	4,69	140,9	1396,8		
Strength deck	400	1,2	1,2	2	2	3,6	0	4,1	7,2	0	53,4	0				4,7	
Secondary Stiffening	400	1,2	1,2	2	2	3,6	0	4,1	7,2	0	53,4	0	0,67	8,0	29,4		
Primary Stiffening	400	1,2	1,2	2	2	3,6	0	4,1	7,2	0	53,4	0	2,09	40,1	191,6		
Primary Long Stiffening	400	1,2	1,2	2	2	3,6	0	4,1	7,2	0	53,4	0	6,26	187,9	1862,4		
Strength deck	500	1,2	1,2	2,5	2,5	3,6	0	4,1	7,2	0	53,4	0				4,7	
Secondary Stiffening	500	1,2	1,2	2,5	2,5	3,6	0	4,1	7,2	0	53,4	0	0,83	10,0	36,8		
Primary Stiffening	500	1,2	1,2	2,5	2,5	3,6	0	4,1	7,2	0	53,4	0	2,61	62,7	374,2		
Primary Long Stiffening	500	1,2	1,2	2,5	2,5	3,6	0	4,1	7,2	0	53,4	0	7,82	234,8	2328,0		
Strength deck [mm]	400	1,2	1,2	2	2	3,6	0	4,1	7,2	0	53,4	0				4,2	
Secondary Stiffening	400	1,2	1,2	2	2	3,6	0	4,1	7,2	0	53,4	0	0,45	5,4	29,4		
Primary Stiffening	400	1,2	1,2	2	2	3,6	0	4,1	7,2	0	53,4	0	1,40	27,0	191,6		
Primary Long Stiffening	400	1,2	1,2	2	2	3,6	0	4,1	7,2	0	53,4	0	4,20	126,1	1862,4		
Internal and lower decks	400	1,2	1,2	2	2	3,6	0	4,1	0	0	53,4	0				3,6	
Secondary Stiffening	400	1,2	1,2	2	2	3,6	0	4,1	0	0	53,4	0	0,69	8,2	30,2		
Primary Stiffening	400	1,2	1,2	2	2	3,6	0	4,1	0	0	53,4	0	3,43	66,0	315,0		
Primary Long Stiffening	400	1,2	1,2	2	2	3,6	0	4,1	0	0	53,4	0	10,29	308,8	315,0		
Superstructure and deckhouses																	
Deck plating thickness [mm]	400	1,2	1,2	2	2	3,6	0	4,1	10	0	53,4					3,3	
Secondary Stiffening	400	1,2	1,2	2	2	3,6	0	4,1	10	0	53,4		0,32	3,8	8,4		
Primary Stiffening	400	1,2	1,2	2	2	3,6	0	4,1	10	0	53,4		1,00	19,2	91,7		
Primary Long Stiffening	400	1,2	1,2	2	2	3,6	0	4,1	10	0	53,4		2,99	89,9	533,7		
Side plating thickness [mm]	400	1,2	1,2	2	2	3,6	0	4,1	10	0	53,4					3,7	
Secondary Stiffening	400	1,2	1,2	2	2	3,6	0	4,1	10	0	53,4		0,67	8,1	17,7		
Primary Stiffening	400	1,2	1,2	2	2	3,6	0	4,1	10	0	53,4		2,10	40,3	192,6		
Primary Long Stiffening	400	1,2	1,2	2	2	3,6	0	4,1	10	0	53,4		6,29	188,8	1871,7		
Front plating thickness, fwd	400	1,2	1,2	2	2	3,6	0	4,1	10	0	53,4					5,0	
Secondary Stiffening	400	1,2	1,2	2	2	3,6	0	4,1	10	0	53,4		1,05	12,6	27,7		
Primary Stiffening	400	1,2	1,2	2	2	3,6	0	4,1	10	0	53,4		3,28	63,0	300,9		
Primary Long Stiffening	400	1,2	1,2	2	2	3,6	0	4,1	10	0	53,4		9,83	295,0	2924,6		
Front plating thickness, aft	400	1,2	1,2	2	2	3,6	0	4,1	10	0	53,4					4,5	
Secondary Stiffening	400	1,2	1,2	2	2	3,6	0	4,1	10	0	53,4		0,96	11,6	25,5		
Primary Stiffening	400	1,2	1,2	2	2	3,6	0	4,1	10	0	53,4		3,01	58,0	276,8		
Primary Long Stiffening	400	1,2	1,2	2	2	3,6	0	4,1	10	0	53,4		9,04	271,4	2690,6		
Back plating thickness [mm]	400	1,2	1,2	2	2	3,6	0	4,1	10	0	53,4					4,3	
Secondary Stiffening	400	1,2	1,2	2	2	3,6	0	4,1	10	0	53,4		0,42	5,0	11,1		
Primary Stiffening	400	1,2	1,2	2	2	3,6	0	4,1	10	0	53,4		1,31	25,2	120,4		
Primary Long Stiffening	400	1,2	1,2	2	2	3,6	0	4,1	10	0	53,4		3,93	118,0	700,5		

Tabla 18. Resultados de cálculos de escantillones (mínimos requeridos según la norma NS)

8.5. Estudio comparativo de los resultados del cuaderno de escantillonado con la aplicación de la formulación y los criterios establecidos en la casa clasificadora LR

Para la aplicación de la formulación de y criterios establecidos en la casa clasificadora LR se configuro una tabla de escantillonado usa el programa Microsoft Excel conde se introduce la formulación establecida y de evalúa el cumplimiento del módulo de sección y espesores mínimos requeridos por los criterios del reglamento.

Web Area [cm ²]	Section Modulus [cm ³]	Inertia [cm ⁴]		
Aw	Z	I	tp	
7	24,9	175	8	BIEN
18,34	130,79	1128,7	HP 80*7,0	BIEN
38,29	580,37	10852,1	T 120x8x100x9,5	BIEN
38,29	580,37	10852,1	T 310x8x150x9,5	BIEN
7	24,9	175	8	BIEN
18,34	130,79	1128,7	HP 80*7,0	BIEN
38,29	580,37	10852,1	T 120x8x100x9,5	BIEN
38,29	580,37	10852,1	T 310x8x150x9,5	BIEN
7	24,9	175	8	MAL
18,34	130,79	1128,7	HP 80*7,0	MAL
38,29	580,37	10852,1	T 120x8x100x9,5	MAL
38,29	580,37	10852,1	T 310x8x150x9,5	MAL
6,2	22,3	151	5,4	BIEN
16,74	104,23	764,1	HP 80*6,0	BIEN
35,09	486,68	8014,7	T 100x8x100x9,5	BIEN
35,09	486,68	8014,7	T 270x8x150x9,5	BIEN
6,2	22,3	151	5,4	BIEN
16,74	104,23	764,1	HP 80*6,0	BIEN
35,09	486,68	8014,7	T 100x8x100x9,5	BIEN
35,09	486,68	8014,7	T 270x8x150x9,5	BIEN
6,2	22,3	151	5,4	BIEN
16,74	104,23	764,1	HP 80*6,0	MAL
35,09	486,68	8014,7	T 100x8x100x9,5	MAL
35,09	486,68	8014,7	T 270x8x150x9,5	MAL
6,2	22,3	151	5,4	BIEN
13,54	55,84	260,2	HP 80*6,0	BIEN
26,29	254,94	2597,3	T 60x8x100x9,5	BIEN
26,29	254,94	2597,3	T 160x8x150x9,5	BIEN
6,2	22,3	151	5,4	BIEN
13,54	55,84	260,2	HP 80*6,0	BIEN
26,29	254,94	2597,3	T 60x8x100x9,5	BIEN
26,29	254,94	2597,3	T 160x8x150x9,5	BIEN
6,2	22,3	151	5,4	BIEN
13,54	55,84	260,2	HP 80*6,0	BIEN
26,29	254,94	2597,3	T 60x8x100x9,5	BIEN
26,29	254,94	2597,3	T 160x8x150x9,5	BIEN
6,2	22,3	151	5,4	BIEN
12,16	49,96	239,7	HP 80*6,0	BIEN
23,36	215,78	2320,2	T 60x8x100x8	BIEN
23,36	215,78	2320,2	T 160x8x140x8	BIEN
6,2	22,3	151	5,4	BIEN
15,14	79,22	476,0	HP 80*6,0	BIEN
29,49	334,71	4184,1	T 80x8x100x9,5	BIEN
29,49	334,71	4184,1	T 200x8x150x9,5	BIEN
6,2	22,3	151	5,4	BIEN
11,94	34,25	112,4	HP 80*6,0	BIEN
20,69	128,35	774,8	T 40x8x100x9,5	BIEN
20,69	128,35	774,8	T 90x8x150x9,5	BIEN
6,2	22,3	151	5,4	BIEN
13,54	55,84	260,2	HP 80*6,0	BIEN
26,29	254,94	2597,3	T 60x8x100x9,5	BIEN
26,29	254,94	2597,3	T 160x8x150x9,5	BIEN
6,2	22,3	151	5,4	BIEN
15,14	79,22	476,0	HP 80*6,0	BIEN
29,49	334,71	4184,1	T 80x8x100x9,5	BIEN
29,49	334,71	4184,1	T 200x8x150x9,5	BIEN
6,2	22,3	151	5,4	BIEN
14,34	67,32	359,3	HP 80*6,0	BIEN
27,89	294,17	3338,5	T 70x8x100x9,5	BIEN
27,89	294,17	3338,5	T 180x8x150x9,5	BIEN
6,2	22,3	151	5,4	BIEN
12,74	44,81	178,1	HP 80*6,0	BIEN
21,49	145,38	965,2	T 50x8x100x9,5	BIEN
21,49	145,38	965,2	T 100x8x150x9,5	BIEN

Tabla 19. Comprobación de requerimientos de la regla (LR Naval Ships), respecto a resultados de la Tabla 18.

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:

- 9.1. La evaluación de manera general del rango de aplicabilidad de cada una de las reglas de cálculo de escantillones, correspondientes a los documentos [5.1] y [5.2] de Lloyd's Register, se concluye que ambas resultan idóneas para direccionar los procesos de diseño estructural en cada una de las etapas, y posterior construcción. Se ha evidenciado que, en términos estructurales, las reglas para buques navales tienen mayores exigencias, toda vez que se consideran evaluaciones de resistencia extrema y residual que aseguran que el buque esté en condiciones adecuadas aún en

escenarios de daño. Se hace necesario evaluar con mayor detalle la pertinencia de cada regla, bien sea comercial o naval con la perspectiva del costo para ayudar en la toma de decisiones en las fases avanzadas del proyecto.

- 9.2. A partir de los resultados obtenidos de la utilización de los diferentes materiales, se concluye que, en todos los casos (bien sea utilizando regla comercial o naval), emplear un material con mejores propiedades mecánicas presupone escantillones de menor magnitud, sin embargo también trae consigo costos asociados. Resulta importante evaluar desde el punto de vista económico y de riesgos, si realmente los beneficios (reducción de material) realmente son preponderantes respecto a sus costos (compra de material más costoso). Emplear una u otra regla no causa tanta diferencia entre la magnitud de escantillones como utilizar un material de mejores propiedades.
- 9.3. En lo que respecta al análisis paramétrico de evaluación de escantillones frente a la variable espaciamiento de refuerzos secundarios, se evidencia que, independiente del tipo de regla empleada (naval o comercial) se requiere mayor cantidad material mientras más grande es el espacio sin soportar (*span*) por parte de los refuerzos, presentándose mayor requerimiento de material con los cálculos de la regla comercial [5.1].
- 9.4. En cuanto al tipo de arreglo estructural a emplear, debería considerarse por lo menos un arreglo longitudinal, debido a la predominancia de los esfuerzos longitudinales por la eslora del buque (buscando que la estructura básica vaya de acuerdo con el esfuerzo principal), o bien un arreglo mixto donde se incluya arreglo transversal en zonas potencialmente sujetas a grandes esfuerzos por pandeo (esfuerzo transversal de-simétrico) y arreglo longitudinal en zonas de elevados momentos flectores en la viga buque, como en el cuerpo medio paralelo por ejemplo.
- 9.5. A partir de los lineamientos establecidos en la regla para buques navales de Lloyd's Register [5.2], se elaboró el cuaderno de escantillones u hojas de cálculo de escantillones con el fin de obtener los escantillones mínimos requeridos, de manera conceptual, en la zona III del cuerpo central del buque, correspondiente a la cuaderna maestra. Esta herramienta permitirá realizar verificar de forma ágil, el impacto de cualquier modificación en dimensiones principales.

10. DOCUMENTACION, FORMATOS Y/O REGISTROS:

ELABORÓ:

REVISÓ:

CC David Ignacio Fuentes
DISEÑADOR

Ing. Omar David Vasquez
JDVARQ

APROBÓ:

CF Fredy Zarate Patarroyo
GEDIN