

## ESTRUCTURACIÓN DE UNA METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DE LA ESTRATEGIA CONSTRUCTIVA PARA BUQUES INTEGRADA DESDE EL DISEÑO

### Structuring a methodology for the development of the building strategy for vessels integrated from design

Ivan Jose Castilla Hernandez\*

Recibido: 26/06/2019

Aceptado: 28/10/2019

#### Resumen

La construcción naval se considera una industria integradora de muchos procesos, en donde la planificación armónica de todos estos adquiere un papel significativo. En este artículo se revisó el estado del arte de la aplicación de la construcción integrada y de la estrategia constructiva como su fundamento articulador de las diferentes áreas del astillero, presentando el contenido recomendado del documento de estrategia constructiva. Además, se presentan los criterios para definir la división estructural del casco, estos criterios se aplican para su validación en el proyecto patrullero de zona económica exclusiva designado por sus siglas en inglés “OPV 93 C”, presentando la división obtenida. Estas recomendaciones pretenden facilitar los procesos de planificación en aspectos críticos como la estrategia constructiva y la división estructural del buque, permitiendo en las etapas tempranas de planificación del proyecto tener una hoja de ruta común, que facilite la comunicación entre las áreas implicadas.

**Palabras clave:** Estrategia constructiva, Construcción naval, Construcción integrada.

#### Abstract

The shipbuilding is considered an integrating industry of many processes, where the harmonic planning of all these acquires a significant role, in this article the state of the art of the application of the integrated construction and the building strategy will be reviewed as its articulating role for different areas of the shipyard, presenting the recommended content of the building strategy document. In addition, the criteria for defining the structural division of the hull are presented, these criteria are applied for validation in the OPV 93 C project, presenting the division obtained. These recommendations aim to facilitate planning processes in critical aspects such as the building strategy and the structural division of the ship, allowing in the early stages of project planning to have a common road map, which facilitates communication between the areas involved.

**Keywords:** Building strategy, Naval construction, Integrate ship construction.

\*Ingeniero Mecánico. M.S.c. en Ingeniera Naval. Jefe Departamento de Planeación, Programación y Control de Proyectos de Construcciones – COTECMAR. [icastilla@cotecmar.com](mailto:icastilla@cotecmar.com)

## **Introducción**

En un mundo globalizado como el presente, ningún tipo de industria se escapa a las exigencias que propone una competencia entre las empresas para poder subsistir. Ni siquiera las empresas estatales y/o las industrias protegidas por el Estado están exentas a la necesidad de ofrecer a los clientes un mejor producto en el menor tiempo posible, con calidad y al menor costo, con el fin de mantenerse a flote y lograr una mejor posición competitiva que le permita crecer de manera progresiva.

En esta perspectiva, la industria astillera varía al mismo ritmo de la situación de los mercados, los commodities, la situación económica y política de las diferentes regiones, por lo cual las necesidades de innovación y de eficiencia en los procesos es indispensable para mantenerse en la dirección adecuada y seguir creciendo en una región como la Latinoamericana, en donde la tradición astillera no es tan profunda como en Europa, Asia o Norte América.

Para mantenerse en este continuo crecimiento es absolutamente necesario implementar mejoras en todos los procesos, especialmente en los de planeación que permitan mantener la promesa de valor ofrecida a nuestros clientes, garantizando los tiempos de entrega y los requerimientos técnicos especificados.

En el presente artículo se definirán aspectos asociados a la aplicación de métodos constructivos que integren el equipamiento desde las etapas tempranas, explicando en que se fundamenta este método y cómo se aplica a través de la estrategia constructiva como documento integrador, para el cual se recomendará los contenidos que podrá incluir y por último se presentará una metodología cualitativa para la segmentación del casco.

## **Método**

Se realizó una investigación documental con el fin de determinar los antecedentes y estado del arte relacionado con la aplicación del documento de estrategia constructiva y la metodología constructiva que se considere entre las mejores prácticas en el medio astillero, aplicable a COTECMAR.

Se presentó una metodología cualitativa para el desarrollo de la división estructural del casco de buques metálicos, para lo cual se realizó la revisión estructural y de equipamiento del buque, lo que permitió recomendar una opción para el seccionamiento del casco del buque de Zona económica exclusiva OPV 93C que tiene como características facilitar el equipamiento avanzado y el ingreso de personal y equipos a las diferentes zonas.

## Metodología de la Construcción integrada (CI)

La construcción integrada (Lamb, 1995) se asocia a la instalación de sistemas y elementos del buque desde etapas tempranas de la construcción, posee muchas ventajas que incluyen el ahorro de tiempo al realizar un cronograma más compacto con tareas simultáneas en ejecución, uso más eficiente de las instalaciones del astillero, ahorro de horas hombre al hacer más eficiente la instalación de equipamiento en posiciones y ubicaciones más accesibles de los ensambles antes de la erección del casco, entre otros beneficios.

Para hacerla lo más efectiva posible, tal como lo define Martínez (2013), deberán incorporarse las siguientes características:

**Fabricación por familias:** Implementación desde el diseño de la descomposición del buque en productos intermedios, tanto de casco como de equipamiento, estos elementos deberán ser agrupados por sus características tales como: procesos de fabricación, materiales, tamaño, entre otros, lo que permitirá obtener el máximo rendimiento en su elaboración.

**Planificación integrada:** Es la integración de los cronogramas con la estrategia constructiva, definiendo las fechas de entrega de la información de ingeniería y los materiales para la liberación de los paquetes de trabajo.

**Construcción integrada por Zonas – Etapas:** Es orientar la producción de productos intermedios asociados a procesos semejantes que se realicen en ciertas zonas del buque, en las etapas de la construcción que le aplique, usando las ventajas de la construcción en serie.

**Diseño orientado a la producción:** Es la aplicación de los conceptos de familias de productos intermedios dentro de todas las etapas del diseño e ingeniería

**Paquetes de trabajo por Zona – Etapa:** Es la definición y planificación de los paquetes de trabajo que corresponden a cada zona en las respectivas etapas de la construcción que se asocien a esta.

**Grupos de trabajo multifuncionales:** En el mayor grado posible se programarán grupos de trabajo, que se especialicen en el grupo de procesos asociados a los productos intermedios que se le asignen, sin embargo, para mantener un equilibrio en las cargas de trabajo, los grupos podrán moverse a las estaciones más afines a su formación.

**Aprovisionamiento.** La planeación del proyecto, deberá permitir realizar una logística justo a tiempo, para reducir los espacios de almacenamiento o en el sentido

contrario. evitar que se atrasen las actividades del proyecto por la falta de materiales y/o equipos.

Control estadístico. Una vez establecido las líneas de proceso, se debe realizar la medición y control, para garantizar el equilibrio de estas, este proceso se realiza a través del cálculo de los rendimientos e identificación de cuellos de botellas, que permitan reducir las restricciones en el proceso.

Para aplicar esta metodología, es necesario que los astilleros consoliden su aplicación en un documento que será la guía para el diseño y la construcción, este documento se llama Estrategia Constructiva, el cual se profundizará a continuación.

Ahora, si bien el término estrategia constructiva es conocido y manejado a nivel mundial dentro de la industria astillera, es imposible encontrar una definición única que lo abarque, debido a que la aplicación de este concepto es relativo a cada astillero, los cuales determinan un alcance diferente en el sentido de lo que cubre en cada organización este documento.

Principalmente el concepto de estrategia constructiva se centra en la manifestación escrita de la hoja de ruta de diseño, construcción y pruebas de un buque o serie de buques en un astillero, integrando para todas las etapas del proyecto, los diferentes procesos y áreas, especificando desde el producto a diseñar y construir hasta el cómo se va a ejecutar el proyecto, considerando las capacidades constructivas.

De este modo, la definición dada por Lamb (1994) enuncia que:

La estrategia constructiva es una herramienta de planeación única, para integrar una variedad de elementos y provee una perspectiva holística de principio a fin para el desarrollo del cronograma del proyecto. Es además una forma de capturar los conocimientos y procesos combinados de diseño y construcción, de esta forma estos pueden ser continuamente mejorados, actualizados y usados como herramienta de entrenamiento. (pág. 48)

Dentro de los conceptos de estrategia constructiva es importante resaltar las siguientes características:

1. Integración de procesos y áreas: la importancia de usar la estrategia constructiva como un documento que resulta de integrar las áreas que intervienen en el proyecto del buque que son principalmente: diseño, producción, calidad, gerencia del proyecto, logística (compra y almacenes). Sin la interacción de las anteriores áreas no se puede tener una visión completa que abarque todas las aristas del proyecto.

2. Aplicable para todas las fases del proyecto: la estrategia constructiva es un documento que parte desde las fases más tempranas del diseño y se va desarrollando y robusteciéndose a lo largo de todo el proyecto.

3. El análisis en la planeación de cada etapa de la producción, durante el proceso de creación del documento de estrategia constructiva, permite identificar los riesgos de estas etapas, con el fin de reducirlos o evitarlos.

Cabe resaltar que los objetivos de establecer una estrategia constructiva para la construcción de un buque (Clark & Lamb, 1996) son muy variados y dependen de las necesidades de cada astillero, sin embargo, se pueden encontrar como objetivos comunes los que listamos a continuación:

1. Aplicar la política de construcción en el contrato específico de un nuevo proyecto.

2. Proveer un proceso que asegure que el desarrollo del diseño tenga en cuenta los requerimientos de producción.

3. Introducir de manera sistemática en la ingeniería de producción todas las acciones que permitan reducir la cantidad de trabajo y el tiempo de construcción.

4. Identificar los elementos intermedios y direccionar la ingeniería y la planeación hacia un enfoque orientado hacia el producto.

5. Determinar los requerimientos de infraestructura, recursos y habilidades.

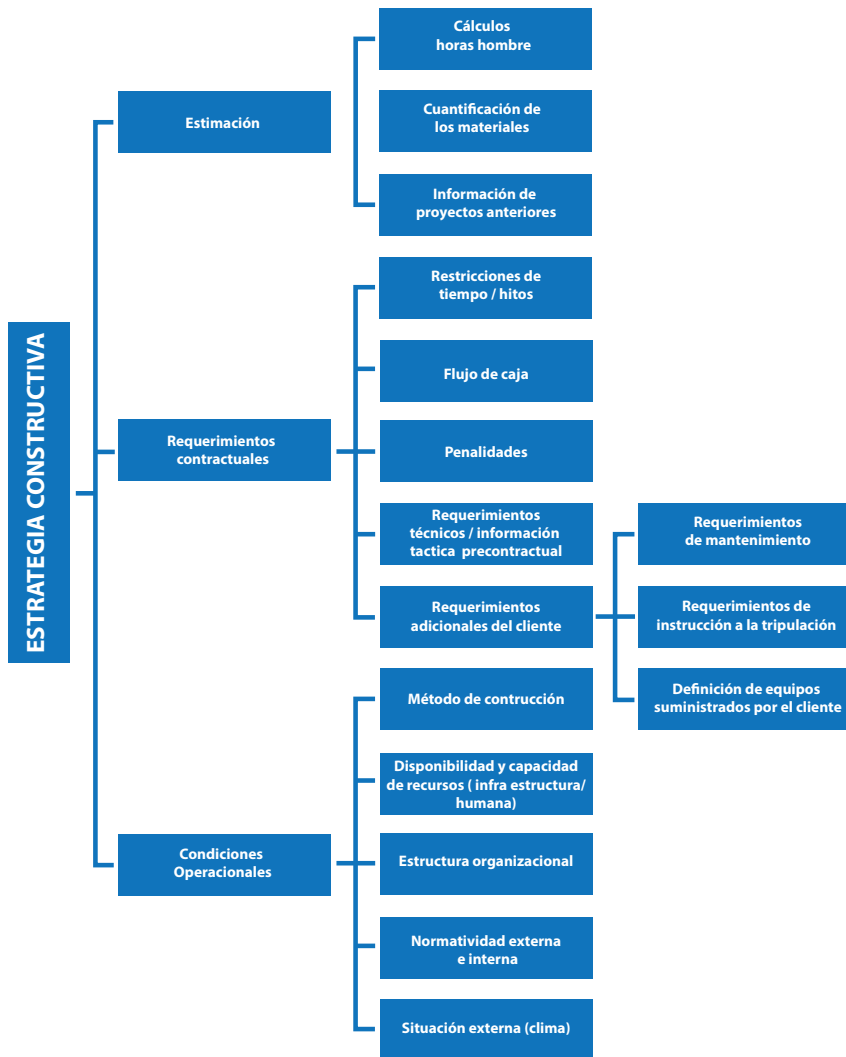
6. Crear parámetros para la programación y el plan de detalle para la ingeniería, compras y actividades de producción.

7. Identificación de elementos o procesos que reducen la productividad de las capacidades instaladas.

8. Asegura que todos los departamentos y/o áreas conozcan, participen y contribuyan en la definición de la estrategia.

9. Identifica los objetivos contractuales y de gerencia respecto al nuevo proyecto.

Teniendo en cuenta lo anterior podemos decir, que la estrategia constructiva es un documento que acuerdo al avance del diseño, se puede ir desarrollando conforme las entradas necesarias se vayan generando. En la Figura 1 se presenta un esquema, en donde se relacionan varias de las fuentes de entradas más significativas que tiene el proceso de planificación, que se integra en el documento de estrategia constructiva.



**Figura 1** Entradas para el desarrollo de la estrategia constructiva  
 Fuente: Elaboración propia a partir de Lamb (1994)

A continuación, se presenta el contenido recomendado para el documento de estrategia constructiva, este contenido incluye información relevante que permitirá al equipo del proyecto, recopilar las entradas y requerimientos del proyecto y volverlo a través de los diferentes puntos en salidas asociadas a la planificación básica de recursos para el proyecto.

Este contenido se recomienda a partir del estado del arte y de las necesidades para la implementación de una metodología de construcción integrada, esta última se aplica en la estrategia constructiva, desde los capítulos de diseño, en donde se deberá orientar la ingeniería hacia el producto, en aspectos tan relevantes como la división estructural del casco del buque que se ampliará más adelante.

### **Descripción básica de la embarcación**

- 1.Descripción de las misiones del buque.
- 2.Características principales del buque.
- 3.Concepto de desempeño del buque.
- 4.Regulaciones aplicables.
- 5.Comparación y diferencia con embarcaciones construidas en el astillero constructor.

### **Contrato.**

- 1.Información general del contrato.
- 2.Inclusiones, exclusiones y restricciones.
- 3.Fechas contractuales (hitos).
- 4.Interesados contractuales (stakeholders).
- 5.Penalidades
- 6.Lugar de entrega.
- 7.Instrucción a la tripulación de la unidad.
- 8.Documentación a entregar y los idiomas permitidos.

### **Cronograma maestro (estimado).**

- 1.Fechas de los hitos contractuales / pagos
- 2.Fechas generales de entregas de diseño
- 3.Entregas de materiales y equipos críticos.
- 4.Tiempos de construcción.

### **Diseño e ingeniería.**

- 1.Fases de la ingeniería del proyecto.
- 2.Necesidades de recursos para la ingeniería.
- 3.Canales de comunicación ingeniería.
- 4.Requerimientos de hardware y software.
- 5.Plan general de despiece del buque.
- 6.Estándares de ingeniería.
- 7.Paquetes de planos de ingeniería de taller.
- 8.Estrategia de certificación de clase.
- 9.Procedimiento para la gestión de cambios

### **zAdquisición**

1. Listas de materiales y equipos
2. Estrategia de adquisición.
3. Servicios subcontratados.
4. Requerimientos contractuales para los contratos derivados.

### **Planeación y producción.**

1. Análisis de disponibilidad recursos.
2. Ruta crítica del proyecto.
3. Secuencia recomendada de construcción
4. Plan de ingreso de equipos.
5. Desglose o partición del trabajo.
6. Objetivos de productividad.

### **Pruebas y control de calidad.**

1. Plan de ensayos no destructivos.
2. Listado de pruebas de fábrica requeridas.
3. Análisis requerimiento casa clasificadora.
4. Protocolos de puerto y mar.

### **Control de pesos.**

1. Procedimiento control de pesos.

### **Personal.**

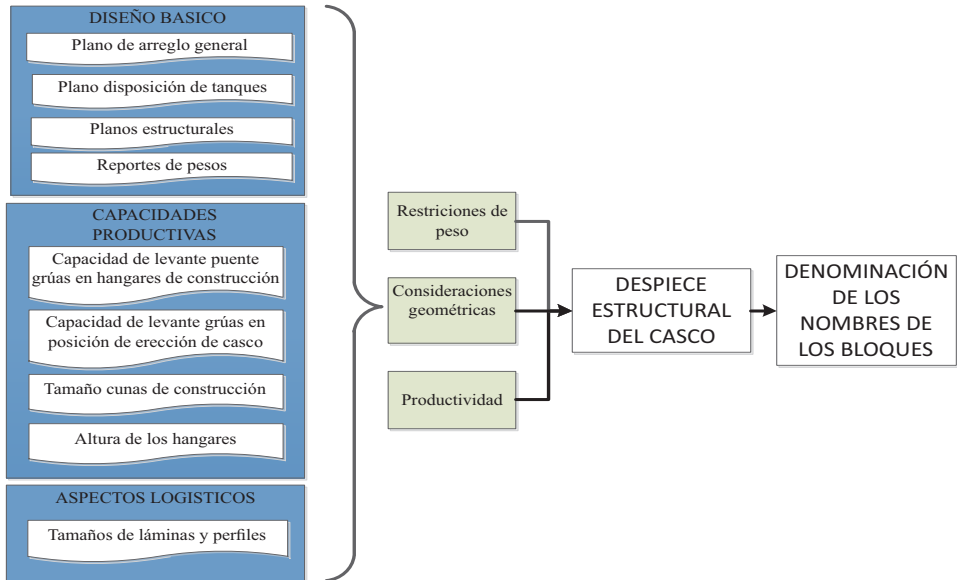
1. Proyección de horas hombre y cargos o especialidades.
2. Asistencia técnica requerida.

## **Metodología para la división estructural del buque**

El despiece en bloques estructurales del buque es fundamental en el proceso de construcción del casco y es una de las partes fundamentales de la estrategia constructiva. El despiece de los bloques que se propondrá en la presente sección considera la metodología cualitativa de la construcción integrada y en específico la metodología de construcción de bloques de casco (HBCM) fundamentada en la optimización de cada uno de los niveles de manufactura que van desde la fabricación de partes hasta la erección del casco.

**Definición de las entradas para la distribución estructural del casco.** En la *Figura 2* se presenta un diagrama en donde se relaciona las entradas a la metodología cualitativa de despiece de bloques, a continuación, se van a desarrollar estos conceptos.





**Figura 2.** Entradas de la Metodología del despiece del casco

Fuente: Elaboración propia a partir de Romanoff (2015)

Las entradas a partir de las cuales se definen los límites de bloques para hacer el despiece del casco se pueden asociar a información de diseño, las capacidades productivas del astillero y aspectos logísticos.

**Entradas del diseño básico.** Los entregables de diseño parte específicamente de la fase de diseño preliminar, en donde se definen el arreglo general del buque y los planos preliminares estructurales (Gale, 2003), a continuación se detallan.

*Plano arreglo general.* Presenta la disposición general del contenido de los espacios del buque.

*Plano preliminar disposición de tanques.* Define las fronteras de los tanques estructurales del buque.

*Planos preliminares estructurales.* Presentan los elementos estructurales de las diferentes secciones del casco. Para el análisis de despiece se verifican principalmente que el bloque contenga de ser posible, una cubierta plana en donde se pueda soportar el bloque y un mamparo transversal que le dé rigidez para su manipulación (levante y volteo).

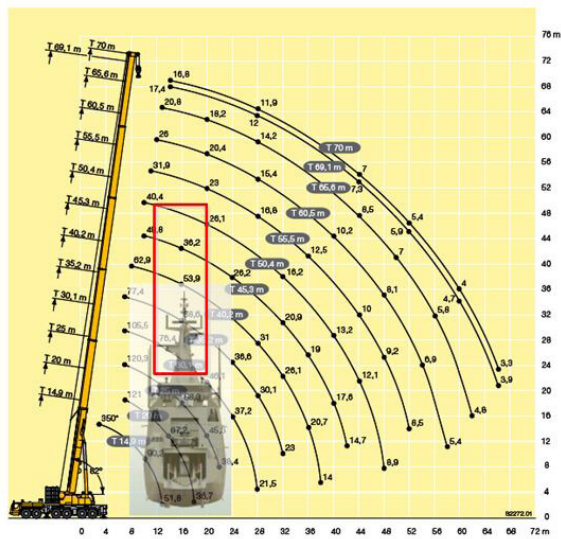
*Reporte preliminar de Pesos.* Presenta los pesos y centros de gravedad de los componentes estructurales. Permite hacer una proyección del peso de los bloques.

**Capacidades productivas.**

*Capacidad de levante de puente grúas en hangares.* Define el peso máximo que se puede levantar en la etapa de construcción de bloques.

*Capacidad de levante de grúas en posición de erección.* Las maniobras que se realizan en este punto son los levantes de los bloques de superestructura, para estas maniobras se usan en algunos astilleros grúas móviles. Se debe aclarar que, las capacidades de estas grúas se verificarán con los planes de maniobra considerando la altura a la que se instalarán los bloques, como puede verse en la *Figura 3* en la que se presenta un ejemplo de un análisis realizado usando las gráficas de carga de la grúa, en donde acuerdo a las capacidades de levante se limitan los pesos máximos en los diferentes niveles.

*Tamaño cunas de construcción.* El tamaño máximo de las cunas se limita por las restricciones de espacios en los hangares de construcción,



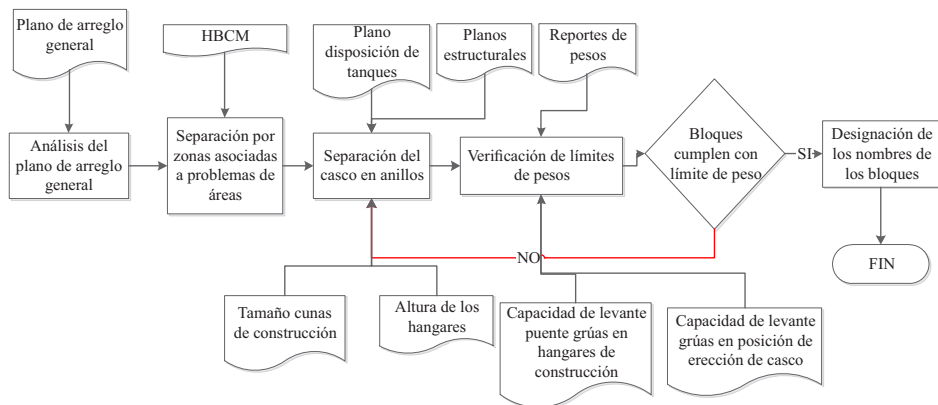
**Figura 3.** Gráfica de carga grúa LTM 1350  
 Fuente: Elaboración propia a partir de Liebherr-Werk GmbH (2012)

*Área y Altura de los hangares.* La altura de los hangares puede afectar el tamaño de los bloques que se ensamblan por las limitaciones para los volteos de bloque y las interferencias con las grúas.

## Aspectos logísticos.

*Tamaños de láminas y perfiles.* Comercialmente y por razones logísticas (transporte internacional) el formato de las láminas es de 12 x 2.4 mts, y el de los perfiles de 12 metros de largo, con el fin de reducir la cantidad de desperdicio de acero, es recomendable que el largo de las cubiertas y costados, en donde se despliegan las tracas y los refuerzos longitudinales, no superen los 12 metros, si es superior a esta dimensión se deberá realizar cortes y soldaduras adicionales.

**Aplicación de la metodología de la división estructural del buque.** En este punto se estudian las entradas recopiladas por parte del equipo del proyecto aplicándose los pasos que se presentan el diagrama de flujo de la Figura 4.

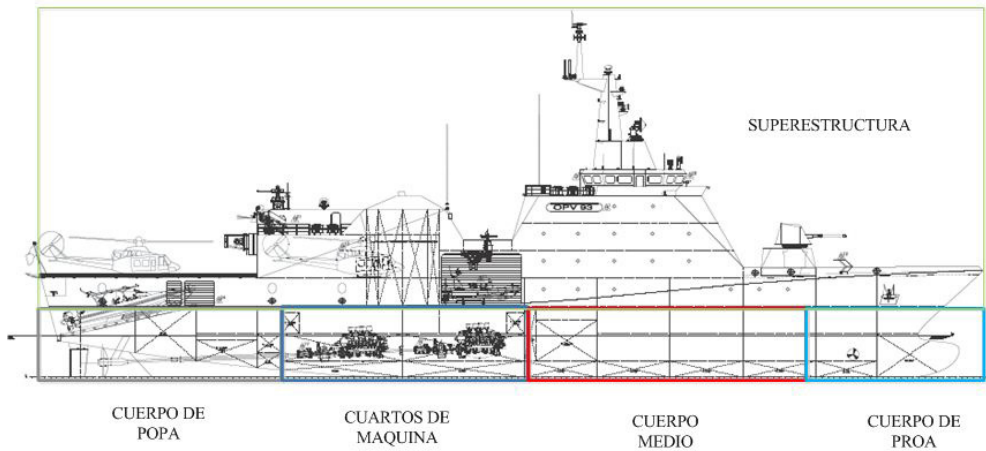


**Figura 4.** Diagrama de flujo de la metodología de despiece  
Fuente: Elaboración propia basado en Romanoff (2015)

Separación por zonas. En este punto se aplica la metodología de construcción de bloques de casco, en donde para el nivel de manufactura de ensamble de bloques, se recomiendan que las áreas se asocien a espacios de un mismo tipo, tales como:

- Proa.
- Cuerpo medio.
- Cuartos de máquinas.
- Popa.
- Superestructura.

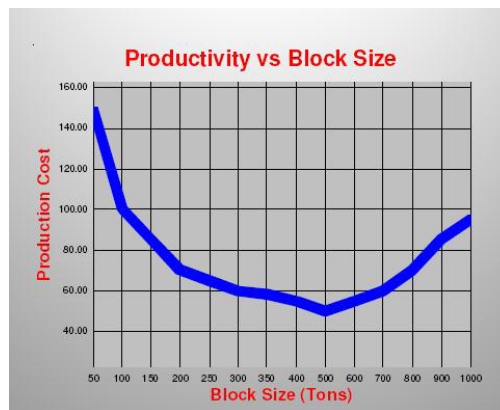
Esta agrupación se puede realizar usando como entrada el plano de arreglo general, tal como se muestra en el ejemplo que se plantea en la Figura 5.



**Figura 5.** Seccionamiento del casco acuerdo a problemas de área

Fuente: Elaboración propia a partir de COTECMAR (2017) No.10266, Registro de Diseño Industrial (BUQUE) 2018-04-20. Superintendencia de Industria y Comercio.

**Separación del casco en anillos.** El tamaño de los anillos o bloques se recomiendan que sea del mayor posible (ver Figura 6) que pueda el astillero manipular (SPAR ASSOCIATES,2009), en función de las restricciones de espacio y capacidad de levante que estos tengan; a medida que los bloques sean de mayor tamaño, se puede tener mejoras productivas, asociadas a menor tiempo en la ingeniería de taller, al tener que generar una menor cantidad de paquetes de trabajo, así mismo en la construcción se podrán reducir las horas de erección de casco.

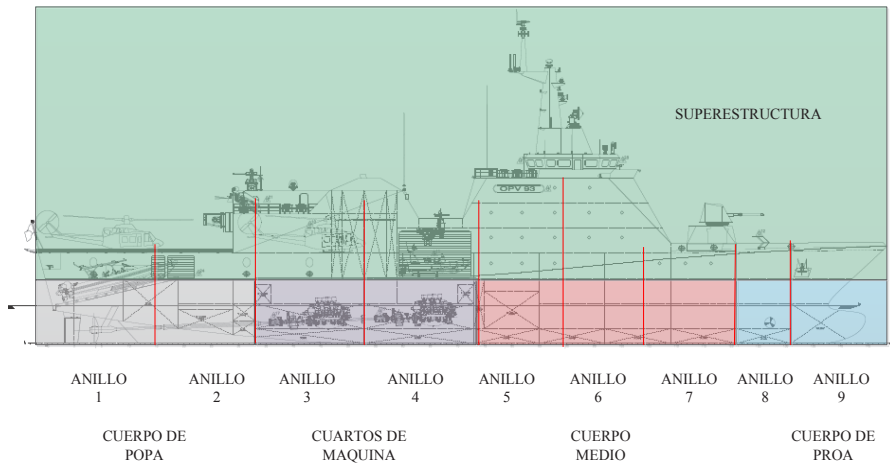


**Figura 6.** Productividad Vs el tamaño de los bloques

Fuente: SPAR ASSOCIATES (2009)

El límite de tamaño desde el punto de vista geométrico se asocia a las restricciones de cunas y espacio en los hangares de construcción y a consideraciones de tipo logística asociados a los formatos de material, tales como se relacionó cuando se definieron las entradas al proceso, las longitudes máximas de los anillos o bloques se recomiendan mantener por debajo de los 12 metros, con el fin de no demandar cambios mayores en la infraestructura (construcción de cunas especiales).

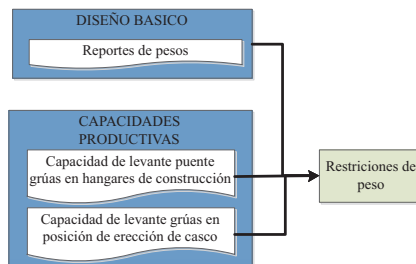
En la *Figura 7* se presentan los cortes de anillo recomendados acuerdo a las consideraciones anteriores.



**Figura 7** Separación del casco en anillos

Fuente: Elaboración propia a partir de COTECMAR (2017) No.10266, Registro de Diseño Industrial (BUQUE) 2018-04-20. Superintendencia de Industria y Comercio.

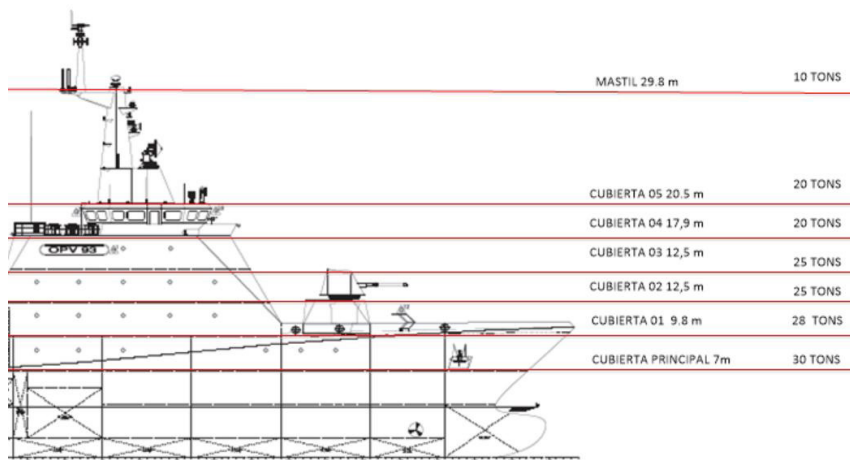
**Verificación de límites de pesos.** Se considerarán las restricciones de peso tomadas de las entradas que muestran en la *Figura 8*.



**Figura 8.** Restricciones de peso

Fuente: Elaboración propia a partir de Romanoff (2015)

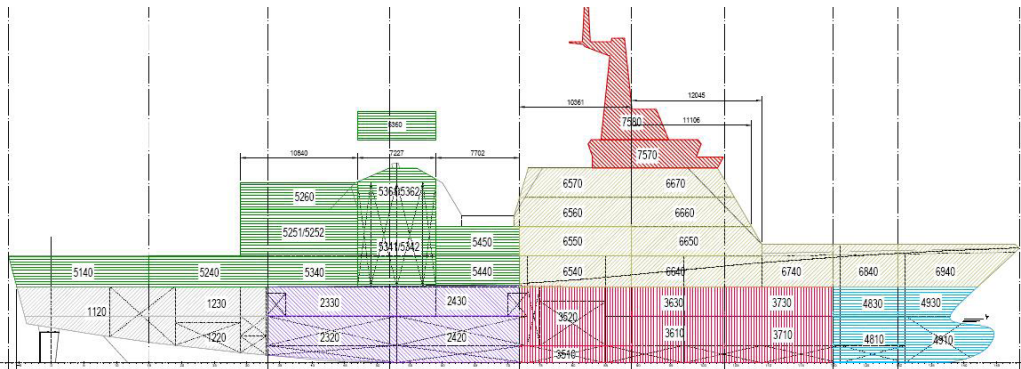
Se aplicaran diferentes valores máximos para el peso de los bloques, considerando la posición del bloque en el buque, para los bloques ubicados por debajo de la cubierta principal, el tope en el caso de estudio planteado (OPV 93C) será de 45 toneladas asociada a la capacidad máxima del puente grúa (10% de margen de seguridad) y para los bloques ubicados en la superestructura, el tope de peso se irá reduciendo a mayor altura, en la *Figura 9* se presentan los diferentes niveles de la superestructura y los topes máximos en toneladas que podrán ser levantado al nivel de cada cubierta por una grúa LMT 1350 (Liebherr-Werk GmbH, 2012).



**Figura 9 .** Topes de pesos máximos de bloques de superestructura

Fuente: Elaboración propia a partir de COTECMAR (2017) No.10266, Registro de Diseño Industrial (BUQUE) 2018-04-20. Superintendencia de Industria y Comercio.

Por parte del área de ingeniería, se tomarán la división estructural recomendada a partir de los cortes realizados por zonas y anillos, y se calcularán los pesos específicos de cada uno de los bloques, esto se puede realizar de manera paramétrica cuando aún no se cuente con maqueta 3D, estos pesos se confrontarán con los límites máximos establecidos anteriormente y si están por debajo de estos se podrá validar la alternativa de división, en caso negativo se deberán verificar los tamaños específicos de los bloques que superan esta restricción y se podrán dividir en sub bloques o alterar sus límites para que entren en los parámetros definido, en la *Figura 10* se presenta la disposición final de bloques definido después de la aplicación de los pasos explicados previamente.



**Figura 10.** Segmentación casco OPV 93C

Fuente: COTECMAR (2018) No.10266, Registro de Diseño Industrial (BUQUE) 2018-04-20. Superintendencia de Industria y Comercio.

## Discusión y Conclusiones

El uso de la *Estrategia Constructiva* se recomienda como documento integrador que permite la aplicación de la construcción integrada en proyectos de construcción naval, en este estudio se recomienda un contenido que permite incorporar en los procesos como diseño, ingeniería y producción, los conceptos claves relacionados en el marco teórico, que incluye la fabricación por familias, que por ejemplo define la división estructural del casco, además orienta los procesos de soporte, como es el caso de las adquisiciones, ayudando a identificar las compras que abrirán el paso para integrar desde las etapas más tempranas, elementos de equipamientos como tuberías, bandejas eléctricas entre otros.

Para la división estructural del casco, se definen los criterios que se deberán tener en cuenta para definirla, estos criterios toman información del diseño básico del buque, que incluye la disposición estructural y de tanques, además de las capacidades productivas, como los límites de levante de las grúas disponibles en el astillero y de las restricciones logísticas, para establecer unos pesos y volúmenes máximos por bloque y así segmentar el casco utilizando estos límites.

Los criterios anteriores fueron aplicados a la información de ingeniería del OPV 93C y capacidades productivas de COTECMAR, obteniendo como resultado la división estructural de bloques recomendada para este proyecto, lo cual valida su aplicabilidad y facilitará en consecuencia la realización de la tarea de división de bloques que es fundamental en un proyecto de construcción naval.

Finalmente, se recomienda motivar la recopilación del documento de política constructiva al interior del Astillero, pues este documento es un puente entre el plan de negocios y los proyectos, definiendo entre otros temas las inversiones en infraestructura y tecnología para que el Astillero logre ejecutar los objetivos de productividad.

## Referencias

- Clark, J., & Lamb, T. (1996). *Build strategy Development. Journal of ship production*, Vol.12, No. 3, 198 - 209.
- COTECMAR (2017). Especificaciones técnicas OPV 93C.
- Gale, P. (2003). *The ship design process*. En T. lamb, *Ship design and construction* (págs. 5.1 - 5.40). Alexandria: The Society of Naval Architects and Marine Engineers .
- Lamb, T. (1994). *Build strategy Development*. Michigan, USA: The National Ship Research Program.
- Lamb, T. (1995). *The Advanced outfitting Dilemma*. SNAME Journal of Ship Production, 90 - 100 .
- Liebherr-Werk GmbH. (2012). *Tablas de capacidades grúas LTM 1350*. Ehingen, Germany: Catalogos Liebherr.
- Martinez, D. G. (2013). *Evolución de los procesos de diseño, fabricación y montaje de tubería en construcción naval: obtención de un procesos de control integrado de diseño de tubería aplicable a buques militares y y a buques civiles* (Tesis doctoral). Coruña, España: Universidad de la Coruña.
- Romanoff, j. (2015). *Hull production -Product hierarchy and block division*. Espoo, Finlandia: Aalto University.
- SPAR ASSOCIATES. (2009). *Planning new construction & Major ship conversion* . SPARUSA.