



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA
MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA NAVAL Y
OCEÁNICA



Trabajo final de máster

**DESARROLLO DE ALTERNATIVAS PARA LA ESTRATEGIA
CONSTRUCTIVA DE UN BUQUE GRANELERO DE 40.000 TPM**

Autor

Cristina Sanchis Selfa

Director

Dr. Carlos A. Mascaraque Ramírez

2018



Agradecimientos

Este trabajo marca el final de una etapa de varios años, los cuales no hubiesen sido posibles sin el apoyo de muchas personas.

En primer lugar, me gusta expresar mi agradecimiento a mi tutor Dr. Carlos A. Mascaraque Ramírez. Gracias a su ayuda y apoyo ha sido posible llevar a cabo este trabajo, pero sobre todo gracias al empeño y esfuerzo que invierte en despertar el interés y la motivación de sus alumnos.

Esta etapa me ha brindado la oportunidad de compartir momentos muy especiales tanto con mis amigos como con mi familia. Sin ninguna duda, el apoyo recibido durante este tiempo me ha dado la fuerza para lograr superarme, animarme y seguir siempre hacia delante.

De forma especial, quiero agradecer a mis padres, Gabriel y Fernanda y a mi hermana Marina, la ayuda, el amor incondicional y la confianza que siempre han tenido en mí, acompañándome en cada momento.

También he de hacer especial referencia a mi novio Fonsi, que, con su apoyo y amor, en cada momento me ha dado la fuerza de seguir esforzándome sin tirar la toalla.

Y, por último, a mis queridos amigos, los que han estado conmigo día tras día, haciéndome sentir como en casa, que se han convertido en familia.



Resumen

El presente trabajo presenta un análisis de estrategias constructivas de un buque granelero. Para llevar a cabo este propósito de forma que sea próximo a las condiciones reales que se producen en los astilleros de nueva construcción, se han estudiado aquellas estrategias constructivas utilizadas actualmente y se ha realizado una investigación del panorama español para establecer unas instalaciones que abarquen todas las alternativas posibles.

El campo de la planificación temporal completa de un proyecto sigue siendo un área poco conocida a nivel de estudios, puesto que la información que existe es escasa. Debido a esto, la recopilación de información para llevar a cabo este trabajo se ha centrado en proyectos reales de los cuales ha sido posible realizar una extrapolación tanto plazos temporales como de tareas.

Los conocimientos adquiridos durante la realización del Máster de Ingeniería Naval y Oceánica, despertaron la curiosidad por centrar el presente proyecto en la investigación de un campo en el cual no se tenía demasiada experiencia. Aquí nace la idea de realizar un estudio sobre la planificación temporal de la construcción de una serie de cinco buques graneleros.



Contenido

1. Objetivos.....	14
2. Introducción.....	17
2.1. Estrategia constructiva del buque	18
2.2. Astillero	22
2.3. Revolución industrial	25
2.3.1. Progresión de la construcción naval en acero	28
2.4. Bibliografía	33
3. Buque de estudio	34
3.1. Definición de buque granelero.....	35
3.2. Buque granelero de estudio.....	37
3.2.1. Definición de las formas	39
3.2.2. Disposición general	44
3.2.3. Habilitación	48
3.2.4. Planta propulsora y sistema de gobierno.....	53
3.2.5. Estimación de pesos	58
3.3. Bibliografía	71
4. Alternativas de astillero	72
4.1. Evolución	73
4.2. Astilleros actuales	75
4.2.1. Estructura organizativa del astillero.....	75
4.3. Presentación de los astilleros	85
4.3.1. Astillero 1: 1 dique y máxima capacidad de izado.....	85
4.3.2. Astillero 2: 3 gradas y capacidad de izado media.	87
4.3.3. Astillero 3: 2 gradas inclinadas y capacidad de izado alta.	90
4.3.4. Astillero 4: 3 diques y capacidad de izado mínima.....	93
4.4. Bibliografía	96
5. Definición de opciones	97
5.1. Métodos de construcción naval en buques de acero	98
5.1.1. Construcción naval en la posguerra	99
5.1.2. Tipos o métodos de construcción	99
5.2. Presentación de las opciones.....	102



5.2.1. Montaje por popa	104
5.2.2. Montaje por popa y por proa a la vez.....	105
5.2.3. Montaje empezando por bodegas	107
5.2.4. Montaje por proa	108
5.3. Bibliografía	111
6. Resultados de las opciones propuestas	112
6.1. Despiece de bloques.....	113
6.2. Takt time	116
6.2.1. Beneficios del takt time:.....	117
6.2.2. Desventajas del takt time:	118
6.2.3. Takt time en la industria naval	119
6.3. Artículos.....	120
6.4. Resultados	124
6.4.1. Combinación 1	125
6.4.2. Combinación 2	152
6.4.3. Combinación 3	183
6.4.4. Combinación 4	220
6.5. Bibliografía	227
7. Comparativa.....	228
7.1. Recordatorio de las combinaciones	229
7.2. Criterio de comparación 1	231
7.3. Criterio de comparación 2.....	235
7.3.1. Combinación 1	236
7.3.2. Combinación 2	237
7.3.3. Combinación 3	239
7.3.4. Estrategias óptimas de cada astillero.....	242
7.4. Criterio de comparación 3.....	243
7.4.2. Estrategias óptimas.....	250
7.5. Criterio de comparación 4.....	250
8. Conclusiones finales	254
9. Líneas futuras	258
9.1. Introducción de exoesqueletos en la industria naval.....	259
9.1.1. Descripción	259



9.1.2. Aplicación de exoesqueletos en otras industrias	260
9.1.3. Utilización de exoesqueletos en los astilleros asiáticos	261
9.2. Industria 4.0	263
9.2.1. Definición.....	263
9.2.2. Tecnologías indispensables para la transición a la industria 4.0.....	264
9.2.3. Astillero 4.0.....	265
9.3. Bibliografía	268



Tabla de figuras

Figura 1. División en zonas, bloques y secuencia de montaje	21
Figura 2. Fabricación y almacenamiento de tuberías	22
Figura 3. Vista aérea de un astillero 1	23
Figura 4. Vista aérea de un astillero 2	24
Figura 5. Astillero de Woolwich	24
Figura 6. Astillero de Guayaquil	25
Figura 7. Máquina de vapor-Primera revolución industrial	26
Figura 8. Automóvil con motor de combustión interna-Segunda revolución industrial	27
Figura 9. Avance cronológico de las revoluciones industriales	28
Figura 10. Montaje bloque de acero	29
Figura 11. Equipos de soldadura de planchas.....	30
Figura 12. Plancha de acero.....	31
Figura 13. Plancha acero AH-36	32
Figura 14. Buque granelero del siglo XIX	36
Figura 15. Dimensiones y formas básicas del buque	39
Figura 16. Semiángulo de entrada en la línea de flotación.....	40
Figura 17. Tipos de bulbos de proa	42
Figura 18. Parámetros principales y sección del bulbo	42
Figura 19. Curva de áreas seccionales del buque	43
Figura 20. Distribución bodegas del buque	47
Figura 21. Vista en planta Cubierta A	48
Figura 22. Vista en planta Cubierta B	49
Figura 23. Vista en planta Cubierta C	50
Figura 24. Vista en planta Cubierta D	51
Figura 25. Vista en planta Cubierta E	52
Figura 26. Vista en planta Cubierta F.....	53
Figura 27. Sección transversal del motor principal 6S50MC-C8.2-TII	54
Figura 28. Centro de gravedad del motor principal.....	54
Figura 29. Especificación del motor principal.....	56



Figura 30. Esquema de los huelgos mínimos entre hélice y carena para el diámetro máximo	57
Figura 31. Distribución de peso de acero continuo	59
Figura 32. Estructura organizativa funcional	75
Figura 33. Dirección general	76
Figura 34. Departamento legal	77
Figura 35. Departamento de Recursos Humanos	78
Figura 36. Departamento de Finanzas	79
Figura 37. Departamento comercial	80
Figura 38. Departamento de producción	81
Figura 39. Departamento de Medio Ambiente	84
Figura 40. Dique seco.....	85
Figura 41. Astillero 1.....	87
Figura 42. Grada horizontal.....	88
Figura 43. Zonas y talleres de un astillero.....	89
Figura 44. Astillero 2.....	90
Figura 45. Grada inclinada	91
Figura 46. Grúa pórtico	92
Figura 47. Astillero 3.....	93
Figura 48. Astillero 4.....	94
Figura 49. Fases generales de la construcción modular integrada	101
Figura 50. Módulo	102
Figura 51. Proceso de montaje por popa	105
Figura 52. Proceso de montaje por popa y proa a la vez	106
Figura 53. Proceso de montaje por bodegas	108
Figura 54. Proceso de montaje por proa.....	109
Figura 55. Despiece de los bloques de un buque.....	114
Figura 56. Takt time	116
Figura 57. Producción balanceada en un Astillero mediante el Takt time	120
Figura 58. Disposición general - Perfil.....	125
Figura 59. Plano de formas – Perfil.....	126
Figura 60. Despiece de bloques de la combinación 1.....	136



Figura 61. Fases del proceso constructivo.....	137
Figura 62. Elaboraciones - Montaje por popa, combinación 1.....	139
Figura 63. Elaboraciones y armamento en grada - Montaje por popa, combinación 1	140
Figura 64. Elaboraciones - Montaje por popa y proa a la vez, combinación 1	143
Figura 65. Elaboraciones y armamento en taller - Montaje por popa y proa a la vez, combinación 1	144
Figura 66. Armamento en grada buque 1	146
Figura 67. Armamento en grada buque 1	149
Figura 68. Elaboraciones y armamento en grada - Montaje por proa, combinación 1.	150
Figura 69. Disposición general – Perfil.....	152
Figura 70. Plano de formas - Perfil	153
Figura 71. Despiece de bloques combinación 2	160
Figura 72. Fases del proceso de construcción	161
Figura 73. Elaboraciones - Montaje por popa, combinación 2.....	162
Figura 74. Elaboraciones y armamento en taller - Montaje por popa, combinación 2.	163
Figura 75. Armamento en grada buque 1	164
Figura 76. Elaboraciones - Montaje por popa y proa a la vez, combinación 2	167
Figura 77. Elaboraciones y armamento en grada - Montaje por popa y proa a la vez, combinación 2	168
Figura 78. Armamento en grada buque 1	168
Figura 79. Elaboraciones y armamento en grada - Montaje por popa, combinación 2 (alternativa).....	171
Figura 80. Armamento en taller - Línea de paneles curvos.....	171
Figura 81. Comparación del armamento en taller - Línea de paneles curvos	171
Figura 82. Elaboraciones de los paneles planos	174
Figura 83. Elaboraciones de los paneles curvos	175
Figura 84. Elaboraciones - Montaje por bodegas, combinación 2	175
Figura 85. Elaboraciones y armamento en taller - Montaje por bodegas, combinación 2	175
Figura 86. Armamento en grada buque 1	176
Figura 87. Elaboraciones y armamento en grada - Montaje por proa, combinación 2.	179
Figura 88. Armamento en grada buque 1	181



Figura 89. Despiece de bloques - Combinación	189
Figura 90. Fases proceso constructivo del buque	189
Figura 91. Elaboración paneles planos	192
Figura 92. Elaboraciones - Montaje por popa: Alternativa 1, Combinación 3.....	192
Figura 93. Elaboraciones y armamento en grada - Montaje por popa: Alternativa 1, Combinación 3.....	192
Figura 94. Armamento en grada buque 1	193
Figura 95. Elaboraciones paneles planos.....	195
Figura 96. Elaboraciones paneles planos (completa)	195
Figura 97. Elaboraciones y armamento en taller - Montaje por popa: alt.2, Combinación 3	196
Figura 98. Elaboraciones y armamento en grada - Montaje por bodegas: Alternativa 1, Combinación 3.....	200
Figura 99. Armamento en grada buque 1	200
Figura 100. Elaboraciones - Montaje por bodegas: Alternativa 2, Combinación 3	203
Figura 101. Armamento en grada del buque 1	203
Figura 102. Armamento en grada buque 1	206
Figura 103. Elaboraciones paneles curvos	208
Figura 104. Elaboraciones paneles planos.....	208
Figura 105. Elaboraciones y armamento en grada - Montaje por bodegas: Alternativa 4, Combinación 3.....	209
Figura 106. Armamento en grada del primer buque.....	209
Figura 107. Elaboraciones paneles planos.....	211
Figura 108. Elaboraciones y armamento en grada - Montaje por bodegas: Alternativa 5, Combinación 3.....	211
Figura 109. Armamento en grada buque 1	212
Figura 110. Elaboraciones - Montaje por proa: Alternativa 1, Combinación 3	214
Figura 111. Armamento en grada buque 1	215
Figura 112. Elaboraciones paneles planos.....	217
Figura 113. Elaboraciones - Montaje por proa: Alternativa 2, Combinación 3	218
Figura 114. Armamento en grada buque 1	218
Figura 115. Despiece de bloques combinación 4	221



Figura 116. Estrategia constructiva: Montaje por popa.....	230
Figura 117. Estrategia constructiva: Montaje por popa y por proa a la vez.....	230
Figura 118. Estrategia constructiva: Montaje por bodegas	230
Figura 119. Estrategia constructiva: Montaje por proa	231
Figura 120. Distribución del peso por bloques.....	231
Figura 121. Comparativa del peso total con el máximo posible de armamento en taller	232
Figura 122. Comparativa del peso con la capacidad del astillero 1	233
Figura 123. Comparativa del peso con la capacidad de los astilleros 2, 3 y 4	234
Figura 124. Imagen ejemplo del exoesqueleto	260
Figura 125. Aplicaciones del exoesqueleto 1	261
Figura 126. Aplicaciones del exoesqueleto 2	262
Figura 127. Industria 4.0	263
Figura 128. Astillero 4.0.....	266
Figura 129. Ejemplo trabajos realizados en la industria 4.0.....	267



Listado de tablas

Tabla 1. Clasificación de graneleros.....	37
Tabla 2. Especificaciones granelero Handymax.....	37
Tabla 3. Coeficientes característicos	38
Tabla 4. Distribución por secciones de las bodegas	47
Tabla 5. Datos de la hélice	57
Tabla 6. Características del timón	58
Tabla 7. Distribución del peso y el centro de gravedad longitudinal y transversal.....	60
Tabla 8. Peso y centro de gravedad de la superestructura de popa	61
Tabla 9. Características del bulbo.....	61
Tabla 10. Peso y centro de gravedad de la maquinaria auxiliar del motor principal y el resto de maquinaria.....	63
Tabla 11. Peso y centro de gravedad de la maquinaria	66
Tabla 12. Peso y centro de gravedad del sistema de fondeo, amarre y remolque	66
Tabla 13. Peso y centro de gravedad del sistema de salvamento	67
Tabla 14. Peso y centro de gravedad del sistema contra incendios.....	67
Tabla 15. Peso y centro de gravedad de los cierres de las escotillas de carga	67
Tabla 16. Peso y centro de gravedad de los equipos de acondicionamiento de las bodegas	68
Tabla 17. Peso y centro de gravedad de la habilitación.....	68
Tabla 18. Peso y centro de gravedad de Habilidad y Equipos	69
Tabla 19. Desplazamiento, peso en rosca y peso muerto	69
Tabla 20. Partidas del peso muerto.....	70
Tabla 21. Características de los astilleros.....	95
Tabla 21. Hipótesis planteadas en el estudio temporal.....	123
Tabla 22. Correspondencia de las secciones con las bodegas	127
Tabla 23. Pesos equipos y maquinaria	128
Tabla 24. Distribución de los pesos de los equipos de la maquinaria y habilitación ...	128
Tabla 25. Distribución de los pesos de acero y equipos por secciones	130
Tabla 26. Distribución de porcentajes y pesos por secciones.....	131
Tabla 27. Distribución de pesos por bloques.....	132



Tabla 28. Distribución de porcentajes nuevos y pesos por secciones	134
Tabla 29. Distribución de pesos por bloques nuevos	135
Tabla 30. Tabla comparativa combinación 1.....	152
Tabla 31. Distribución secciones y bloques	153
Tabla 32. Pesos maquinaria y equipos.....	154
Tabla 33. Distribución peso maquinaria y equipos	155
Tabla 34. Peso de acero y equipos por sección	156
Tabla 35. Distribución porcentajes y pesos por sección.....	157
Tabla 36. Pesos por bloque.....	158
Tabla 37. Peso y centro de gravedad de la superestructura	159
Tabla 38. Distribución pesos de la superestructura	160
Tabla 39. Tabla comparativa de la combinación 2.....	182
Tabla 40. Distribución peso de acero	183
Tabla 41. Peso maquinaria y equipos	184
Tabla 42. Distribución pesos y porcentajes de la maquinaria y equipos.....	184
Tabla 43. Distribución peso de acero y equipos por secciones	185
Tabla 44. Distribución de porcentajes y pesos de equipos y acero	186
Tabla 45. Distribución peso por secciones y bloques.....	187
Tabla 46. Peso y centro de gravedad de la superestructura	188
Tabla 47. Tabla comparativa combinación 3. Montaje por popa.	199
Tabla 48. Tabla comparativa combinación 3. Montaje por bodegas.....	214
Tabla 49. Tabla comparativa combinación 3. Montaje por proa.....	220
Tabla 50. Distribución peso del acero por secciones y bloques	221
Tabla 51. Peso equipos y maquinaria	222
Tabla 52. Distribución porcentajes del peso de la maquinaria y los equipos.....	222
Tabla 53. Distribución peso de acero y equipos por sección.....	223
Tabla 54. Distribución pesos y porcentajes de los equipos y el acero.....	224
Tabla 55. Distribución pesos por bloques	225
Tabla 56. Pesos de la superestructura.....	226
Tabla 57. Características de las instalaciones.....	229
Tabla 58. Resultados combinación 1	236
Tabla 59. Resultados combinación 2.....	237



Tabla 60. Resultados combinación 3. Montaje por popa.	239
Tabla 61. Resultados combinación 3. Montaje por bodegas.	240
Tabla 62. Resultados combinación 3. Montaje por proa.	241
Tabla 63. Opciones más adecuadas de la combinación 3.....	242
Tabla 64. Estrategias óptimas obtenidas del criterio de comparación 2.....	243
Tabla 65. Nomenclatura de las alternativas.....	243
Tabla 66. Tiempo total y entrega del primer buque	244
Tabla 67. Parámetros del criterio de comparación 3	244
Tabla 68. Estrategias óptimas del criterio de comparación 3	250
Tabla 69. Entrega de cada buque.....	251



1. Objetivos



Trabajo final de máster

DESARROLLO DE ALTERNATIVAS PARA LA ESTRATEGIA CONSTRUCTIVA DE UN BUQUE GRANELERO DE 40.000 TPM

Autor

Cristina Sanchis Selfa

Director

Dr. Carlos A. Mascaraque Ramírez



En este proyecto se inicia con la exposición dos grandes conceptos, necesarios para la comprensión y desarrollo de todo el documento. Estos dos conceptos son la estrategia constructiva de un barco, entendida desde el punto de vista de la fabricabilidad y la optimización de los procesos, y el astillero, prestando atención a sus avances tecnológicos desde las primeras atarazanas.

En el segundo capítulo se presenta la definición general de un buque granelero, así como su clasificación. De esto modo, se describe detalladamente el buque granelero de estudio, teniendo en cuenta todas aquellas características que resultan sensibles para el establecimiento de las distintas estrategias constructivas y procedimientos a seguir.

Durante la búsqueda de astilleros con distintas características y capacidades, capaces de construir el buque granelero de estudio, se realiza un repaso de cómo han evolucionado estas instalaciones a lo largo del tiempo y se muestra una estructura organizativa actual. Finalmente, se presenta cuatro posibilidades con distintas capacidades, las cuales se han basado en el actual panorama español.

Con fin de generar combinaciones para su estudio, se estudian y se exponen de forma minuciosa las diferentes estrategias constructivas elegidas para llevar a cabo los análisis en cada astillero. Para tener una mejor comprensión de las estrategias y elegir las con fundamento, se realiza un breve repaso del progreso de los métodos de construcción naval.

Llegados a este punto, se crean combinaciones a partir de las distintas alternativas de astilleros y los procedimientos constructivos elegidos. Previamente a exponer los estudios elaborados, se explica el proceso de despiece de un buque en bloques de modo que se entienda la necesidad de realizar la distribución por bloques; y el análisis del tiempo invertido, teniendo como base el takt time.

Una vez se han realizado y expuesto los estudios desarrollados de cada procedimiento de construcción en las distintas instalaciones, se estudia una comparativa de ellas basada en cuatro criterios comparativos. Estos criterios comparativos se utilizan a modo de criba en un proceso en el que se desechan las opciones menos adecuadas, para finalmente, obtener aquellas que presenten unas conclusiones más favorables sobre las demás.



Tanto la exposición de los resultados como la comparativa que se realiza de los mismos, tienen como finalidad ofrecer una base sólida con la que generar unas conclusiones que a la par de ofrecer las opciones óptimas tenga presente las limitaciones de cada una.

Finalmente, también se plantean superficialmente algunas ideas que resultan interesantes para abrir una línea de investigación futura con las que se aumente el rendimiento de las capacidades de los trabajos aquí estudiados.



2. Introducción



Trabajo final de máster

DESARROLLO DE ALTERNATIVAS PARA LA ESTRATEGIA CONSTRUCTIVA DE UN BUQUE GRANELERO DE 40.000 TPM

Autor

Cristina Sanchis Selfa

Director

Dr. Carlos A. Mascaraque Ramírez



2.1. Estrategia constructiva del buque

La Estrategia Constructiva consiste en el conjunto de actuaciones realizadas por las áreas operativas de un astillero de forma coordinada, con el objetivo de reducir los contenidos de materiales y de trabajos, mejorando la fabricabilidad, y con la búsqueda final de la reducción global de los costes y plazos, todo ello proporcionando la calidad y prestaciones exigidas por el contrato.

La estrategia constructiva debe dar respuesta a “qué” es lo que hay que hacer, “con qué” hay que hacerlo, “cuándo” hay que hacerlo, “cómo” hay que hacerlo, “dónde” hay que hacerlo y “qué recursos” deben ser aplicados. Por tanto, incluye aspectos de diseño, ingeniería, materiales, planificación, ingeniería de producción, producción y calidad.

La implantación de este sistema supone una especial dificultad, ya que implica un cambio sustancial en la mentalidad de las personas involucradas en la cadena productiva: Dirección - Proyectos - Ingenierías - Aprovisionamientos - Fabricación y Montaje – Planificación / Programación - Garantía de Calidad, etc.

No se trata de realizar grandes inversiones, como ha sucedido en otras fases de la evolución, en este caso, el problema radica en una adecuada formación básica, en una sensible ruptura con determinadas prácticas rutinarias y en una actitud personal positiva respecto a los nuevos métodos constructivos. Una condición fundamental para implantar y desarrollar esta fase, es aplicar una metodología denominada Ingeniería Concurrente, que es un método de organización del Diseño y la Ingeniería de Producción para obtener la participación conjunta y coordinada de todas las áreas implicadas en el proceso desde las etapas iniciales del Diseño, lo que permite definir y elaborar una documentación del proceso constructivo con la participación de las áreas de Ingeniería, Producción, Aprovisionamiento y Planificación.

El concepto básico de la Construcción Naval mediante productos intermedios (PI) (previas, sub- bloques, bloques, módulos de armamento y unidades de montaje) que deben ensamblarse para constituir el buque completo, impone el requerimiento de control del proceso global de producción mucho más exacto. Tal proceso no es correcto si en la fabricación de los componentes de casco o de armamento resultan errores en dimensiones



o desalineaciones que impliquen correcciones o reprocesados en obras ya efectuadas. La moderna concepción del armamento, de forma similar, incrementa los requerimientos de control dimensional; cuanto mayor es el porcentaje de armamento efectuado en módulos y en bloques, más puntos deberán medirse y controlarse, ya que más posibilidades se presentarán de desalineaciones y posiciones defectuosas de tuberías, conductos, etc.

Por otra parte, la fabricación en las estaciones fijas de las líneas de procesos, demandan requerimientos de un control dimensional más exhaustivo del proceso productivo. La línea de procesos se basa en el concepto de normalización de familias de productos intermedios, que pueden variar ampliamente en sus dimensiones físicas, pero que son similares desde los puntos de vista de los procesos involucrados en su fabricación y de sus contenidos de trabajo. Parte del trabajo de formación de PI en dichas estaciones, inevitablemente, serán repasos para corregir desalineaciones, etc., entre los PI constituyentes; cuando la naturaleza y extensión de esos trabajos de reprocesado no puedan ser previstas ni controladas, se pierde la similaridad requerida entre los procesos y los contenidos de trabajo. Lo expuesto exige unos procesos de trabajo, procedimientos y codificaciones bien definidos, procedimientos técnicos escritos, de forma que las variaciones observadas puedan ser válidamente interpretadas usando la teoría estadística.

Consecuencia inmediata del análisis estadístico de los PI fabricados en cada línea es la mejora de los subprocesos afectados, de los ensamblajes y procesos subsiguientes y del proceso general de construcción.

Respecto al desarrollo del armamento en esta fase, el objetivo es realizar toda la obra de armamento antes de la terminación del casco, exceptuando exclusivamente aquellos trabajos que necesariamente tengan que hacerse a bordo, como son los trabajos relativos a las zonas de unión de los módulos. Como primer paso se sustituye la instalación de elementos sueltos en los bloques, por el ensamblaje de dichos elementos sueltos en un área separada, a fin de constituir unidades modulares independientes y autosoportadas que después se montan en los bloques del casco o en el propio buque. Esta mejora permite desarrollar el armamento en tres etapas bien diferenciadas: por módulos (primarios o secundarios, pero sin necesidad de estructura soporte del casco), en bloques (sobre el propio bloque, en construcción o una vez acabado) y a bordo (sobre el bloque una vez montado en la grada / dique o en el propio buque).



Se trata en definitiva de hacer el montaje de los elementos de armamento, en su máxima extensión, en tierra y/o trabajando sobre cubiertas y no a techo; esto implica adelantar los procesos de fabricación de módulos y de incorporación del armamento al casco a las fases más tempranas del ensamblaje de los bloques del casco.

Además, esta filosofía permite al Astillero planificar y diseñar el armamento por zonas, tanto en su concepto geográfico de división del buque a efectos de localización, codificación y organización del trabajo, como de aprovechamiento de oportunidades para una mejor incorporación del armamento. Por ejemplo, cada bloque puede dividirse en dos zonas: sobre cubierta (cara alta) y bajo cubierta (cara baja). Para ello se preparan planos combinados o compuestos en los que se representan todos los sistemas previstos en la zona y, además, se asigna a un equipo de montadores de armamento para efectuar toda la instalación de la zona en cuestión, independientemente del sistema a montar.

Aunque este estadio del Armamento por Zonas y Etapas puede interpretarse simplemente como otro paso lógico en el desarrollo de la tecnología del armamento, su impacto sobre los conceptos básicos de la Construcción Naval y su influencia en la creación de posibilidades para mejorar la productividad, han sido en realidad “revolucionarios”. El armamento por zonas y etapas implica el abandono final del concepto de construir un buque sistema a sistema; con su adopción, tanto la construcción del casco como su armamento pueden planearse y ejecutarse empleando el mismo enfoque geográfico. Por supuesto que ello tiene su impacto en los aspectos organizativos del Astillero con las consiguientes mejoras y simplificaciones en los trabajos de coordinación entre los Departamentos.

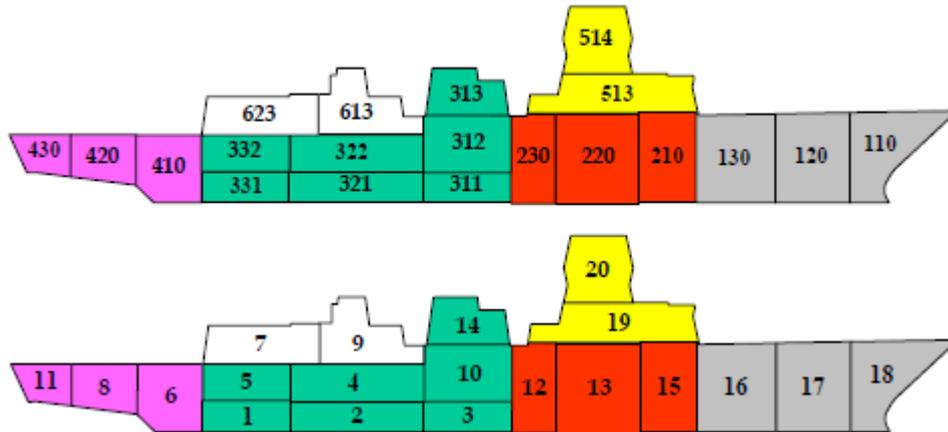


Figura 1. División en zonas, bloques y secuencia de montaje

La diferencia básica entre el Prearmamento Convencional y el Armamento por Zonas y Etapas radica fundamentalmente en la distinta estrategia usada para preparar planos, definir materiales y efectuar su correspondiente acopio.

Con la nueva filosofía, los ingenieros de Producción facilitan a Proyectos e Ingeniería una Estrategia de Construcción a los comienzos del Diseño Básico (antes de comprometerse con los planos contractuales) y la van perfeccionando continuamente a medida que el Diseño progresa. Tal estrategia tiene como objetivos reducir los contenidos de materiales y de trabajos, disminuyendo los costes y los plazos y proporcionando la calidad y prestaciones requeridas por el Contrato.

La implantación del armamento por módulos ha significado que los PI de armamento pueden comenzar simultáneamente con la fabricación de los PI estructurales, no teniendo, por tanto, que esperar a la terminación de sub-bloques o bloques del casco. El armamento no necesita ser considerado como una función sucesoria, ni la Construcción Naval debe contemplarse como una industria dependiente de una serie de actividades estrictamente secuenciales: su impacto es claramente el acortamiento de los plazos de construcción.

Resultado de las mejoras tanto en la calidad, como en la extensión de las documentaciones técnicas para la construcción de tuberías y módulos, así como del análisis estadístico de sus procesos y de la aplicación de los principios de la Tecnología de Grupos, se ha creado en muchos astilleros las líneas de proceso especializadas para la fabricación de tuberías y módulos.



Figura 2. Fabricación y almacenamiento de tuberías

2.2. Astillero

Un astillero o atarazana, es el lugar donde se construyen y reparan buques, y en algunos casos de desguaza. Puede tratarse de yates, buques militares, barcos comerciales o de transporte de mercancías/pasajeros. Es un lugar con las facilidades, personal y equipos necesarios para construir o reparar embarcaciones. Estas instalaciones se construyen cerca del mar o ríos navegables, de modo que se permita el acceso a las embarcaciones.



Figura 3. Vista aérea de un astillero 1

Además de las gradas en las que se realiza la construcción del casco, el astillero comprende muchas otras dependencias como los talleres, las oficina técnicas, comerciales, administrativas, etc.

Las oficinas técnicas se encargan de proyectar la embarcación, suministrando todos los datos necesarios para su construcción y se realizan los cálculos necesarios, como el desplazamiento, tonelaje, potencia de propulsión, estabilidad, etc.

Los talleres se centran en cortar y pulir planchas, así como de construir máquinas y aparatos mecánicos, hidráulicos y eléctricos con su respectivo cableado y tuberías. Puede darse el caso para algunos elementos, como maquinaria de propulsión o armamentos, que el astillero recurra a otras compañías para su acopio.

En la “sala de gálivos” es donde se dibuja sobre un pavimento las piezas a tamaño real, según la forma de las planchas, perfiles, cuadernas, etc. Posteriormente se realizan en un taller. Para mover trasladar y colocar las distintas piezas, perfiles y maquinaria, se dispone de grandes grúas.

Por último, las oficinas comerciales y administrativas tienen la función de aprovisionamiento de los materiales, pagos, etc.



Figura 4. Vista aérea de un astillero 2

Todas las naciones que tienen un comercio marítimo de cierta importancia cuentan con astilleros para fabricar buques mercantes y de guerra.

En la Edad Media fueron notables algunos astilleros del norte de Italia, hasta que en 1252 se añadió las Atarazanas de Sevilla, una de las mayores instalaciones industriales de la Baja Edad Media en Europa.

Las ciudades con ríos navegables también han sido importantes sede de astilleros. Por ejemplo, el rey Enrique VIII de Inglaterra fundó astilleros en Woolwich y Deptford a principios de 1500 en las orillas de Támesis.



Figura 5. Astillero de Woolwich



Con el descubrimiento de América y las expediciones militares a Flandes, hubo un gran decaimiento de la marina en el levante español aun así se construyeron barcos hasta que bajo el reinado de Carlos III cobraron una nueva actividad.

El Astillero de Guayaquil en Ecuador, fundado en 1547, llegó a ser el más grande de América de Sur, construyendo buques de hasta 400 toneladas desde 1583.

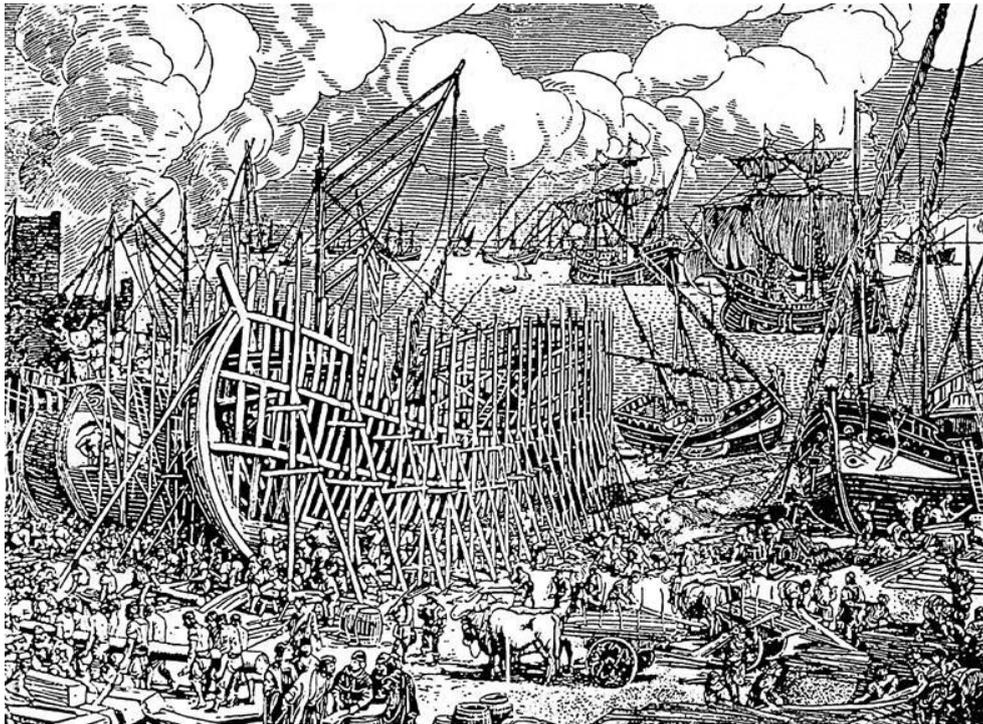


Figura 6. Astillero de Guayaquil

Desde 1980 los astilleros europeos han perdido fuerza respecto a los de Japón y Corea del Sur, actualmente los que cuentan con mayor carga de trabajo se encuentran en China, Corea del Sur y Japón.

2.3. Revolución industrial

El inicio de la primera revolución industrial estuvo muy influenciado por la máquina de vapor. Esta primera revolución, que arrancó a finales del siglo XVIII y llegó hasta mediados del XIX, cambió radicalmente la forma de hacer las cosas y supuso el paso de la economía rural a la industrial. La mecanización de los procesos productivos, sobre todo de la fabricación de tejidos supuso una fuente de riqueza para las naciones,



principalmente para aquellos países pioneros en el desarrollo y uso de dichas tecnologías. Inglaterra adquirió un liderazgo mundial por esa visión de mejora de su competitividad de la que ha estado viviendo hasta nuestros días.

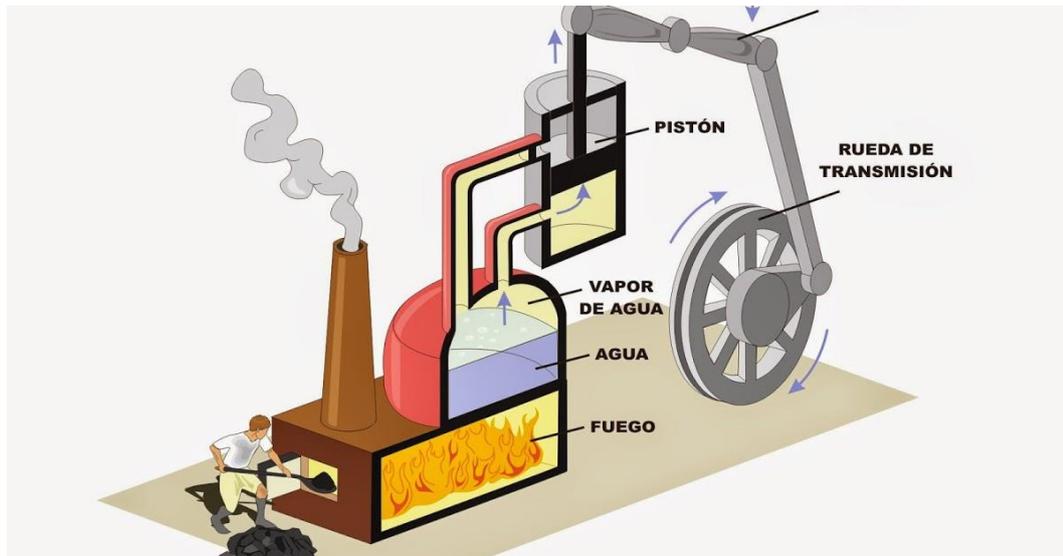


Figura 7. Máquina de vapor-Primera revolución industrial

La segunda revolución industrial, se debió a la producción masiva de energía eléctrica y a la producción en cadena, especialmente aplicada a la producción de automóviles con motores de combustión interna.



Figura 8. Automóvil con motor de combustión interna-Segunda revolución industrial

Al igual que en la primera, estos avances se aplicaron a la industria y posteriormente, pasaron a formar parte de la mejora de calidad de vida de las personas. Las casas se iluminaban todavía con aceite y el alumbrado de las calles se hacía con gas cuando las máquinas de las industrias se movían con electricidad. Con el tiempo, este avance pasó a la vivienda y formó parte inseparable de la vida de las personas.

Con posterioridad, se produjo la tercera revolución industrial, caracterizada por el empleo de la electrónica, las tecnologías de la información y la automatización de los procesos industriales. Una vez más, estos adelantos que se iniciaron en la industria pasaron a mejorar la calidad de vida de las personas, y hoy por hoy no se concibe a un ciudadano que no esté relacionado en su quehacer diario con estas tecnologías.

Ahora nos encontramos en una nueva etapa de cambios que están dando lugar a que a esta etapa que nos toca vivir se le llame la cuarta revolución industrial. De una revolución a la siguiente, el nivel de complejidad ha crecido exponencialmente y la duración de cada una de ellas ha decrecido también de forma exponencial.

Otra de las características de cada revolución es que aquellos pueblos que han sido capaces de adelantarse y de ver las posibilidades de cada tecnología son los que han liderado el mundo en los siguientes años.

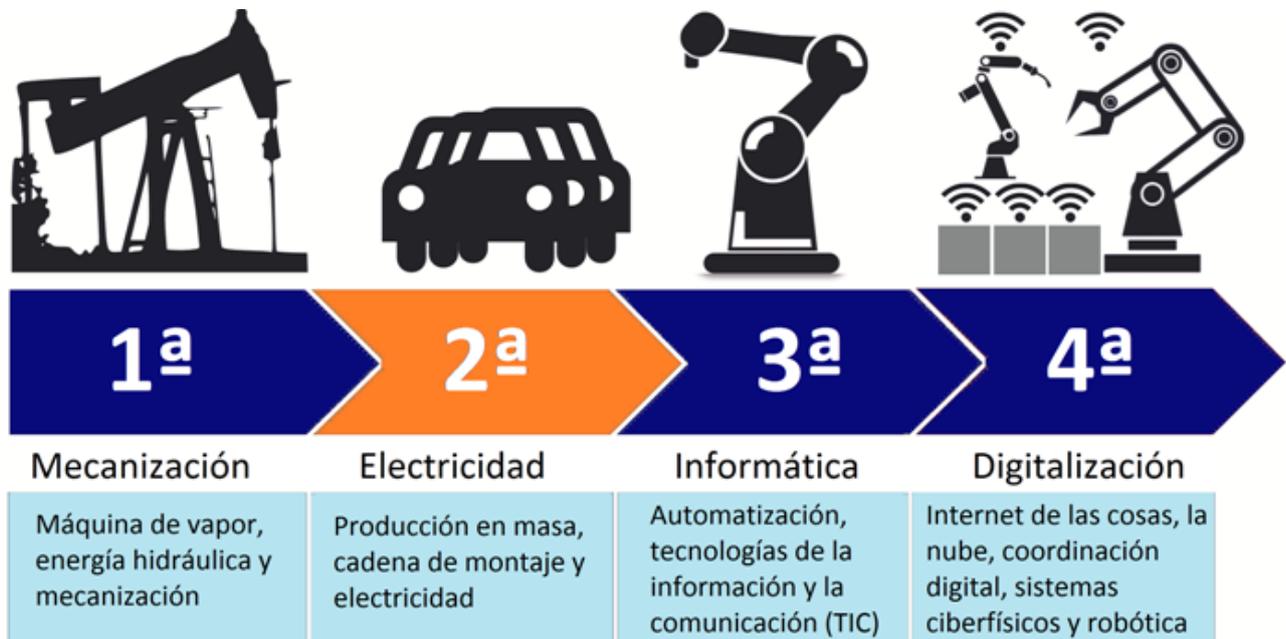


Figura 9. Avance cronológico de las revoluciones industriales

2.3.1. Progresión de la construcción naval en acero

La construcción de un buque es un proceso técnico y muy complejo que exige la coordinación de numerosos trabajadores bajo el control del armador o contratista principal. Esta construcción puede tener carácter civil o militar. Girando la cabeza hacia el pasado, se puede observar que los metales comenzaron a usarse en antiguos buques, con el objetivo de blindarlos. En cualquier caso, sólo se usaban para proteger exteriormente la construcción de madera. No fue hasta la Revolución Industrial, con el desarrollo de la máquina de vapor y el conocimiento sobre el acero, cuando comenzó a usarse el acero como material estructural. En aquella época surgió la técnica del remachado, para la unión de las distintas piezas de acero. No obstante, también continuó la construcción de buques de madera.

A mediados del siglo XIX se inició la construcción mixta, utilizando de forma conjunta el acero y la madera, que permitió un considerable aumento del tamaño de los buques. Así apareció el modelo clíper, esbelto, con una proa estrecha y prominente, que sustituyó a las proas macizas del pasado. Los primeros buques de hierro aparecieron en



1790 y los primeros de acero soldado sobre 1880. La mayor resistencia del hierro y la posibilidad de ensamblarlo con facilidad desplazó a la madera del puesto privilegiado que ocupaba en la construcción naval.

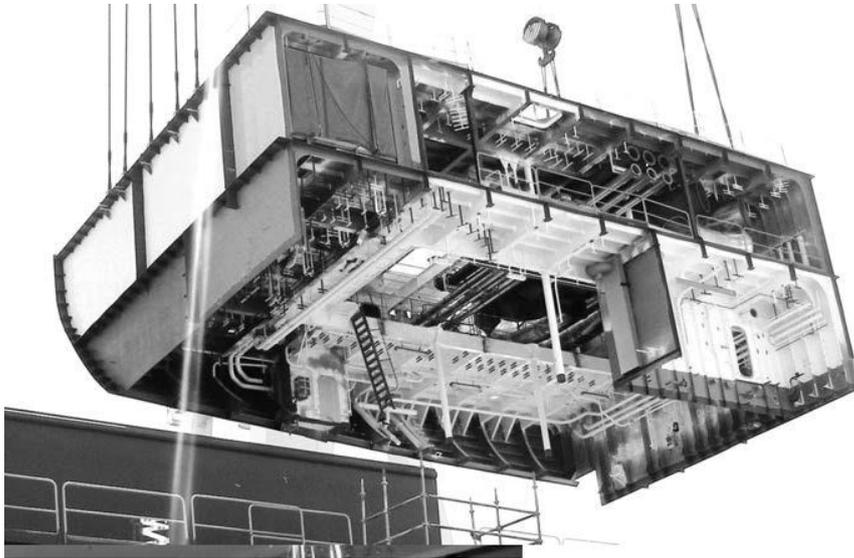


Figura 10. Montaje bloque de acero

En el siglo XX se produjeron grandes cambios en la forma de construir buques. Se introdujo la soldadura en la construcción naval y se estableció el sistema de construcción modular. De esta manera se abandonaron los trabajos tradicionales de la grada, y se pasó a sólo montar en ella aquellos bloques que previamente hubieran sido fabricados y armados anticipadamente en los talleres. Con este sistema de construcción se modificó la estrategia constructiva para optimizar los recursos, acortando plazos y reduciendo costes.



Figura 11. Equipos de soldadura de planchas

Los talleres de ribera se encargaban de producir en sus instalaciones los elementos del casco del barco y llevarlos a la grada, donde los armaban. Producían piezas como las varengas, cuadernas, mamparos, esloras, palmejares o las chapas del forro. Y para ello utilizaban planchas de acero que mecanizaban mediante cilindros de curvar o aplanar, cizallas, remachadoras, etc.

El componente básico que se empleaba en la construcción naval era la plancha de acero. Las planchas se cortaban, conformaban y trabajaban de la forma necesaria para darles la configuración definida en el diseño. Por lo general, las planchas se cortaban con equipos automáticos de corte con soplete, y posteriormente se soldaban. Finalmente, las planchas se enviaban a los talleres de construcción, donde se ensamblaban para formar otras unidades.



Figura 12. Plancha de acero

Dando un salto, nos trasladamos a la situación actual, de las últimas construcciones de la Armada se puede contar lo siguiente. En el caso del buque LHD Juan Carlos I (JCI), los materiales utilizados se fabricaron y probaron de acuerdo con los procedimientos especificados en las Reglas de la Sociedad de Clasificación *Lloyd's Register*. En general, se utilizó acero naval normal (límite elástico 235 MPa). En ciertas zonas, como las cubiertas de carga rodada y cubierta de vuelo, se utilizó acero de alto límite elástico del tipo H-36 (límite elástico 355 MPa) con el fin de reducir el peso de la estructura. También se usó H-36 con el mismo propósito anterior en elementos primarios de luz elevada y altas solicitaciones. Los aceros del JCI cumplen con las características indicadas en las reglas del *Lloyd's Register of Shipping* para buques mercantes, Parte 2, Capítulo 3. En general se usó el grado "A", excepto en aquellas partes donde las reglas de la Sociedad de Clasificación exigían otro diferente.

Como refuerzos de plancha se utilizaron principalmente llantas con bulbo y en menor medida llantas planas y perfiles I-T. Elementos primarios como bulárcamas, baos, palmejares y esloras fueron fundamentalmente perfiles tipo T. Otros materiales como las aleaciones de aluminio se utilizaron previa aprobación de las autoridades de la Armada.



El Buque de Acción Marítima (BAM) ha sido construido en acero AH-36, pudiendo utilizarse otros materiales de superiores prestaciones allí donde los requisitos de peso o estructurales lo requieran. En el caso de las Fragatas F100 se utilizó igualmente acero AH-36.

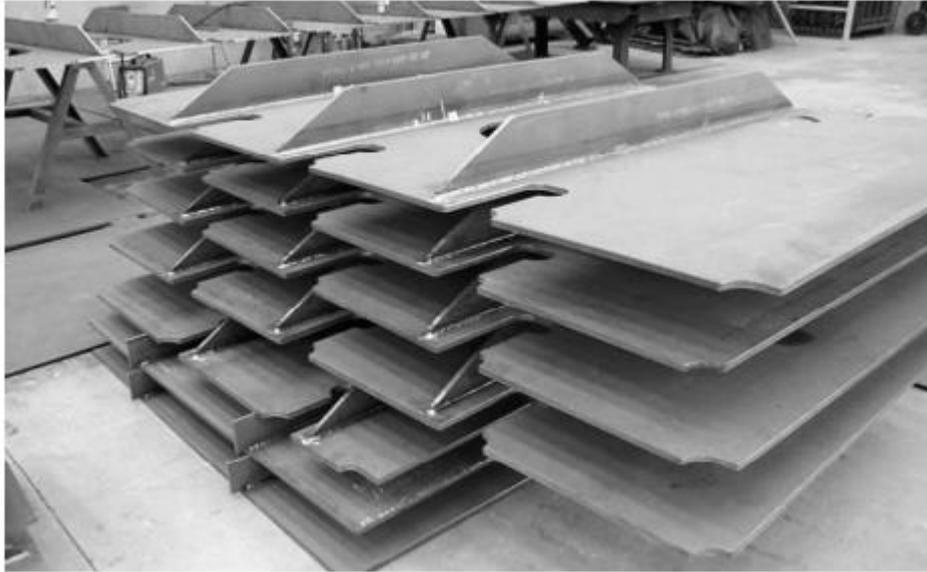


Figura 13. Plancha acero AH-36



2.4. Bibliografía

Breve reseña, artículo de internet, descargado el 20 de marzo de 2018 de:
https://es.wikipedia.org/wiki/Astillero_naval

Martínez, A. Construcción y Reparación de Buques, Apuntes de Clase de la Asignatura de Construcción y Reparación Naval, Máster en Ingeniería Naval y Oceánica, Universidad Politécnica de Cartagena, UPCT, 2016.

Raúl Villa Caro, El “acero” de los buques: del remache hasta el AH-36. Exponav, 30 de junio del 2016. Descargado el 20 de marzo de 2018 de: <http://www.exponav.org/el-acero-de-los-buques-del-remache-hasta-el-ah-36/>



3. Buque de estudio



Trabajo final de máster

DESARROLLO DE ALTERNATIVAS PARA LA ESTRATEGIA CONSTRUCTIVA DE UN BUQUE GRANELERO DE 40.000 TPM

Autor

Cristina Sanchis Selfa

Director

Dr. Carlos A. Mascaraque Ramírez



3.1. Definición de buque granelero

El Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar define un granelero como “un buque construido con una sola cubierta, tanques laterales superiores y tanques laterales tipo tolva en los espacios de carga y destinado a realizar principalmente el transporte de carga seca a granel o un buque de carga combinado”. Sin embargo, algunas Sociedades de Clasificación definen este tipo de buque como aquel que transporta mercancías sin envasar en seco tales como granos, carbón, mineral y cemento en sus bodegas de carga, es decir, el buque granelero se utiliza para distinguir a aquellos buques que transportan granel líquido, como el petróleo, productos químicos o gas licuado.

Un granelero, en inglés *bulk carrier*, es un buque dedicado al transporte de cargas secas a granel, incluyendo los buques mineros y los buques de carga combinados. Suele tratarse de un buque mercante de gran tamaño (hasta 200,000TPM), con esloras que pueden llegar a superar los 300 metros, que normalmente navegan a baja velocidad (entre 12 y 18 nudos).

Estos buques de transporte de carga sólida a granel se identifican fácilmente por tener una única cubierta corrida con varias escotillas y unas correderas, a uno o ambos lados, por donde corren las tapas de escotillas.

Normalmente se diseñan con el propósito de transportar cargas pesadas, por lo que sus bodegas están reforzadas para resistir los posibles golpes ocasionados al desplazarse la carga, y en las maniobras de carga y descarga.

Desde el primero de los graneleros especializados, construido en 1852, las fuerzas económicas han impulsado el desarrollo de estas naves, provocando un crecimiento en tamaño y sofisticación.

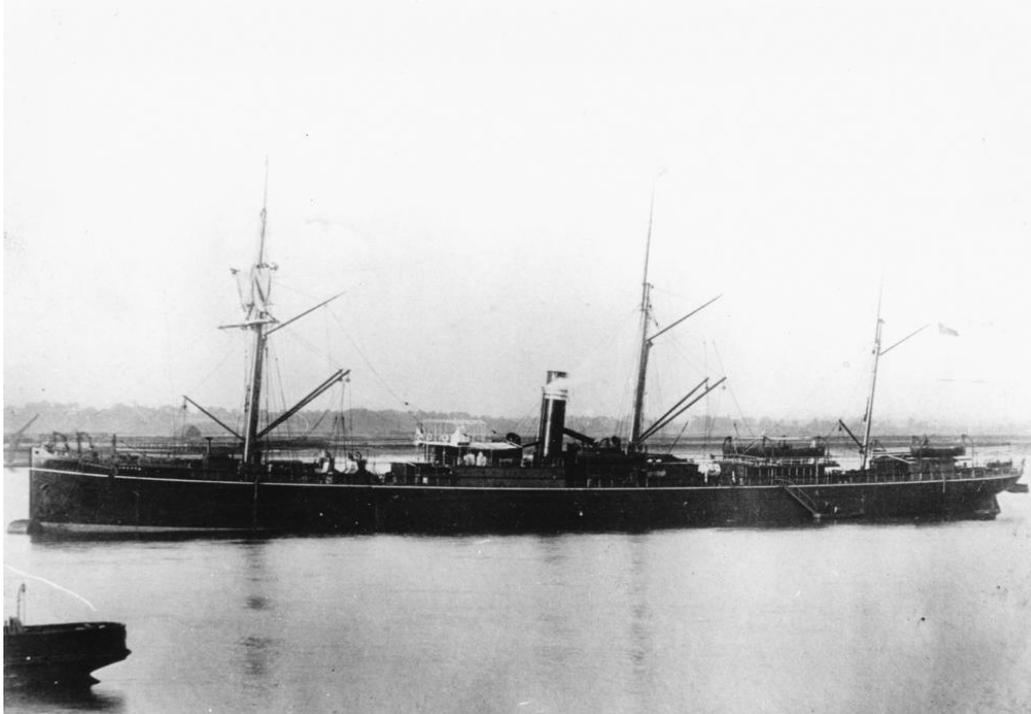


Figura 14. Buque granelero del siglo XIX

Hoy en días, este tipo de buques representan el 40% de las flotas mercantes del mundo. Varían en tamaño desde mini-graneleros a los denominados buques de mineral de mamut, con capacidad de hasta 400,000 TPM.

Más de la mitad de todos los graneleros son posesión de armadores griegos, japoneses o chinos, y más de una cuarta parte están registradas bajo bandera de Panamá.

En 2013, casi el 93% del tonelaje entregado fue construido en solo tres países. China tiene una cuota de mercado del 36,9%, seguida por la República de Corea (35,2%) y Japón (20,6%). De hecho, los países que se especializan en la construcción de graneleros son China, Japón, República de Corea y Filipinas.

La clasificación más empleada para este tipo de embarcación es la relativa al peso muerto que pueden llevar a transportar. Si bien, sus dimensiones están condicionadas por las restricciones de los canales que puedan atravesar, como es el caso del canal de Panamá. Con ello se desarrolla la tabla que se expone a continuación



Tabla 1. Clasificación de graneleros

Clasificación buques graneleros	Toneladas de peso muerto (TPM)
Mini-bulkers	<10.000
Handysize	10.000 – 35.000
Handymax	35.000 – 45.000
Supramax	45.000 – 60.000
Panamax	60.000 – 80.000
Capesize	100.000 – 200.000
Very Large Bulk Carriers	>200.000

3.2. Buque granelero de estudio

Siguiendo el criterio expuesto en la Tabla 1, el buque de estudio de este trabajo se trata de un buque granelero Handymax, con las siguientes especificaciones:

Tabla 2. Especificaciones granelero Handymax

Características del buque de estudio	
Eslora total	183,99 m
Eslora de flotación	181,82 m
Eslora entre perpendiculares	176,0 m
Manga	28,0 m
Calado	11,24 m
Puntal	17,20 m
Toneladas peso muerto (TPM)	40.000 T
Velocidad de servicio	15 nudos
Tipo de propulsión	Diésel directamente acoplada
Tipo de hélice	Hélice de paso fijo
Autonomía	12.000 millas
Medios de carga propios	No disponible
Número de bodegas	6
Número de palas	4

Respecto a las formas del casco, los principales coeficientes característicos de las mismas son:



Tabla 3. Coeficientes característicos

Coeficientes de forma	
Coeficiente de bloque	0,84
Coeficiente de la maestra	0,99
Coeficiente prismático longitudinal	0,85
Coeficiente de la flotación	0,92

El coeficiente de bloque es la relación entre el volumen ocupado por la carena y el volumen del paralelepípedo circunscrito a la misma. Cuanto más fino sea el buque su coeficiente será menor. Si lo que interesa es la carga transportada y menos velocidad, como el presente caso, este valor será grande, comprendido entre 0.6 y 0.8.

El coeficiente de la maestra es la relación entre el área de la obra viva en la sección maestra y la del rectángulo circunscrito un elevado valor con pequeños radios de pantoque en el cuerpo cilíndrico da lugar a una buena amortiguación de las oscilaciones de balance, permitiendo prescindir de las quillas de balance.

El coeficiente prismático es la relación entre el volumen de carena del buque y el volumen del prisma recto que tenga por base la sección sumergida de la cuaderna maestra y por altura la eslora.

Un gran valor implica que el desplazamiento está repartido hacia los extremos, por el contrario, si el valor es pequeño, implica un desplazamiento concentrado en el centro del buque.

Por último, el coeficiente de flotación es la relación entre el valor del área de la flotación, para un calado determinado, y la correspondiente al rectángulo circunscrito a la misma. El coeficiente correspondiente a la línea de flotación de proyecto depende esencialmente de las formas de las cuadernas en U o en V y el coeficiente de bloque. Siendo mayor el valor de este coeficiente cuando se dispone de cuaderna es U que de tipo V.



3.2.1. Definición de las formas

El casco de un buque deriva de un paralelepípedo cuyas dimensiones longitud, anchura y altura guardan una cierta proporcionalidad, de tal forma, que la longitud es muy superior a las otras dimensiones. A este paralelepípedo que estructuralmente se le denomina “viga-casco” se le da la forma característica del buque por razones de resistencia de marcha (velocidad), condiciones marineras (aptitud para navegar con mala mar), maniobrabilidad y otras de carácter restrictivo.

El paralelepípedo como flotador elemental encontraría una gran resistencia al avance en el agua, por lo cual a la parte delantera del mismo se le da forma de arista que vaya abriendo el agua, y con ello disminuya la resistencia al avance, y a la parte trasera se le suavizan las formas para disminuir los efectos de los remolines y del rebufo, que tira hacia atrás produciendo un efecto negativo.

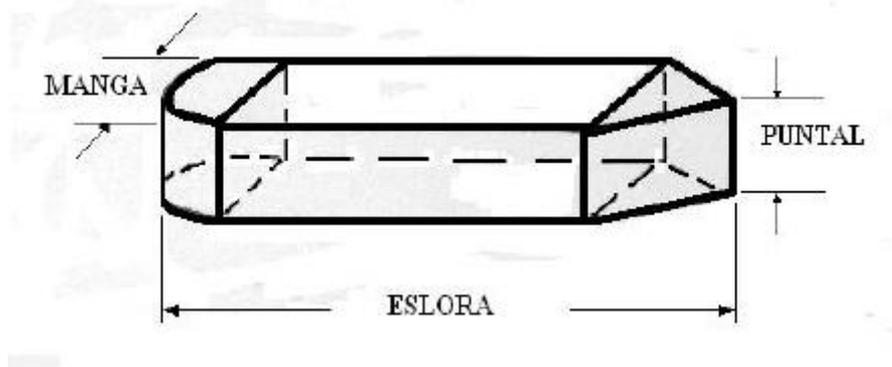


Figura 15. Dimensiones y formas básicas del buque

Los extremos de la viga han de tener formas específicas que faciliten el movimiento del buque en el agua. El cuerpo del buque se divide en tres partes: la parte delantera o proa, la parte central o cilíndrica y la parte posterior o popa. Con estas dimensiones y los coeficientes que se obtienen a partir de ellas se puede definir el diseño del buque de forma preliminar.



De forma general, los buques graneleros son barcos lentos puesto que su objetivo reside en conseguir transportar la mayor cantidad de carga a granel, perdiendo importancia la velocidad. Siguiendo esta línea, se suelen utilizar cuaderna tipo U, como se puede comprobar con el coeficiente de bloque del buque que se está estudiando, que permiten alojar mayor cantidad de carga que las de tipo V. Se caracterizan por disponer de buena capacidad de amortiguamiento, teniendo su carga repartida a lo largo de todo el cuerpo cilíndrico

- **Sección de proa**

La proa puede tener la roda lanzado o vertical, según el buque sea fino o lleno, es decir para bajos o altos coeficientes prismáticos; pero el aspecto más complejo a decidir es la conveniencia de incorporar o no un bulbo de proa. Esta decisión, y en caso afirmativo la selección del más idóneo se hace básicamente por mejoras propulsivas en las distintas situaciones de carga, sin olvidar también la posible mejora de comportamiento en la mar y el incremento de coste estructural.

- **Líneas de agua y flotación**

Este es uno de los aspectos más importantes a considerar a la hora de trazar las formas del buque. Un ángulo excesivo en esta zona puede provocar que las formas resultantes induzcan una transición temprana del flujo turbulento, provocando un aumento de la resistencia viscosa. Por otra parte, este ángulo influye de manera determinante en la forma de las secciones de proa y de la curva de áreas de cuadernas.

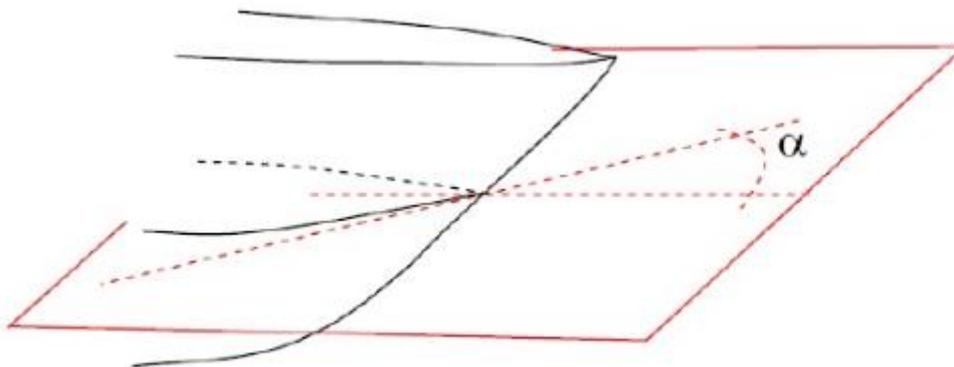


Figura 16. Semiángulo de entrada en la línea de flotación



Para valores de $C_p=0.55$ se recomiendan valores en torno a los 8° , para $C_p=0.70$ entre 10 y 14° y para $C_p=0.80$ valores en torno a 33° .

El semiángulo de entrada a la flotación $\alpha = 30, 4^\circ$, teniendo en cuenta que el coeficiente prismático tiene un valor de 0.85 , por lo que se disminuye la resistencia al avance del buque.

- **Diseño de la roda y de forma de proa en U**

La proa del buque está diseñada para disminuir el cabeceo y el embarque de agua. Teniendo en cuenta que se relaciona con el coeficiente prismático, y que este coeficiente es alto en este buque, se tiene una proa vertical ayudando a tener un buen mantenimiento del rumbo.

Así, el ángulo que forma la roda con la línea de flotación es aproximadamente $73, 31^\circ$.

Teniendo el buque proyecto un número de Froude $0,18 < F_n < 0,25$ se tienen secciones en U en proa, mejorando las condiciones hidrodinámicas.

- **Bulbo de proa**

Se dispone de un bulbo tipo gota de agua o delta, con la concentración del volumen en la parte baja. El efecto del bulbo desaparece con el aumento del calado y viceversa. Presenta problemas de “slamming” en la navegación con calados reducidos y mala mar. Estos bulbos se consideran buenos para buques con grandes variaciones de calados y con secciones de proa tipo U. Además, el área transversal recomendado para buques graneleros se encuentra entre $9 - 12\%$, teniendo en este caso un valor de $12,484\%$, muy cercano al rango recomendado.

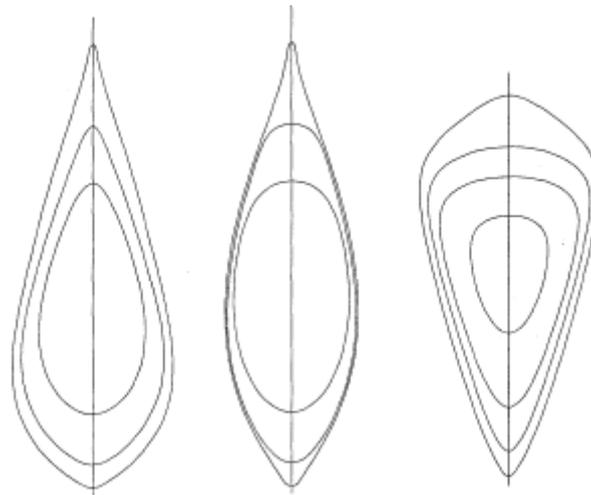


Figura 17. Tipos de bulbos de proa

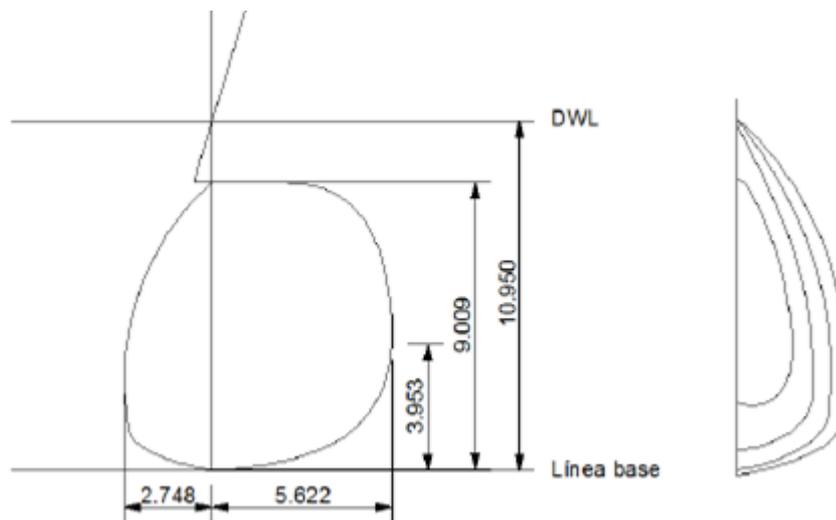


Figura 18. Parámetros principales y sección del bulbo

- **Sección central**

La longitud del cuerpo cilíndrico es un 47,58% de la eslora entre perpendiculares, es decir, se tiene una eslora de cuerpo de cilíndrico de 83,013 metros.

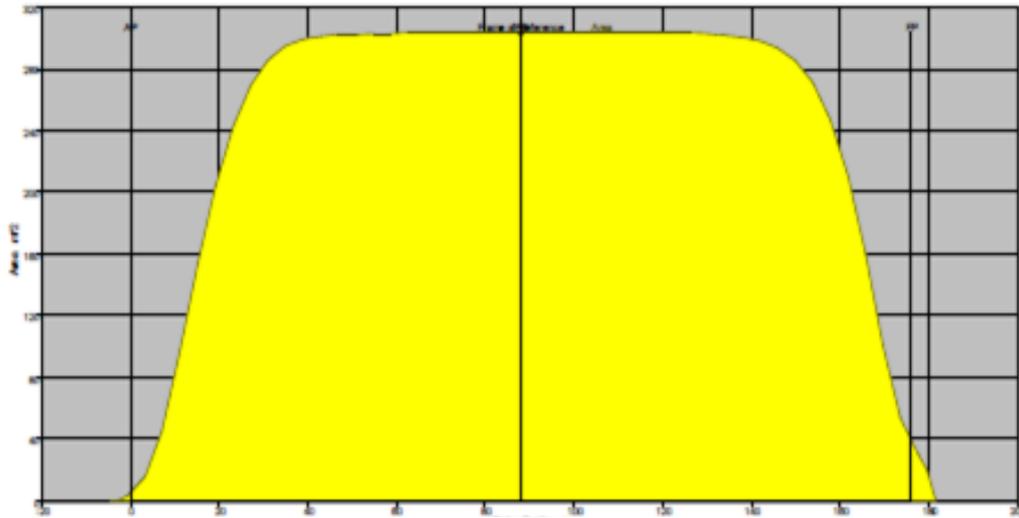


Figura 19. Curva de áreas seccionales del buque

Gracias a la curva de áreas seccionales se observa que, por la forma de la curva, se trata de un buque lento, dado que la entrada y salida tienen aproximadamente la misma pendiente.

- **Fondo y radio de pantoque**

El fondo del buque proyecto es un fondo plano sin astilla muerta, son muy estables en aguas tranquilas, no son recomendables para altas velocidades, pero la velocidad de servicio son 15 nudos, por lo que resulta eficaz.

- **Zona de popa**

Esta zona es de máxima importancia. En ella se dispone el propulsor o propulsores y el timón o timones, y su diseño, afecta conjuntamente a la propulsión y a la maniobrabilidad del buque.

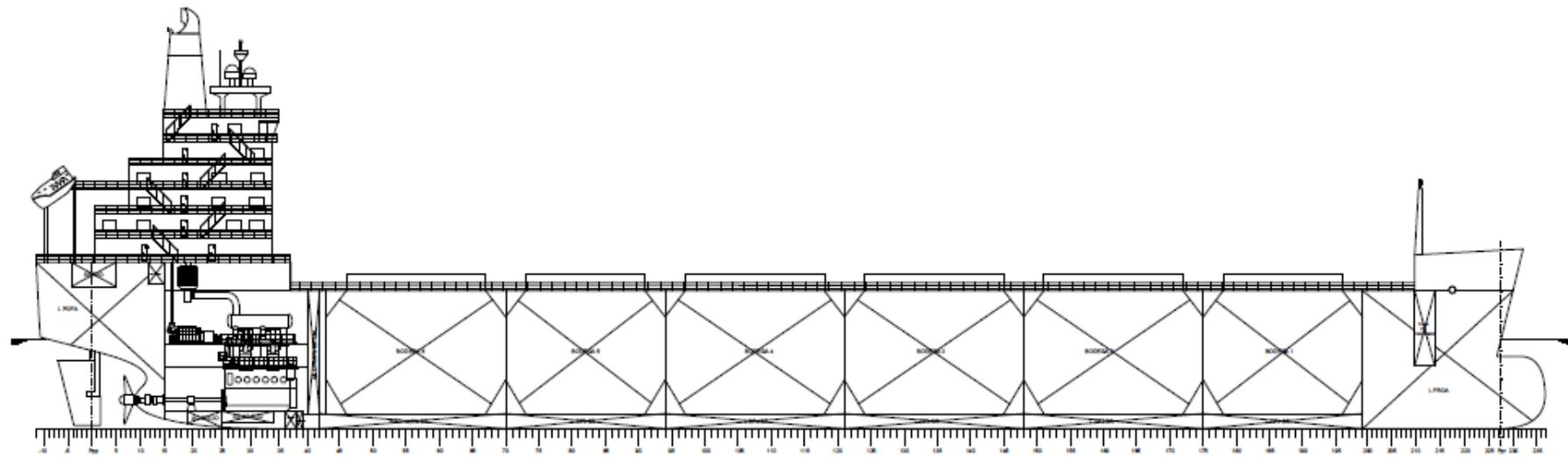
Las formas de popa se proyectan para conseguir un flujo estable de entrada de agua a la hélice, logrando una correcta distribución de la entela en el disco de la hélice. Además, se pretende eliminar los problemas de cavitación y vibraciones en el casco o en la línea de ejes.



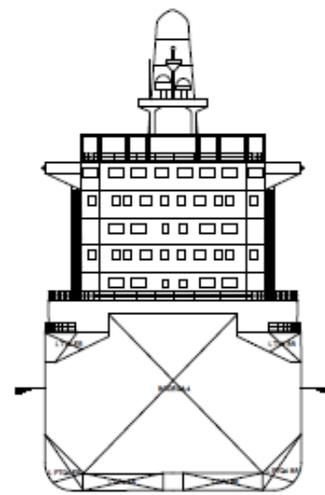
Por lo tanto, con el fin de compensar los efectos de torbellinos, estela y vibraciones de hélice, se utilizan cuadernas de forma intermedia entre cuadernas tipo U y tipo V.

3.2.2. Disposición general

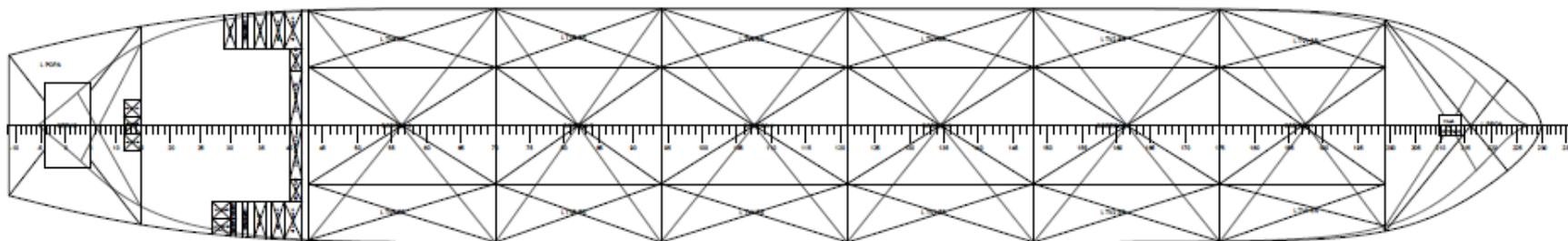
A continuación, se adjuntan los planos de la disposición general.



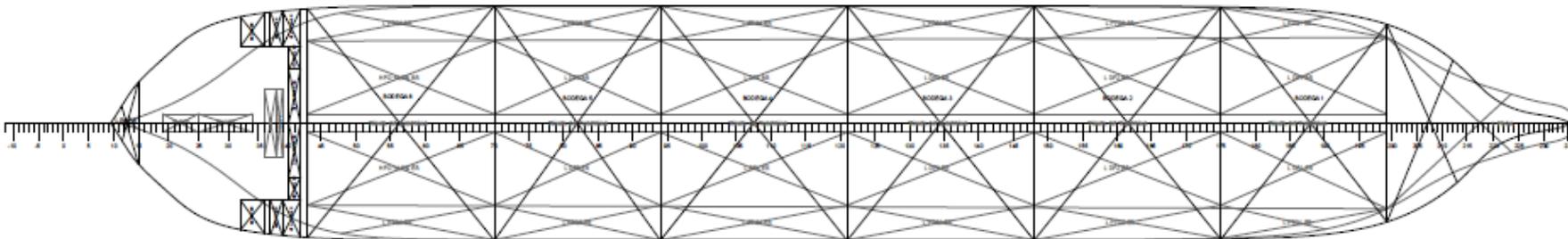
VISTA EN CRUZA



CUADERNA MESTRA
SECCION 125



CUBIERTA SUPERIOR Y PRIMERA PLATAFORMA
A 17,20 Y 10,60 METROS DE LA LINEA BASE



TERCERA PLATAFORMA Y DOBLE FONDO
A 7,757 Y 2,20 METROS DE LA LINEA BASE



- **Configuración estructural**

La configuración geométrica de la zona de carga es autoestibante. El doble fondo tiene una zona plana horizontal central y brusca invertida lateral, formando una tolva con una inclinación respecto de la horizontal, de 45 – 50° para el deslizamiento de la carga.

La estructura del doble fondo en la zona plana horizontal es longitudinal, con las varengas situadas entre 1,5 m y 2,5 m, consecuencia, el espaciado entre cuadernas es del orden de 830 mm. En cambio, para las zonas más extremas se toma entre 600 y 610 mm, sirviendo la separación de cuadernas de Cámara de Máquinas intermedia como transición entre ambas zonas. En crujía y en toda la eslora de bodegas se sitúa el túnel de tuberías con estructura transversal. Aproximadamente bajo la intersección de las zonas horizontal e inclinada del doble fondo se sitúa una vagra. Bajo cubierta superior y hasta el costado, a lo largo de la eslora de bodegas, se sitúan las tolvas altas con una zona inclinada 30° respecto a la horizontal. Estos tanques se utilizan para lastre y tienen estructura longitudinal.

Las bodegas están limitadas por las tolvas alta y baja y por el casco en ambas bandas y longitudinalmente por mamparos transversales estancos de tipo corrugado vertical, por limpieza respecto a la carga. En sus zonas superior e inferior, para grandes puntales y por exigencias de resistencia estructural, se disponen polines. La estructura del costado en la zona de bodegas, fuera de las tolvas altas y bajas, es transversal.

Para la estructura transversal, el espaciado de las bulárcamas no debe ser mayor que el espaciado de 3 cuadernas, en este caso 2490 mm. Se debe tener en cuenta que la separación entre bulárcamas citada es aplicable a los elementos transversales de doble fondo y la tolva alta, ya que las cuadernas del costado siempre tienen el mismo tamaño debido a la facilidad de estiba y limpieza.

- **Distribución de bodegas y tanques**

El buque granelero se dedica a transportar carbón con un factor de estiba de 48 pc/lit, por lo que el volumen de carga se ha calculado para una eslora de bodegas de 129,48 metros. Los mamparos corrugados que separan las bodegas y las escotillas coinciden con las bulárcamas. Los mamparos transversales de la zona de bodegas serán de tipo corrugado vertical por razones de limpieza y estiba de la carga.



En cada bodega se tiene una escotilla de desplazamiento lateral *MacGregor*, ocupando hasta la mitad de la semimanga a cada banda. En este caso, se tendrá la misma longitud en eslora para las escotillas de las bodegas 1, 2, 3, 4 y 5 por tener la misma dimensión, mientras que se tiene otra longitud para la bodega 6. Las escotillas deben coincidir con un refuerzo transversal para tener continuidad estructural.

Con la siguiente imagen mostrada presenta de forma sencilla la distribución de las bodegas del buque.

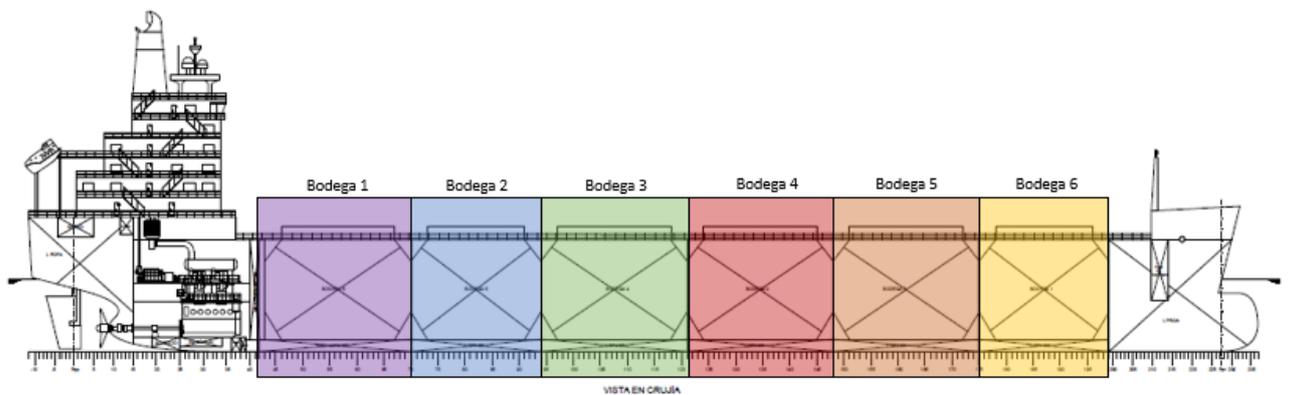


Figura 20. Distribución bodegas del buque

Tabla 4. Distribución por secciones de las bodegas

Bodega	Cuaderna inicio	Cuaderna final	Eslora (m)	Volumen (m3)
1	43	70	22,41	8750,98
2	70	94	19,92	7778,65
3	94	121	22,41	8750,98
4	121	148	22,41	8750,98
5	148	175	22,41	8750,98
6	175	199	19,92	7778,65



3.2.3. Habilitación

El alojamiento de la tripulación de este buque de carga a granel se encuentra en la superestructura situada a popa, contando con 25 personas de tripulación.

En la cubierta A se encuentran algunos espacios comunes y algunos locales que están contiguos a la Cámara de Máquinas.

- Hospital: enfermería, sala de espera y baño completo
- Gambuza seca: con acceso a la cocina y montacargas
- Vestuarios: con duchas y aseos
- Gambuza refrigerada: verduras, carnes y pescados
- Sala de compresores
- Sala de CO₂
- Sala de la incineradora
- Oficina del buque (para máquinas y cubierta)

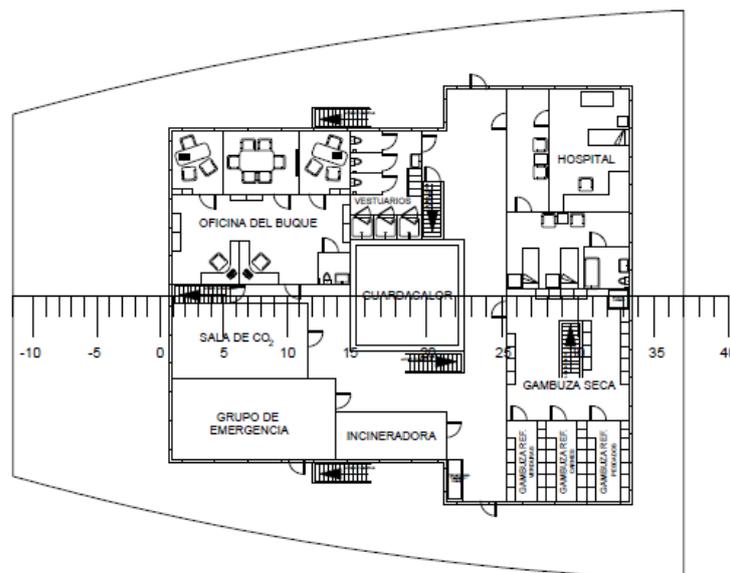


Figura 21. Vista en planta Cubierta A



En la cubierta B se encuentran algunos espacios comunes, aunque separados para la tripulación y para los oficiales.

- Cocina
- Comedor para la tripulación
- Comedor para los oficiales
- Aseo
- Ascensores
- Sala de estar para la tripulación
- Sala de estar para los oficiales

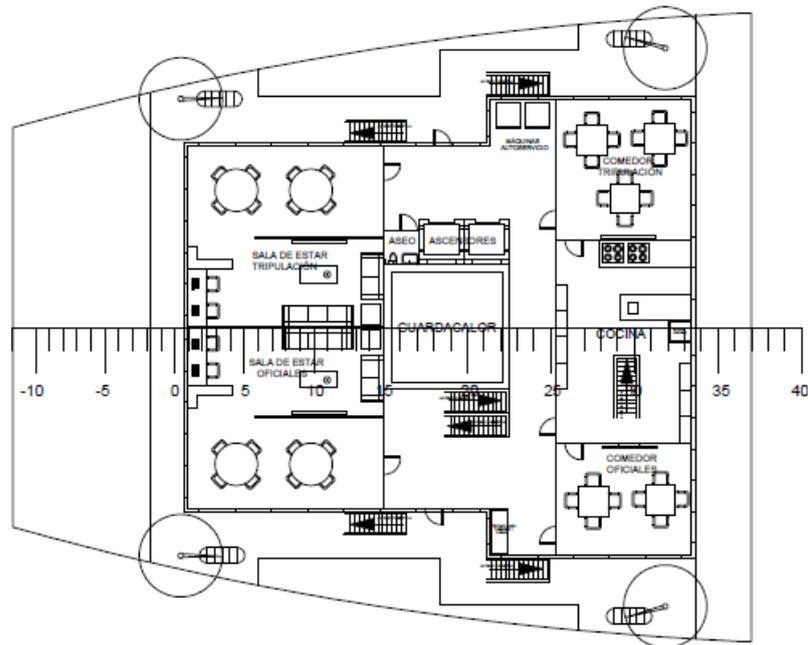


Figura 22. Vista en planta Cubierta B



En la cubierta C se encuentran los camarotes y los espacios comunes de ocio para la tripulación.

- Biblioteca
- Sala de ocio y juegos
- Gimnasio
- Un pañol
- Sala para fumar
- Siete camarotes dobles para tripulación
- Lavandería para tripulación

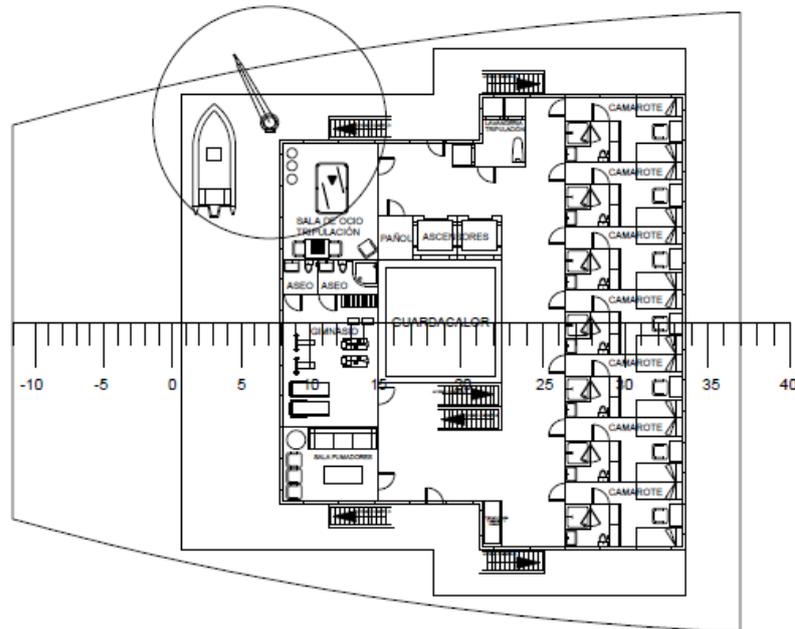


Figura 23. Vista en planta Cubierta C



En esta cubierta D se encuentran los camarotes y los espacios comunes de ocio para los oficiales.

- Biblioteca
- Sala de ocio y juegos
- Gimnasio
- Un pañol
- Sala para fumar
- Seis camarotes individuales para oficiales
- Lavandería para oficiales

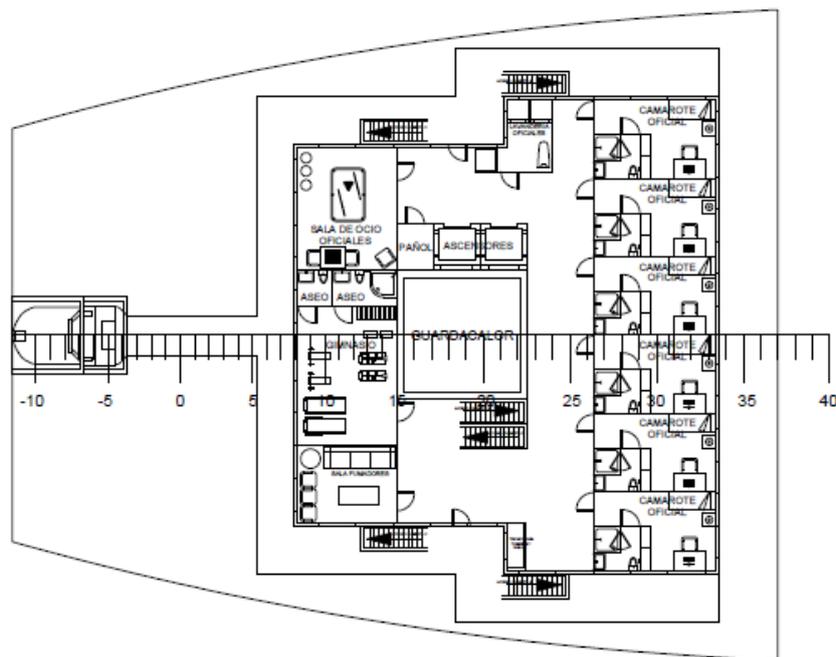


Figura 24. Vista en planta Cubierta D



En esta quinta cubierta, E, se encuentran los camarotes del capitán, el jefe de máquinas, el armador y el práctico de puerto.

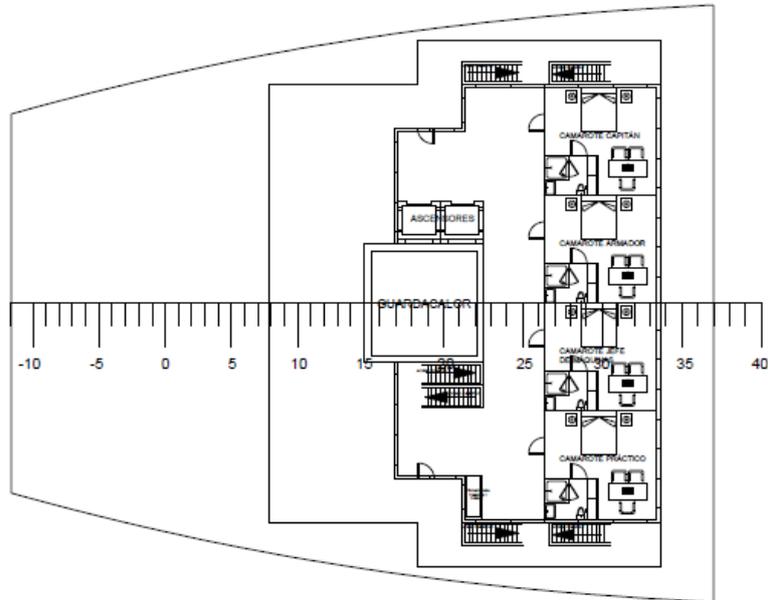


Figura 25. Vista en planta Cubierta E

En la última cubierta, F, se encuentra el puente de gobierno, dos aseos públicos y la sala de baterías. A partir de esta cubierta se puede ascender al siguiente piso donde se encuentran varios equipos de navegación y comunicaciones.

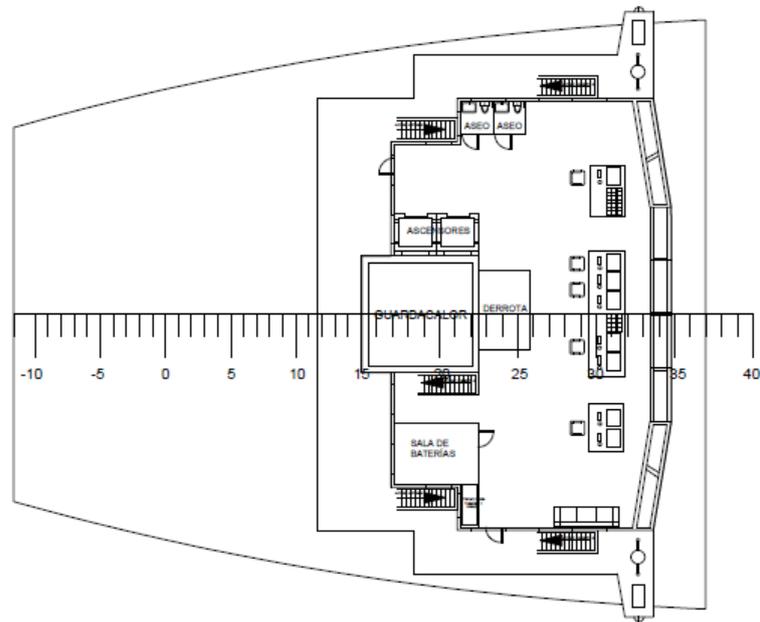


Figura 26. Vista en planta Cubierta F

3.2.4. Planta propulsora y sistema de gobierno

- **Motor principal**

El motor principal es un motor de combustión interna, se trata de un motor diésel lento de 2 tiempos del fabricante MAN. El motor seleccionado es 6S50MC-C8 de 6 cilindros, del cual se destaca que no entrará en resonancia con el propulsor, dado que el número de palas de la hélice no es múltiplo del número de cilindros del motor.

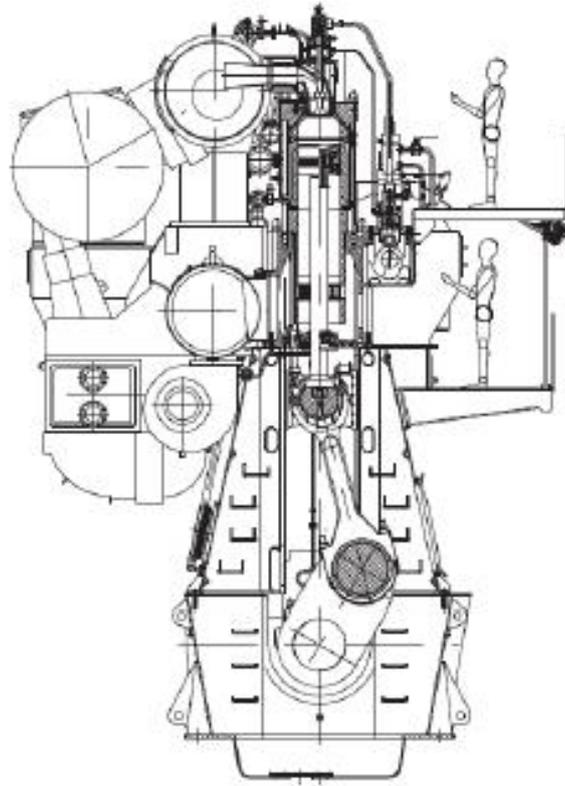


Figura 27. Sección transversal del motor principal 6S50MC-C8.2-TII

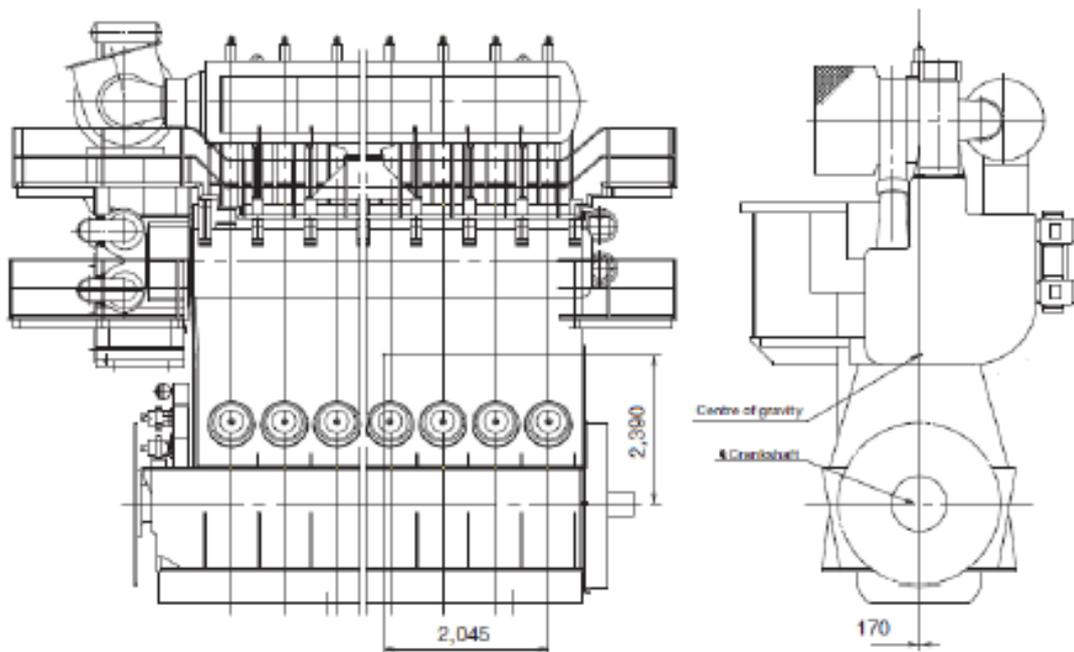


Figura 28. Centro de gravedad del motor principal



Las características principales del motor seleccionado son las siguientes:

- M.C.R.: 9960 kW
- Número de cilindros: 6
- Disposición de cilindros: En línea
- Diámetro del pistón: 50 cm
- Carrera: 2000 mm
- Velocidad (M.C.R.): 127 rpm
- Presión media efectiva PME: 20 bar
- Consumo de aceite lubricante: 0,1 g/kW h
- Consumo de aceite lubricante del cilindro: 1,0 – 1,5 g/kW h
- Consumo de combustible (100% M.C.R.): 173 g/kW h
- Peso en seco: 211,1 t
- Longitud total: 9,3 m

A continuación, se adjunta la especificación del motor:



Desarrollo de alternativas para la estrategia constructiva de un buque granelero de 40.000 TPM

List of Capacities for 6S50MC-C8.2-TII at NMCR

	Seawater cooling						Central cooling					
	Conventional TC			High eff. TC			Conventional TC			High eff. TC		
	1 x T3A66-ZI	1 x A170-L3*	1 x METROMB	1 x T3A66-ZI	1 x A270-L	1 x METROMB	1 x T3A66-ZI	1 x A170-L3*	1 x METROMB	1 x T3A66-ZI	1 x A270-L	1 x METROMB
Pumps												
Fuel oil circulation m ³ /h	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9
Fuel oil supply m ³ /h	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
Jacket cooling m ³ /h	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83
Seawater cooling * m ³ /h	307	309	312	315	316	320	305	305	306	312	313	314
Main lubrication oil * m ³ /h	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
Central cooling * m ³ /h	-	-	-	-	-	-	226	226	240	242	242	246
Scavenge air cooler(s)												
Heat diss. app. kW	4,060	4,060	4,060	4,220	4,220	4,220	4,040	4,040	4,040	4,200	4,200	4,200
Central water flow m ³ /h	-	-	-	-	-	-	144	144	144	150	150	150
Seawater flow m ³ /h	198	198	198	206	206	206	-	-	-	-	-	-
Lubricating oil cooler												
Heat diss. app. * kW	740	750	770	740	750	770	740	750	780	740	750	780
Lube oil flow * m ³ /h	199	195	197	199	198	197	199	195	197	199	198	197
Central water flow m ³ /h	-	-	-	-	-	-	91	93	95	91	93	95
Seawater flow m ³ /h	109	110	114	109	110	114	-	-	-	-	-	-
Jacket water cooler												
Heat diss. app. kW	1,450	1,450	1,450	1,450	1,450	1,450	1,450	1,450	1,450	1,450	1,450	1,450
Jacket water flow m ³ /h	87	87	87	87	87	87	83	83	83	83	83	83
Central water flow m ³ /h	-	-	-	-	-	-	91	93	95	91	93	95
Seawater flow m ³ /h	109	110	114	109	110	114	-	-	-	-	-	-
Central cooler												
Heat diss. app. * kW	-	-	-	-	-	-	6,230	6,240	6,270	6,390	6,400	6,430
Central water flow m ³ /h	-	-	-	-	-	-	296	298	240	242	243	246
Seawater flow m ³ /h	-	-	-	-	-	-	305	305	306	312	313	314
Starting air system, 30.0 bar g, 2 starts. Fixed pitch propeller - reversible engine												
Receiver volume m ³	2 x 4.5	2 x 4.5	2 x 4.5	2 x 4.5	2 x 4.5	2 x 4.5	2 x 4.5	2 x 4.5	2 x 4.5	2 x 4.5	2 x 4.5	2 x 4.5
Compressor cap. m ³	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270
Starting air system, 30.0 bar g, 6 starts. Controllable pitch propeller - non-reversible engine												
Receiver volume m ³	2 x 2.5	2 x 2.5	2 x 2.5	2 x 2.5	2 x 2.5	2 x 2.5	2 x 2.5	2 x 2.5	2 x 2.5	2 x 2.5	2 x 2.5	2 x 2.5
Compressor cap. m ³	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Other values												
Fuel oil heater kW	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81
Exh. gas temp. ** °C	255	255	255	235	235	235	255	255	255	235	235	235
Exh. gas amount ** kg/h	80,417	80,417	80,417	85,387	85,387	85,387	80,417	80,417	80,417	85,387	85,387	85,387
Air consumption ** kg/s	21.9	21.9	21.9	23.2	23.2	23.2	21.9	21.9	21.9	23.2	23.2	23.2

* For main engine arrangements with built-on power take-off (PTO) of a MAN Diesel & Turbo recommended type and/or torsional vibration damper the engine's capacities must be increased by those stated for the actual system

** ISO based

Figura 29. Especificación del motor principal

• Hélice

Los huelgos mínimos entre la hélice y la carena están establecidos por las Sociedades de Clasificación, siguiendo el reglamento *Lloyds Register of Shipping*, se adjunta una figura donde se pueden ver muy bien gráficamente:

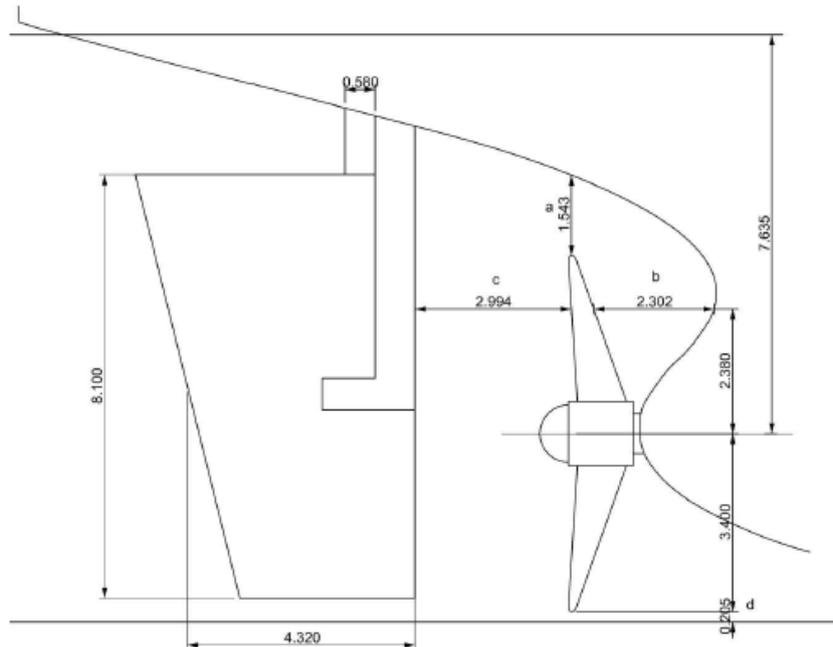


Figura 30. Esquema de los huelgos mínimos entre hélice y carena para el diámetro máximo

Los datos de la hélice montada en el buque de estudio son los siguientes:

Tabla 5. Datos de la hélice

Datos hélice	
Número de palas (Z)	4
Área expandida/Área disco (A_E/A_0)	0,60
Diámetro	5,85 metros
Paso/Diámetro (H/D)	0,70
Rendimiento de propulsor aislado (η_0)	0,488

- **Características del timón**

El timón es de tipo Marines semicolgado ya que el coeficiente de bloque es mayor de 0,75, se trata de un perfil NACA 0015. Su elección ha sido basada en la estabilidad de ruta y en su cumplimiento con los diámetros de giro del cambio de ruta.



Tabla 6. Características del timón

Características del timón	
Altura del timón, h (m)	8,10
Cuerda del timón, c (m)	4,32
Área transversal A_T (m ²)	35,0
Relación de alargamiento $\lambda = h/c$	1,87

3.2.5. Estimación de pesos

En este último apartado se recogen los y los centros de gravedad de los pesos que componen el peso en rosca del buque.

El peso en rosca del buque se descompone en las siguientes partidas:

- Peso del acero, WST.
- Peso de la maquinaria, WMQ.
- Peso del equipo y habitación, WEH.

- **Peso del acero**

Para obtener el peso del acero total, se ha analizado el peso transversal y longitudinal de la cuaderna maestra.

Desde un punto de vista estructural, el peso del acero adquiere importancia para el cálculo de la resistencia estructural del buque. Sin embargo, desde un punto de vista constructivo el peso de acero por sección resulta determinante a la hora de estudiar la viabilidad de una estrategia constructiva. Al analizar un procedimiento de construcción, el peso del acero constituye el peso del acero estructural y en los siguientes capítulos se verá la importancia que tiene a la hora de realizar el despiece de bloques y desarrollar una planificación.



Figura 31. Distribución de peso de acero continuo

La coordenada vertical del centro de gravedad de la estructura transversal se encuentra a 5,31 metros desde la línea base, mientras que la coordenada vertical de la estructura longitudinal se encuentra a 7,25 metros desde la línea base.



Tabla 7. Distribución del peso y el centro de gravedad longitudinal y transversal

Sección	(Wl) _i (t/m)	(Wr) _i (t/m)	XG (m)	(Wl) _i ·XG	(Wr) _i XG
0 (Ppp)	2,63	2,48	0,0	0,00	0,00
1	10,28	2,89	8,8	90,47	25,43
2	14,02	3,73	17,6	246,80	65,73
3	14,45	3,69	26,4	381,69	97,57
4	17,22	3,94	35,2	606,41	138,67
5	17,88	3,99	44,0	787,08	175,83
6	18,01	4,00	52,8	951,27	211,54
7	18,04	4,01	61,6	1111,44	247,04
8	18,05	4,01	70,4	1270,81	282,48
9	18,05	4,01	79,2	1429,80	317,88
10	18,05	4,01	88,0	1588,72	353,26
11	18,05	4,01	96,8	1747,60	388,63
12	18,05	4,015	105,6	1906,47	423,99
13	18,05	4,015	114,4	2065,14	459,27
14	17,95	4,012	123,2	2212,34	494,25
15	17,67	4,001	132,0	2333,12	528,13
16	16,88	3,967	140,8	2377,72	558,55
17	15,00	3,852	149,6	2244,43	576,21
18	11,68	3,479	158,4	1850,84	551,08
19	13,92	3,222	167,2	2328,68	538,75
20 (Ppr)	12,59	1,835	176,0	2216,51	322,92
Total				29747,42	6757,29

La coordenada horizontal del centro de gravedad de la estructura longitudinal está a 91,08 metros, mientras que la coordenada horizontal de la estructura transversal se encuentra a 87,51 metros.

Peso de la superestructura de popa

El centro de gravedad de cada cubierta se ha supuesto en el centro de gravedad del área de la cubierta y en crujía. La coordenada transversal se supone a la mitad del puntal de cada cubierta.



Tabla 8. Peso y centro de gravedad de la superestructura de popa

	V (m ³)	X _G (m)	Z _G (m)	W _{SUP} (t)
Cubierta A	1164,00	12,02	22,22	151,32
Cubierta B	1164,00	12,02	25,22	151,32
Cubierta C	958,97	14,05	28,22	124,67
Cubierta D	958,97	14,05	31,22	124,67
Cubierta E	708,27	16,42	34,22	92,08
Cubierta F	745,46	16,74	37,22	96,91

El peso total de la superestructura se halla realizando el sumatorio de los pesos de cada cubierta, obteniendo un peso de 740,957 toneladas.

El centro de gravedad de la superestructura se encuentra:

$$X_{G_{SUP}} = \frac{1}{W_{SUP}} \cdot \sum_i X_{G_i} \cdot W_{SUP_i} = 13,87 \text{ metros} \quad (1)$$

$$Z_{G_{SUP}} = \frac{1}{W_{SUP}} \cdot \sum_i Z_{G_i} \cdot W_{SUP_i} = 28,81 \text{ metros} \quad (2)$$

Peso total de acero

Tabla 9. Características del bulbo

Características del bulbo	
Altura Hx (m)	3,95
Relación Hx/T	0,36
Abscisa Xx (m)	5,62
Relación Xx/LBP	0,03
Manga Y₂₀ (m)	2,75
Relación Y₂₀/B	0,09
Puntal Z₂₀ (m)	9,01
Área transversal S₂₀ (m²)	37,89
Relación Sa₂₀ (%)	12,48
Área lateral S₁ (m²)	43,56
Relación S₁/S₁₀ (%)	14,35
Coefficiente afinamiento C₂₀	0,76



El peso total de acero es de 5.910,75 toneladas. El centro de gravedad del peso del acero estará compuesto por el centro de gravedad de cada una de las partidas de pesos calculadas:

$$X_{G_{WST}} = \frac{1}{W_{ST}} \cdot \sum_i X_{G_i} \cdot W_{ST_i} = 79,208 \text{ metros} \quad (3)$$

$$Z_{G_{WST}} = \frac{1}{W_{ST}} \cdot \sum_i Z_{G_i} \cdot W_{ST_i} = 11,197 \text{ metros} \quad (4)$$

La abscisa transversal del centro de gravedad se encuentra en crujía, debido a la simetría de todos los elementos.

- **Peso de la maquinaria**

Al igual que el peso del acero estructural tiene una gran importancia en la planificación y el despiece de los bloques, el peso de la maquinaria también resulta relevante. En el caso del buque que se está estudiando, el peso correspondiente a toda la maquinaria se concentra en el bloque de popa.

A continuación, se van a desglosar los pesos de toda la maquinaria a bordo. Este grupo de pesos resulta un gran condicionante, lo cual se ve acentuado por su concentración en una pequeña zona. Aunque se estudiará en profundidad en el capítulo correspondiente, a priori se podría decir que el peso de la maquinaria se trasladará y montará directamente en el armamento en grada.

El peso de la maquinaria se divide en las siguientes partidas de pesos:

- Peso del motor principal.
- Peso del resto de la maquinaria auxiliares del motor principal.
- Peso restante de la maquinaria general.



Motor principal

El peso del motor principal y su centro de gravedad se ha podido obtener de la especificación del motor. El motor seleccionado es el modelo 6S50MC-C8.2-TII de la empresa MAN B&M con un peso en seco de 211,1 toneladas y centro de gravedad viene ilustrado en la Figura 1.

Maquinaria auxiliar al motor principal y maquinaria restante

A continuación, se va a presentar una tabla donde se recoge tanto la maquinaria auxiliar del motor principal como el resto de maquinaria. El centro de gravedad de los sistemas se obtiene del propio plano de distribución de Cámara de Máquinas y el plano de Disposición General, para conocer el emplazamiento de cada equipo. Aquellos equipos que vayan en conjunto, es decir que sean

varias unidades, se tiene el centro de gravedad del conjunto. Para ello ha sido necesario consultar los catálogos de las empresas de las que se seleccionaron los equipos y tomar las dimensiones de estos.

Tabla 10. Peso y centro de gravedad de la maquinaria auxiliar del motor principal y el resto de maquinaria

Planta propulsora	Peso (t)	X _G (m)	Y _G (m)	Z _G (m)
Polines del motor principal	23,74	23,12	-0,15	5,99
Hélice	16,01	4,60	0,00	3,60
Línea de ejes	16,22	10,68	0,00	3,59
Timón	85,05	0,00	0,00	4,50
Motores auxiliares 2 x 6L21/31-TII	47,40	13,70	0,00	11,15
Motor auxiliar de emergencia 6L16/24-TII	10,50	5,14	5,87	21,28
Generador de cola BW III/RCF Modelo DSG62 L1-4	3,50	15,21	0,00	2,75
Caldera Aalborg ATA H3N-14	8,40	11,96	7,06	18,91



Sistema de combustible	Peso (t)	X_G (m)	Y_G (m)	Z_G (m)
Bomba de trasiego HFO, 2 x LKH-112	0,16	20,39	-10,10	10,81
Bomba de suministro HFO, 2 x LKH-112	0,16	18,94	-10,10	10,81
Bomba de suministro en puerto LKH-112	0,08	16,02	-9,52	10,81
Bomba de circulación HFO, 2 x LKH-114	0,24	17,47	-10,10	10,85
Bomba de lodos, LKH-112	0,08	14,75	-9,52	10,81
Separadora centrífuga 2 x HH-219 MO	0,35	24,15	-7,30	11,04
Calentador de combustible Aalborg EH-W35	0,32	10,25	-1,10	8,00
Sistema de lubricación	Peso (t)	X_G (m)	Y_G (m)	Z_G (m)
Bomba de trasiego BN 100, LKH-112	0,08	25,73	7,32	10,81
Bomba de trasiego BN 40, LKH-112	0,08	24,42	7,32	10,81
Purificadora centrífuga P615	0,28	24,15	-7,30	11,04
Bomba de circulación BN 5, 2 x LKH-70	0,41	25,07	7,88	10,79
Bomba de motores auxiliares, LKH-25	0,08	22,47	8,45	10,79
Sistema de refrigeración	Peso (t)	X_G (m)	Y_G (m)	Z_G (m)
Bomba de agua salada, 2 x LKH-85	0,83	21,85	7,21	0,34
Enfriador central M6-21	0,1	10,30	-4,95	8,21
Bomba de agua dulce, 2 x LKH-60	0,188	12,07	6,19	7,94
Enfriador aire carga M6-15	0,09	10,25	-3,56	8,21
Enfriador de aceite lubricante M3-10	0,03	10,25	-2,72	7,99
Enfriador agua de camisas M3-21	0,03	10,25	-1,94	7,99
Bomba agua de camisas LKH-25	0,08	16,06	10,01	7,94
Pre calentador agua de camisas Aalborg EH-W30	0,20	10,25	-4,26	8,00
Bomba pre calentador agua de camisas LKH-112	0,08	14,90	8,89	7,97
Sistema de aire comprimido	Peso (t)	X_G (m)	Y_G (m)	Z_G (m)
Botellas de aire del motor principal	2,86	23,44	4,73	18,98
Botella de aire de los motores auxiliares	0,9	23,44	7,40	18,87
Compresores de aire EP450	17,439	20,32	9,51	17,32
Sistema de ventilación	Peso (t)	X_G (m)	Y_G (m)	Z_G (m)
Ventiladores impulsores 4 x CSXR-800	1,00	18,72	0,00	17,20
Ventiladores axiales rev., 2 x CSXRT 900-20	0,72	18,72	0,00	17,20
Extractores 2 x CJTX-C-22 780	0,84	18,72	0,00	17,20



Agua dulce y potable	Peso (t)	X _G (m)	Y _G (m)	Z _G (m)
Generador de agua dulce AQUA-80	0,76	10,21	2,61	8,47
Bomba de agua dulce sanitaria fría LKH-20	0,07	25,33	-7,70	7,93
Bomba de agua dulce sanitaria caliente LKH-20	0,15	23,12	-7,57	7,93
Tanque hidróforo Jowa Group	0,30	19,87	5,04	3,29
Planta potabilizadora F-300-2/5000	0,38	17,02	-3,32	3,01
Sistema de aguas residuales y basura	Peso (t)	X _G (m)	Y _G (m)	Z _G (m)
Planta de tratamiento de aguas sucias ST10-C	11,65	19,37	-4,89	3,20
Incinerador marino OG120 CW	1,23	10,95	6,72	21,65
Sistema de achique y lastre	Peso (t)	X _G (m)	Y _G (m)	Z _G (m)
Bomba de achique, 2 x LKH-70	0,4	25,29	-4,63	2,39
Bomba de lastre LKH-70	0,20	27,35	-4,63	2,39
Bomba de desplazamiento positivo FLK 580	0,71	13,77	7,784	7,93
Bomba del separador de sentinas LKH-112	0,08	27,48	-10,02	2,41
Separador de sentinas DVZ-VC 7000	0,95	21,63	-6,58	3,10
Unidad de tratamiento biológica ACO Clarimar8	2,12	23,16	7,08	8,69

El peso total de la maquinaria auxiliar del motor principal y la maquinaria restante se halla realizando el sumatorio de los pesos de cada uno de los sistemas, obteniendo un peso de 255,436 toneladas.

El centro de gravedad de la maquinaria auxiliar del motor principal y el resto de maquinaria se tiene en cuenta el peso de cada sistema, su centro de gravedad y el peso total.

$$X_{GRP+QR} = \frac{1}{W_{RP+QR}} \cdot \sum_i x_{Gi} \cdot W_{RP+QRi} = 9,946 \text{ metros} \quad (5)$$

$$Y_{GRP+QR} = \frac{1}{W_{RP+QR}} \cdot \sum_i Y_{Gi} \cdot W_{RP+QRi} = 1,085 \text{ metros} \quad (6)$$

$$Z_{GRP+QR} = \frac{1}{W_{RP+QR}} \cdot \sum_i Z_{Gi} \cdot W_{RP+QRi} = 8,256 \text{ metros} \quad (7)$$



Peso total de la maquinaria

El peso total de la maquinaria será la suma del peso del motor principal y el peso de la maquinaria auxiliar del motor principal y resto de maquinaria, por lo tanto, el peso de la maquinaria y su centro de gravedad:

Tabla 11. Peso y centro de gravedad de la maquinaria

	Peso (t)	X _G (m)	Y _G (m)	Z _G (m)
Motor principal MP	211,10	23,12	-0,16	5,99
Maquinaria auxiliar y resto de maquinaria RP+QR	255,44	9,95	1,09	8,26
Maquinaria total MQ	466,54	15,91	0,52	7,23

- **Peso del equipo y habilitación**

En este aparato se incluyen los siguientes sistemas:

- Protección corrosiva: esta partida está compuesta por la pintura del buque y la protección catódica.
- Sistema de fondeo, amarre y remolque: el peso de estos equipos se obtiene de forma directa de los catálogos de las empresas suministradoras.

Tabla 12. Peso y centro de gravedad del sistema de fondeo, amarre y remolque

	Peso (t)	X _G (m)	Z _G (m)
Anclas tipo Hall	27,90	169,96	0,00
Ancla espía	3,12	169,96	0,00
Cadena de anclas	82,20	166,52	0,00
Molinete Tipo1	190,00	167,62	0,00
Cabrestante C5 24v	0,06	174,93	0,00
Bitas	0,82	88,00	0,00
Alavantes	0,76	88,00	0,00
Amarras	2,44	88,00	0,00

- Sistema de navegación: como el peso de estos equipos es muy reducido, por lo que se toma un peso de 2 toneladas.
- Sistema de gobierno



- Sistema de salvamento: el peso de estos equipos se obtiene de forma directa de los catálogos de las empresas suministradoras.

Tabla 13. Peso y centro de gravedad del sistema de salvamento

	Peso (t)	X _G (m)	Y _G (m)	Z _G (m)
Bote salvavidas LBF 580 C	3,50	-3,52	0,00	31,03
Bote de rescate RRB 500 60 Hp	0,68	1,84	-7,37	28,02
Pescante NRDS 3500H	1,30	4,26	-8,78	28,19
Balsas salvavidas Ausmar	0,56	10,75	0,00	24,07
Aros salvavidas Code 02012-1	0,03	12,02	0,00	22,23

- Sistema contra incendios: el peso de estos equipos se obtiene de forma directa de los catálogos de las empresas suministradoras.

Tabla 14. Peso y centro de gravedad del sistema contra incendios

	Peso (t)	X _G (m)	Y _G (m)	Z _G (m)
Bombas D600 Marine	0,27	20,23	-10,60	8,05
Bomba de emergencia D600 Marine	0,13	2,21	-4,24	18,02
Mangueras	0,08	88,00	0,00	17,20
Botellas CO₂	5,40	3,79	2,21	1,00

- Cierres de escotillas:

Tabla 15. Peso y centro de gravedad de los cierres de las escotillas de carga

	A (m ²)	b (m)	W _{CE} (t)	X _G (m)	Z _G (m)
Escotilla 6	34,86	14,00	8,25	40,48	18,20
Escotilla 5	29,88	14,0	7,07	61,64	18,20
Escotilla 4	34,88	14,00	8,25	82,81	18,20
Escotilla 3	34,86	14,00	8,25	105,22	18,2
Escotilla 2	34,86	14,00	8,25	127,63	18,20
Escotilla 1	29,88	14,00	7,07	148,79	18,20
Total			47,136	93,89	18,20



- Equipos de acondicionamiento en bodegas: la ventilación de las bodegas es natural con dos conductos de impulsión y dos de extracción. Los conductos de acondicionamiento están situados en la parte superior de las bodegas.

Tabla 16. Peso y centro de gravedad de los equipos de acondicionamiento de las bodegas

	VB (m ³)	W _v (t)	X _G (m)	Y _G (m)	Z _G (m)
Bodega 6	8224,69	4,66	40,06	0,00	17,20
Bodega 5	8233,94	4,67	148,38	0,00	17,20
Bodega 4	7328,28	4,34	83,22	0,00	17,20
Bodega 3	8244,36	4,67	104,80	0,00	17,20
Bodega 2	8244,22	4,67	126,38	0,00	17,2
Bodega 1	7114,08	4,26	61,64	0,00	17,20
Total	47389,58	27,28	94,71	0,00	17,20

- Habilitación:

Tabla 17. Peso y centro de gravedad de la habilitación

	AA (m ²)	W _A (t)	X _G (m)	Y _G (m)	Z _G (m)
Cubierta A	388,00	62,08	12,02	0	21,72
Cubierta B	388,00	62,08	12,02	0	24,72
Cubierta C	319,66	51,15	14,05	0	27,72
Cubierta D	319,66	51,15	14,05	0	30,72
Cubierta E	236,09	37,77	16,42	0	33,72
Cubierta F	248,49	39,76	16,74	0	36,72
Total	1899,89	303,98	13,87	0	28,31

- Otros pesos: peso de escotillas en acceso a bodegas, portillos y ventanas, escaleras exteriores, barandillas y escaleras.

El peso total de habilitación se presenta a continuación.



Tabla 18. Peso y centro de gravedad de Habilitación y Equipos

Elementos de habilitación y equipos	W (t)	X _G (m)	Y _G (m)	Z _G (m)
Protección anticorrosiva	39,89	90,34	0,00	6,30
Equipo de navegación	2,00	16,74	0,00	36,72
Equipo de gobierno	6,36	-1,09	0,00	4,79
Equipo de fondeo, amarre y remolque	307,29	166,52	0,00	18,81
Sistema de salvamento	6,07	0,14	-2,71	29,40
Sistema contra incendios	5,89	6,05	1,30	1,72
Cierre de las escotillas de carga	47,14	93,89	0,00	18,20
Equipo de acondicionamiento de bodegas	27,28	94,71	0,00	17,20
Ascensores	2,28	12,47	-3,68	30,70
Otros	42,68	-	-	-
Habilitación	303,98	13,87	0,00	28,31
Total	790,85	83,53	-0,01	20,56

- **Peso en rosca**

Tabla 19. Desplazamiento, peso en rosca y peso muerto

Pesos del buque	
Desplazamiento Δ (t)	47909
Peso en rosca WR (t)	7170
Peso muerto TPM (t)	40739

Peso muerto

El peso muerto está compuesto por las siguientes partidas de pesos:

- Carga útil: se determinará por el factor de estiba y el volumen de bodegas.
- Tripulación: la tripulación está formada por 25 personas. Estimando un peso de 125 kg/persona, el peso que se tiene de tripulación es de 3,125 toneladas.
- Pertrechos: son los elementos no consumibles que el Armador añade como repuestos o necesidades adicionales del buque como pinturas, estachas y cabos adicionales. Se toma el peso de los pertrechos como 50 toneladas.



- Consumos: Son elementos que varían durante la navegación del buque compuestos por el combustible, el aceite, agua dulce, agua de alimentación, agua potable y víveres.
- Los víveres se estiman en 5 kg por persona y por día, por lo que se tiene un peso de víveres de 4,125 toneladas.

Tabla 20. Partidas del peso muerto

Partidas del peso muerto	
Tripulación (t)	3,13
Pertrechos (t)	50,00
Viveres (t)	4,13
Combustible (t)	1.884,59
Aceite (t)	89,589
Aguas (t)	33,16
Carga útil (t)	3.8674,47

El objetivo de este capítulo residía en realizar una completa y detallada descripción del buque granelero que se está estudiando, tanto desde un punto de vista de operatividad, resistencia y planificación. Las formas del buque y su disposición general son importantes para saber que procesos y líneas de construcción serán necesarias en el astillero; y las partidas de pesos, como ya se ha dicho, para el establecimiento de los distintos módulos. Por lo tanto, el análisis de estos aspectos en conjunto es la clave para realizar una buena planificación y definición de estrategia constructiva.



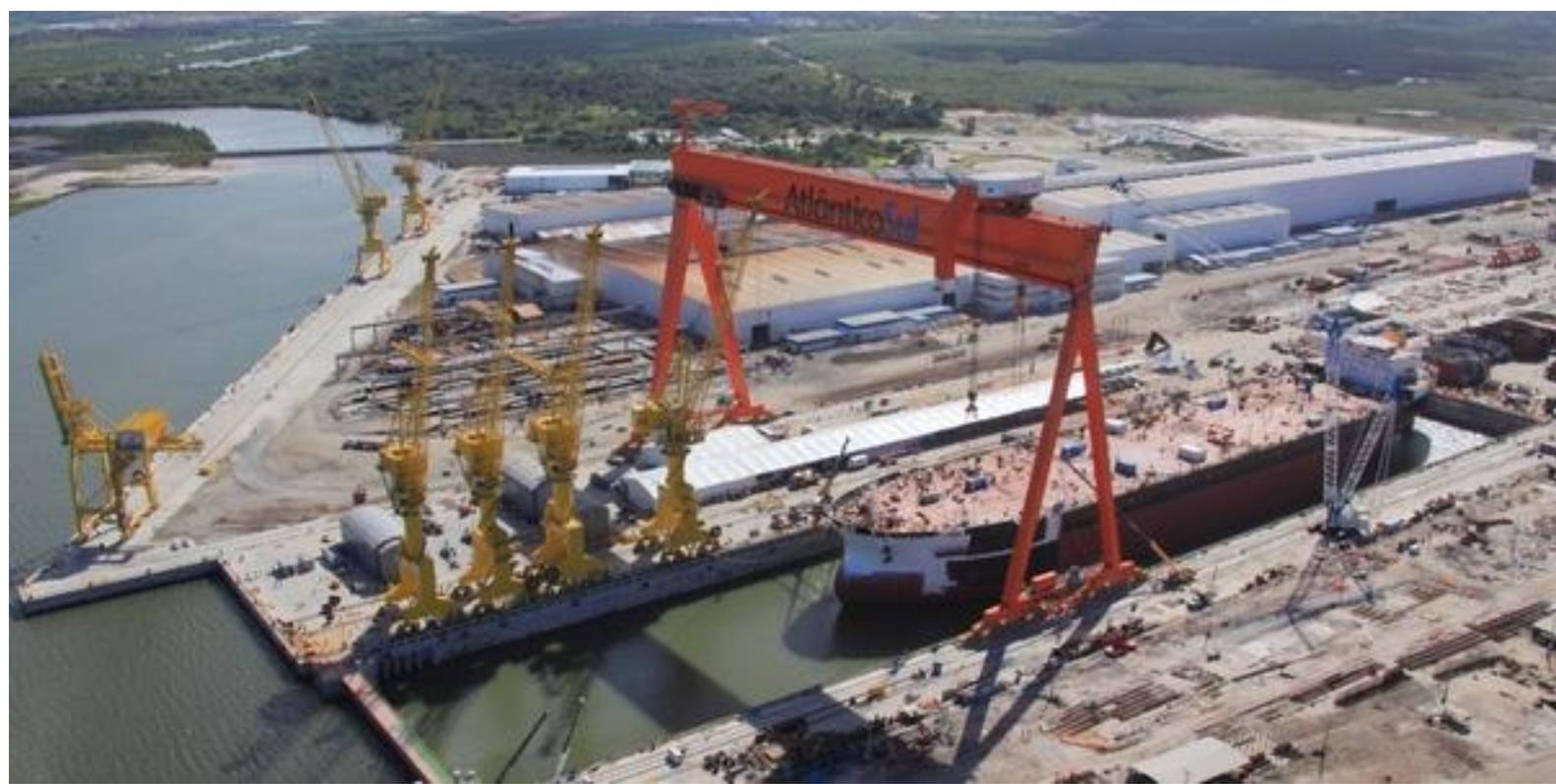
3.3. Bibliografía

Alvariño, R, et al. El Proyecto Básico del Buque Mercante, Fondo editorial de Ingeniería Naval, Colegio Oficial de Ingenieros Navales, Madrid 1997.

García, N. Cálculo de anteproyecto de un buque granelero de 40.000 TPM. Trabajo final de grado. Universidad Politécnica de Cartagena.



4. Alternativas de astillero



Trabajo final de máster

DESARROLLO DE ALTERNATIVAS PARA LA ESTRATEGIA CONSTRUCTIVA DE UN BUQUE GRANELERO DE 40.000 TPM

Autor

Cristina Sanchis Selfa

Director

Dr. Carlos A. Mascaraque Ramírez



El objetivo de este apartado es la descripción de cada una de las propuestas de astillero elegidas para ejecutar la construcción del buque de estudio, es decir de un granelero de 40.000 TPM. Dicha elección, se basa en el panorama español actual de estas instalaciones, para presentar opciones variadas que sean realistas a la vez que diferentes entre ellas.

4.1. Evolución

Históricamente los grandes astilleros solían disponer de un área para nuevas construcciones y otra de reparaciones, en algunos casos perfectamente separadas y delimitadas hasta con una muralla. Aunque eran dos tipos de negocios distintos, se pretendía cubrir largos períodos de crisis en una u otra actividad con una dedicación a lo que en cada momento demandaba el mercado. Así el flujo de personal propio derivaba en una u otra parte según las necesidades de cada momento y las instalaciones de una se usaban ocasionalmente para la otra en una operación de apoyo mutuo. Posteriormente, la alta productividad que el mercado demandaba aconsejó una especialización de negocios y por lo tanto de astilleros, de tal forma que se trataron de separar completamente, dedicando cada astillero a aquella tarea que le era más rentable.

Sea de reciente creación o nacido como complemento de un astillero de nuevas construcciones, la diferencia inmediata que se observa con estos es que lo fundamental de un astillero de reparaciones son sus medios de varada, siendo su entorno y potencia de los medios de elevación comparativamente muy inferiores. Las zonas de almacenamiento de materiales y talleres son menores en extensión y en número en los astilleros de reparación que en los de nueva construcción. Tradicionalmente los cascos de los barcos se montaban en las gradas, de menos coste de construcción que los diques y por tanto con una amortización por unidad más baja que compensaba en parte el largo período de estancia en ellas.

Después de la Segunda Guerra Mundial en Japón empezaron a usarse los diques, contruidos originariamente con fines militares, para las nuevas construcciones mercantes, y fue a partir de los años sesenta, con la construcción de los barcos de más de



200.000 TPM, cuando se generalizó el uso de diques para nuevas construcciones. Los avances en la productividad y el consiguiente acortamiento de los períodos de construcción del casco mejoraron las amortizaciones de los diques. Las gradas, mucho más económicas en su construcción, satisfacían suficientemente las necesidades de construcción, pero a las dificultades en el montaje de bloques y reforzado y operaciones de botadura, había que añadir que, a partir de ciertas esloras, la peligrosidad que suponía someter al barco a los esfuerzos extremos en la botadura, muy superiores a cualquiera de los que podría ser sometido en cualquier situación en navegación.

En cuanto a las reparaciones, para facilitar la delicada maniobra de entrada y salida de los buques en diques, se orientan, en la medida de lo posible, en la dirección de los vientos locales reinantes; por eso es característico ver la planta de los astilleros con sus diques todos más o menos paralelos.

Como los astilleros suelen tener una gran cantidad de barcos simultáneamente, los astilleros deben tener gran longitud total de muelles donde se realizan todos los trabajos que no requieran imprescindiblemente una varada, además de ser un lugar de espera para la entrada y de atraque después de la salida. Siendo aproximadamente la longitud total de los muelles, tres veces la suma de las esloras de todos los diques.

En los astilleros de nueva construcción tanto diques como muelles, están servidos por grúas como medios de elevación, más numerosas y poderosas que en los astilleros de reparación, ya que está previsto el movimiento de grandes bloques de acero o pesada maquinaria.



4.2. Astilleros actuales

4.2.1. Estructura organizativa del astillero.

Para el correcto funcionamiento del astillero se requiere un equipo humano el cual es el encargado de operar y gestionar el astillero. Este grupo de personas está dividido por departamentos y siguiendo una estructura organizativa, un ejemplo de la misma se puede ver a continuación.

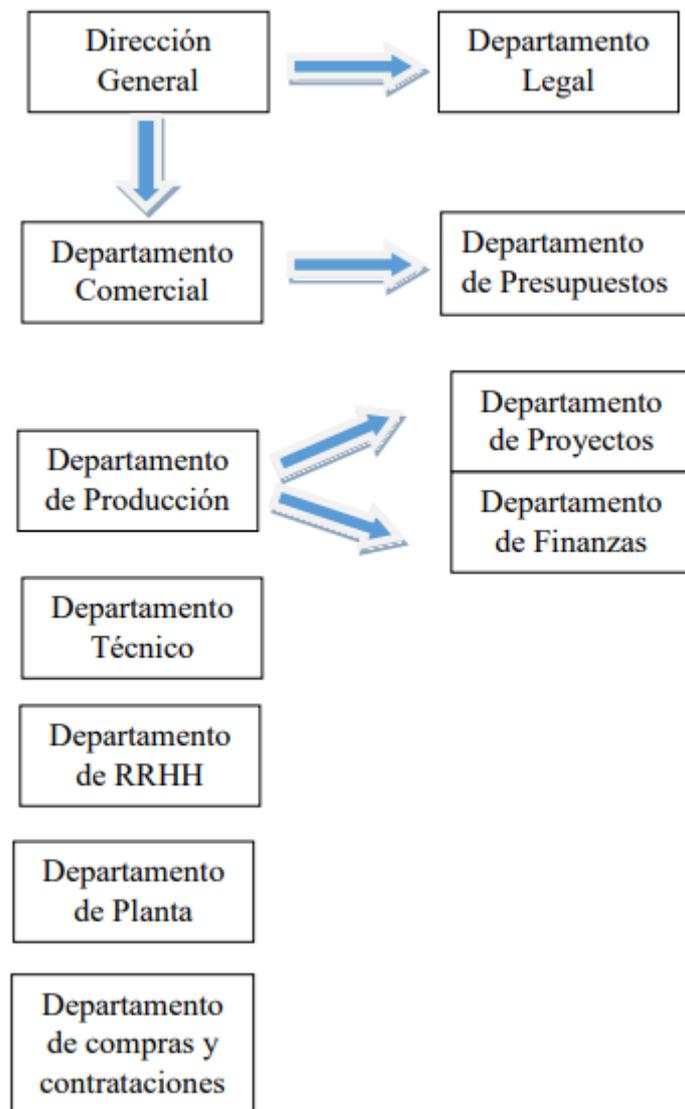


Figura 32. Estructura organizativa funcional



Dirección General: Es el máximo órgano de gobierno dentro de la estructura de la empresa. Este departamento está representado por el director general y las funciones que ejerce, a título general, son las siguientes:

- Aprobación de las estrategias generales de la compañía.
- Control de la ejecución y consecución de los objetivos estratégicos.
- Establecimiento y control de los presupuestos de la compañía y facturación.
- Toma de decisiones sobre inversiones importantes.
- Operaciones societarias de cualquier tipo.



Figura 33. Dirección general

Departamento Legal: Es el departamento encargado de brindar asesoría en materia legal a la dirección y a cualquier otro departamento del astillero que lo necesite, para mantener las acciones emprendidas en el astillero del marco jurídico correspondiente. El director jurídico es el encargado del departamento legal y las principales funciones del departamento son las siguientes:

- Asesorar en materia legal a los diferentes departamentos, y en especial a la dirección del astillero, cuando le sea requerido.



- Defender al astillero frente a posibles encausamientos.
- Elaborar y/o revisar los contratos de reparación y/o contratos en los que el astillero forme parte contratante o tenga interés en el negocio, así como elaborar y autorizar otros documentos privados y/o convenios cuando le sea requerido.



Figura 34. Departamento legal

Por lo general, los astilleros de este tipo no tienen un departamento legal propio dentro de la empresa, sino que trabajan este tipo de acciones mediante la subcontratación de bufetes de abogados especializados para cada ocasión en la que se requiera.

Departamento de Recursos Humanos: Es el encargado de lidiar con todos los asuntos relacionados con el personal. Este departamento está regentado por el Jefe de Personal o jefe de RRHH, y depende completamente de las estrategias definidas por la dirección general. Como funciones principales, entre otras, del departamento de RRHH dentro del astillero son las siguientes:

- Planificación de la plantilla de trabajo según las necesidades del astillero.
- Descripción de los puestos de trabajo.
- Definición de los perfiles profesionales.
- Selección de personal.



- Contratación de nuevo personal.
- Tramitación de despidos y suspensiones de personal.
- Gestión de nóminas y seguros sociales.
- Gestión de permisos, vacaciones, bajas médicas, horas extraordinarias, etc.
- Descripción y control del régimen disciplinario.
- Control de absentismo.
- Estudio de las fórmulas salariales del personal del astillero.
- Establecimiento de las categorías profesionales.
- Gestión de servicios sociales (transporte de los trabajadores, cenas en caso de extensión de jornada, etc.)

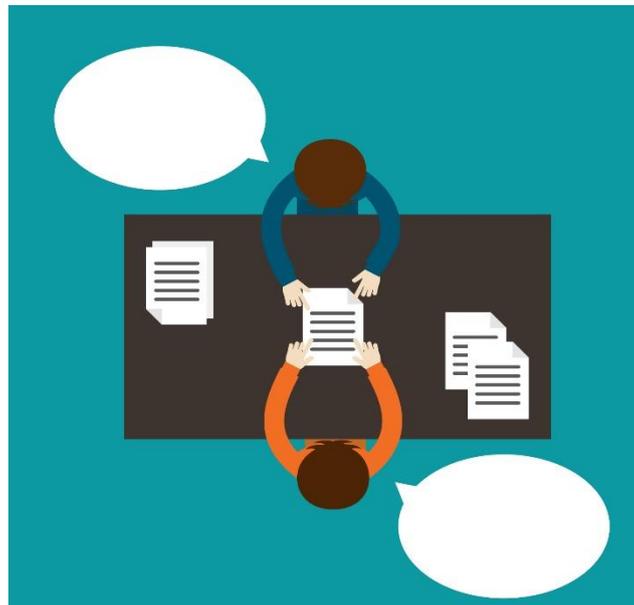


Figura 35. Departamento de Recursos Humanos

Departamento de Finanzas: Está regentado por el Director de Finanzas. Este departamento está subdividido en tres departamentos:



- El departamento de Financiación, es el encargado de conseguir la financiación para las necesidades del astillero y planifica la salida de fondos para afrontar los pagos puntualmente
- El departamento de Contabilidad, es el encargado de controlar que la actividad empresarial sea rentable, mediante el uso de las herramientas contables, según los parámetros establecidos por la dirección del astillero dentro del marco legislativo vigente.
- El departamento de Facturación y Cobros, es el encargado de llevar a cabo la facturación de los servicios prestados por el departamento de producción y persigue los cobros de las facturas emitidas. Este departamento trabaja muy ligado al departamento de producción.



Figura 36. Departamento de Finanzas

Departamento Comercial: Es el encargado de promocionar y atraer clientes los clientes al astillero y guiarlos durante todo el proceso de negociación hasta la firma del contrato de reparación. Las funciones principales del departamento Comercial del astillero son:

- Elaboración de estrategia de ventas, publicidad y marketing.



- Captación de clientes -Introducción de los clientes en el sistema de gestión.
- Negociación de condiciones contractuales, con el asesoramiento del departamento legal y con el consenso de la dirección general del astillero
- Estipulación de las tarifas del astillero para los clientes, con el asesoramiento del departamento de Producción.
- Elaboración de presupuestos iniciales de proyectos, con el asesoramiento del departamento de Producción.
- Elaboración del plan de varadas, en consenso con el departamento de Producción.
- Elaboración y revisión de reportes de satisfacción de los clientes una vez terminados los proyectos.



Figura 37. Departamento comercial

Dentro del mismo departamento Comercial se incluye como un departamento aislado el departamento de Presupuestos. Este departamento es el encargado de la elaboración de los presupuestos iniciales. Más adelante se definirá en detalle el funcionamiento de este departamento cuando se trabaje el flujo de trabajo del astillero. Ambos departamentos tienen un jefe o director de departamento y en este caso el Jefe de Presupuestos es subalterno directo del Director Comercial.

Departamento de Producción: Engloba a su vez los diferentes departamentos que llevan a cabo las labores propias de reparación de los proyectos que llegan al astillero. El departamento de producción se subdivide en dos departamentos de igual nivel jerárquico: El departamento de proyectos y el departamento técnico.



Ambos departamentos son complementarios entre sí y, como se verá posteriormente cuando se explique el flujo de trabajo del astillero, trabajan de forma entrecruzada para asegurar dos objetivos fundamentales:

- Generar y realizar el mayor número de trabajos posible en el menor tiempo.
- Contabilizar y gestionar todos los recursos empleados en esos trabajos para la elaboración de la factura al final del proyecto.

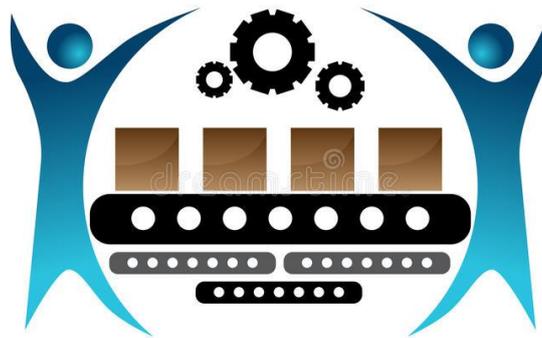


Figura 38. Departamento de producción

Departamento de Proyectos: Lo integran un equipo de Jefes de Buque o Jefes de Reparación junto con el supervisor del departamento que es el director de proyectos. Los Jefes de Buque son los encargados de llevar a cabo la gestión administrativa del proyecto, así como de mantener las relaciones comerciales con el cliente durante su estancia en el astillero desde la firma del contrato hasta la finalización del proyecto de reparación. De igual forma los Jefes de Buque son, durante ese periodo de reparación, el enlace entre el astillero y el representante del cliente o el cliente.

Departamento Técnico: Está integrado por los siguientes departamentos:



- Departamento de Acero
- Departamento de Tubería
- Departamento de Maquinaria o Mecánica
- Departamento de Electricidad
- Departamento de Pintura
- Departamento de Calidad de producto

La figura que representa el Departamento Técnico es el Director Técnico y cada uno de los departamentos asignados al mismo tiene asignado un Jefe de Área junto con los diferentes Jefes de Equipo subalternos a éste. En este gran departamento están englobados la mayoría de los operarios del astillero. Las funciones del departamento técnico son llevar a cabo la reparación física siguiendo las especificaciones del cliente y las buenas prácticas en materia de reparación naval, realizar el control de horas invertidas, asegurar la calidad final de las reparaciones y generar la documentación técnica necesaria para la ejecución de los trabajos y/o el reporte general al finalizar la reparación. Como nota importante, este astillero como muchos otros astilleros de reparación, no cuenta con oficina técnica de proyectos como tal. Este tipo de peticiones se derivan a una oficina técnica o son gestionados por el Director Técnico, en dependencia de la complejidad del proyecto demandado, el tiempo necesario para su implementación y el alcance de responsabilidad que conlleve.

Departamento de Planta: Es el departamento encargado del manejo de los equipos logísticos, de la instalación de servicios a las embarcaciones y del mantenimiento de las instalaciones y medios logísticos del astillero. Debido a su naturaleza el departamento de Planta está dividido en dos departamentos:

- Departamento de Operaciones Marinas y logística.
- Departamento de Mantenimiento.
- Departamento de Seguridad Industrial.
- Departamento de Medio Ambiente.



Este departamento está dirigido por el director de Planta, el cual tiene a su cargo al Capitán de Dique para gestionar las operaciones de varada y reflote de embarcaciones, al Jefe de Logística para la gestión de las labores logísticas requeridas, al Jefe de Mantenimiento para la gestión y planificación de las labores de mantenimiento, al Jefe de Seguridad Industrial del astillero para la coordinación y gestión de los planes de seguridad del astillero y al Jefe de Medio Ambiente para la elaboración y control medioambiental de las instalaciones.

Departamento de Operaciones Marinas y Logística: Este departamento es el encargado de llevar a cabo todos los movimientos de equipos logísticos y marinos dentro de las instalaciones del astillero. Esto incluye grúas, diques, carretillas elevadoras, camiones de transporte y camiones de reparto de combustible. Su actuación pese a estar fuera del departamento de Producción está íntimamente ligada al mismo.

Departamento de Mantenimiento: Es el encargado de llevar a cabo el mantenimiento de todos los equipos logísticos, de los diques y de las instalaciones en general del astillero. Este departamento pese a estar dirigido por el Jefe de Mantenimiento y tener un personal mínimo para la realización de los mantenimientos preventivos habituales sencillos, suele subcontratarse en dependencia de la naturaleza de los equipo o instalaciones que requieran de mantenimiento. **Departamento de Seguridad:** Es el responsable de elaborar las estrategias y exigencias en materia de riesgos laborales en el marco de la ley y velar por su cumplimiento.

El Jefe de Seguridad Industrial del astillero y/o el personal subordinado delegado a una embarcación son unas de las pocas personas que tienen la potestad de parar cualquier trabajo que se esté ejecutando, en cualquier momento, si el nivel de riesgo de esa tarea está por encima del estimado y/o incumple la normativa vigente en riesgos laborales.

Departamento de Medio Ambiente: Tiene por objeto preservar el medio donde se opera y que la operación del astillero genere el menor impacto medioambiental posible. Es función de este departamento, de igual forma:

- Gestionar la evacuación de residuos de las embarcaciones.
- Coordinar las labores de recogida en situaciones de derrames de residuos.



- Elaborar protocolos de actuación frente a posibles desastres medioambientales.
- Designar y detallar las zonas de desechos dentro de las instalaciones cumpliendo con la normativa vigente de las autoridades competentes.



Figura 39. Departamento de Medio Ambiente

Departamento de Contrataciones y Compras: Bajo este departamento se engloban los siguientes tres

departamentos:

- Almacén.
- Departamento de Compras.
- Departamento de Contrataciones.



4.3. Presentación de los astilleros

Como ya se ha dicho en la introducción de este capítulo, se procede a exponer las distintas opciones de astilleros que se van a utilizar en este trabajo.

Se plantean cuatro astilleros con distintas características. Con las opciones elegidas se pretende abarcar todas las posibilidades en cuanto a capacidad de izado como a infraestructura.

4.3.1. Astillero 1: 1 dique y máxima capacidad de izado

En esta primera opción, el astillero ocupa más de un millón de metros cuadrados de superficie dedicados a la construcción naval y actividades que derivan de ésta.

Dentro de sus instalaciones se encuentra un dique de 525 metros de longitud y 100 metros de anchura, permitiendo la construcción de barcos de dimensiones de 500 metros de eslora y 90 de manga con un peso máximo de 1,000,000 TPM.



Figura 40. Dique seco



Además, el muelle de armamento de 650 metros de longitud, que cuenta con un calado suficiente para poder atender la demanda de buques de estas características.

Se dispone de nueve grúas móviles para realizar los servicios necesarios que pueden levantar hasta 1200 toneladas de carga.

Gran parte de la superficie de este astillero está ocupada por la zona de talleres.

Esta zona consta de un taller de acero, el cual es el principio de la cadena de producción. Aquí se recibe, ordena y almacena el acero recibido para posteriormente enviarlo al taller de herreros. El taller de acero debe ser suficientemente grande para poder absorber la cartera de pedidos. Están equipados con grúas magnéticas que están equipadas de hasta 20 toneladas. Una vez aplanadas las planchas, se chorrean para eliminar suciedades. Posteriormente, se protegen y se agrupan en tamaños para su posterior utilización.

La zona de almacenamiento intermedio, cuyo fin es el almacenamiento. Para ello, se clasifican las planchas por lotes, en cada lote hay todas las planchas para formar uno o más bloques.

El taller de soldadura, donde se forman los paneles juntando las planchas y a partir de estos los bloques estructurales del buque.

La zona de prefabricación, donde se arman los bloques en cuanto al acero y los equipos. El porcentaje de armamento tanto de acero como de equipos, dependen de la capacidad de izado de las grúas. Se almacenan para posteriormente dirigirse a la zona de diques.

El dique seco, donde se arman de forma definitiva los bloques y se unen formando el buque. En esta parte encontramos las grúas con mayor capacidad de izado de todo el proceso, pues su función es levantar las secciones enteras del buque.

Un dique seco es una instalación destinada a colocar las embarcaciones fuera del agua para realizar reparaciones o la construcción de los mismos. Se puede definir un dique seco como una esclusa que se llena/vacía de agua con un sistema de bombas.

Finalmente, la zona de pruebas, donde es trasladado el buque para realizar las pruebas de mar pertinentes antes de que sean entregados.

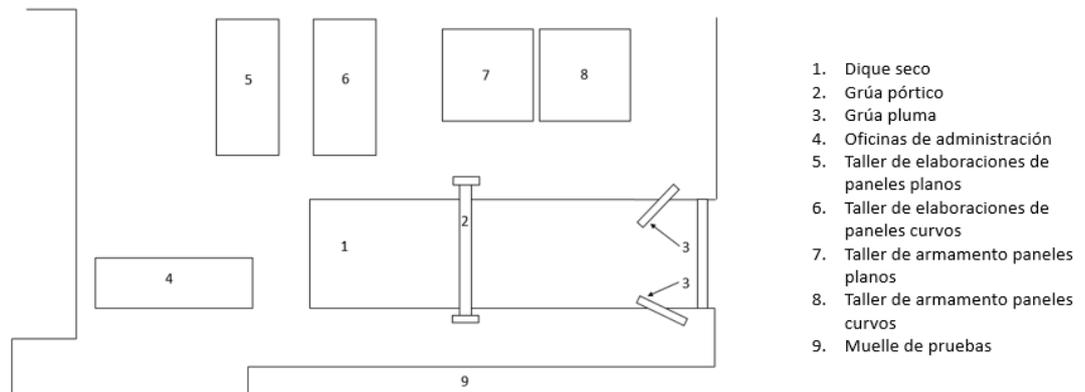


Figura 41. Astillero 1

Las características presentadas en esta opción se corresponden con astilleros de grandes capacidades de construcción, especializados en buques de gran tamaño. Debido a la gran infraestructura, es necesario tener en cuenta que el gasto económico que implica es muy elevado.

4.3.2. Astillero 2: 3 gradas y capacidad de izado media.

En esta opción, la empresa cuenta con medios tecnológicos en construcción naval de los más avanzados del mundo.

Sus instalaciones cuentan con tres gradas con las siguientes dimensiones:

Grada 1, con una eslora de 228 metros y 53 metros de manga.

Grada 2, con una eslora de 228 metros y 53 metros de manga.

Grada 3, con una eslora de 287 metros y 53 metros de manga.



Figura 42. Grada horizontal

En estas gradas se permite un tamaño máximo de buques de 230.000 toneladas de peso muerto con unas dimensiones de 200 metros de eslora y una manga de 46 metros.

La capacidad máxima de izado en estas instalaciones es de 400 toneladas, contando con un total de 16 grúas.

Además, los muelles de armamento suman en total una longitud de 3.000 metros disponibles para las actividades de montaje y/o reparaciones.

Como ya se introdujo en la descripción del astillero anterior, se cuenta con las zonas y talleres propias de un astillero:

- -Taller de aceros
- -Taller de herreros
- -Zonas de almacenamiento intermedio
- -Taller de soldadura
- -Zona de prefabricación



- -Zona de pruebas



Figura 43. Zonas y talleres de un astillero

La mayor diferencia con la opción anterior, sin tener en cuenta que la capacidad de izado es notablemente más baja, es que aquí se cuenta con gradas en lugar de diques.

Una grada es una construcción naval a orillas del mar o río para construir buques. Se destinan a sostener durante mucho tiempo el peso del buque, con lo que ofrecen gran solidez. El suelo donde se apoya el casco debe presentar toda garantía de indeformabilidad mediante picaderos y escoras.

Anexos a toda grada se sitúan los talleres destinados a la confección de las partes integrantes del casco.

Una grada cualquiera longitudinal está dividida en dos partes: una la grada propiamente dicha, que es la que en marea alta no queda bañada por las aguas; y otra, la antegrada, que es una prolongación de la anterior que está sumergida.

La primera sirve para la construcción de los buques y la segunda es la que hace posible el lanzamiento.

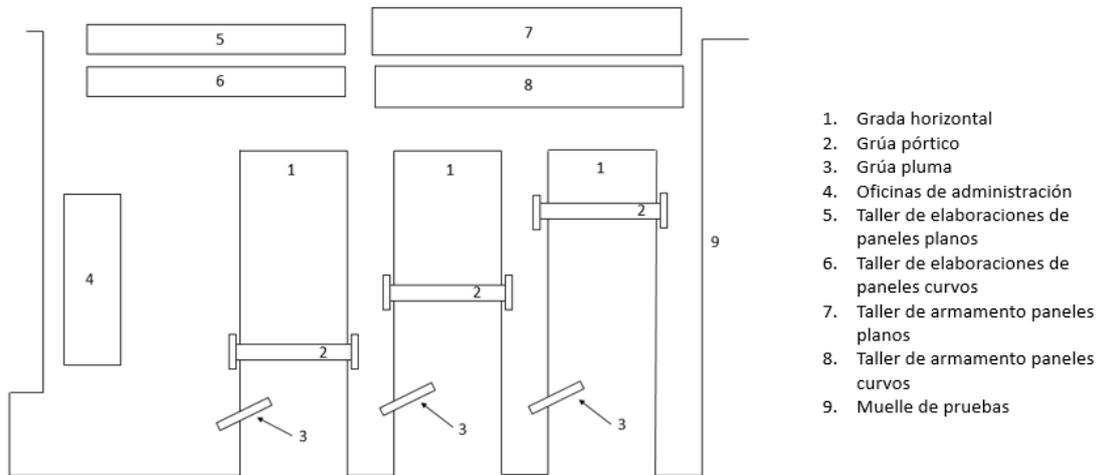


Figura 44. Astillero 2

4.3.3. Astillero 3: 2 gradas inclinadas y capacidad de izado alta.

Las instalaciones recogidas en este astillero son las siguientes:

Grada inclinada 1, con una eslora de 338 metros y 58 metros de manga.

Grada inclinada 2, con una eslora de 338 metros y 50 metros de manga.



Figura 45. Grada inclinada

Estas gradas permiten la construcción de embarcaciones de tamaño máximo de 300 metros de eslora y 40 metros de manga, con la utilización simultánea de ambas gradas, y con un peso máximo de 400.000 toneladas de peso muerto.

La capacidad de las grúas es alta, 800 toneladas, contando con 11 grúas y una grúa pórtico.



Figura 46. Grúa pórtico

Los muelles de armamento disponen de una extensión total de 1.100 metros de longitud con una profundidad suficiente para albergar buques de gran envergadura.

Igual que en las anteriores opciones descritas, dispone de los talleres e instalaciones necesarias para llevar a cabo todos los trabajos, pero con la diferencia de que en este caso se dispone de gradas inclinadas.

Una grada inclinada se define igual que una grada horizontal, descritas en la opción anterior, pero con la diferencia de se construyen sobre un plano inclinado con pendiente hacia el agua sobre el cual se construye el barco.

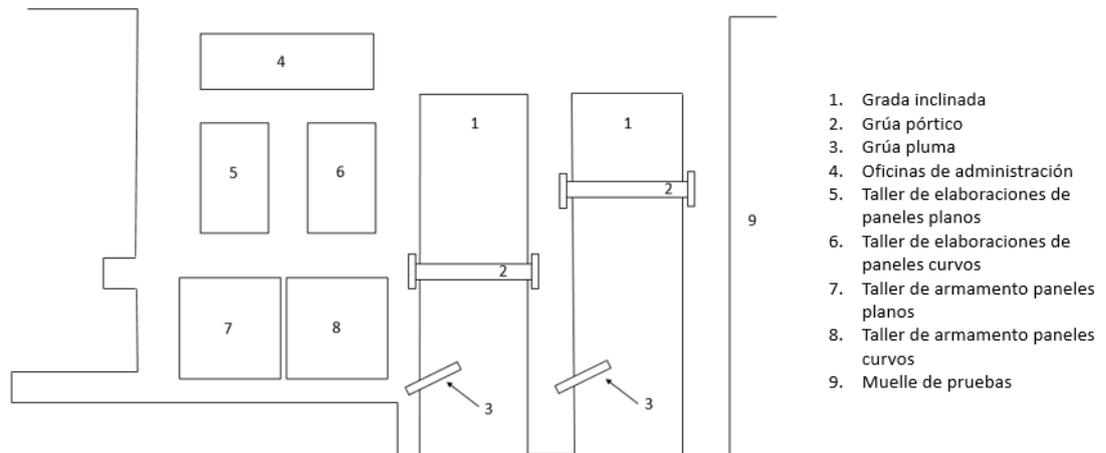


Figura 47. Astillero 3

En el aspecto económico, estas construcciones resultan menos costosas, pero, por el contrario, presentan algunas limitaciones en cuanto a las opciones de armamento en grada posibles.

4.3.4. Astillero 4: 3 diques y capacidad de izado mínima.

En esta última opción, se cuenta con una superficie de instalaciones muy grande con una fábrica de sistemas de última tecnología donde se desarrollan sistemas de seguridad marítima de aplicación civil.

Los diques secos disponibles tienen las siguientes dimensiones:

Dique 1, 237 metros de eslora y 34 metros de manga.

Dique 2, con una eslora de 246 metros y una manga de 41 metros.

Dique 3, con eslora de 387 metros y una manga de 67 metros.

En estas instalaciones se pueden construir buques de hasta 350 metros de longitud, una anchura de 50 metros y un calado medio de 10,5 metros.



Se dispone de un total de 8 grúas que pueden soportar 100 toneladas como capacidad máxima de izado.

Los muelles de armamento proporcionan 2.300 metros de longitud disponibles para las tareas armamento.

Al igual que todas las opciones descritas, se cuenta con todas las instalaciones propias de un astillero.

Las características descritas en esta última opción se corresponden con astilleros de reparación, debido a su limitada capacidad de izado. Esto creará una dificultad que se verá posteriormente ya que la finalidad de este trabajo es la construcción de un nuevo buque.

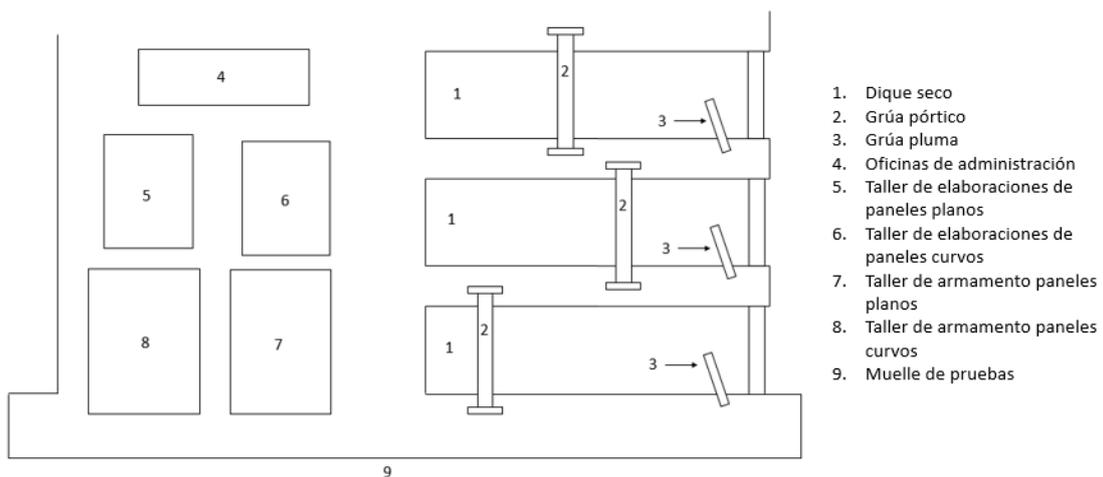


Figura 48. Astillero 4



A continuación, a modo de resumen del presente capítulo se adjunta una tabla recogiendo los datos más importantes de los cuatro astilleros.

Tabla 21. Características de los astilleros

	Astillero 1	Astillero 2	Astillero 3	Astillero 4
Capacidad de carga (t)	1200	400	800	100
Número de grúas	9	16	11	8
Número gradas/diques seco	1 dique	3 gradas	2 gradas inclinadas	3 gradas
Eslora máxima gradas/diques (m)	525	200	300	350
TPM máximo (t)	1.000.000	230.000	400.000	26.500
Longitud muelle armamento (m)	650	3.000	1.100	2.300



4.4. Bibliografía

Breve reseña, artículo de internet, descargado el 27 de marzo de 2018 de:
https://es.wikiversity.org/wiki/Ingenier%C3%ADa_naval/Construcci%C3%B3n_naval#Estructura_de_un_astillero

Breve reseña, artículo de internet, descargado el 27 de marzo de 2018 de:
<https://diccionarioactual.com/dique-seco/>

Breve reseña, artículo de internet, descargado el 27 de marzo de 2018 de:
https://es.wikipedia.org/wiki/Grada_%28n%C3%A1utica%29

Breve reseña, artículo de internet, descargado el 28 de marzo de 2018 de:
http://www.navantia.es/interior.php?id_sec=2&id_pag=7

Salazar, M. Astillero de Reparación. Trabajo fin de grado. Universidad de La Laguna.



5. Definición de opciones



Trabajo final de máster

DESARROLLO DE ALTERNATIVAS PARA LA ESTRATEGIA CONSTRUCTIVA DE UN BUQUE GRANELERO DE 40.000 TPM

Autor

Cristina Sanchis Selfa

Director

Dr. Carlos A. Mascaraque Ramírez



En el presente capítulo se procede a desarrollar las diferentes estrategias constructivas elegidas para llevar a cabo los análisis en cada propuesta de astillero que ha sido definida en el capítulo 5.

Para ello, primero se va a hacer una revisión del estado del arte en los métodos de construcción naval, con el propósito de entender las opciones que se han escogido para su estudio.

5.1. Métodos de construcción naval en buques de acero

Desde siempre, para la construcción de buques se había seguido un método convencional, es decir construir de uno en uno, y sobre la grada o dentro de un dique seco, empleando tiempos elevados para la fabricación. Por entonces ya se empleaban piezas para dicha construcción fabricadas en serie por ser iguales como por ejemplo el caso de los elementos de unión (consolas, corbatas, refuerzos, algunas planchas iguales, etc.). Con ese sistema se colocaba la quilla sobre la grada o dique y se iban añadiendo las diferentes partes del casco, una vez construido se procedía a meter la maquinaria para lo cual se practicaban agujeros o se abrían grandes huecos conocidos como cesáreas, con esta práctica no es de extrañar que un buque mercante se construyera en unos dos años aproximadamente, tiempo limitado por el tamaño del buque y empleo al que sería destinado.

Para los buques de guerra este tiempo aumentaba considerablemente por la complejidad de su construcción, que añadido a su tamaño y tipo superaba los cuatro años, como mínimo.

Durante la primera guerra mundial algunos astilleros llevaron a cabo experimentos y ensayos para poder construir buques en grandes cantidades y con mayor rapidez, (Ford por ejemplo tenía que construir 100 patrulleras clase Eagle de las cuales solo llegó a 60) dichas actuaciones fueron el preámbulo de la construcción de buques en serie.

Es durante la segunda guerra mundial cuando con la construcción de los buques Liberty, se comenzaron a emplear métodos usados en la industria automovilística. Los Liberty fueron construidos a un ritmo elevado pues eran botados casi acabados y en



aproximadamente 9 días eran acabados totalmente, el método fue aplicado también en la construcción de buques de guerra a propuesta de Henry J. Kaiser que fue el promotor del sistema de construcción para los Liberty propuso por el mismo método la construcción masiva de portaviones para ello se creó un astillero al efecto en Vancouver, en el rio Columbia, estado de Washington en el cual entre 1942 y 1944 se construyeron 50 portaaviones de la clase Casablanca, uno de ellos el Attu fue construido en un plazo de 75 días desde la colocación de la quilla hasta su puesta en servicio el día 30 de junio de 1944.

Alemania usó un método muy similar para la construcción de los submarinos tipos XXI y XXIII que se construían en módulos acabados casi por completo y eran ensamblados en un refugio antibombardos o por necesidades de espacio al aire libre en astilleros específicos para ese trabajo de montaje.

5.1.1. Construcción naval en la posguerra

Tras finalizar la segunda guerra mundial y ya durante el auge de la construcción naval a comienzos de los años sesenta, japoneses y coreanos comenzaron a aplicar técnicas de construcción integrada en serie para buques mercantes como graneleros y petroleros siendo el método adoptado paulatinamente por otros países en principio para las mismas aplicaciones (buques mercantes y con el paso del tiempo para toda clase de buques incluidos los de guerra).

5.1.2. Tipos o métodos de construcción

Son dos los métodos de construcción uno es la construcción modular y otro la construcción modular integrada.



- **Construcción modular.**

El diseño modular consiste en un proyecto común que puede ser modificado en cualquier momento y obedece a necesidades puntuales del armador o cliente por el cual una vez iniciado el proyecto se puede sustituir un módulo por otro.

En este proceso, se construye una plataforma o buque común para todos los modelos, pero también los módulos se hacen con arreglo a las exigencias del cliente, el módulo a sustituir tiene las mismas medidas que el módulo sustituido, pero incorpora las variaciones solicitadas.

- **Construcción modular integrada:**

El diseño modular integrado tiene la particularidad de que los módulos se construyen íntegramente en el taller e incorporan todos o casi todos los elementos interiores como tuberías, líneas eléctricas e iluminación, carpintería, maquinaria, etc. Llegando al lugar de montaje totalmente listos incluido el chorreado y pintado. El proceso es rápido, lo que implica un menor coste del proyecto.

El método de este diseño es un trabajo previo en el taller de prefabricación en el cual se hacen las piezas (cuadernas corbatas, consolas o cartabones, corte de mamparos y chapas a medida, etc. y se montan paneles, (mamparos y cubiertas).

La segunda fase consiste en el montaje de los bloques, se reúnen en una nave los materiales que constituyen un bloque y se van montando; la peculiaridad del método consiste en que los bloques se montan al revés, de modo tal que primero se coloca el techo que tiene el bloque y se van colocando sobre el los diferentes elementos que lo constituyen, de tal forma que los operarios trabajan sobre la parte inferior del techo, se debe tener presente que durante el montaje por este método, la posición del techo es abajo y la de babor o estribor cambia respecto a proa y popa porque si se mira a proa estribor no está a la derecha mientras el bloque esta invertido.

Una vez acabado de montar, se procede a soldar todos los elementos de chapa y refuerzos que no habían sido soldados para con posterioridad proceder al montaje de soportes para tuberías, las mismas tuberías, (agua, combustible, aceite, aire acondicionado, cables correspondientes al propio bloque, maquinaria, etc.).



Finalizada la etapa anterior, se procede a una inspección del bloque y se corrigen aquellos defectos que detecten los inspectores de calidad y posteriormente los del seguro y armador, pasada la inspección, se lleva a cabo el ensamblaje de los bloques entre sí, dando vuelta al bloque y colocándolo en la posición correspondiente en el buque, se acopla y se suelda se conectan tubos y se colocan los cables que unen los circuitos de ambos bloques, se introducen determinados aparatos delicados que se montan una vez acoplados los bloques y no son de excesivo tamaño se acaba todo el armamento y se procede a la botadura. A partir de ese momento, sólo quedara ultimar los detalles pendientes y proceder a las obligatorias pruebas antes de la entrega del buque al cliente.



Figura 49. Fases generales de la construcción modular integrada



Figura 50. Módulo

5.2. Presentación de las opciones

Haciendo un breve repaso de los métodos de construcción de buques de acero, existen dos formas muy diferenciadas para hacerlo. La primera de ellas, y la más convencional, en el que se construía el buque completamente sobre la grada; la segunda, la construcción modular, en la cual se dividía la embarcación en módulos que se montaban en los talleres y después se transportaban a la grada o dique seco.

La primera de las opciones queda totalmente descartada, puesto se trata de un método obsoleto en el que el tiempo invertido en la construcción de un solo buque es muy elevado. Al igual que el tiempo, el factor coste también se puede afirmar que es elevado, debido a los medios que se necesitan para montar las partes estructurales y equipos.

A priori, se puede confirmar que la opción óptima para realizar la construcción de cinco buques graneleros es la construcción modular gracias a su carácter de construcción en serie.

Los módulos son componentes complejos del buque estructuralmente independientes de la estructura principal, incluyen servicios completos o casi completos



y se construyen en los talleres. Incluyen toda la tubería, cableado, soportes, equipos, y sus interconexiones, así como el tratamiento superficial. Se fabrican sobre estructuras autoportantes en talleres y una vez terminados y probados se llevan a la grada con vehículos especiales de gran capacidad, y se izan a bordo. Esto permitía simultanear el trabajo de las estructuras de acero con el de armamento, lo que se traduce en un ahorro de tiempo.

Se trata de planificar todas las operaciones de fabricación del barco en su punto más alejado de la entrega, proyectando de un barco adecuado para el cliente a la vez que se establece un criterio sólido de simultanear las operaciones para acortar el ciclo total de fabricación.

Otro rédito de gran importancia de este método hace referencia al coste, ya que montar un tubo en la grada por el procedimiento tradicional, con las necesidades de los grandes medios de izado, andamiajes, trabajo incómodo, etc. que implica, es mucho más caro que montar ese mismo tubo en un taller a cubierto, con acceso a nivel del suelo y los recursos del taller. De hecho, en el taller cuesta, de media, un tercio de lo que lo hace a bordo.

Además, en la ingeniería orientada a la producción se produce una mejora en los procesos de producción. Por ejemplo, en la fabricación de estructuras planas de acero reforzado, la solución fue la automatización de los procesos de soldadura de chapas para formar un paño plano completo, el posicionamiento automático de los refuerzos, y su soldadura posterior.

Sabiendo esto, se exponen las opciones que se han visto más interesante para ser objeto de estudio en el proyecto que nos ocupa.



5.2.1. Montaje por popa

Se trata de iniciar el armamento en grada o dique por el bloque de popa. A rasgos generales podría describirse los pasos a realizar en este tipo de montaje: Se trata de colocar el bloque de popa realizando el armamento de popa a proa. Se coloca sitúa y arma la popa, siguiendo por sus bodegas y finalmente su proa.

La superestructura está situada sobre el bloque de popa y su montaje se debe hacer a partir de que exista suficiente base, formada por los bloques de la popa y de las bodegas, asegurando la integridad del conjunto. Siempre que sea posible, tanto en esta opción como en las siguientes, el montaje del bloque de la superestructura debe solaparse con el de los demás bloques con objeto de reducir tiempo de construcción. Para esto, se debe tener en cuenta que existe ciertos trabajos que no puede coincidir en tiempo, como son su izado y transporte con las grúas.

El montaje por popa constituye la opción constructiva más utilizada, debido a que se puede realizar tanto en dique seco como en grada horizontal e inclinada.

A priori, se podría decir que esta es una buena elección en cuanto a plazo se refiere; ya que iniciar el armamento en grada por la popa se traduce en empezar por la parte más costosa y después ir añadiendo las siguientes partes que son más sencillas. La construcción del buque es más lenta en un inicio, pero conforme avanza se va haciendo más fluida. Esto tiene una ventaja implícita y es que, se puede dar el caso en el que el armamento de la popa no esté finalizado, pero es suficiente como para trasladar la bodega contigua e iniciar los trabajos en ella. Por lo que se tendrían dos frentes de trabajo abiertos y no se producirían retrasos.

A continuación, se mostrará gráficamente el orden general de montaje de los bloques en grada que se acaba de presentar.

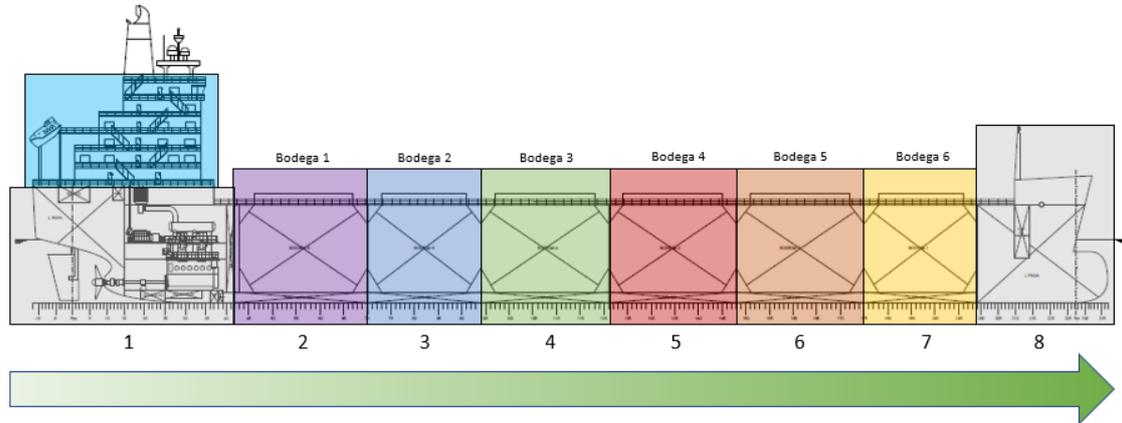


Figura 51. Proceso de montaje por popa

En la imagen aparece de forma numerada la secuencia de montaje, como se ve, la superestructura no está dentro de esta numeración. Como ya se ha dicho anteriormente, el montaje e izado de la superestructura se hará simultáneamente con otros trabajos por lo que dependiendo de la opción que se esté analizando este trabajo se llevará a cabo antes o después.

5.2.2. Montaje por popa y por proa a la vez

Esta segunda opción consiste en abrir dos frentes de trabajo. Su procedimiento sería el siguiente: trasladar los bloques de popa y proa a la grada o dique y posteriormente ir haciendo lo mismo con cada una de las bodegas. La cuestión de que bloque montar primero, popa o proa, se deja libre para analizarse según las instalaciones del astillero.

Esta opción resulta más compleja que la anterior, puesto inicialmente ya se plantean trabajos simultáneos en distintas partes del buque. También resulta lógico pensar que esta estrategia constructiva requiere un menor plazo ya que la carga de trabajo está más concentrada en el tiempo.

El montaje de la superestructura no se puede solapar con el montaje de dos bodegas. Puesto que en esta opción se analiza el realizar trabajos en dos bloques de forma simultánea, no se puede añadir otro bloque más puesto que las capacidades de las instalaciones son limitadas. Por ello, la superestructura de deberá trasladar a la grada o



dique en el momento en el que solo se esté trabajando en un bloque, lo que ocurrirá puntualmente.

Resulta necesario destacar la dificultad que presenta este método. El realizar los montajes por popa y proa a la vez, implica que cuando ya estén todos los bloques montados se deberá mover una de las dos partes para tener el buque completo, es evidente que tratándose de buques de gran tamaño esta acción representa un gran peligro en cuanto a la integridad estructural y dimensional de todas las partes y componentes. Para paliar esto, el proceso que se sigue es el de montar todos los bloques hasta llegar al último de ellos, el cual estará situado más o menos en la parte central del buque. Éste bloque se construirá más pequeño en los talleres, dejando las últimas planchas de acero sin soldar para que esta soldadura se haga directamente en grada. De esta forma, al trasladar esta unidad a la grada, por una parte, se soldará de forma directa a una parte del buque ya montada y por la otra habrá que colocar las planchas de acero que faltan y realizar su soldadura.

La necesidad de realizar este especial procedimiento con la última unidad provoca un aumento del tiempo invertido y restringe las instalaciones en las que se puede utilizar este tipo de montaje.

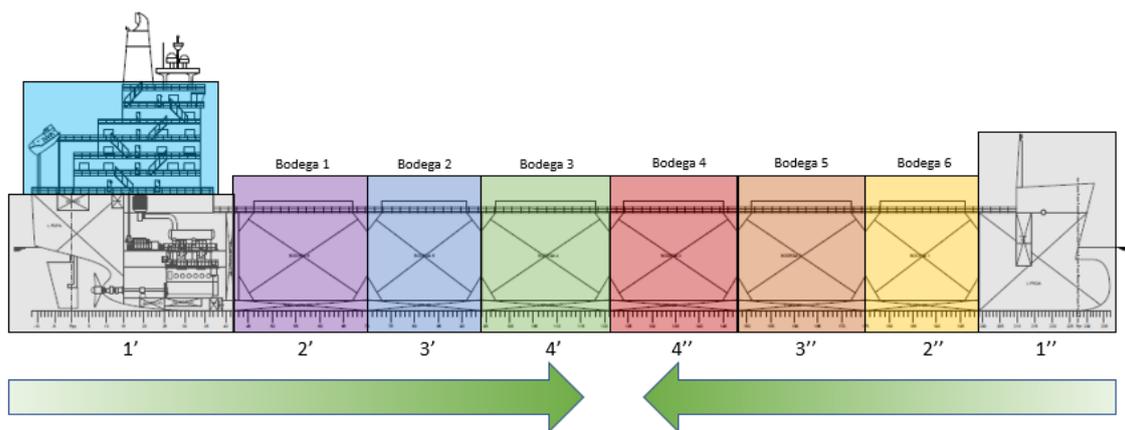


Figura 52. Proceso de montaje por popa y proa a la vez

En la imagen adjuntada, se muestra el procedimiento de montaje de bloques. A primera vista puede resultar confuso, pero debido a que se empieza por popa y por proa



a la vez y a partir de ahí se van montando las gradas depende de las características de cada astillero la secuencia concreta de los bloques. La superestructura tampoco aparece numerada en esta opción ya que según el astillero se “encajará” este trabajo cuando no se solape con el armamento de dos bloques.

5.2.3. Montaje empezando por bodegas

Consiste en comenzar el trabajo colocando una de las bodegas central, abriendo dos frentes de trabajo simultáneos, hasta llegar por último a la popa y la proa.

Los resultados obtenidos en esta opción pueden variar mucho en función de que bloque de bodegas se decida colocar el primero. Como se tienen seis bodegas, resulta más difícil la elección de cuál será la primera. No se ha fijado un criterio de cuál va a ser la unidad con la que se inicie el montaje en grada, creando más opciones a analizar, lo cual es el objetivo de este trabajo.

Igual que el montaje descrito en la opción anterior, en esta opción también se propone realizar trabajos simultáneos pudiendo sacar provecho de la reducción del tiempo invertido en el armamento en grada, al producirse una mayor concentración de trabajo. Este trabajo simultáneo también presenta la ventaja de que, si se produjese un retraso en la recepción de equipos o surgiese un problema que impidiese seguir montando en una de las partes, no se pararía la construcción del buque puesto que hay otro frente de trabajo abierto en el cual se podría seguir invirtiendo el tiempo y esfuerzo de los trabajadores.

El montaje de la superestructura en esta opción lo más probable es que se retrase hasta el último momento puesto que el bloque de proa será uno de los últimos a montar. Uno de los objetivos en esta opción será intentar realizar el montaje de la superestructura de forma simultánea con el de un bloque, para no invertir un tiempo extra armando solo esta parte.

A diferencia de la opción de montaje por popa y por proa de forma simultánea, aquí no se requiere ningún procedimiento especial con el último bloque ya que no se produce la situación en la que el buque se ve dividido en dos y haya que unirlos.



En la imagen mostrada, como en las opciones anteriores se muestra la secuencia de montaje general de esta estrategia constructiva. Ocurre lo mismo que en el montaje por proa y por popa a la vez, el orden exacto de montaje se establecerá en función de las capacidades de las instalaciones y los trabajos dedicados a la superestructura se realizarán cuando no coincidan con dos bloques.

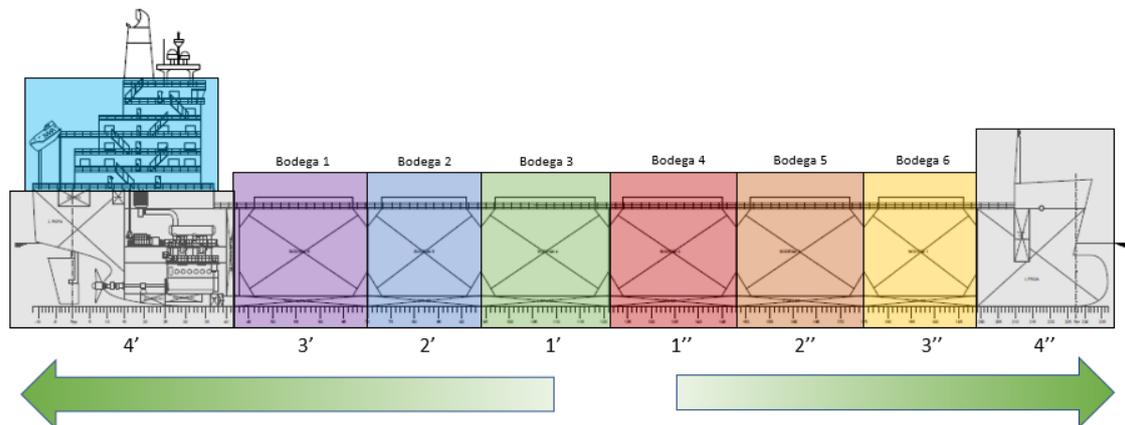


Figura 53. Proceso de montaje por bodegas

5.2.4. Montaje por proa

Esta última propuesta guarda un gran parecido con la primera que se ha desarrollado.

El montaje por proa consiste en que la primera unidad a colocar es la proa, seguido de las bodegas, la popa y por último la superestructura. Resulta evidente que el procedimiento a seguir coincide con el primero explicado, pero a la inversa.

Como el primer bloque que se monta es la proa, el inicio del armamento en grada de los buques resulta, inicialmente, más fluido que empezando por el bloque de popa. Pero tiene la contrariedad de que el final de la construcción del buque se alargue demasiado, puesto hay que colocar y armar la proa y después la superestructura. Hay que comentar, que es interesante estudiar el montaje solapado del bloque de popa y el de



superestructura. Esto resulta delicado pues la superestructura está situada exactamente encima de la popa, por lo que este solapamiento solo sería posible en ciertos casos:

- Cuando la duración del armamento en grada de la popa sea suficientemente grande.
- Cuando la estructura del bloque de popa esté suficientemente completada para que sea capaz de soportar el peso de la superestructura.
- Cuando no se requieran tareas de izado y otros trabajos delicados que coincidan en el tiempo

De forma que, si se cumple estas condiciones y se montan simultáneamente estas unidades, lo más probable es que este montaje esté dentro del marco competitivo en cuanto a plazo se refiere.

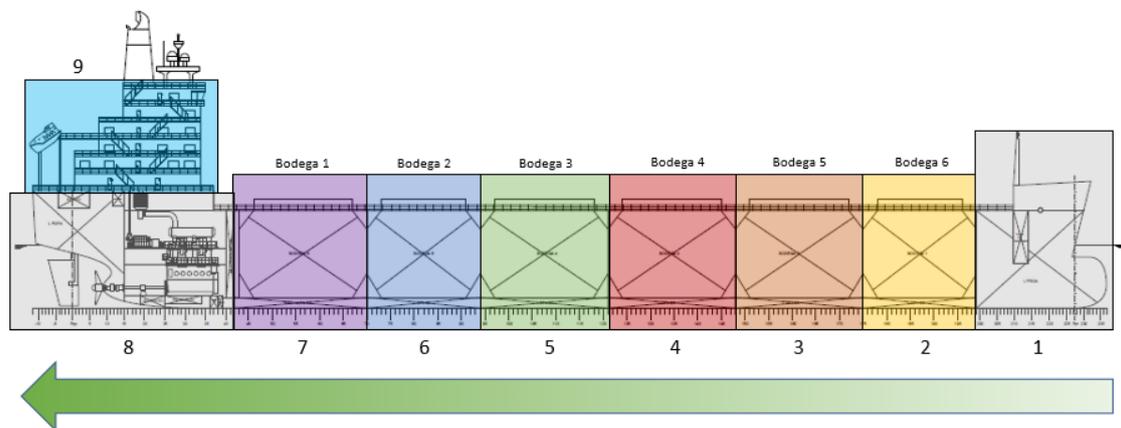


Figura 54. Proceso de montaje por proa

En la imagen, igual que anteriormente, se muestra la secuencia de montaje de los bloques. Este es el caso en el que resulta más sencillo, como se puede observar ya que al empezar por proa solo hay un frente de trabajo abierto y la superestructura es el último bloque que trasladar a las gradas.

En resumen, este capítulo se ha dedicado a explicar las distintas estrategias constructivas que han resultado más interesantes para su estudio. Cabe destacar que la secuencia de bloques mostrada en las imágenes puede variar dependiendo de otros



*Desarrollo de alternativas para la estrategia constructiva de un
buque granelero de 40.000 TPM*

factores, lo que se verá en el capítulo correspondiente. También hay que decir que este despiece de bloques se ha hecho de forma general, sin estudiar en profundidad ninguna de las opciones, por lo que puede haber variaciones cuando se proceda al análisis de las combinaciones.



5.3. Bibliografía

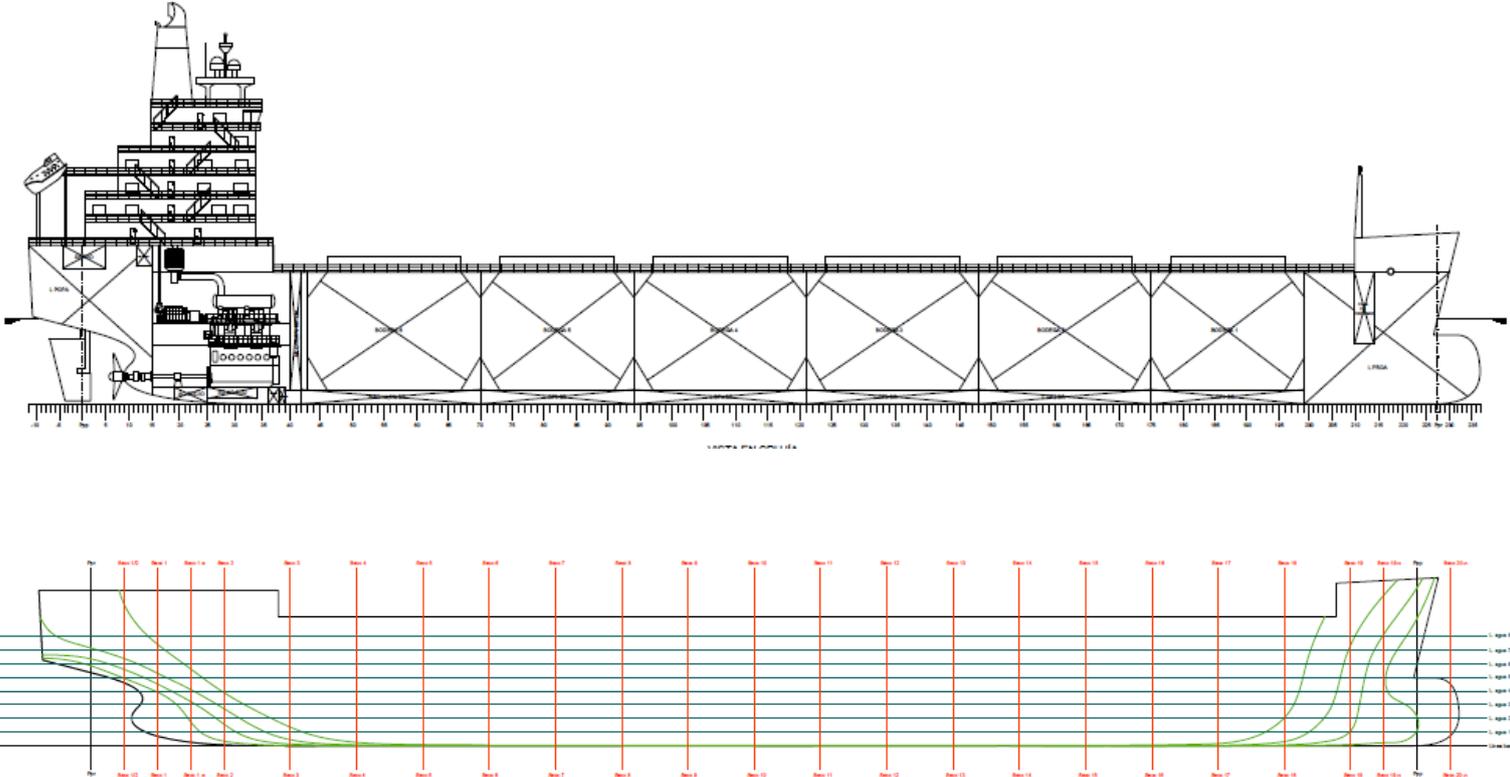
Breve reseña, artículo de internet, descargado el 20 de marzo de 2018 de:
<http://www.forosegundaguerra.com/viewtopic.php?f=25&t=4755&sid=3e6b0718e96b40078470108cf36ed6f5>

Echeverría, J. Tecnologías internacionales de construcción naval desarrolladas en el País Vasco, 2006.

Thorntoon, J.R. Construcción y reparación de buques y embarcaciones de recreo.



6. Resultados de las opciones propuestas



Trabajo final de máster

DESARROLLO DE ALTERNATIVAS PARA LA ESTRATEGIA CONSTRUCTIVA DE UN BUQUE GRANELERO DE 40.000 TPM

Autor

Cristina Sanchis Selfa

Director

Dr. Carlos A. Mascaraque Ramírez



Llegados a esta parte del trabajo, se procede a exponer los resultados obtenidos de los conjuntos formados por las combinaciones de las instalaciones y las opciones constructivas. Antes de analizar estas situaciones, deberán abordarse ciertas cuestiones de interés de modo que se comprendan algunos términos básicos tratados en el estudio realizado.

El primer punto por considerar es el proceso constructivo de un buque, desde la elaboración de sus paneles hasta sus pruebas en mar. Es fundamental describir de forma general el proceso constructivo de un buque y los puntos a tener en cuenta en la definición de los bloques.

El segundo punto se trata del tiempo invertido, como ayuda para entender, establecer y justificar esta cuestión se recurre a la introducción del takt time como herramienta de trabajo. Además de esto, se ha realizado una búsqueda intensiva de artículos y documentación con los que se han razonado los periodos y plazos establecidos.

6.1. Despiece de bloques

La optimización de los bloques es un objetivo clave para un buen sistema de fabricación y montaje del casco, aunque su impacto también es considerable para el éxito del armamento y del pintado por zonas. El despiece es la decisión de mayor influencia en la obtención de una alta productividad. Los bloques deben definirse de forma que:

- Se facilite y simplifique su propia fabricación y ensamblaje.
- Permitan un montaje en grada o dique lo más rápido y cómodo posible.
- Tengan el tamaño y disposición adecuados para realizar su armamento y pintado en condiciones rentables y seguras.

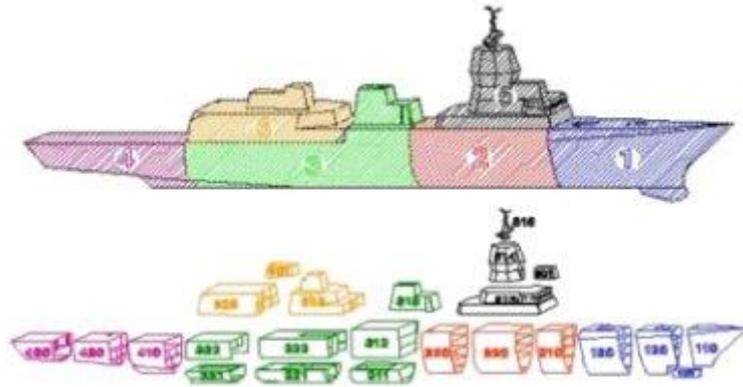


Figura 55. Despiece de los bloques de un buque

Los criterios técnicos que se recomiendan para conseguir un buen despiece son los siguientes:

- Adoptar los mayores tamaños y pesos que las instalaciones y procesos de ensamblaje/armado y de montaje de astillero permitan. Cuando el tamaño y peso de los bloques que pueden construirse dentro de talleres cubiertos y especializados es muy inferior a la capacidad de las grúas de montaje en grada, se puede presentar la disyuntiva de armar un bloque grande junto a la grada. Debe desecharse tal alternativa, a fin de permitir una unión fácil de varios bloques construidos en talleres y acoplados bajo las grúas de la grada.
- Minimizar el número de bloques a montar en grada/dique, es preciso mediante la unión de bloques que se han dimensionado pensando en su ensamblaje, para construir unidades de montaje que aprovechen al máximo la capacidad de los medios de elevación disponibles.
- Seleccionar procesos de ensamblaje y de montaje que proporcionen la mayor seguridad para los trabajadores.
- Seleccionar procesos de ensamblaje y de montaje que faciliten conseguir las dimensiones teóricas previstas y que proporcionen por sí mismos la suficiente rigidez (sin tener que ser reforzados).
- Minimizar las necesidades de andamios, número de izadas y de volteos, etc., tanto en su montaje como en su armado.



- Completar los procesos de soldadura asociados para disminuir/eliminar las soldaduras en posiciones difíciles y sustituirlas por soldaduras bajo mano.
- Completar los procesos de soldadura asociados para incrementar las uniones soldadas con medios automáticos frente a las soldaduras semiautomáticas o manuales.
- Definir los límites de bloques de forma simple y lógica.
- Buscar la mayor repetitividad entre los bloques, especialmente en el cuerpo cilíndrico. Esta faceta permite repetir los productos intermedios constituyentes, reduciendo sus costes tanto en producción como en ingeniería.
- Considerar los tipos de problemas constructivos y las etapas de fabricación para adaptarse al máximo a las líneas de proceso establecidas.
- Facilitar los flujos de producción mediante el equilibrado de los tiempos y cargas de trabajo necesarios para la fabricación de piezas y de conjuntos y para el ensamblaje de los propios bloques. Este criterio puede requerir a veces, soluciones que incrementan las horas de ingeniería, al desplazar trabajos que tradicionalmente se hacen durante el ensamblaje de un bloque a una etapa anterior.
- Analizar cómo y cuándo disponer los componentes del armamento en los tanques estructurales y en las bodegas de carga.
- Analizar cómo y cuándo disponer la maquinaria de amarre y fondeo, los quipos y tuberías sobre cubierta.
- Analizar cómo y cuándo disponer la maquinaria propulsora, los equipos más importantes y los módulos principales en la zona de máquinas.
- Maximizar los tratamientos de pintado en los bloques y/o en las unidades de montaje antes de su montaje en grada o dique, prestando especial atención a las zonas de unión por las dificultades y riesgos de los trabajos de acoplamiento y soldadura en superficies del casco ya protegidas.



- Determinación del armamento a realizar en bloques y/o unidades de montajes, con los incrementos de peso correspondientes para no exceder de las capacidades de los medios de elevación disponibles.

6.2. Takt time

La palabra takt time viene del alemán taktzeit que si lo pones en un traductor te dice que es tiempo de ciclo, pero a diferencia del tiempo de ciclo que se conoce, este mide el ritmo de trabajo en una planta de manufactura.

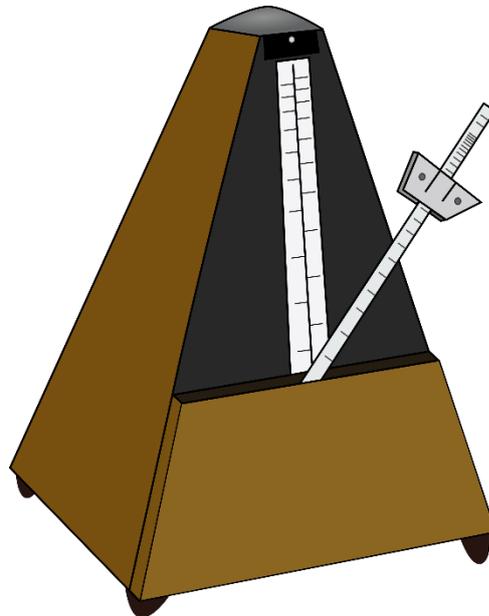


Figura 56. Takt time

Este takt time es el ritmo en que los productos deben ser completados o finalizados para satisfacer las necesidades de la demanda. Con ello se consigue cumplir con los plazos de entrega y, por tanto, evitar tener más existencias de las que son realmente necesarias. Así pues, además de cumplir con los plazos se debe averiguar si se consigue también con los costes y la calidad. Para comprobar esto, básicamente se miden los tiempos de ciclo mínimos de cada puesto de trabajo para compararlos con el takt time. Las diferencias determinarán el nivel de productividad potencial que se tiene. En este punto es donde se empieza a tomar datos con objeto de determinar la importancia que tienen cada una de las



ineficiencias (falta de materiales, esperas, no calidad, etc) y dar prioridad a las acciones de mejora para reducir o eliminar los problemas que impiden ser más eficientes.

6.2.1. Beneficios del takt time:

- Fácil identificación de los cuellos de botella debido a que la producción se hace bajo una línea de tiempo, es decir, el producto no se mueve en el tiempo.
- Fácil identificación de las estaciones que frecuentemente son inutilizadas.
- El tiempo para agregar valor al trabajo es limitado, por lo que se evita gastar ese tiempo en cosas que no dan valor al trabajo como es la puesta a punto, la recopilación de herramientas, el transporte de productos, etc.
- Se aumenta la productividad por parte de los trabajadores y de las maquinas debido a que no tienen que adaptarse a nuevos procesos diariamente pues ellos realizan tareas similares.
- No se pierden los productos dentro de los talleres, debido a que son atrapados y no pueden salir de la línea de producción.
- La producción es nivelada y a un ritmo estable.
- No hay exceso de producción, es decir se produce solo lo necesario.
- Se tiene un flujo de componentes estable y nivelado.
- En cada proceso hay el número correcto de operarios.
- Se obtiene una mayor capacidad para planificar otras actividades de la producción.
- Se minimiza el número de transportes adicionales.
- Se tiene control sobre el stock de productos en proceso.
- Se puede calcular para productos individuales o para familias de productos.



6.2.2. Desventajas del takt time:

- Cuando la demanda del cliente aumenta tanto que el Takt Time corre el riesgo de colapsarse, muchas tareas han de ser reorganizadas para que duren incluso menos y de esta forma encajen en un sistema Takt Time más breve, o bien han de ser divididas en dos estaciones para cubrir la misma tarea (lo cual implica que otra estación tiene que reducir su espacio físico para dar cabida a la estación doblada dentro de la línea de producción establecida, y los trabajadores se han de adaptar a la reducción de espacios que esta conlleva).
- Cuando una estación por cualquier motivo se avería la línea completa se detendrá súbitamente, a menos que exista una capacidad de absorción por parte de las estaciones precedentes de los productos que se puedan acumular, y de la misma forma que las siguientes estaciones tengan capacidad para alimentarse de otros productos.
- Un Takt Time demasiado breve puede producir un estrés considerable en las partes móviles o engranajes de un sistema o subsistema de producción. En sistemas o subsistemas automatizados incrementar el estrés mecánico aumenta la posibilidad de averías, y en sistemas o subsistemas no automatizados el personal ha de enfrentarse tanto a estrés físico (el cual aumenta el riesgo de daño por movimiento repetitivo), como un incremento de estrés emocional y/o una pérdida de motivación, hasta el punto de aumentar el absentismo laboral.
- Las tareas tienen que ser niveladas para asegurar que no hay sobreproducción de algunas estaciones que provocan acumulaciones de productos antes de las siguientes estaciones que éstas no pueden absorber. Esto disminuye la flexibilidad del sistema y su funcionamiento como un todo.
- El concepto de Takt Time no cuenta con factores humanos tales como que un operador necesita una pausa inesperada para ir al baño o un breve periodo de descanso entre tareas (especialmente para procesos que implican una actividad física significativa). En la práctica esto significa que los procesos de producción deben ser realistas y tener la capacidad de operar en determinadas circunstancias



sobre el Takt time estándar, y la demanda debe ser nivelada para evitar que la capacidad de la línea de producción no se desperdicie.

6.2.3. Takt time en la industria naval

La aplicación del takt time es un poco menos obvio en la construcción naval.

En primer lugar, el takt time es largo para los buques. Comparando con la industria automovilística, el takt time es de 60 segundos por automóvil mientras que un barco puede ser completado en seis meses o más. Un takt time de seis meses es tan largo que resulta complejo dividir las tareas para establecer el ritmo de producción.

En segundo lugar, el takt time puede variar considerablemente de un buque a otro, dependiendo del tamaño y complejidad del buque. Del mismo modo, cada buque se compone de un gran número de partes que no se repiten y cada parte puede tener un takt time diferente. Pensar en takt time tiene sentido cuando se concibe como una colección de unidades más pequeñas.

La primera cuestión que debe resolverse hace referencia a los tiempos de entrega, cada cuánto tiempo debe salir un barco de la grada o el dique seco, ya que dar respuesta a esta incógnita inicial será la base para establecer un cronograma de entrega.

A partir de esto, sería posible identificar el tiempo que se debe invertir en cada una de las partes y componentes del buque para cumplir con el plazo establecido. Por ejemplo, hay muchos bloques que componen un barco y los que obviamente se construyen en paralelo y en menos tiempo del tiempo establecido como total para el armado completo del casco, así se podría definir un takt time para los bloques.

Esto es exactamente lo que hace a los astilleros más competitivos.

Los bloques individuales están programados para que estén completos justo a tiempo para construir grandes bloques, los cuales están completos justo a tiempo para la construcción final del buque en dique seco. Todos los componentes para el bloque son cortados y conformados y soldados en kits que llegan justo a tiempo para la construcción del bloque. Esto se ilustra en la Figura 57. La parte superior muestra una programación



de tiempo de proceso desigual donde ninguno de los productos provisionales está listo justo cuando sea necesario por procesos posteriores. Esto conducirá a cuellos de botellas y colas de material esperando para ser procesado en etapas posteriores. En la parte inferior se ve que a través del takt time planificado, todas las partes del proceso se mueven en sincronía. Esto permite el flujo de producción, el cual optimiza los recursos y elimina desperdicios.

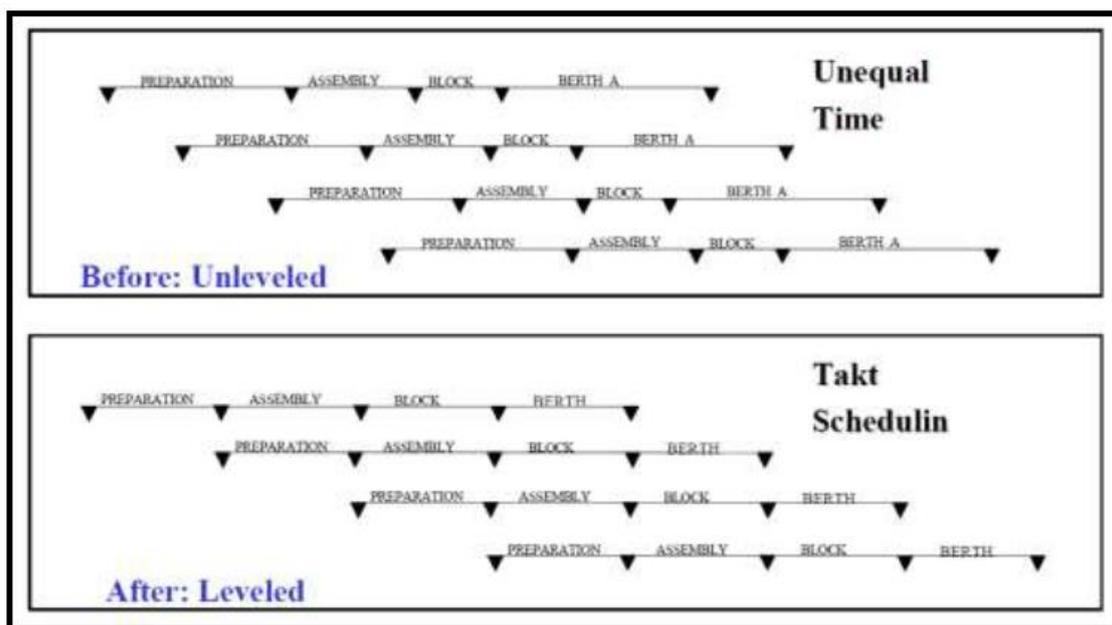


Figura 57. Producción balanceada en un Astillero mediante el Takt time

6.3. Artículos

Con la búsqueda y análisis de artículos se persigue encontrar pruebas que ayuden a fijar los tiempos que se invierten en cada uno de los procesos que ocupan la construcción naval.

Se ha encontrado un artículo el cual hace una clara referencia al tiempo invertido en pruebas, el cual indica encontrarse entre los 2 y 3 meses, aunque puntualizando que estadísticamente este periodo de pruebas ha sido un poco más prolongado. De modo que para el presente proyecto se va a establecer un periodo de pruebas de 3 meses, teniendo



en cuenta que es necesario añadirle un tiempo extra el cual hace referencia a posibles retrasos. La primera hipótesis que se va a establecer en este apartado es la de este tiempo extra, el cual se va a fijar en 2 meses; por lo que, el tiempo total de pruebas va a ser 5 meses. Este tiempo de 2 meses pueden resultar excesivo, pero para esta primera aproximación es mejor comprobar que el tiempo requerido es menor que el establecido que la situación inversa. Este primer artículo se titula: *Bulkcarrier Deliveries: Still on the Slide*.

Además de éste, se han encontrado otros artículos que hacen referencia al tiempo completo de construcción de un buque granelero son los siguientes:

Para poder hacer una comparación de los plazos, dado que no se tratan de buques con las mismas características, ha de tenerse en cuenta:

- Las toneladas de peso muerto de cada buque, TPM.
- El tiempo de pruebas aproximado.
- El tiempo de construcción de la proa y la popa.

El TPM de cada buque es un dato general de cada uno de ellos. Para el tiempo de pruebas se van a invertir 5 meses en total, como se ha aproximado inicialmente, y, por último, el tiempo dedicado a la proa y la popa resulta importante debido a que se construyen con paneles curvos y por norma general, estos necesitarán un 50% más de tiempo respecto a los bloques formados por paneles planos.

En el primer artículo, el TPM del buque es de 82.000 toneladas. La ratio existente entre las toneladas de peso muerto de ambos buques es de 2.05 aproximadamente. El tiempo de construcción indicado en el artículo alcanza un total de 25 meses, de los cuales hay que restar 5 meses destinados al periodo de pruebas, quedando entonces 20 meses. Estableciendo la segunda hipótesis, el plazo de construcción de proa y popa es de 3 meses, quedarían 17 meses para las bodegas. Hay que destacar que, al establecer la hipótesis de los 3 meses, sería mes y medio para cada uno de los bloques, por lo que, de forma indirecta, la construcción de los bloques de bodegas debe ocupar cada uno un mes. Para saber, en base a este primer artículo, los meses que corresponderían a la construcción del barco granelero de este trabajo se calcula la relación entre los 17 meses de construcción



de bodegas y la ratio de 2.05, obteniendo un resultado de 8.30 meses para la construcción del cuerpo cilíndrico. El tiempo total sería la suma de los 5 meses del periodo de pruebas, 3 meses para la construcción de proa y popa y los 8.30 meses, dando un resultado de 16.30 meses.

A priori, se puede decir que este tiempo es suficiente dado que se ha establecido que la construcción de cada bloque de bodegas dura un mes y en total hay seis bodegas.

También puede realizarse esta aproximación sin la hipótesis de la duración de la construcción de proa y popa. Por lo que se calcularía la relación entre los 20 meses y ratio de 2.05, dando el valor de 9.75 meses; por lo que para saber el tiempo total habría que añadirle los 5 meses de las pruebas, siendo 14.75 meses en total.

Estos datos son los obtenidos utilizando el primer artículo como referencia, pero es evidente que hay que seguir este mismo análisis con los siguientes artículos para tener un mayor conocimiento.

En el segundo artículo que se ha adjuntado, hace referencia un buque tipo Panamax pero no especifica el TPM porque lo que se toma uno de 70.000 (ya se sabe que las toneladas de peso muerto de un buque Panamax oscilan entre 60.000 y 80.000 toneladas).

Por lo tanto, la relación entre los TPM de cada barco es de 1.75. En el artículo se indica una duración de 27 meses; la cual se descompone en 5 meses del periodo de pruebas, 3 meses dedicados a los bloques de popa y proa y 19 meses invertidos en la construcción de las bodegas. Por lo tanto, haciendo la relación entre estos 19 meses y la ratio obtenido se obtiene un resultado de 10.85 meses. Entonces, se tendría un tiempo de 18.85 meses para la construcción del buque de estudio.

Se comprueba también el plazo, de este segundo artículo, sin tomar la hipótesis del tiempo invertido en proa y popa, teniendo entonces un tiempo de 22 meses. El resultado obtenido de la relación es de 12.57 meses, sumándole los 5 meses del periodo de pruebas, sería un total de 17.57 meses para su construcción completa.

Por último, el artículo que queda habla de un buque cuyo valor de las toneladas de peso muerto es de 50.000 toneladas. La relación existente entre ambos TPM es de 1.25.



Los meses necesarios indicados en este artículo son 19; 3 dedicados a los bloques de proa y popa, 5 para realizar las pruebas y 11 para las bodegas. Entonces realizando la extrapolación para el buque que se está estudiando, se tiene un valor 8.8 meses para el cuerpo cilíndrico. Siendo, en total 16.8 meses.

Sin tomar la hipótesis de los 3 meses de los bloques de proa y popa, el total de los 19 meses quedaría desglosado en 5 meses dedicados a las pruebas y 14 meses para todos los bloques del buque. Por lo que, el resultado obtenido entre estos 14 meses y la ratio obtenido ser es de 11.2 meses, ascendiendo a un total de 16.2 meses de construcción.

A continuación, se adjunta una tabla donde quedan recogidos los resultados obtenidos de estas relaciones. Hay que recordar que en los tres artículos se han obtenido dos resultados distintos; teniendo en cuenta las dos hipótesis respecto a los plazos del periodo de pruebas y de los bloques de proa y popa, y teniendo únicamente en cuenta la hipótesis del tiempo de pruebas.

Tabla 22. Hipótesis planteadas en el estudio temporal

TPM buque	Ratio TPM	Dos hipótesis			Una hipótesis	
		Tiempo construcción	Extrapolación tiempo	Tiempo total	Extrapolación tiempo	Tiempo total
82.000	2.05	25 meses	8.30 meses	16.30 meses	9.75 meses	14.75 meses
70.000	1.75	27 meses	10.85 meses	18.85 meses	12.57 meses	17.57 meses
50.000	1.25	19 meses	8.80 meses	16.80 meses	11.20 meses	16.20 meses
Resultados medios			9.31 meses	17.32 meses	11.17 meses	16.17 meses

Comentando la tabla resumen, en la parte de las dos hipótesis los resultados que se observan del primer y el tercer buque son muy próximos; mientras que, en la otra parte, esta proximidad se observa entre el segundo y tercer buque.

Haciendo referencia a los tiempos totales medios calculados se puede decir que establecen una horquilla de 16 – 18 meses, lo cual se utilizará como objetivo a cumplir en la planificación temporal de cada opción.



6.4. Resultados

Llegados a este punto, y como se ha dicho en la introducción de este capítulo, se van a exponer de forma detallada los análisis realizados de cada una de las estrategias constructivas en cada instalación.

Antes de empezar, hay que destacar que de cada una de las combinaciones realizadas se han estudiado alrededor de 10 posibilidades distintas. Esto es debido a que han sido pocas las directrices fijadas y las hipótesis tomadas, puesto el objetivo de este proyecto era ese, crear un gran abanico de posibilidades iniciales para después ir estableciendo filtros que orienten hacia las opciones más viables.

La misión principal perseguida con este estudio es un enfoque realista, lo que se ve dificultado por la escasez de información disponible sobre la planificación de estrategias constructivas en el ámbito naval. Esto se debe a que cada astillero estudia con detalle el proceso en base a sus capacidades, optimizándolo poco a poco, por lo que se convierte en una información confidencial.

A continuación, se recuerdan las alternativas de astillero y las opciones propuestas.

Astillero 1: 1 dique y máxima capacidad de izado.

Astillero 2: 3 gradas y capacidad de izado media.

Astillero 3: 2 gradas inclinadas y capacidad de izado alta.

Astillero 4: 3 diques y capacidad de izado mínima.

Opción a) Montaje por popa.

Opción b) Montaje por popa y por proa a la vez

Opción c) Montaje empezando por bodegas

Opción d) Montaje por proa.



Se desarrolla cada una de las opciones de todos los astilleros, excepto la opción b) Montaje por popa y por proa a la vez en el Astillero 3: 2 gradas inclinadas y capacidad de izado alta. Debido a que las gradas de esta opción están dispuestas en un plano inclinado no resulta posible la unión del último bloque en el armamento en grada, por lo que no se analiza.

6.4.1. Combinación 1

Para empezar el análisis de las estrategias constructivas es necesario estudiar la distribución de los bloques. El peso de cada uno de los bloques está limitado por la capacidad de izado de las grúas y el Astillero 1 tiene un límite de 1200 toneladas (la capacidad de izado más alta de los cuatro astilleros). Para esto, se tiene en cuenta el peso de la maquinaria, el peso de los equipos y el del acero estructural.

Como ayuda para establecer la división de cada grupo de los pesos, se adjunta la siguiente imagen del buque en la que se pueden ver los límites de las bodegas, la proa y la popa.

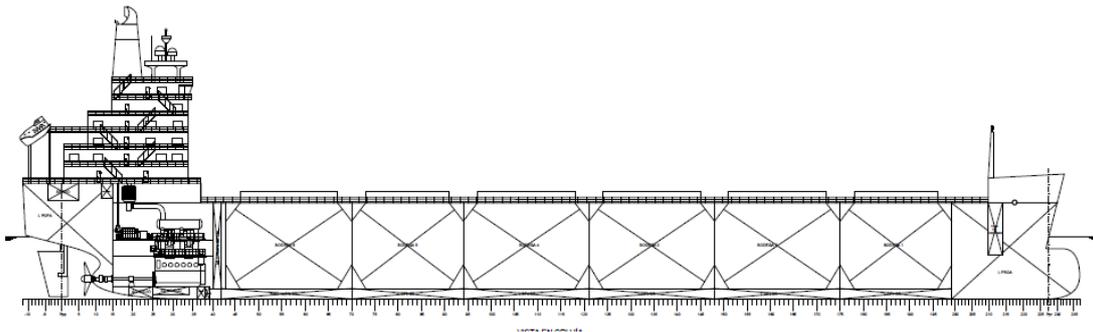


Figura 58. Disposición general - Perfil

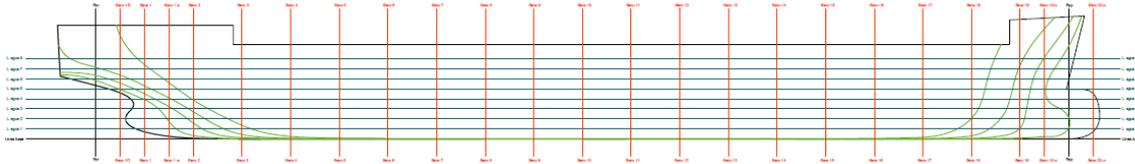


Figura 59. Plano de formas – Perfil

Con la ayuda de estas imágenes, de la disposición general y del plano de formas, se establecen los límites de cada bloque.

La popa ocupa desde la perpendicular de popa hasta la sección 3.

El cuerpo cilíndrico, donde están las seis bodegas, ocupa desde la sección 3 hasta la 19. Al subdividir esta parte para obtener los límites de cada bodega, no coincide con las secciones marcadas, por lo que es necesario aproximarlos. Para esto, las secciones 6, 11 y 16 se dividen en dos partes.

La proa ocupa la sección 19 y la 20.

La siguiente tabla muestra las secciones que corresponden a cada bloque, con la eslora que ocupan, el peso de acero correspondiente a cada una de ellas y las subdivisiones de las secciones indicadas anteriormente.

Generalmente, este es el despiece de bloques que con el que se va a trabajar durante todo el proyecto, a no ser que se indique otra división. Se trata de la división más sencilla y lógica posible, es necesario tener en cuenta que este despiece está influenciado por las capacidades de las instalaciones, por lo que, puede variar.



Tabla 23. Correspondencia de las secciones con las bodegas

Sección	Eslora (m)	Peso acero total (t/m)	Bloques
0 (Ppp)	0	18,272	Popa
1	8,8	29,241	
2	17,6	38,605	
3	26,4	38,845	Bodega 1
4	35,2	43,421	
5	44	44,503	Bodega 2
6	52,8	22,354	
7	61,6	44,763	Bodega 3
8	70,4	44,785	
9	79,2	44,794	Bodega 4
10	88	44,799	
11	96,8	22,4005	Bodega 5
12	105,6	22,4005	
13	114,4	44,803	Bodega 6
14	123,2	44,798	
15	132	44,676	Bodega 7
16	140,8	44,296	
17	149,6	21,606	Bodega 8
18	158,4	21,606	
19	167,2	40,411	Proa
20 (Ppr)	176	34,431	
		35,333	
		25,292	

Como ya se ha comentado, a este peso de acero de acero ha de añadirse el de la maquinaria y los equipos.

El peso que corresponde a la maquinaria, evidentemente, está totalmente concentrado en la zona de popa, y entre las secciones 2 y 3 es donde está concentrado el grueso de esta partida.

El peso de los equipos, de forma evidente su mayor parte se encuentra en la zona de popa, pero también hay un cierto porcentaje dividido a lo largo del buque.

A continuación, se indican los pesos totales tanto de la maquinaria como de los equipos y habitación, para poder mostrar el resultado final de aplicar los porcentajes establecidos.



Tabla 24. Pesos equipos y maquinaria

Peso de la Maquinaria WMQ (t)	466,54
Peso de Equipo y Habilitación WEH (t)	792,66

Tabla 25. Distribución de los pesos de los equipos de la maquinaria y habilitación

Sección	Bloques	Porcentaje maquinaria	Peso Maquinaria (t)	Porcentaje equipos	Peso Equipo (ts)			
0 (Ppp)	Popa	10%	46,654	5%	19,816			
1		10%	46,654		19,816			
2		40%	186,616	50%	198,16			
3		40%	186,616		198,16			
4	Bodega 1	0%	0	40%	52,844			
5					Bodega 2	52,844		
6	Bodega 3					52,844		
7						52,844		
8						Bodega 4	52,844	
9	Bodega 5				52,844			
10					Bodega 6	52,844		
11	Proa					52,844		
12					5%	19,816		
13	19,816							
14						466,54		792,66
15								
16								
17								
18								
19								
20 (Ppr)								

Como se observa en la tabla anterior, es importante realizar la comprobación de los pesos para evitar posibles errores.



Al igual que se ha dicho respecto a los bloques, estos porcentajes tanto respecto a la maquinaria como a los equipos se va a mantener constante durante todo el trabajo. Esta división de los pesos no variará en ningún momento, ya que está hecha en base a las características del granelero y no dependen de las características de las instalaciones.

Una vez establecido todo esto, se debe establecer cuánto armamento se llevará a cabo en los talleres y cuánto se realizará en grada.

Esto está delimitado, en su mayor parte, por los dispositivos de izado de cada uno de los astilleros. Una de las partes interesantes del inicio de este proyecto es esta, jugar con los porcentajes de armamento de acero y de equipos en los talleres con el fin de aprovechar al máximo las capacidades disponibles en cada opción. Como bien se sabe, es preferible realizar un porcentaje de armamento elevado en los talleres para realizar el mínimo de tareas en grada.

Para calcular los pesos que corresponden a estos porcentajes:

- Para calcular el peso de equipos en cada, primero se realiza la distribución del peso de equipos por sección, lo cual resulta sencillo de hacer puesto se sabe el peso total de esta partida y se ha fijado los porcentajes, esto se puede observar en la tabla anterior. Aplicando el coeficiente de armamento elegido, se obtiene el peso de armamento de equipos correspondiente a cada bloque.
- Para calcular el peso del acero estructural, se calcula la eslora entre perpendiculares y como se sabe el peso de acero total (t/m), que está recogido en la Tabla 26, se puede saber el peso de acero por sección. Aplicando el coeficiente de armamento elegido, se puede obtener el peso de armamento de acero de cada bloque.



Tabla 26. Distribución de los pesos de acero y equipos por secciones

Sección	Peso de Acero por sección (t)	Peso de equipos por sección (t)
0 (Ppp)	128,759	19,817
1	206,054	19,817
2	272,040	198,165
3	273,732	198,165
4	305,978	17,615
5	313,602	17,615
6	157,523	17,615
	157,523	17,615
7	315,434	17,615
8	315,589	17,615
9	315,653	17,615
10	315,688	17,615
11	157,851	17,615
	157,851	17,615
12	315,716	17,615
13	315,681	17,615
14	314,821	17,615
15	312,144	17,615
16	152,252	17,615
	152,252	17,615
17	284,767	17,615
18	242,627	17,615
19	248,983	19,817
20 (Ppr)	178,227	19,817
Total	5.910,750	792,660

En esta tabla se muestran los pesos por sección tanto del acero como de los equipos, realizando también su comprobación al final.

El peso de la maquinaria, visto en la tabla anterior, no se incluye en esta parte ya que los bloques se van a mover con su acero estructural y sus equipos, la maquinaria de popa se trasladará directamente a la grada y allí se izará y montará.

En esta primera combinación se dispone de una enorme capacidad de izado, las grúas disponibles son capaces de trasladar 1200 toneladas.



Siguiendo el despiece de bloques que se ha marcado, y gracias a su alta capacidad, se puede tener los máximos porcentajes de armamento, tanto de acero como de equipos, como se muestra a continuación. De forma lógica, el porcentaje que se puede aplicar, tanto al acero como a los equipos, es del 90% puesto siempre existen elementos y equipos que necesariamente deben montarse en grada; también resulta evidente que el coeficiente aplicado a los equipos debe ser menor o igual que el del acero estructural puesto que para montar cualquier equipo debe estar lista la estructura de acero sobre la cual se encuentra.

Tabla 27. Distribución de porcentajes y pesos por secciones

Sección	Coefficiente de armamento de acero	Peso armamento acero (t)	Coefficiente de armamento de equipos	Peso armamento equipos (t)	Peso total por sección armada (t)
0 (Ppp)	90%	115,88	90%	17,83	133,72
1	90%	185,45	90%	17,83	203,28
2	90%	244,84	90%	178,35	423,18
3	90%	246,36	90%	178,35	424,71
4	95%	290,68	95%	15,85	306,53
5	90%	282,24	90%	15,85	298,10
6	90%	141,77	90%	15,85	157,62
	90%	141,77	90%	15,85	157,62
7	90%	283,89	90%	15,85	299,74
8	90%	284,03	90%	15,85	299,88
9	90%	284,09	90%	15,85	299,94
10	90%	284,12	90%	15,85	299,97
11	90%	142,07	90%	15,85	157,92
	90%	142,07	90%	15,85	157,92
12	90%	284,14	90%	15,85	300,00
13	90%	284,11	90%	15,85	299,97
14	90%	283,34	90%	15,85	299,19
15	90%	280,93	90%	15,85	296,78
16	90%	137,03	90%	15,85	152,88
	90%	137,03	90%	15,85	152,88
17	90%	256,29	90%	15,85	272,14
18	90%	218,36	90%	15,85	234,22
19	90%	224,09	90%	17,83	241,92
20 (Ppr)	90%	160,40	90%	17,83	178,24
Total					6.048,368



En la tabla anterior se han mostrado los pesos correspondientes del coeficiente aplicado, con lo que se puede saber el peso total de cada bloque.

Tabla 28. Distribución de pesos por bloques

Sección	Peso total por sección armada (t)	Bloques	Peso bloque (t)
0 (Ppp)	133,72	Popa	1.184,893
1	203,28		
2	423,18		
3	424,71		
4	306,53	Bodega 1	762,251
5	298,10		
6	157,62		
	157,62	Bodega 2	757,252
7	299,74		
8	299,88		
9	299,94	Bodega 3	757,832
10	299,97		
11	157,92		
	157,92	Bodega 4	757,883
12	300,00		
13	299,97		
14	299,19	Bodega 5	748,855
15	296,78		
16	152,88		
	152,88	Bodega 6	659,241
17	272,14		
18	234,22		
19	241,92	Proa	420,159
20 (Ppr)	178,24		
Total	6.048,368		6.048,368

En esta tabla, como ya se había mostrado el peso de cada sección armada, se engloban estos pesos en los bloques asignados con el fin de comprobar que es menor que la capacidad de izado disponible. Como se puede ver, exceptuando el bloque de popa, con el máximo armamento posible el peso de los bloques queda muy alejado de las 1.200 toneladas con lo que se desaprovecha la alta capacidad de izado que se tiene. Esto hace



que se plantee otra opción de despiece de bloques con la que se optimicen los porcentajes y pesos.

En esta segunda opción se estudia otro despiece de bloques, adjudicando bloques de mayores dimensiones y menores coeficientes de armamento.

En la tabla se puede ver que se ha mantenido el coeficiente (tanto de armamento de equipos como de acero) ya que, como se ha visto anteriormente, el peso total de este bloque estaba próximo a las 1200 toneladas; por otra parte, también se han mantenido para el bloque de proa, en este caso se debe a que a pesar de que se podría optimizar, no se puede aumentar este coeficiente de armamento ni se puede juntar este bloque con su bodega conjunta debido a las diferencias de las formas estructurales de sus planchas.

Respecto a las bodegas, se ha reducido su coeficiente de armamento de acero y el de armamento de equipos, en la Tabla 29 se comprobará que esto se ha hecho para que los bloques de las bodegas contengan dos bodegas cada uno, en lugar de una bodega por bloque.



Tabla 29. Distribución de porcentajes nuevos y pesos por secciones

Sección	Coefficiente de armamento de acero	Peso armamento acero (t)	Coefficiente de armamento de equipos	Peso armamento equipos (t)	Peso total por sección armada (t)
0 (Ppp)	90%	115,88	90%	17,83	133,72
1	90%	185,45	90%	17,83	203,28
2	90%	244,84	90%	178,35	423,18
3	90%	246,36	90%	178,35	424,71
4	71%	217,24	70%	12,33	229,57
5	71%	222,66	70%	12,33	234,99
6	71%	111,84	70%	12,33	124,17
	71%	111,84	70%	12,33	124,17
7	71%	223,96	70%	12,33	236,29
8	71%	224,07	70%	12,33	236,40
9	71%	224,11	70%	12,33	236,44
10	71%	224,14	70%	12,33	236,47
11	71%	112,07	70%	12,33	124,40
	71%	112,07	70%	12,33	124,40
12	71%	224,16	70%	12,33	236,49
13	71%	224,13	70%	12,33	236,46
14	71%	223,52	70%	12,33	235,85
15	71%	221,62	70%	12,33	233,95
16	71%	108,10	70%	12,33	120,43
	71%	108,10	70%	12,33	120,43
17	71%	202,18	70%	12,33	214,51
18	71%	172,27	70%	12,33	184,60
19	90%	224,09	90%	17,83	241,92
20 (Ppr)	90%	160,40	90%	17,83	178,24
Total					5.095,095



Tabla 30. Distribución de pesos por bloques nuevos

Sección	Peso total por sección armada (t)	Bloques	Peso bloque (t)
0 (Ppp)	133,72	Popa	1.184,89
1	203,28		
2	423,18		
3	424,71		
4	229,57	Bodegas 1 y 2	1.185,59
5	234,99		
6	124,17		
	124,17		
7	236,29		
8	236,40		
9	236,44		
10	236,47	Bodegas 3 y 4	1.194,67
11	124,40		
	124,40		
12	236,49		
13	236,46		
14	235,85	Bodegas 5 y 6	1.109,78
15	233,95		
16	120,43		
	120,43		
17	214,51		
18	184,60		
19	241,92	Proa	420,16
20 (Ppr)	178,24		
Total	5.095,095		5.095,095

En la tabla 30 se observa como al formar bloques de dos bodegas se obtiene un peso mayor con lo que se aprovechará la gran capacidad de izado, que es la mayor ventaja de este astillero, y por consiguiente serán necesarios menos desplazamientos porque existen menos bloques.



A continuación, se adjunta una imagen representativa del despiece de bloques con el que se va a trabajar.

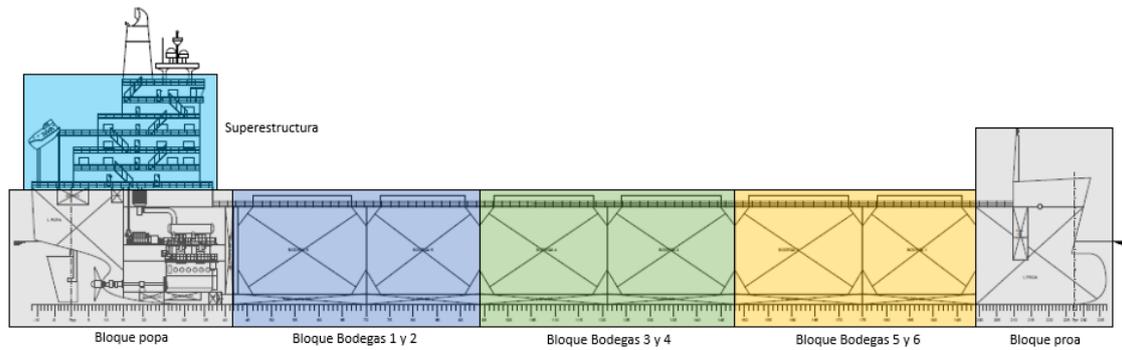


Figura 60. Despiece de bloques de la combinación 1

Con todo esto, resulta evidente que, para realizar el análisis de las distintas estrategias constructivas del buque granelero, se va a utilizar la segunda opción de despiece de bloques.

Ahora ya se pueden desarrollar los estudios llevados a cabo para estas instalaciones.

- **Montaje por popa.**

En todas las estrategias constructivas se tiene que tener en cuenta las cuatro fases en las que se desglosa el proceso de construcción de un buque: elaboración, armamento en taller, armamento en grada y el periodo de pruebas.



Figura 61. Fases del proceso constructivo

En todas las instalaciones que se van a estudiar en el presente proyecto se ha establecido que todas las planchas necesarias para la estructura del buque se realizarán, también existe la posibilidad de tener una empresa suministradora pero aquí se ha desechado esta idea. El área de elaboraciones contiene la línea de paneles planos y la línea de paneles curvos. Es evidente que algunas partes del casco del buque necesitan un trato más cuidadoso debido a sus formas complejas, como ocurre en la popa y la proa, por lo que se reserva la línea de paneles curvos para estos bloques; el cuerpo cilíndrico del granelero resulta de formas más rectas, sencillas y constantes por lo que los paneles de las bodegas se construyen en la línea de paneles planos. Los paneles de la superestructura también se construirán en estas líneas puesto que la superestructura



presente es sencilla y de formas rectas. El número de líneas de construcción de paneles y los bloques que se construyen en cada una se mantiene constante a lo largo de todo el proyecto.

Cuando se encuentran estos paneles listos y formando los bloques correspondientes, se trasladan al armamento en taller. Este taller está desglosado en dos líneas de armamento, líneas de paneles curvos y líneas de paneles planos, en las cuales se arman los correspondientes bloques. Esto también se mantiene a lo largo de todo el proyecto.

Una vez se ha llegado al nivel de armamento establecido los bloques son trasladados a las gradas/diques. Esta parte varía en todas las combinaciones.

Finalmente, cuando el buque está terminado se traslada al muelle de pruebas para comprobar el correcto funcionamiento de todos los equipos. En todos los astilleros elegidos para este trabajo, se ha indicado la existencia de solo un muelle de pruebas en cada instalación.

Como se ha había indicado en apartados anteriores, la construcción de un bloque “sencillo” se ha fijado en un mes. Esto se ha establecido suponiendo que una bodega sería un bloque, pero como en el despiece realizado para estas instalaciones en concreto se han unido las bodegas de dos en dos en un bloque, para la construcción de un bloque del cuerpo cilíndrico (es decir, para los bloques de las bodegas) se ha establecido un tiempo de dos meses. Para la construcción de la superestructura se ha fijado un tiempo de un mes.

Para los bloques de proa y popa se ha indicado un tiempo de un mes y medio para cada uno. Como ya se había dicho, por la complejidad de sus formas, se asigna un 50% más de duración respecto a un bloque plano. Dado que estos bloques mantienen el despiece con el que se había hecho la suposición, este aumento de tiempo se realiza respecto al tiempo inicial de un mes por bloque.

Estas duraciones y las que se establecerán para los armamentos tanto en taller como en grada se mantienen en todas las opciones de construcción dentro de este astillero



ya que las capacidades que se tienen son las mismas y la variación reside en la estrategia constructiva.

La estrategia constructiva que nos ocupa consiste en iniciar su montaje en grada por popa avanzando hacia proa, por lo que es evidente que los primeros bloques que se necesitan son los que están más a popa.

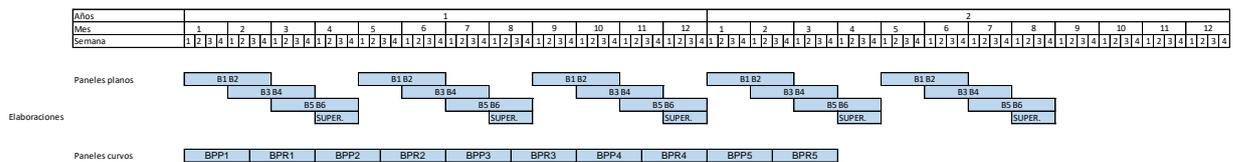


Figura 62. Elaboraciones - Montaje por popa, combinación 1

En la Figura 62 se puede ver esto.

En la línea de paneles planos se montan las bodegas 1 y 2, las bodegas 2 y 3, las bodegas 5 y 6 y, por último, la superestructura.

En la línea de paneles curvos se construye la popa y acto seguido la proa.

Como se puede ver, se producen solapamientos de los bloques de bodegas, esto es posible puesto que una vez los paneles avanzan por la línea indicada y mientras unos paneles se encuentran en un estado avanzado es posible empezar a trabajar en los siguientes. Este solapamiento es posible siempre que se produzca de forma controlada y limitada. Es posible el solapamiento de la elaboración de los paneles de dos bloques, pero no se puede en tres bloques porque eso excedería la capacidad de trabajo debido a que se tiene una sola línea.

Conforme se van teniendo los paneles montados formando los bloques se trasladan a los talleres de armamento, en estos talleres se sigue teniendo dos líneas de montaje. Los bloques de la parte cilíndrica se arman en el mismo orden que se han construido, al igual que la proa y la popa.



La duración de los bloques de bodegas se ha fijado en dos meses ya que su porcentaje de armamento en taller es alto, esto provocará que posteriormente, el armamento en grada sea de menor duración. El tiempo de armamento en taller de la superestructura se ha fijado en dos meses también, puesto que se trata como un bloque a la superestructura completa ya que la capacidad de izado lo permite.

En cuanto a la popa, el tiempo que se invierte es de dos meses porque su coeficiente de armamento tanto de equipos como de acero es máximo. La proa también tiene el máximo porcentaje posible, pero se invierte un mes y medio ya que su tamaño como bloque es menor y la complejidad de sus formas también.

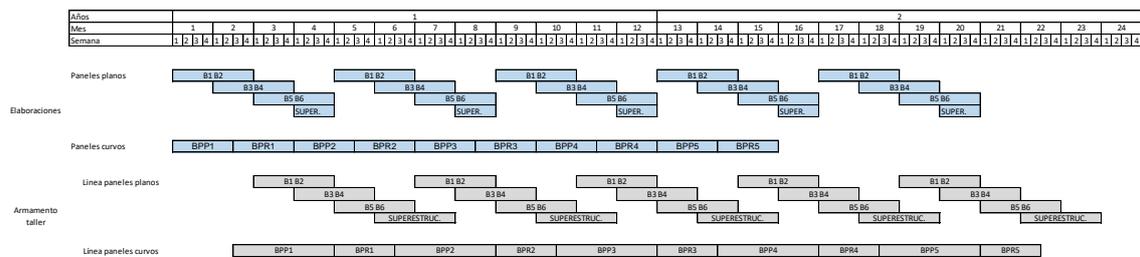


Figura 63. Elaboraciones y armamento en grada - Montaje por popa, combinación 1

En la imagen se puede apreciar cómo se trasladan los bloques, desde las elaboraciones hasta el armamento en grada, a medida que se van montando. Esto produce un flujo continuo de trabajo lo cual es positivo para la eficiencia instalaciones y el personal.

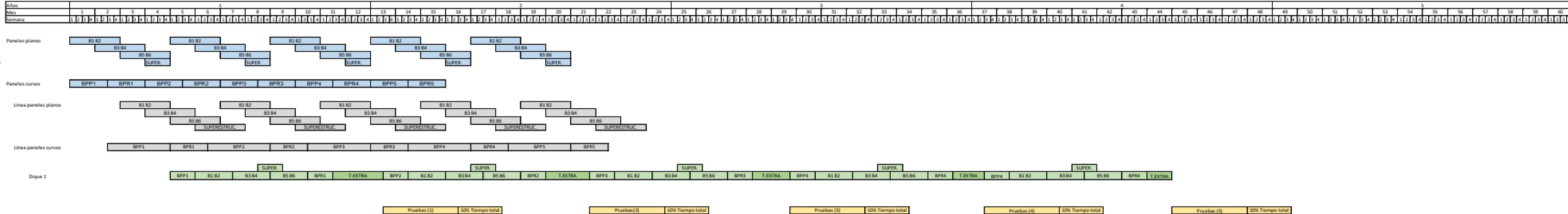
De la misma manera, conforme se van teniendo los bloques armados en el taller se trasladan a las gradas para terminar su armamento.

En este astillero solo se tiene un dique, por lo que a priori se puede suponer que no se van a tener tiempo muertos en el armamento en grada y también resulta más sencillo establecer una planificación inicial del conjunto del procedimiento.



*Desarrollo de alternativas para la estrategia constructiva de un
buque granelero de 40.000 TPM*

Como ya se ha dicho los bloques empiezan a montarse desde popa hasta proa de forma ordenada y se produce un solapamiento cuando se traslada y se monta la superestructura. Este bloque se traslada a la grada mientras se está trabajando en las bodegas 3 y 4 para realizar su izado y montaje de forma solapada con estas bodegas y con las bodegas 5 y 6.





En la imagen anterior puede comprobarse esto y también es necesario hablar sobre los tiempos extra añadidos. Al finalizar la construcción de un buque se ha añadido un tiempo extra a modo de margen de error en alguna de las fases, este tiempo extra se ve reducido conforme se avanza en la construcción de los buques (el primer buque tiene el tiempo extra más grande y el último el tiempo más pequeño). Una vez finalizado un buque, se traslada al muelle de pruebas.

Se puede ver que en el armamento en el dique no se produce ningún parón, uno de los objetivos cuando se realiza una planificación, pero en el periodo de pruebas sí. Esto es debido a que solo se tiene un dique, por lo que es imposible tener continuidad en el trabajo que se realiza en el muelle de pruebas ya que no se puede solapar el armamento en grada de los buques.

Finalmente, se entregan los buques en un periodo de 4 años y 3 semanas.

- **Montaje por popa y por proa a la vez**

Este método constructivo, consiste en colocar en grada los bloques correspondientes de popa y proa y a partir de ahí, se van trasladando las bodegas y se abren dos frentes de trabajo en los cuales de avanza de forma simultánea.

En cuanto a las elaboraciones, resulta evidente que se van a construir los bloques de popa y proa en este orden y de forma alternativa; y en cuanto a la línea de paneles planos el orden que se sigue es las bodegas de forma ordenada y la superestructura (igual que en el apartado anterior).

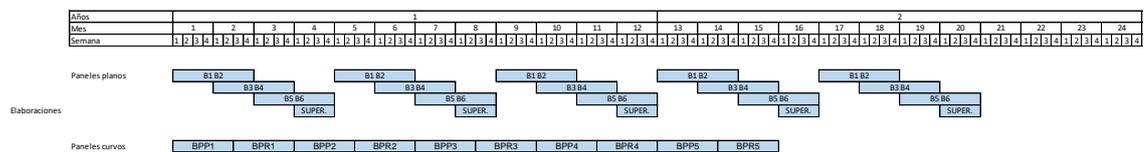


Figura 64. Elaboraciones - Montaje por popa y proa a la vez, combinación 1



En esta Figura 65, a continuación, se pueden ver las líneas de las elaboraciones, que resultan seguir el mismo orden que en apartado a). Por lo tanto, el armamento en taller también seguirá este orden.

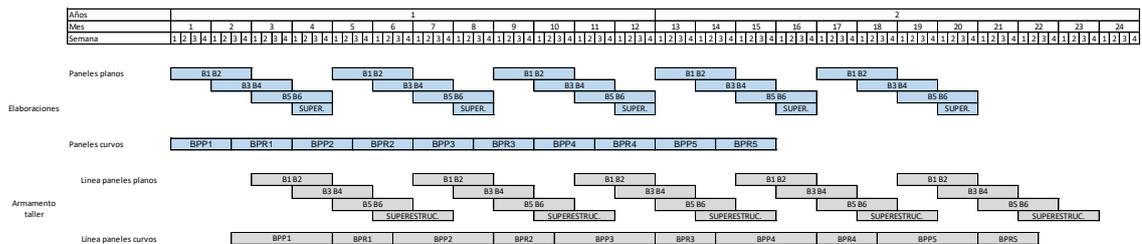
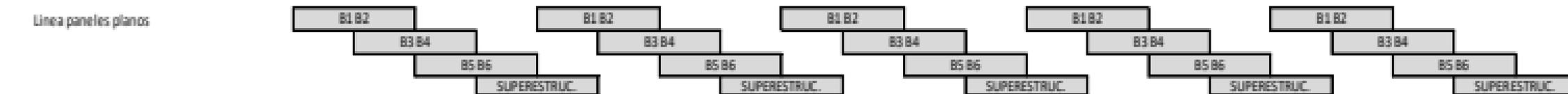
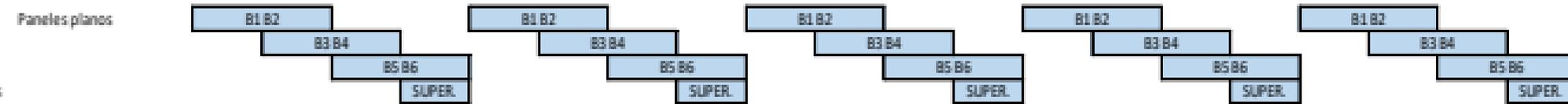


Figura 65. Elaboraciones y armamento en taller - Montaje por popa y proa a la vez, combinación 1

Tanto en esta opción como en la siguiente (el montaje por bodegas) introducen mayores posibilidades de orden de elaboraciones, y, por lo tanto, de armamento porque no se marca de forma clara cuál de ser el primer bloque que colocar en grada.

En esta opción, finalmente se ha elegido elaborar primero las bodegas de forma ordenada. Antes de llegar a esta conclusión se han desarrollado las opciones de elaborar las bodegas empezando por la bodega 3 y 4 y también la opción de empezar por la bodega 5 y 6. El principal motivo por el que se han desechado ambas se debe al bloque de popa; este bloque es el que más tiempo requiere para su armamento en taller, por lo que debe ser el primero a fin de evitar retrasos en grada. Estos retrasos se producirían porque el tiempo de armamento en grada es mayor que el de armamento en taller, esto se traduce en que el montaje en grada tiene mayor velocidad que el montaje en los talleres. Esto conduce al punto en el que el armamento en grada se queda congelado debido a que el bloque que se está armando en el taller no está listo, produciendo tiempos muertos.

Años	1												2												3												4																							
Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48												
Semana	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4





Como se en la imagen adjuntada se tiene un armamento en el dique continuo, sin tiempos muertos, pero en este caso resulta más interesante el solape que se produce en el dique. Este solape se produce en el armamento de las bodegas y de la superestructura, como ya se había dicho la posibilidad de tener dos trabajos simultáneos constituía una ventaja frente a las demás estrategias constructivas. Se produce un ahorro de tiempo. Prestando más atención, la duración del armamento en gradas de todas las bodegas no es el mismo. El bloque de bodegas 3 y 4 tiene una duración de dos meses, frente al mes y medio que tienen los otros dos. Como ya se explicó en capítulos anteriores, en este procedimiento de construcción, el último bloque que se coloca recibe un trato especial. Se adjunta una imagen para poder ver de forma más clara esto.

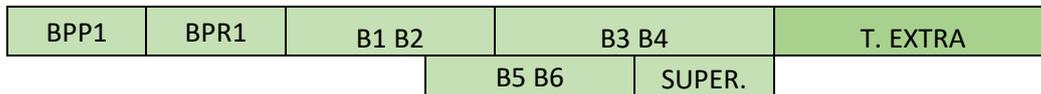


Figura 66. Armamento en grada buque 1

La imagen corresponde al armamento en grada del primer buque, y se puede observar de forma clara la mayor duración del bloque de las bodegas 3 y 4. También se puede ver el solapamiento de trabajos del que se ha hablado, en el cual lo más importante es que los trabajos en los cuales se requieren las grandes grúas no coincidan en el tiempo. Gracias a la simultaneidad de trabajos que permite esta estrategia, el que el último bloque de bodegas requiera un tiempo mayor no influye de forma negativa en la duración de la construcción del barco.

Al igual que en el método anterior, se producen parones entre los periodos de pruebas de los buques, pero esto no resulta muy preocupante pues en este caso no implica retrasos en la entrega.

Por último, indicar que la duración completa es de 3 años, 8 meses y 1 semana.



- **Montaje por bodegas**

En esta opción, a partir del primer bloque finalizado en grada se abren dos frentes de trabajo con las ventajas que esto conlleva.

Con el despiece de bloques que se ha hecho para este astillero en concreto, resulta más sencillo indicar cuál será el primer bloque que se colocará en la grada, puesto que hay tres bloques en bodegas, se ha elegido el de las bodegas 3 y 4 por ser el central.

El objetivo de elegido el bloque más central reside en que se tengan trabajos de una duración similar a ambos lados. Conseguir esto de forma total es imposible, ya que, a parte de las dos bodegas y los bloques de proa y popa, se debe tener en cuenta el bloque de la superestructura. En este caso, como durante todo el proceso se tienen trabajos simultáneos, se deberá esperar el momento en el que uno de los trabajos esté finalizado para poder izar y montar la superestructura.

Otro aspecto que considerar, aunque resulta evidente, que para montar la superestructura el bloque de popa debe estar completamente listo o casi listo, por lo que se ha intentado que el bloque de popa termine antes los trabajos. Esto se ha conseguido al iniciar tanto la elaboración como el montaje por la bodega central, ya que en las demás opciones trascurría mucho tiempo porque no se tenían dos frentes de trabajo en grada, suponiendo una pérdida de las capacidades y ventajas que ofrece esta estrategia.



En la fase de elaboraciones, la línea de paneles curvos ha funcionado con el siguiente orden: Bodegas 3 y 4, Bodegas 1 y 2, Bodegas 5 y 6 y Superestructura. En la línea de paneles curvos, se ha seguido el orden seguido anteriormente el bloque de popa y el bloque de proa.

Este mismo orden se ha seguido en el armamento en taller, lógicamente.

El motivo por el que se ha decidido elaborar y armar las bodegas 1 y 2 como segundo bloque, reside en lo que se ha explicado anteriormente en referencia a la popa. Con el objetivo de poder finalizar primero los trabajos en el bloque de popa para montar la superestructura simultáneamente a otros trabajos. Esto se puede ver mejor en la siguiente imagen.

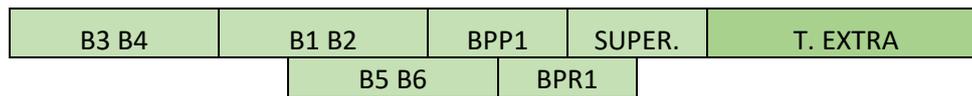


Figura 67. Armamento en grada buque 1

El ejemplo presentado corresponde al primer buque, en el que se puede ver el solapamiento de los trabajos a partir de la finalización del primer bloque. Como se ve, el segundo bloque añadido corresponde a las bodegas 1 y 2 y gracias a esto el bloque de popa finaliza antes que el de proa y permite la simultaneidad de los trabajos en la superestructura. Comparando con la opción anterior, a simple vista se puede ver como la simultaneidad de los trabajos aquí se inicia más temprano que en la estrategia anterior, esto implica una menor duración de construcción de los buques.

Siguiendo este orden se ha conseguido el nivel óptimo de trabajos solapados y duración de las fases. Y finalmente, los buques se entregarán 3 años, 5 meses y 1 semanas desde el inicio de la construcción.



- **Montaje por proa**

El montaje por proa es la última estrategia que se analiza y a priori, resulta muy similar al montaje por popa.

Para este procedimiento resulta más sencillo organizar el orden de elaboración y armamento en taller de los bloques. En la línea de paneles planos se empieza con los bloques de bodegas: bodega 5y 6, bodega 3 y 4 y bodega 1 y 2, y por último la superestructura. En la línea de los paneles curvos se realiza el bloque de proa y después el de popa, y así hasta tener todos los bloques.

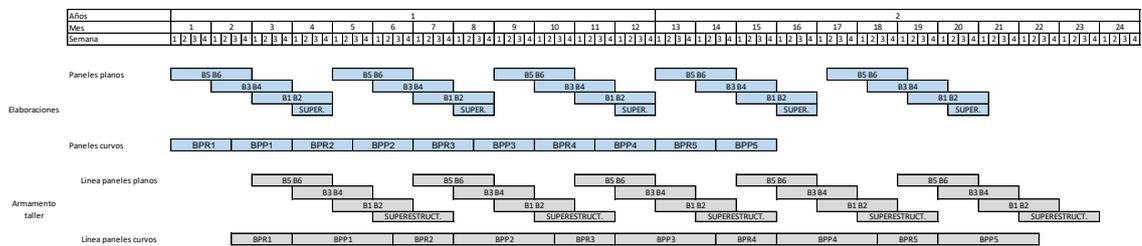


Figura 68. Elaboraciones y armamento en grada - Montaje por proa, combinación 1

En la imagen anterior se pueden ver las elaboraciones y el armamento en taller, tal como se ha descrito.

A medida que se tienen finalizados en el taller los bloques se van trasladando al dique para terminar allí su armamento, el cual se empieza por el bloque de proa, las bodegas, el bloque de popa y la superestructura. Debido al orden que debe seguirse en esta opción, resulta imposible solapar el armamento en grada de la superestructura con otros trabajos ya que el bloque de popa es el último (antes de la superestructura) en llevarse a la grada. Esto provoca que la duración de armamento en grada de un buque resulte mayor.



Finalmente, la duración total de la serie de cinco buques es de 4 años, 4 meses y 3 semanas.

Comparación entre las distintas opciones:

Tabla 31. Tabla comparativa combinación 1

	Montaje por popa	Montaje por popa y proa	Montaje por bodegas	Montaje por proa
Tiempo total	48.75 meses	44.25 meses	41.25 meses	52.75 meses
Inicio construcción 1º buque	Mes 5	Mes 5.5	Mes 5	Mes 4
Duración construcción un buque	6.5 meses	5.5 meses	5 meses	7.5 meses

6.4.2. Combinación 2

En este segundo análisis, como se dijo en el anterior, se inicia el despiece de los bloques del buque. En este astillero se cuenta con una capacidad de izado máxima de 400 toneladas, la cual es mucho menor que en el astillero anterior. Para realizar este estudio, el peso a tener en cuenta está constituido por el peso del acero estructural, el peso correspondiente a los equipos y el peso de la maquinaria.

Como ya se explicó en la combinación 1, el buque se tiene dividido por secciones. Esto sirve de ayuda para poder establecer la división de los bloques. A continuación, se muestra la disposición general y el plano de formas, a modo de recordatorio.

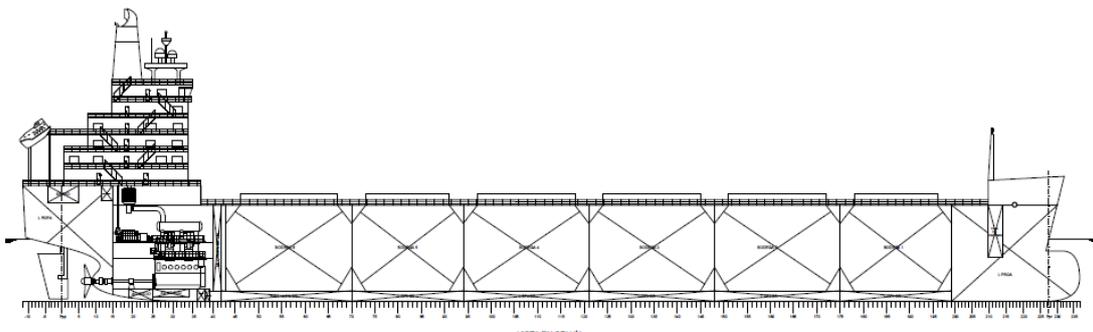


Figura 69. Disposición general – Perfil



Figura 70. Plano de formas - Perfil

Observar estas imágenes de forma conjunta resulta muy útil para establecer un despiece inicial.

La popa ocupa desde la perpendicular de popa hasta la sección 3.

El cuerpo cilíndrico, donde están las seis bodegas, ocupa desde la sección 3 hasta la 19. Al subdividir esta parte para obtener los límites de cada bodega, no coincide con las secciones marcadas, por lo que es necesario aproximarlos. Para esto, las secciones 6, 11 y 16 se dividen en dos partes.

La proa ocupa la sección 19 y la 20.

Tabla 32. Distribución secciones y bloques

Sección	Eslora (m)	Peso acero total (t/m)	Bloques
0 (Ppp)	0	18,272	Popa
1	8,8	29,241	
2	17,6	38,605	
3	26,4	38,845	
4	35,2	43,421	Bodega 1
5	44	44,503	
6	52,8	22,354	Bodega 2
		22,354	
7	61,6	44,763	
8	70,4	44,785	
9	79,2	44,794	Bodega 3
10	88	44,799	
11	96,8	22,4005	
		22,4005	
12	105,6	44,803	Bodega 4
13	114,4	44,798	



Sección	Eslora (m)	Peso acero total (t/m)	Bloques
14	123,2	44,676	Bodega 5
15	132	44,296	
16	140,8	21,606	
		21,606	Bodega 6
17	149,6	40,411	
18	158,4	34,431	
19	167,2	35,333	Proa
20 (Ppr)	176	25,292	

Esto ya ha sido explicado en la primera combinación, pero resulta de utilidad volver a explicarlo.

En la combinación anterior, después de realizar este primer análisis y establecer esta división, que es la más sencilla posible, se vio que no era la óptima según sus capacidades. Ahora, se procede a estudiarla para las características de este astillero.

Volviendo a la división de los pesos que se ha hablado inicialmente, el peso de la maquinaria está concentrado en la zona de popa, y principalmente entre las secciones 2 y 3. Como ya se dijo, el peso correspondiente a esta partida no se tendrá en cuenta para el despiece de los bloques puesto que se traslada, monta e iza directamente en grada.

En cuanto al peso de los equipos, gran parte de su totalidad de encuentra en popa, pero el resto del buque también cuenta con un porcentaje de este.

A continuación, se indican los pesos totales tanto de la maquinaria como de los equipos y habilitación, para poder mostrar el resultado final de aplicar los porcentajes establecidos.

Tabla 33. Pesos maquinaria y equipos

Peso de la Maquinaria WMQ (t)	466,54
Peso de Equipo y Habilitación WEH (t)	792,66



Tabla 34. Distribución peso maquinaria y equipos

Sección	Bloques	Porcentaje maquinaria	Peso Maquinaria (t)	Porcentaje equipos	Peso Equipos (t)
0 (Ppp)	Popa	10%	46,654	5%	19,816
1		10%	46,654		19,816
2		40%	186,616	50%	198,16
3		40%	186,616		198,16
4	Bodega 11	0%	0	40%	52,844
5					
6	Bodega 2				52,844
7					
8					
9	Bodega 3				52,844
10					
11	Bodega 4				52,844
12					
13	Bodega 5				52,844
14					
15					
16	Bodega 6	52,844			
17					
18					
19	Proa	5%	19,816		
20 (Ppr)			19,816		
			466,54		792,66

Es necesario insistir en que esto ya había sido explicado, pero resulta útil tanto como recordatorio como modo de introducción ya que el siguiente paso es calcular los coeficientes óptimos de armamento en taller que se establecerán para el acero y los equipos. De forma evidente, la capacidad de izado de 400 toneladas resulta mucho más restrictiva que las 1.200 toneladas que se tenía en el astillero 1.

A continuación, se muestra la tabla donde están recogidos los pesos de los equipos y del acero por sección.



Tabla 35. Peso de acero y equipos por sección

Sección	Peso de Acero por sección (t)	Peso de equipos por sección (t)
0 (Ppp)	128,759	19,817
1	206,054	19,817
2	272,040	198,165
3	273,732	198,165
4	305,978	17,615
5	313,602	17,615
6	157,523	17,615
	157,523	17,615
7	315,434	17,615
8	315,589	17,615
9	315,653	17,615
10	315,688	17,615
11	157,851	17,615
	157,851	17,615
12	315,716	17,615
13	315,681	17,615
14	314,821	17,615
15	312,144	17,615
16	152,252	17,615
	152,252	17,615
17	284,767	17,615
18	242,627	17,615
19	248,983	19,817
20 (Ppr)	178,227	19,817
Total	5.910,750	792,660

En este astillero, las grúas son capaces de soportar un total de 400 toneladas, por lo que de forma lógica ya se puede saber que los coeficientes van a ser bajos. Estos bajos porcentajes de armamento en talleres significa invertir poco tiempo en los bloques durante su estancia en los talleres, lo que repercute en una mayor duración de los trabajos en grada.

En la Tabla 36 se muestran los coeficientes aplicados y los pesos resultantes de ellos, por secciones. Como se puede observar, de forma comparativa, todos los porcentajes aplicados son mucho menores que los utilizados en el estudio anterior. Mostrando más atención, los coeficientes aplicados a las secciones de proa son los más



bajos, lo cual se debe a que el bloque de popa es el que más eslora tiene por lo que va a ser el más pesado. Los porcentajes aplicados a la parte de bodegas son más bajos que en la opción anterior, y que se mantienen constantes. Esto es importante ya que desde un punto de vista constructivo los bloques de las bodegas son muy similares, y a pesar de que no todos tienen el mismo peso aplicando los mismos coeficientes, no sería coherente aplicar coeficientes distintos porque complicaría los trabajos en taller. Los coeficientes aplicados a las secciones de proa son bastante elevados, ya que se trata del bloque más pequeño por lo que va a ser más ligero. Por último, como ya se comentó, el coeficiente de armamento de acero debe ser mayor o igual que el aplicado a los equipos, lo cual se cumple en todas las secciones.

Tabla 36. Distribución porcentajes y pesos por sección

Sección	Coefficiente de armamento de acero	Peso armamento acero (t)	Coefficiente de armamento de equipos	Peso armamento equipos (t)	Peso total por sección armada (t)
0 (Ppp)	30%	38,63	30%	5,94	44,57
1	30%	61,82	30%	5,94	67,76
2	30%	81,61	30%	59,45	141,06
3	30%	82,12	30%	59,45	141,57
4	47%	143,81	45%	7,93	151,74
5	47%	147,39	45%	7,93	155,32
6	47%	74,04	45%	7,93	81,96
	47%	74,04	45%	7,93	81,96
7	47%	148,25	45%	7,93	156,18
8	47%	148,33	45%	7,93	156,25
9	47%	148,36	45%	7,93	156,28
10	47%	148,37	45%	7,93	156,30
11	47%	74,19	45%	7,93	82,12
	47%	74,19	45%	7,93	82,12
12	47%	148,39	45%	7,93	156,31
13	47%	148,37	45%	7,93	156,30
14	47%	147,97	45%	7,93	155,89
15	47%	146,71	45%	7,93	154,63
16	47%	71,56	45%	7,93	79,49
	47%	71,56	45%	7,93	79,49
17	47%	133,84	45%	7,93	141,77



Sección	Coefficiente de armamento de acero	Peso armamento acero (t)	Coefficiente de armamento de equipos	Peso armamento equipos (t)	Peso total por sección armada (t)
18	47%	114,03	45%	7,93	121,96
19	85%	211,64	85%	16,84	228,48
20 (Ppr)	85%	151,49	85%	16,84	168,34
Total					3.097,85

En esta tabla se ha mostrada el peso de cada sección armada, estas secciones se agruparán en los bloques indicados y se comprobará que su peso no excede el límite de las capacidades del astillero.

En la siguiente tabla, se muestra el peso completo de cada bloque. Se puede ver que en todos los bloques está próximo a las 400 toneladas máximas, con lo que se está aprovechando la capacidad de izado y los porcentajes elegidos son correctos.

Tabla 37. Pesos por bloque

Sección	Peso total por sección armada (t)	Bloques	Peso bloques (t)
0 (Ppp)	44,57	Popa	394,96
1	67,76		
2	141,06		
3	141,57		
4	151,74	Bodega 1	389,02
5	155,32		
6	81,96		
	81,96	Bodega 2	394,39
7	156,18		
8	156,25		
9	156,28	Bodega 3	394,70
10	156,30		
11	82,12		
	82,12	Bodega 4	394,73
12	156,31		



13	156,30		
14	155,89	Bodega 5	390,01
15	154,63		
16	79,49		
	79,49	Bodega 6	343,21
17	141,77		
18	121,96		
19	228,48	Proa	396,82
20 (Ppr)	168,34		
Total	3.097,85		3.097,85

Estudio de los pesos de la superestructura.

Tabla 38. Peso y centro de gravedad de la superestructura

	Volumen (m ³)	XG (m)	ZG (m)	Peso (t)
Cubierta A	1164,00	12,02	22,222	151,32
Cubierta B	1164,00	12,02	25,222	151,32
Cubierta C	958,97	14,05	28,222	124,67
Cubierta D	958,97	14,05	31,222	124,67
Cubierta E	708,27	16,42	34,222	92,08
Cubierta F	745,46	16,74	37,222	96,91
Total				740,97

En la tabla adjuntada se pueden ver los datos de cada una de las cubiertas. Inicialmente se planteaba la opción de tratar todas las cubiertas como un conjunto, es decir, un bloque, pero su peso asciende a 740,97 toneladas por lo que esto no es posible y debe estudiarse otra alternativa.

A continuación, se va a mostrar una tabla en la cual se ha establecido una división de las cubiertas, con objeto de hacer posible su traslado a las gradas. Como se puede ver, la superestructura se ha dividido en tres partes; el peso de las dos primeras está alrededor de las 300 toneladas, por lo cual, no se está aprovechando al máximo la capacidad de izado. La última parte está constituida por solo la última cubierta, la cubierta F, por lo que su peso resulta muy bajo, menos de 100 toneladas, desaprovechando completamente la capacidad del astillero. Se puede intuir que este desglose de la superestructura no resulta



óptimo, pero es la única opción posible ya que no se puede tratar como un conjunto completo.

Tabla 39. Distribución pesos de la superestructura

	Peso (t)	Bloques superestructura	Peso bloque (t)
Cubierta A	151,32	Parte 1	302,64
Cubierta B	151,32		
Cubierta C	124,67	Parte 2	341,42
Cubierta D	124,67		
Cubierta E	92,08		
Cubierta F	96,91	Parte 3	96,91
Total	740,97		740,97

Por lo tanto, al haber separado las cubiertas y tener 3 pequeños bloques diferentes, esto implica que el tiempo dedicado a esta parte será mayor puesto que, por ejemplo, no se tarda lo mismo en trasladar un bloque a la grada que en trasladar tres, sin importar su tamaño.

A continuación, se muestra el desglose de bloques con el que se trabajará en este astillero.

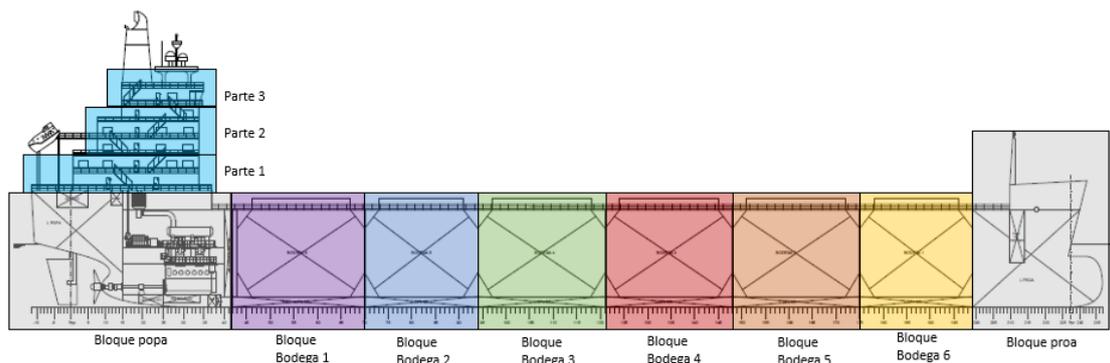


Figura 71. Despiece de bloques combinación 2

Llegados a este punto, ya se tiene el despiece de bloques definitivo en este astillero, por lo que ya se puede proceder a desarrollar las estrategias constructivas.



Las fases de la construcción de un buque se han explicado antes al igual que las instalaciones y las líneas de procesos, la única diferencia es que es este astillero se dispone de tres gradas horizontales.

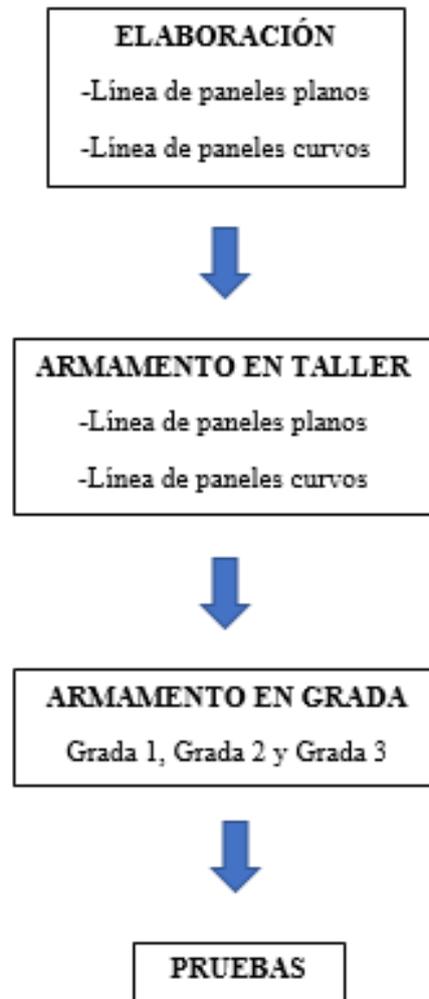


Figura 72. Fases del proceso de construcción



- **Montaje por popa**

En el capítulo correspondiente ya se explicó el procedimiento a seguir en el montaje por popa, por lo que hay que establecer el tiempo invertido en cada bloque en cada fase. Hay que recordar, que los tiempos que se van a establecer son los mismos para todas las estrategias constructivas en este astillero.

Anteriormente se justificó que la elaboración de un bloque “sencillo” duraría un mes y que en el caso de los bloques de popa y a proa se invertiría el 50% más de tiempo, siendo un mes y medio, debido a la dificultad de las formas de las planchas del casco.

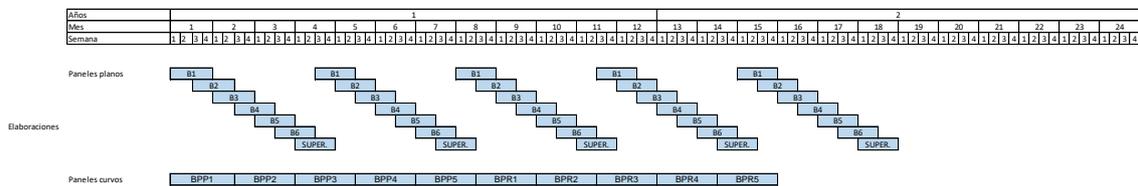


Figura 73. Elaboraciones - Montaje por popa, combinación 2

Como se trata del montaje por popa, lógicamente, en la línea de paneles planos la elaboración de los bloques se hace de forma ordenada (desde la bodega 1 a la bodega 6) y después la superestructura; y en la línea de paneles curvos se fabrican todos los bloques de popa y después los de proa.

En la elaboración de los bloques de bodegas y superestructura se producen solapamientos de trabajo, puesto que los paneles cuando se encuentran en un estado avanzado de la línea dan la posibilidad de iniciar los trabajos en las siguientes planchas.

Conforme estos paneles están fabricados y montados formando bloques se trasladan a los talleres de armamento, iniciando un flujo de trabajo continuo. En el taller de armamento también se tienen dos líneas de trabajo, para paneles planos y paneles curvos.

En el armamento de taller, la duración de los trabajos en los bloques de bodegas y los bloques de popa es de un mes debido a que su coeficiente de armamento de acero y de equipos es relativamente bajo. Como se verá, esto provoca que el armamento en grada sea requiera un tiempo mayor.



La superestructura, a pesar de que se ha dividido en tres partes, en el armamento en taller se ha agrupado en una la cual dura un mes y medio.

Los bloques de proa requieren un mes y medio de trabajo, esto se debe a que sus coeficientes de armamento de acero y de equipos es alto, por lo que necesita dedicar más tiempo a estos bloques en el taller.

Existe un parón de dos semanas en la línea de paneles curvos, entre el armamento de los bloques de popa y los de proa; esto se debe a que en las elaboraciones se ha invertido un mes y medio en la elaboración de cada bloque, mientras que en el taller los trabajos dedicados a los bloques de popa son de un mes por bloque por lo que se produce un retraso de trabajos debido a que las elaboraciones son más lentas. Como se trata de solo dos semanas no resulta preocupante, este tiempo se puede invertir en limpieza y preparación tanto del taller como de los útiles necesarios.

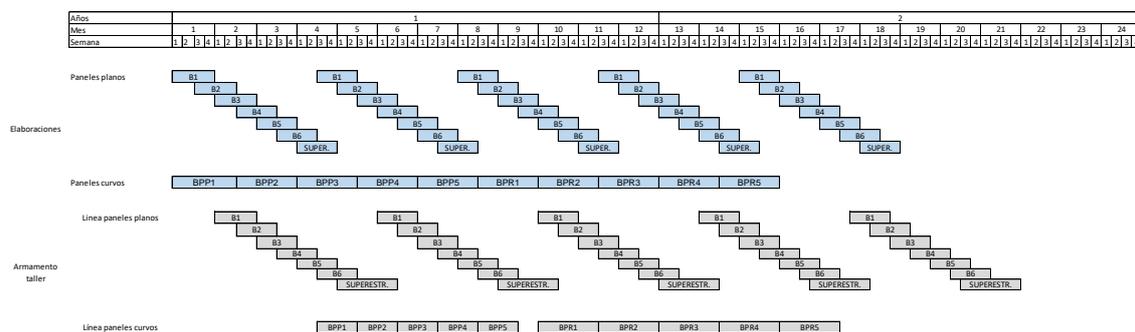


Figura 74. Elaboraciones y armamento en taller - Montaje por popa, combinación 2

Al igual que en la fase anterior, a medida que se van terminando los trabajos en los bloques, éstos se trasladan a las gradas.

En este astillero se dispone de tres gradas por lo que se tendrán tres buques en armamento de forma simultánea. Esta es la razón por la que se han elaborado y armado en taller los bloques de popa de todos los buques y posteriormente los de proa.

El primer bloque que se coloca corresponde al de popa, en el cual se invierte un tiempo de tres meses y medio. Esta duración es muy elevada, pero se justifica porque los coeficientes de acero y de armamento es del 30% por lo que cuando se traslada la popa a



la grada todavía se encuentra en una fase muy inicial de su construcción y esta duración también está influenciada por la dificultad de los trabajos en esta parte y la cantidad de equipos y maquinaria que hay que montar. Cuando se tienen listos los bloques de popa 2 y 3 se trasladan directamente a las otras dos gradas para iniciar los trabajos.

Volviendo a la grada 1, cuando la popa está terminada se empiezan a trasladar los bloques de las bodegas. El tiempo invertido en cada bodega es de dos meses, debido también al bajo valor de sus coeficientes de armamento.

Durante el periodo en el que se trabaja en los bloques de bodegas, de forma simultánea, se trasladan las partes de la superestructura a la grada. Como se puede ver, el tiempo que se dedica es de seis semanas; comparándolo con el tiempo invertido en el astillero anterior, aquí es mayor. Esto es porque ahora en lugar de tener un solo bloque, aquí se tienen tres partes distintas por lo que sus traslados, sus montajes y el izado de cada una, requiere un tiempo mayor. Este trabajo se inicia durante el armamento en grada de la bodega 2 y termina en la 3, es importante que el izado de la superestructura se realice una vez existan varios bloques montados, a parte de la de popa, por aspectos de seguridad estructural.

Por último, se traslada la proa, en que solo se invierte un mes ya que sus coeficientes de armamento en taller son elevados.

Como se indicó, se dispone de un tiempo extra al finalizar cada buque, antes de su periodo de pruebas, pensado para posibles retrasos o retrabajos necesarios. Este tiempo disminuye conforme se avanza en la construcción de cada buque debido al aprendizaje que se va obteniendo.

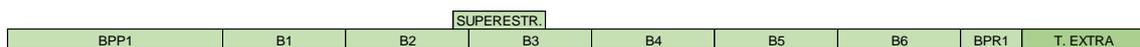


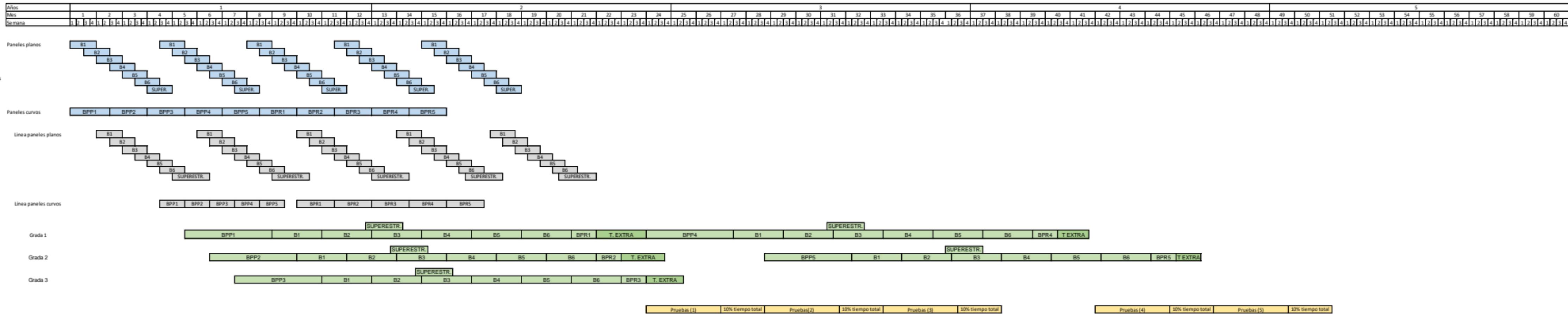
Figura 75. Armamento en grada buque 1

A continuación, se adjunta la planificación de la construcción de los 5 buques, la cual dura 4 años, 2 meses y 2 semanas. En ella se puede ver que existe un tiempo muerto de tres meses en el armamento en grada entre los buques 2 y 5. El buque 5 no se puede



*Desarrollo de alternativas para la estrategia constructiva de un
buque granelero de 40.000 TPM*

empezar hasta que se traslade el buque 2 al muelle de pruebas, el cual no se puede llevar a este lugar hasta que las pruebas terminen en el buque 1. Prestando atención a las pruebas, debido a que la construcción de los buques 1, 2 y 3 se inician con una separación de un mes, por lo que los tres terminan en un periodo de tiempo muy corto. Esto provoca que se las pruebas a realizar en los buques se acumulen. Como se ve en la planificación, desde que se termina el buque 2 en la grada hasta que se traslada al muelle de pruebas transcurre cierto tiempo, esto hace que el armamento del buque 5 se retrasa. La única solución posible para evitar esto podrían contratarse estas pruebas a otras empresas, pero sería necesario estudiar su viabilidad económica.





- **Montaje por popa y proa a la vez**

En esta opción se empieza el montaje en grada por los bloques de popa y proa, abriendo dos frentes de trabajo. Por lo tanto, en esta estrategia se han estudiado distintas secuencias de elaboración de los bloques de bodegas y finalmente se van a exponer las que han dado unos óptimos resultados.

En cuanto a los bloques de popa y proa, se construye un de popa y uno de proa, en este orden y alternativamente, con una duración de un mes y medio.

Los bloques correspondientes a las bodegas se elaboran de forma ordenada empezando por la primera bodega. Como se estableció en el apartado anterior, el tiempo requerido para cada bodega y la superestructura es de un mes.

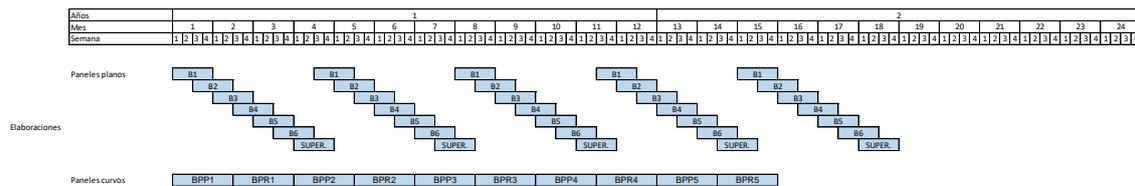


Figura 76. Elaboraciones - Montaje por popa y proa a la vez, combinación 2

Trasladando los bloques al armamento en taller, se sigue el mismo orden con el que se han realizado las elaboraciones.

En la línea de paneles planos, el tiempo necesario para las bodegas es de un mes, debido a sus coeficientes de equipos y de acero. El tiempo que se invierte en la superestructura es de un mes y medio, ya que esta se arma completamente dejándose únicamente para el montaje en grada los equipos delicados.

En la línea de paneles curvos, se invierte un mes para los bloques de popa y un mes y medio para los bloques de proa.



Desarrollo de alternativas para la estrategia constructiva de un buque granelero de 40.000 TPM

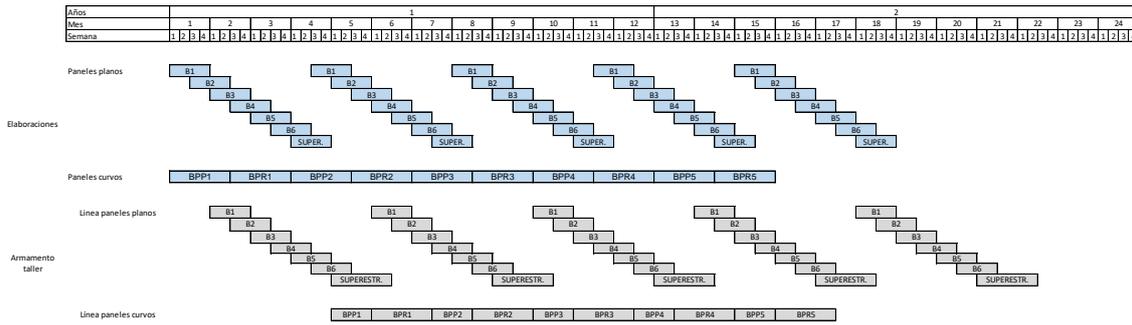


Figura 77. Elaboraciones y armamento en grada - Montaje por popa y proa a la vez, combinación 2

Como se ve, en estas dos fases no existe ningún parón.

Empezando con los trabajos en grada, el primer bloque que se traslada es el de popa. Esto es porque como tiene unos coeficientes de armamento de equipos y acero del 30%, la gran parte del armamento se va a realizar en grada. Cuando terminan los trabajos en este bloque, se traslada el bloque de popa en el que solo es necesario invertir un mes. Terminados estos dos bloques, se abren dos frentes de trabajo de forma que se trabaja simultáneamente en dos bodegas. La primera que se traslada es la bodega 1. Cuando los trabajos en este bloque se encuentran en un estado medio-avanzado es el momento de trasladar la bodega 6 e iniciar el armamento en este bloque. Siguiendo esto, se tienen dos partes en las que se están trabajando:

- Cuando finaliza la bodega 1, se traslada la bodega 2. Cuando finaliza la bodega 2, se traslada la bodega 3. Finalmente, cuando termina la bodega 3, se traslada la superestructura.
- Cuando termina la bodega 6, se traslada la 5. Cuando termina la bodega 5, se traslada la 4.

Para entender esto mejor, se adjunta el armamento en grada del primer buque.

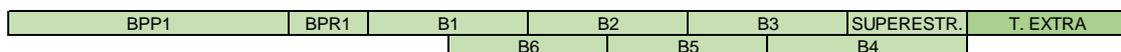


Figura 78. Armamento en grada buque 1



En la imagen se puede ver más fácilmente lo que se ha explicado. Hay algunos aspectos que es necesario aclarar:

- La superestructura, debido a se tienen dos frentes de trabajo abiertos, su montaje se realiza al final del proceso cuando solo se están realizando trabajos en la bodega 4. En este caso, que los trabajos de la superestructura se dejen para el final no supone un retraso en la entrega de los buques ya que se ha conseguido que se realicen durante los trabajos de la bodega 4.
- La duración del armamento en grada de la bodega 4 es de dos meses y medio, dos semanas más que el resto de las bodegas. Esto se debe a que éste es el último bloque y en esta estrategia constructiva requiere trabajos especiales.

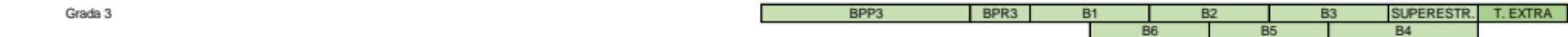
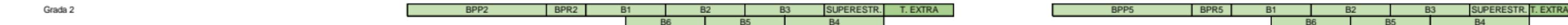
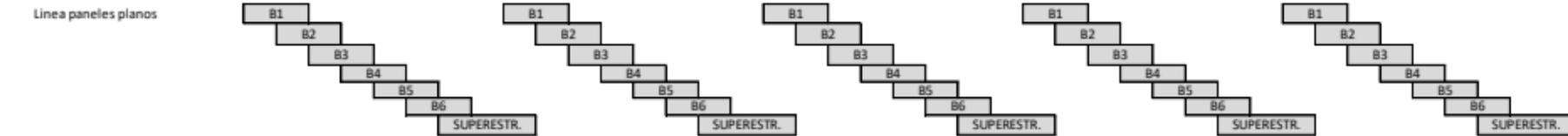
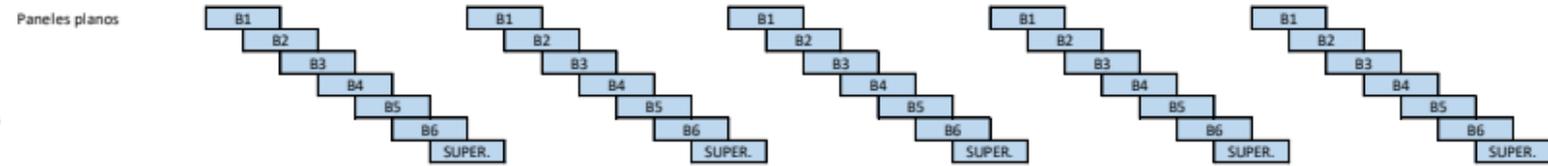
El procedimiento que se ha explicado para la construcción del primer buque se repite en los cuatro siguientes.

A continuación, se adjunta la planificación de la serie de cinco buques.

Estudiando la planificación completa, en el armamento en grada de los buques se produce un tiempo muerto de dos meses y medio entre los buques 2 y 5. Esto se debe a que al tener tres gradas la construcción de los primeros buques se inicia rápidamente y con una separación de dos meses y medio entre cada uno de ellos. Esto provoca que se finalicen con poca separación temporal pero solo se tiene un muelle de pruebas, por lo que hasta que no finalice el periodo de pruebas del buque 1, no se puede trasladar el dos. Por lo tanto, hasta que el buque 2 no se encuentra en el muelle de pruebas no se puede iniciar el montaje del buque 5. Como ya se indicó en el montaje por popa, la posible solución sería subcontratar estas pruebas.

Finalmente, la construcción de los cinco buques requiere 3 años, 6 meses y 3 semanas.

Años	1												2												3												4											
Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
Semana	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4





Una vez expuesta esta primera planificación, ha resultado interesante otra opción de secuencia de montaje de esta misma estrategia constructiva; por lo que a continuación se procede a su exposición.

Esta otra opción resulta muy similar a la anterior, se tiene el mismo orden de elaboración y montaje de los bloques y la misma duración de los trabajos en cada uno de ellos. La diferencia reside en el armamento en taller de la línea de paneles curvos.

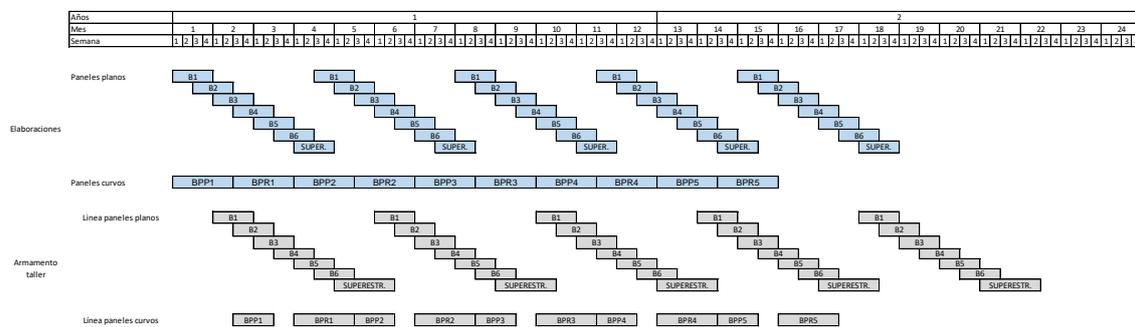


Figura 79. Elaboraciones y armamento en grada - Montaje por popa, combinación 2 (alternativa)



Figura 80. Armamento en taller - Línea de paneles curvos

A simple vista ya se puede ver que en esta línea de armamento se producen parones de dos semanas. Estos tiempos muertos, como son pequeños no resultan un problema ya que ese tiempo puede invertirse en otros trabajos como limpieza o preparación de herramientas y talleres.

Comparándolo con la opción estudiada anteriormente de esta misma estrategia, en la opción anterior no existían tiempos muertos mientras que en esta sí y el armamento en taller se empezaba en el mes 5 mientras que aquí inicia a los dos meses y medio.

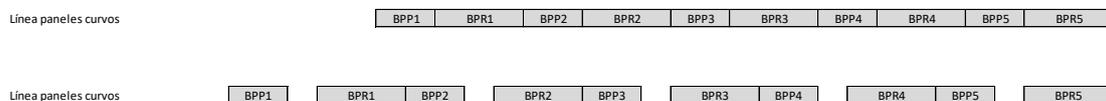


Figura 81. Comparación del armamento en taller - Línea de paneles curvos



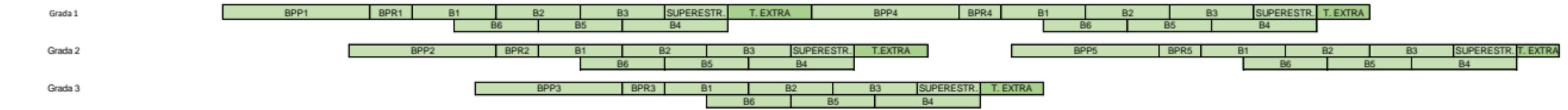
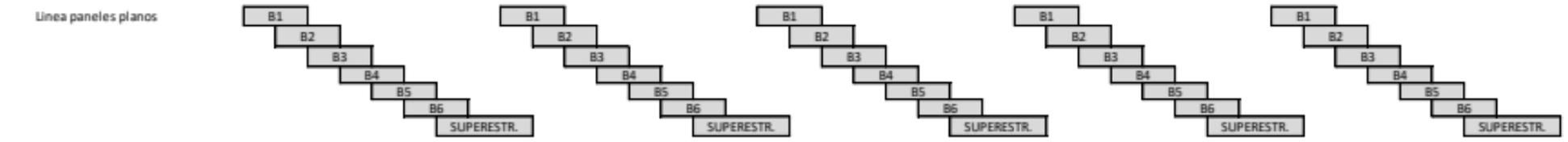
*Desarrollo de alternativas para la estrategia constructiva de un
buque granelero de 40.000 TPM*

El objetivo de estudiar esta alternativa reside en iniciar el armamento antes.

Se adjunta una imagen con la planificación. En ella se puede ver que se consigue el objetivo, el armamento en grada comienza a los tres meses y medio mientras que en la otra alternativa comenzaba en el sexto mes. Por lo tanto, en la construcción de los cinco buques se invierte 3 años, 4 meses y 1 semana.

Realizando una comparativa entre ambas opciones, hay que tener en cuenta el tiempo total requerido por cada una de las opciones, los tiempos muertos invertidos. Los tiempos muertos que tiene la segunda alternativa no suponen un problema, como ya se ha dicho; esta segunda alternativa también requiere un tiempo menor, por lo tanto, esta sería una mejor elección

Años	1												2												3												4																			
Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48								
Semana	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4





- **Montaje por bodegas**

Esta estrategia abre dos frentes de trabajo, igual que la anterior. El aspecto más interesante que presenta esta opción es establecer la secuencia de elaboración y montaje de los bloques. El establecimiento de este orden va a depender del despiece de bloques y las características del astillero. Debido al despiece que se tiene resulta más complicado en comparación con el astillero anterior, puesto que las bodegas estaban agrupadas de dos en dos y existía claramente un bloque de bodegas central (bodegas 3 y 4); aquí no se tiene una bodega central, dando lugar a un abanico más amplio de variaciones.

Se han estudiado todas las posibles configuraciones: variando el orden de elaboración de las bodegas y, por otra parte, de los bloques de popa y proa; finalmente, se analiza y desarrolla en profundidad la opción que mejores resultados ha dado.

Como ya se dijo, desde la colocación del primer bloque de bodegas se busca tener trabajos de duración similar a ambos lados (dirección popa y dirección proa).

En la fase de elaboraciones:

- La línea de paneles planos: debido a que se inicia el armamento empezando por las bodegas, el orden de elaboración de los bloques no va a ser una secuencia lógica como se ha hecho hasta ahora (empezando por la primera bodega o por la última). Después de estudiar distintas configuraciones se ha llegado a la conclusión de que la siguiente secuencia es la óptima para elaborar los bloques.

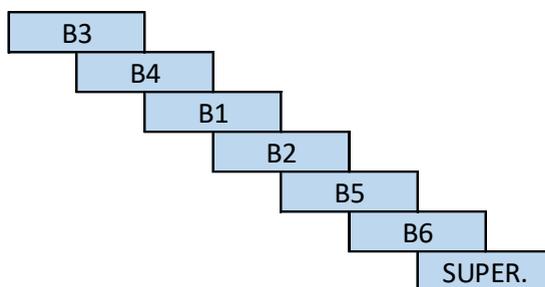


Figura 82. Elaboraciones de los paneles planos



Desarrollo de alternativas para la estrategia constructiva de un buque granelero de 40.000 TPM

- La línea de paneles curvos: Se elaboran la popa y la proa en este orden y de forma alternativa.



Figura 83. Elaboraciones de los paneles curvos

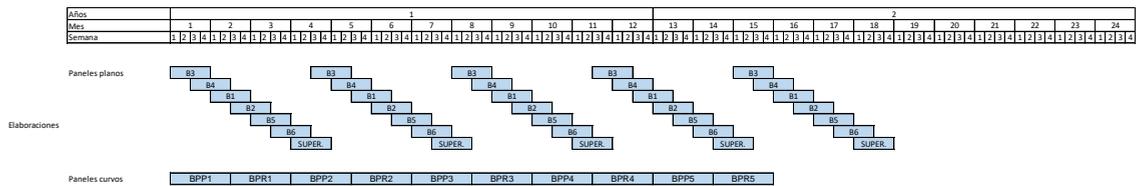


Figura 84. Elaboraciones - Montaje por bodegas, combinación 2

A medida que van estando listos los bloques se trasladan al taller de armamento, donde se sigue la misma secuencia de bloques en las dos líneas.

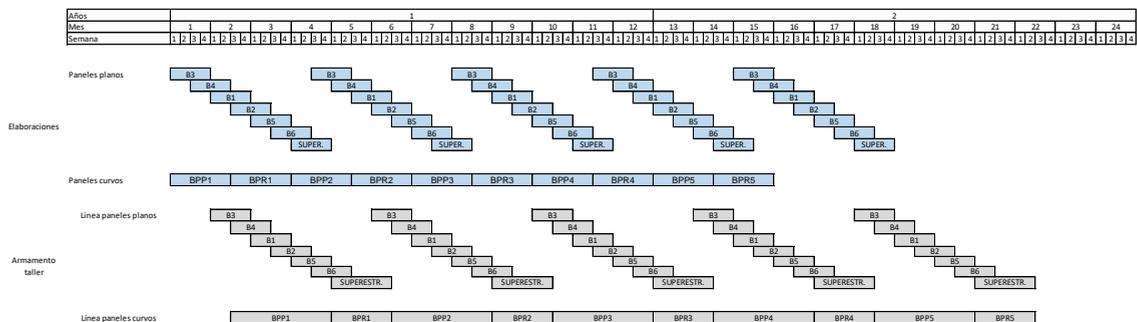


Figura 85. Elaboraciones y armamento en taller - Montaje por bodegas, combinación 2

Como se puede apreciar en la imagen anterior, y a diferencia de las alternativas vistas hasta el momento, el armamento de taller empieza temprano en el tiempo lo que confiere mayor fluidez a los trabajos y que el armamento en gradas también de comienzo antes.



La siguiente imagen corresponde al armamento en grada del primer buque, la cual se utiliza para explicar su planificación, que se repetirá para los siguientes buques.

Se la utilizado la bodega 3 como bodega central, se coloca la primera y a partir de ella se abren dos frentes de trabajo simultáneos. Cuando finalizan los trabajos en ésta, se coloca la bodega 4, de forma que cuando las tareas estén en un punto intermedio y no se estén utilizando las grúas; se traslada la bodega 2. Aquí ya se está en la situación de trabajos simultáneos, y la forma de proceder es como se ha dicho; cuando los trabajos en el presente bloque estén en un punto avanzado se traslada el siguiente a la grada. Esto se puede apreciar en la imagen adjuntada.

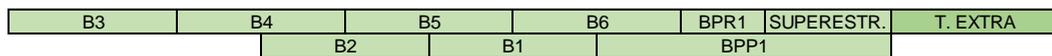
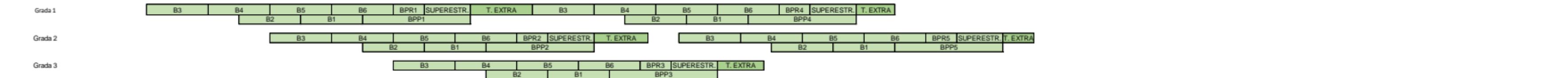
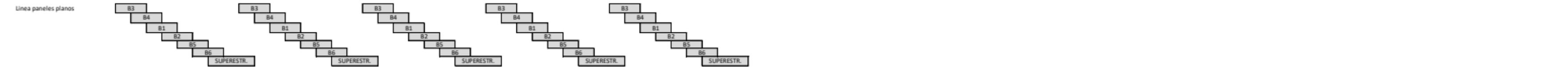
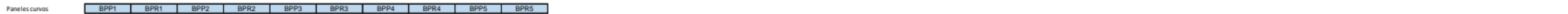


Figura 86. Armamento en grada buque 1

Es necesario destacar el izado y montaje de la superestructura, el cual se lleva a cabo mientras se están realizando trabajos en el bloque de popa. Anteriormente se había indicado que la superestructura debía montarse cuando los trabajos en el bloque de popa estuviesen finalizados, pero bien, en esta alternativa se tiene una excepción. En grada, se dedican tres meses y medio al armamento en grada de la popa, y el solapamiento de trabajos de la superestructura da comienzo a los dos meses por lo que se puede intuir que la popa se encuentra en un estado suficientemente avanzado para soportarlo. Resulta sumamente importante este aspecto, gracias a que el tiempo del armamento en popa es muy grande se puede llevar a cabo este solapamiento, de no ser así sería muy arriesgado hacerlo.

Esta misma secuencia se sigue en los siguientes buques.

Años	1												2												3												4															
Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48				
Semana	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4





*Desarrollo de alternativas para la estrategia constructiva de un
buque granelero de 40.000 TPM*

Se ha añadido la planificación completa de la serie. Como se ha dicho, el comienzo de armamento en grada del primer buque se realiza antes y existen mayor separación temporal entre los inicios de los tres primeros buques, esto se traduce en mayor fluidez en el muelle de pruebas puesto que los buques no deberán esperar tanto tiempo a que finalicen las pruebas en el anterior.

Una prueba de esta fluidez se encuentra claramente entre los buques 2 y 5, hasta el momento, se había producido un tiempo muerto que resultaba un poco preocupante ya que superaba los 2 – 3 meses; aquí este parón se ha reducido a un mes.

Finalmente, el tiempo total necesario es de 3 años, 2 meses y 1 semana.



- **Montaje por proa**

Esta es la última estrategia y resulta muy similar al montaje por popa.

Resulta evidente, que las elaboraciones y el armamento comenzará en la línea de paneles curvos por la bodega 6, hasta la bodega 1 y después la superestructura; y en la línea de paneles curvos se trabaja primero en todos los bloques de proa y posteriormente en los de popa.

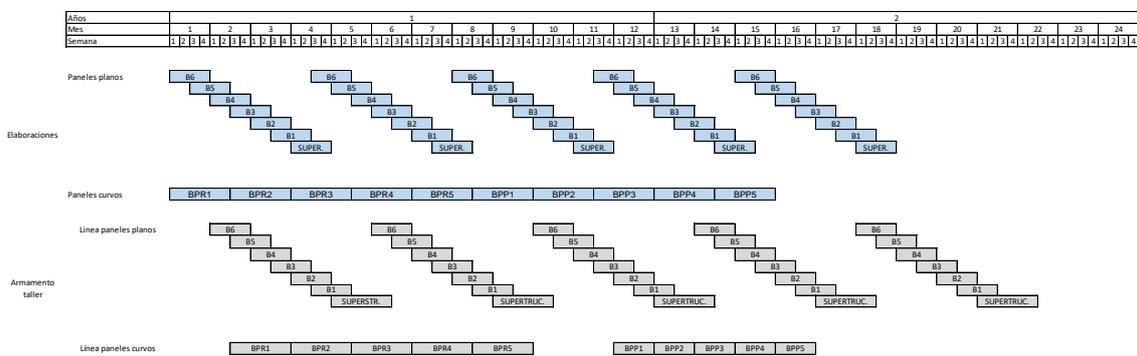
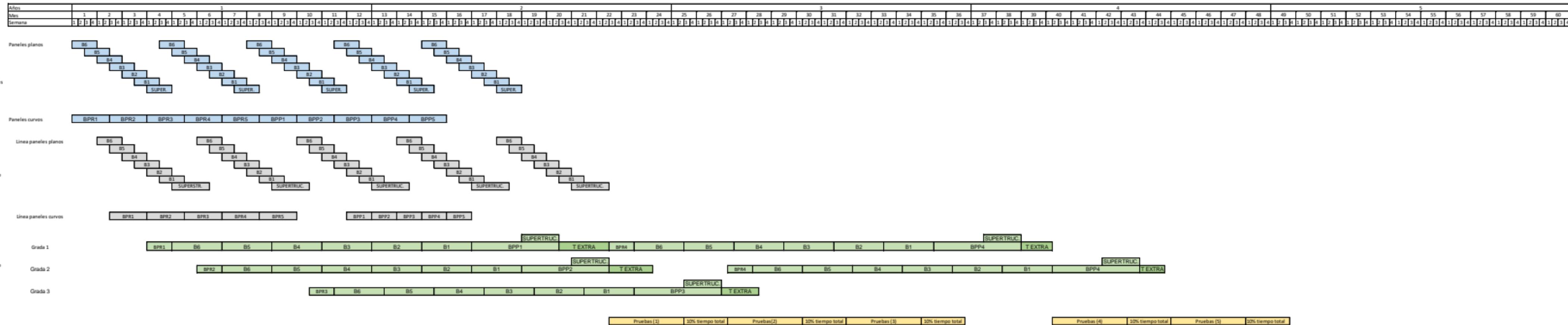


Figura 87. Elaboraciones y armamento en grada - Montaje por proa, combinación 2

Se produce un parón en el armamento de taller de los bloques complejos, al finalizar los correspondientes a proa y antes de iniciar los de popa. Constituye un tiempo de dos meses, lo cual no es la situación ideal, pero es la mejor solución que se ha encontrado en este procedimiento después del análisis de varias opciones. Por otra parte, también hay que decir que este parón, aunque supone un retraso el armamento de los bloques, se verá más adelante que esto no tiene gran influencia negativa, implica que los bloques de proa inician su armamento a mediados del segundo mes, permitiendo que el armamento en grada de comienzo pronto.





En la planificación mostrada se puede ver que la secuencia de montaje en grada es la lógica para esta estrategia: bloque de proa, montaje de bodegas (empezando por la 6 hasta la 1), montaje de popa y superestructura.

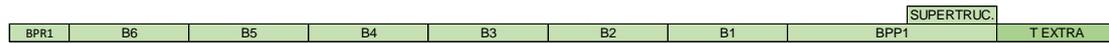


Figura 88. Armamento en grada buque 1

Hay que mencionar el solapamiento de la superestructura, por las mismas razones expuestas en la estrategia anterior, pero en esta alternativa tiene una importancia significativa. De forma evidente, en esta alternativa el “último” bloque se que monta es el correspondiente a la popa, por lo que después de éste va la superestructura, siendo el último realmente el de la superestructura; pero de forma concreta para este astillero gracias al tiempo necesario para la finalización del bloque de popa, se pueden solapar las tareas de la superestructura. Esto supone un ahorro de tiempo, ya que cuando se plantea este procedimiento no se piensa en la superposición de trabajos.

Este mismo procedimiento es el que se sigue para la serie completa.

Los buques 1 y 2 dan comienzo de forma próxima temporalmente, mientras que el comienzo del buque 3 se dilata en el tiempo. Esta proximidad entre los buques 1 y 2, implica que terminarán también con poca separación temporal, provocando que el buque 2 quede parado en la grada 2 mientras finalizan las pruebas en el buque 1. Esto implica un retraso de 3 meses del montaje del buque 5.

Hay que prestar atención al motivo por el cual se la construcción del tercer buque se retrasa, es debido a la capacidad de armamento de las bodegas que se tiene en taller. Su montaje en grada no inicia hasta que no está lista la bodega 6 (que es la primera bodega que se colocará) a pesar de tener listo el bloque de popa. Se procede de este modo ya que se considera preferible retrasar el armamento en grada del buque a tener un parón en las gradas debido a que no están finalizados los bloques. Así se mantiene el flujo continuo que se busca en estos procedimientos.



En el muelle de pruebas se produce un tiempo muerto entre las pruebas de los buques 3 y 4. El motivo principal de esto es el procedimiento utilizado, comparando con las estrategias anteriores en aquellas que se plantean trabajos simultáneos durante todo el proceso no se producen parones en este muelle. Mientras que, en el montaje por popa ocurre lo mismo, existe un tiempo muerto entre los periodos de pruebas de los buques 3 y 4. Por lo tanto, esto se debe a que, como no se realizan trabajos simultáneos, se invierte más tiempo en la construcción de un buque. Como se tienen tres gradas, los tres primeros barcos comienzan y acaban con poca diferencia de tiempo, por lo que se produce un trabajo continuo en el área de pruebas, pero después transcurre cierto tiempo hasta tener el cuarto buque finalizado y es aquí donde da lugar el tiempo muerto mencionado.

En conclusión, se requieren 4 años y 3 semanas para construir la serie de 5 buques mediante esta secuencia de montaje.

Comparación entre las distintas opciones:

Tabla 40. Tabla comparativa de la combinación 2

	Montaje por popa	Montaje por popa y proa		Montaje por bodegas	Montaje por proa
		1ª opción	2ª opción		
Tiempo total	50.5 meses	42.75 meses	40.25 meses	38.25 meses	48.75 meses
Inicio construcción 1º buque	Mes 4.5	Mes 6	Mes 2.5	Mes 3	Mes 3
Duración construcción un buque	16.5 meses	12 meses	12 meses	10.5 meses	16.5 meses



6.4.3. Combinación 3

Igual que se hizo al principio de las combinaciones anteriores, el primer paso para comenzar este nuevo análisis se estudia la distribución de los bloques. En este caso, el astillero en cuestión tiene una capacidad de izado de 800 toneladas. Para establecer una división de bloques óptima se tiene en cuenta el peso del acero estructural, el peso de la maquinaria y el peso correspondiente a los equipos. En las combinaciones anteriores ya se explicó esto en detalle, por lo que en este apartado no se va a realizar.

El despiece de bloques establecido inicialmente es el mismo que se ha ido viendo a lo largo del trabajo. A continuación, se muestra de nuevo la tabla correspondiente al peso de acero por sección y los bloques correspondientes.

Tabla 41. Distribución peso de acero

Sección	Eslora (m)	Peso acero total (t/m)	Bloques
0 (Ppp)	0	18,272	Popa
1	8,8	29,241	
2	17,6	38,605	
3	26,4	38,845	
4	35,2	43,421	Bodega 1
5	44	44,503	
6	52,8	22,354	Bodega 2
		22,354	
7	61,6	44,763	Bodega 2
8	70,4	44,785	
9	79,2	44,794	Bodega 3
10	88	44,799	
11	96,8	22,4005	Bodega 3
		22,4005	
12	105,6	44,803	Bodega 4
13	114,4	44,798	
14	123,2	44,676	Bodega 5
15	132	44,296	
16	140,8	21,606	Bodega 5
		21,606	
17	149,6	40,411	Bodega 6
18	158,4	34,431	
19	167,2	35,333	Proa
20 (Ppr)	176	25,292	



También se vuelve a mostrar el peso total de la maquinaria y de los equipos y
habilitación, así como su distribución a lo largo de la eslora del buque.

Tabla 42. Peso maquinaria y equipos

Peso de la Maquinaria WMQ (t)	466,54
Peso de Equipo y Habilitación WEH (t)	792,66

Tabla 43. Distribución pesos y porcentajes de la maquinaria y equipos

Sección	Bloques	Porcentaje maquinaria	Peso Maquinaria (t)	Porcentaje equipos	Peso Equipos (t)	
0 (Ppp)	Popa	10%	46,654	5%	19,816	
1		10%	46,654		19,816	
2		40%	186,616	50%	198,16	
3		40%	186,616		198,16	
4	B1	0%	0	40%	52,844	
5					B2	52,844
6	B3					52,844
7					B4	52,844
8						B5
9	B6				52,844	
10					Proa	52,844
11	5%					19,816
12					19,816	
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20 (Ppr)			466,54		792,66	



De forma, que el peso tanto de acero estructural como de equipos (por sección) queda como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 44. Distribución peso de acero y equipos por secciones

Sección	Peso de Acero por sección (t)	Peso de equipos por sección (t)
0 (Ppp)	128,759	19,817
1	206,054	19,817
2	272,040	198,165
3	273,732	198,165
4	305,978	17,615
5	313,602	17,615
6	157,523	17,615
	157,523	17,615
7	315,434	17,615
8	315,589	17,615
9	315,653	17,615
10	315,688	17,615
11	157,851	17,615
	157,851	17,615
12	315,716	17,615
13	315,681	17,615
14	314,821	17,615
15	312,144	17,615
16	152,252	17,615
	152,252	17,615
17	284,767	17,615
18	242,627	17,615
19	248,983	19,817
20 (Ppr)	178,227	19,817
Total	5.910,750	792,660

Lo que ha sido explicado hasta el momento es constante durante todo el trabajo, y a partir de este punto, en cuando se analiza este astillero en cuestión.

Las instalaciones de estudio cuentan con una capacidad de izado de 800 toneladas, que recordando las anteriores eran de 1200 y 400 toneladas. Por lo tanto, se tiene una



capacidad alto, que se encuentra entre ambas, por lo que va a generar un mayor abanico de posibilidades.

Primero, se evalúan los porcentajes que resultan óptimos dadas las características para configurar una distribución de los bloques. A continuación, se muestra la tabla correspondiente. Se muestra el coeficiente aplicado, tanto al acero como a los equipos, y el peso resultante a cada partida y finalmente el peso total por sección armada.

Tabla 45. Distribución de porcentajes y pesos de equipos y acero

Sección	Coeficiente de armamento de acero	Peso armamento acero (t)	Coeficiente de armamento de equipos	Peso armamento equipos (t)	Peso total por sección armada (t)
0 (Ppp)	60%	77,26	50%	9,91	87,16
1	60%	123,63	50%	9,91	133,54
2	60%	163,22	50%	99,08	262,31
3	60%	164,24	50%	99,08	263,32
4	90%	275,38	90%	15,85	291,23
5	90%	282,24	90%	15,85	298,10
6	90%	141,77	90%	15,85	157,62
	90%	141,77	90%	15,85	157,62
7	90%	283,89	90%	15,85	299,74
8	90%	284,03	90%	15,85	299,88
9	90%	284,09	90%	15,85	299,94
10	90%	284,12	90%	15,85	299,97
11	90%	142,07	90%	15,85	157,92
	90%	142,07	90%	15,85	157,92
12	90%	284,14	90%	15,85	300,00
13	90%	284,11	90%	15,85	299,97
14	90%	283,34	90%	15,85	299,19
15	90%	280,93	90%	15,85	296,78
16	90%	137,03	90%	15,85	152,88
	90%	137,03	90%	15,85	152,88
17	90%	256,29	90%	15,85	272,14
18	90%	218,36	90%	15,85	234,22
19	90%	224,09	90%	17,83	241,92
20 (Ppr)	90%	160,40	90%	17,83	178,24
Total					5.594,51



A continuación, con el peso total por sección obtenido anteriormente, se agrupa por bloques con objetivo de comprobar los pesos y porcentajes aplicados.

Tabla 46. Distribución peso por secciones y bloques

Sección	Peso total por sección armada (t)	Bloques	Peso bloques (t)
0 (Ppp)	87,16	Popa	746,33
1	133,54		
2	262,31		
3	263,32		
4	291,23	Bodega 1	746,95
5	298,10		
6	157,62	Bodega 2	757,25
	157,62		
7	299,74	Bodega 3	757,83
8	299,88		
9	299,94		
10	299,97	Bodega 4	757,88
11	157,92		
		157,92	
12	300,00	Bodega 5	748,86
13	299,97		
14	299,19		
15	296,78	Bodega 6	659,24
16	152,88		
		152,88	
17	272,14	Proa	420,16
18	234,22		
19	241,92		
20 (Ppr)	178,24		
Total	5.594,51		5.594,51

Con la Tabla 46, lo primero que se comprueba es el peso total de forma que se asegura que no ha habido ningún error de cálculo. Se muestran los pesos por bloque, de modo que se ve que todos quedan por debajo de las 800 toneladas, por lo tanto, se han aplicado los coeficientes correctos.



Analizando los coeficientes, lo primero es prestar atención a que los aplicados a los equipos no superan a los del acero estructural. En cuanto al porcentaje aplicado a los bloques de bodegas y a la proa, es del 90 % (para ambas partidas de peso) que es el máximo, por lo que el armamento en taller requerirá un tiempo elevado. Los porcentajes aplicados al bloque de popa, que es el más pesado, para el acero es del 60% mientras que para los equipos es el 50%. Estos porcentajes no son muy elevados, pero tampoco excesivamente bajos, corresponden a una capacidad de izado alta. Por lo tanto, en primera instancia se puede afirmar que también requerirán más tiempo los trabajos en grada que en taller.

También es necesario analizar los pesos de las cubiertas para establecer su división.

Tabla 47. Peso y centro de gravedad de la superestructura

	Volumen (m ³)	XG (m)	ZG (m)	Peso (t)
Cubierta A	1164,00	12,02	22,222	151,32
Cubierta B	1164,00	12,02	25,222	151,32
Cubierta C	958,97	14,05	28,222	124,67
Cubierta D	958,97	14,05	31,222	124,67
Cubierta E	708,27	16,42	34,222	92,08
Cubierta F	745,46	16,74	37,222	96,91
Total				740,97

Puesto que el peso total de las cubiertas no supera la capacidad de izado, ésta se establece como un bloque completo. Esto resulta positivo ya que en el traslado de este bloque a grada solo se requiere de una operación. Como se vio en la combinación anterior en la cual esto no era posible, el traslado a la grada de las distintas partes de la superestructura implicada un tiempo mayor y más trabajos.

A continuación, se muestra el desglose de bloques con el que se trabajará en este astillero.

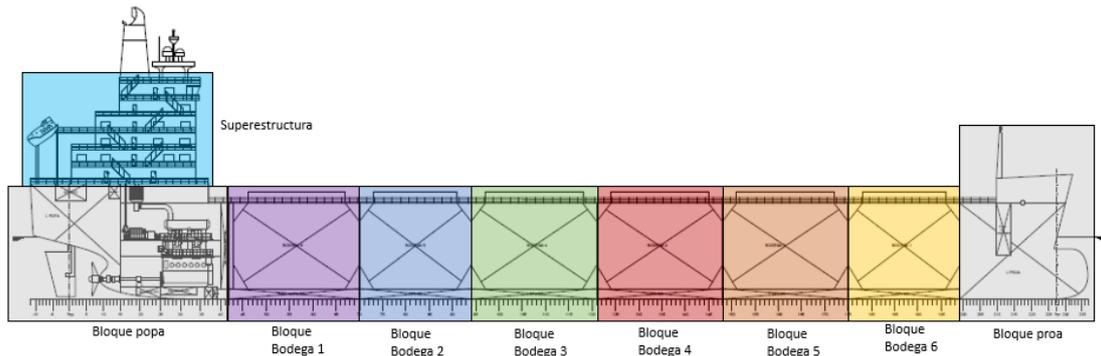


Figura 89. Despiece de bloques - Combinación

Con el despiece de bloques ya hecho, se procede al desarrollo de las estrategias constructivas. Debido a las características que presenta este astillero, de cada procedimiento de montaje se van a exponer varias opciones que han resultado interesantes.

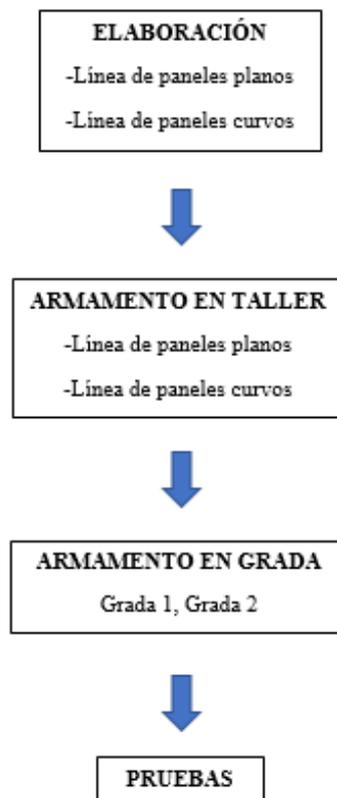


Figura 90. Fases proceso constructivo del buque



En el esquema anterior se muestran las fases que se llevan a cabo y las líneas dentro de cada taller. Como ya se ha visto en las combinaciones anteriores, son iguales. La única diferencia está en el armamento en grada, en esta opción se dispone de dos gradas inclinadas. Debido a las características de este astillero no será posible llevar a cabo el montaje por popa y proa, debido a la dificultad que presenta realizar los movimientos de los bloques finales para la unión y los riesgos que esto conlleva en cuanto a la estructura del buque, las instalaciones y el personal.

- **Montaje por popa**

El primer paso es establecer el tiempo invertido en cada bloque en cada una de las estaciones. En el capítulo indicado, ya se fijó y justificó que la elaboración de un bloque “sencillo” requiere un mes y un bloque “complejo” requiere un mes y medio. Por lo tanto, teniendo en cuenta los coeficientes que se tiene para el armamento en taller, se fijan los siguientes tiempos para los bloques según la fase en la que estén.

En el armamento en taller:

- Los bloques de bodegas y la superestructura requieren un tiempo de dos meses para su montaje. Se ha aplicado un coeficiente del 90% (tanto para el acero como para los equipos) por lo que este mayor tiempo en taller se convierte en menor tiempo en grada.
- Los bloques de popa necesitan un mes y medio para completar su armamento en taller, ya que sus coeficientes eran del 60% para el acero estructural y 50% para los equipos.
- Los bloques de proa tienen asignados los mismos coeficientes que las bodegas por lo tanto se invierte un tiempo mayor que para los de popa, siendo éste de dos meses.

En el armamento en grada:

- Las bodegas, debido a que se trasladan a las gradas en un estado muy avanzado, solo requieren un mes de trabajos, siempre y cuando no surja ningún imprevisto.



- Los bloques de popa, los coeficientes relativamente bajos aplicados para el armamento en taller repercuten en esta fase ya que aquí requerirán un tiempo mayor, el cual es de dos meses. Como se puede apreciar, los tiempos establecidos tanto en el armamento en grada como en taller para estos bloques son parecidos por lo que a priori se podría decir que no habrá una gran repercusión en cuanto a retrasos.
- Los bloques de proa, al igual que ocurre en las bodegas, gracias a su avanzado montaje en las gradas solo requieren un mes.
- La superestructura, puesto que se traslada completa y forman un bloque, para las tareas que se realizan en ella se asigna un mes. Siempre que sea posible se estudia la opción de realizar estos trabajos de forma solapada con el montaje de las bodegas.

Estos tiempos indicados, se utilizan para todas las alternativas que se van a exponer dentro de este astillero.

Dentro del montaje por popa, después de desechar varias opciones, se exponen las dos que han resultado más competentes:

Alternativa 1 de montaje por popa.

La elaboración de los bloques, en la línea de paneles planos comienza con el bloque de la superestructura y sigue con los bloques de bodegas (empezando por la 1 hasta la 6). El orden de elaboración es diferente a todas secuencias que se han visto hasta ahora, ya que no es común iniciar las elaboraciones con la superestructura. El fin de iniciar el proceso con un bloque u otro, reside en poder comenzar cuanto antes el armamento en grada, por lo que se entiende que los primeros paneles que se elaborarán irán destinados al primer bloque. Aquí se ha elegido la superestructura como primer bloque porque durante el análisis de las secuencias de bloques se determinó que elaborar este bloque más tarde implicaría un retraso en el armamento en grada, por lo que es preferible elaborarla en primer lugar y así, tenerla preparada y almacenada, lista para trasladarse cuando sea necesario.

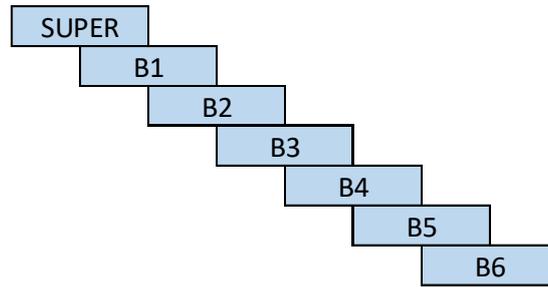


Figura 91. Elaboración paneles planos

La elaboración en la línea de paneles curvos empieza con los bloques de popa y cuando se han terminado se empieza con los de proa.

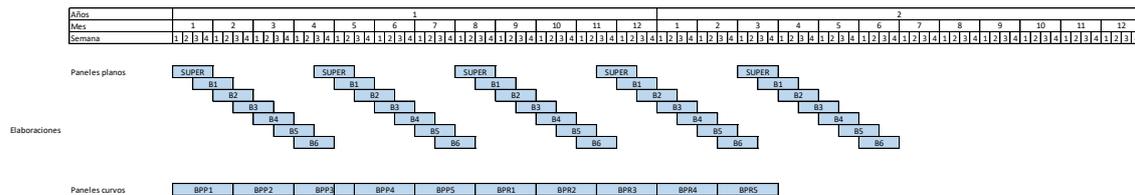


Figura 92. Elaboraciones - Montaje por popa: Alternativa 1, Combinación 3

A medida que se van terminando se trasladan al taller de armamento, donde se sigue la misma secuencia de montaje.

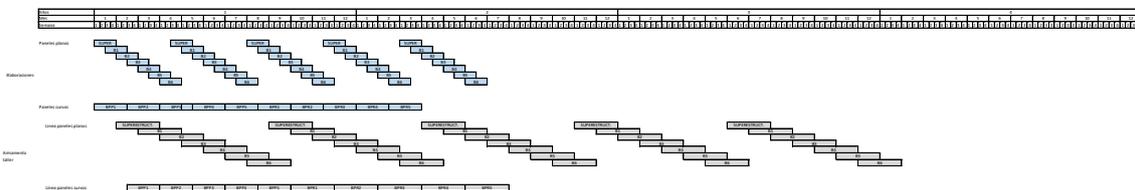


Figura 93. Elaboraciones y armamento en grada - Montaje por popa: Alternativa 1, Combinación 3

Cuando el bloque de popa del primer barco está listo se traslada a las gradas para terminar su armamento, esto ocurre al principio del cuarto mes, lo que indica que los



trabajos en grada comienzan temprano. A partir de que se terminan los trabajos en la popa se van trasladando las bodegas de forma ordenada y por último la proa.

En cuanto al armamento de la superestructura, se traslada, iza y monta de forma simultánea a los bloques 3 y 4, teniendo siempre en cuenta que no coincidan los trabajos que requieran las grandes grúas.

A continuación, se adjunta una imagen que corresponde al proceso de armamento en grada del primer buque, siguiendo el mismo procedimiento para el resto de ellos.

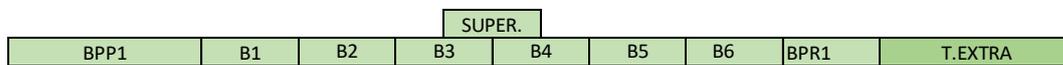


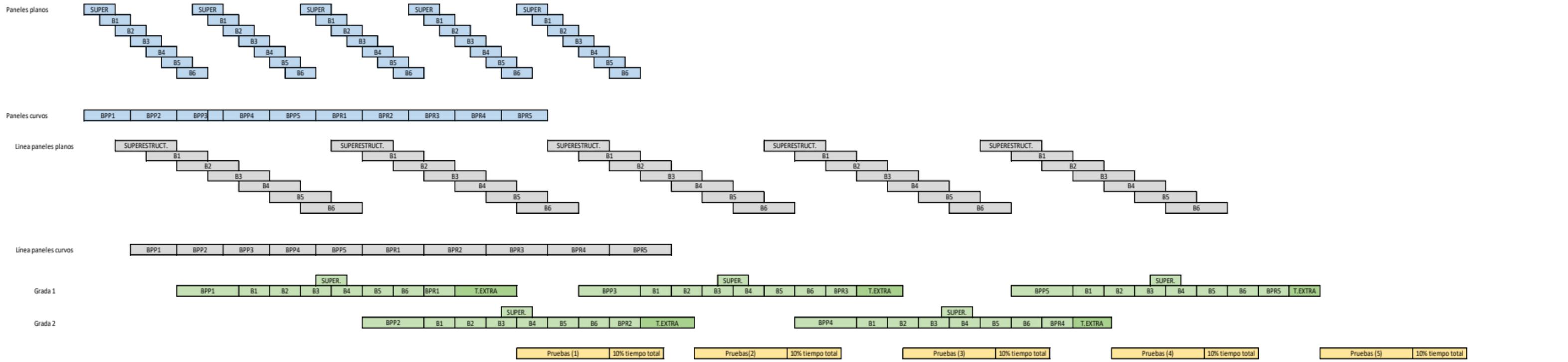
Figura 94. Armamento en grada buque 1

El traslado a grada del bloque de popa del segundo buque se realiza en el décimo mes. La diferencia temporal entre los comienzos de los dos primeros buques es grande. Esto se debe, a que no se inicia el segundo buque hasta que el armamento en taller de las bodegas lo permite, sin que se produzcan tiempos muertos durante el montaje de los bloques es bodegas. Esto ya se vio en las combinaciones anteriores, y en este caso se debe a que las capacidades de armamento en grada son mayores que las de montaje en taller.

Estudiando la planificación de la serie completa, un aspecto que llama la atención son los tiempos muertos que existen entre la construcción de los buques. Estos parones van desde 2 hasta 4 meses, lo cual no resulta muy conveniente. Una vez más, esto es debido a que el alto rendimiento del montaje de bloques en gradas no se corresponde con la capacidad de armamento en taller, provocando retrasos y parones entre los barcos; de modo que resulta mejor retrasar el comienzo de montaje de un buque a tener tiempos muertos a mitad del proceso.

La entrega de estos cinco buques se realizará 3 años, 8 meses y 3 semanas desde su inicio.

Años	1												2												3												4																							
Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12												
Semana	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4





Alternativa 2 de montaje por popa.

En esta opción la secuencia de elaboración y armamento en taller es muy diferente a la vista anteriormente. En esta alternativa se estudia elaborar los bloques de bodegas y de la superestructura “de dos en dos”.

Se utiliza la siguiente imagen para explicar la secuencia de elaboración de los paneles de los bloques. Como se dispone de dos gradas, se ha analizado elaborar los bloques de forma que se puedan armar dos bloques de forma próxima en el tiempo.

Se comienza elaborando los dos bloques de las superestructuras y después se pasa a las bodegas de forma ordenada, comenzado por la bodega 1 y por último la 6, realizando las bodegas 1 de los dos primeros buques y así hasta tener todas las bodegas.

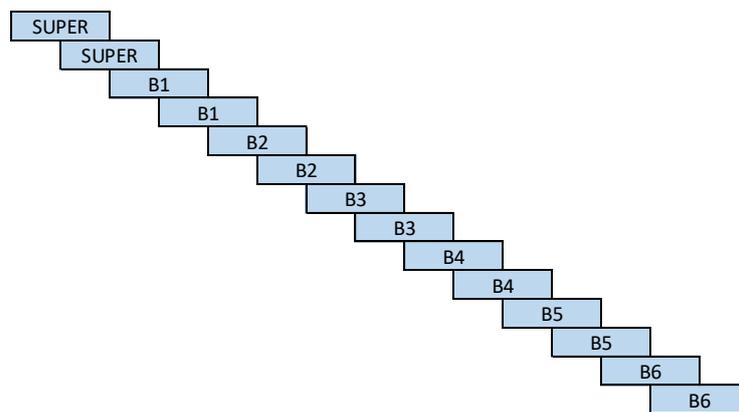


Figura 95. Elaboraciones paneles planos

Este mismo procedimiento se sigue para los bloques de los buques 3 y 4; por último, se tiene el buque 5, puesto que solo es uno, se elabora la superestructura y después las bodegas de forma ordenada.

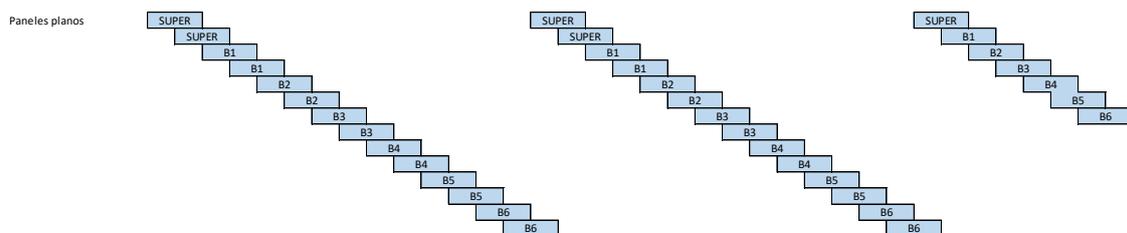
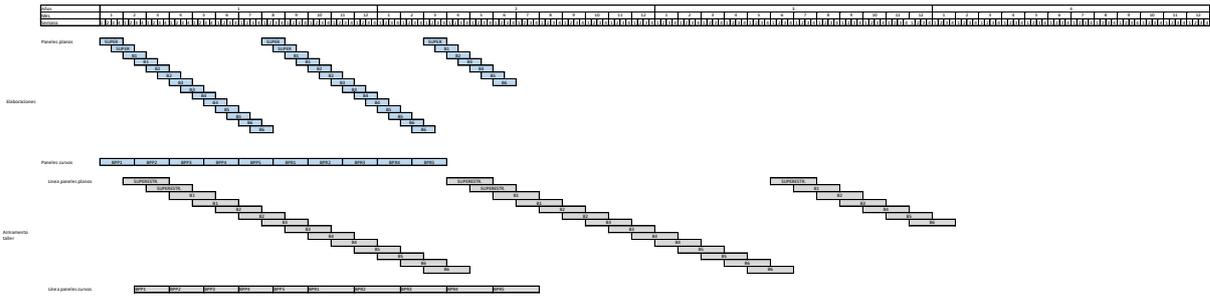


Figura 96. Elaboraciones paneles planos (completa)



En cuanto a la línea de paneles curvos se sigue la misma secuencia que en la alternativa anterior, primero los bloques de popa y posteriormente los de proa.

En el taller de armamento, se sigue la secuencia que se ha explicado.



*Figura 97. Elaboraciones y armamento en taller - Montaje por popa: alt.2,
Combinación 3*

Conforme se van terminando los trabajos en el taller, se trasladan a grada los bloques. Los primeros bloques que se colocan corresponden a los de popa, y el comienzo de los buques 1 y 2 se hace de forma muy próxima temporalmente, aunque también se hace en los últimos meses del primer año. Esto es debido a la secuencia de elaboración de los bloques.

El bloque de popa de buque 1 se lleva a la grada 1 en el noveno mes y el del buque 2 a la segunda grada en el mes 10. Como ya se ha dicho, se debe a la secuencia de montaje.

Al igual que en la alternativa anterior, se producen tiempos muertos entre los comienzos de montajes en grada de los buques. Debiéndose a que en grada se tiene un alto rendimiento, pero prestando atención al buque 5, esto no ocurre. El comienzo de armamento en grada se hace de forma continuada al finalizar el buque 3 en la grada 1. No existen tiempos muertos debido a que el armamento en taller de los bloques ya se ha terminado, por lo tanto, no es necesario dejar un tiempo a tenerlos listos.

En el muelle de pruebas, los buques entre los cuales sus periodos de pruebas no hay tienen tiempos muertos son:

- Buque 1 y buque 2



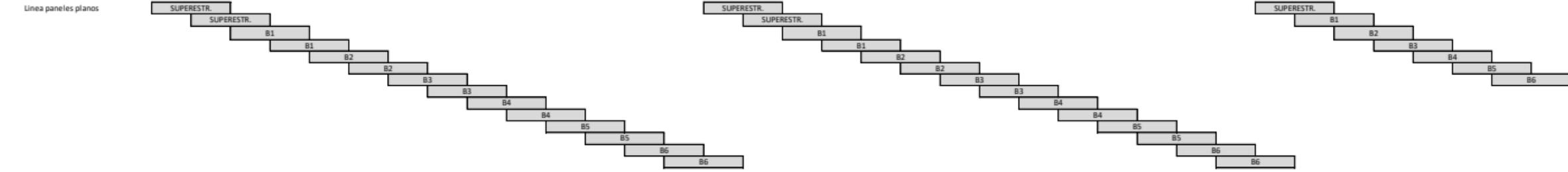
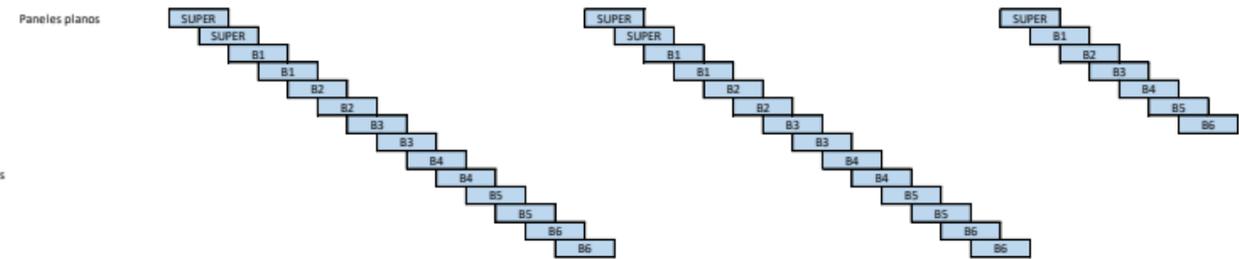
*Desarrollo de alternativas para la estrategia constructiva de un
buque granelero de 40.000 TPM*

- Buque 3 y buque 4

Esto se produce así porque su construcción, puesto que estos buques terminan de forma próxima en el tiempo. El buque 2 tiene que esperar cierto tiempo en grada hasta terminar las pruebas en el primer buque y lo mismo ocurre con los buques 3 y 4.

Finalmente, se invierte 3 años, 9 meses y 2 semanas para construir las cinco embarcaciones

Años	1																								2																								3																								4																							
Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12																																																
Semana	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				





En este punto ya se puede realizar una comparativa entre ambas:

Tabla 48. Tabla comparativa combinación 3. Montaje por popa.

	Alternativa 1	Alternativa 2
Tiempo total	45.75 meses	47.25 meses
Inicio construcción 1º buque	Mes 4	Mes 9
Duración construcción un buque	9 meses	9 meses

- **Montaje por bodegas**

En la estrategia anterior ya se estudiaron los tiempos que se van a invertir, por lo que aquí serán los mismos.

En el montaje por bodegas la incertidumbre reside en el establecimiento de la bodega central por la cual empezará el armamento y las elaboraciones.

Debido a las características de este astillero, resulta más difícil establecer una secuencia de montaje ya que se dispone de unas capacidades media-altas. Por lo tanto, se van a exponer las opciones que han resultado más adecuadas. Hay que decir que en esta estrategia dentro de este astillero se han estudiado más de 20 alternativas.

Como se había analizado hasta ahora, el orden que se establecía en las elaboraciones marcaría la secuencia del armamento, tanto en grada como en taller, pero aquí esto no ocurre. En el montaje por bodegas de este astillero, presenta una infinidad de posibilidades que a priori resultan lógicas.

El montaje por bodegas siempre empezará su armamento por las bodegas centrales, por lo que debería empezarse las elaboraciones del mismo modo. Pero en esta opción se van a estudiar situaciones en las que la secuencia de montaje y elaboración es la misma y en las que se tienen distintas secuencias de elaboración y montaje.

Alternativa 1

En esta alternativa se establece una secuencia de elaboración típica. En la línea de paneles planos se empieza por la bodega 1 hasta la 6 y después la superestructura. En la



línea de paneles curvos se elaboran los paneles de popa y de proa, en este orden y de forma alternativa.

De este modo, la secuencia seguida en el armamento en taller es la misma que en las elaboraciones.

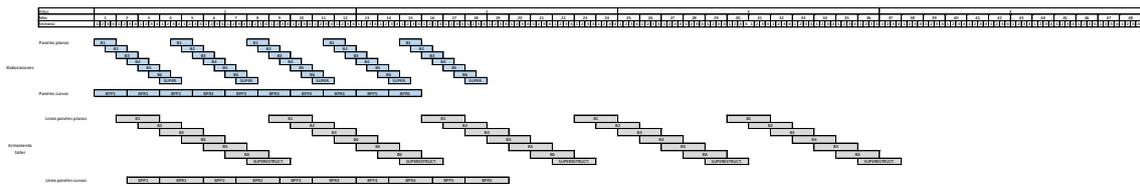


Figura 98. Elaboraciones y armamento en grada - Montaje por bodegas: Alternativa 1, Combinación 3

En el armamento en grada esta secuencia cambia. Las elaboraciones se han realizado de forma ordenada, empezando por la bodega 1 y para el montaje en grada se va a empezar con la bodega 3.

A continuación, se adjunta la secuencia de armamento de bloques en grada correspondiente al buque 1.

B3	B2	B1	BPP1		SUPER.	T. EXTRA
	B4	B5	B6	BPR1		

Figura 99. Armamento en grada buque 1

Como se ve en la Figura 99, el orden que se sigue consiste en colocar primero el bloque de la bodega 3, con lo que se abren dos frentes de trabajo y desde ahí colocar de forma alternativa bloques a un lado y a otro.

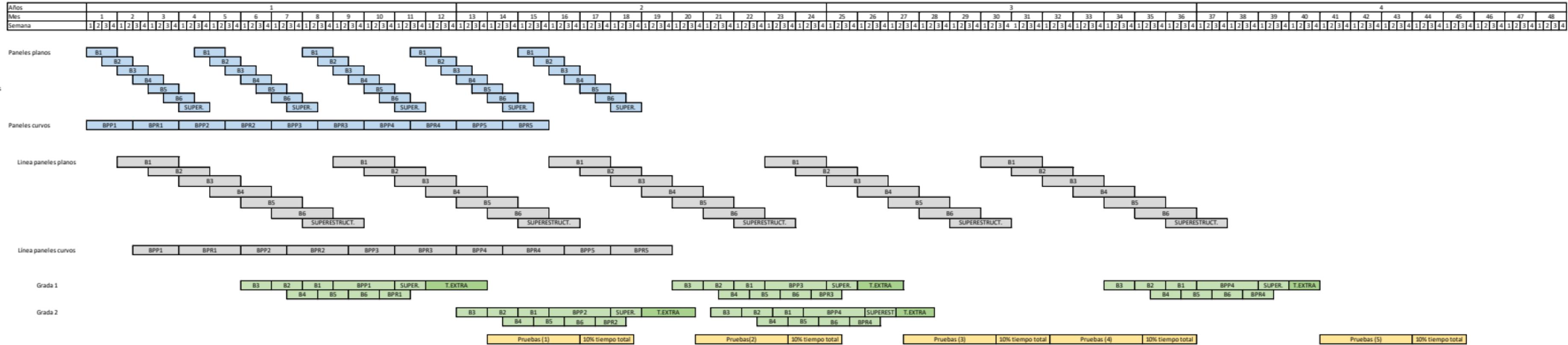
Este es el proceso que se sigue para los cinco buques, en el que se invierte un total de 3 años, 7 meses y 3 semanas.

En la siguiente imagen se muestra la planificación completa. Lo que más llama la atención a simple vista es el tamaño de los tiempos muertos que existen en el armamento



*Desarrollo de alternativas para la estrategia constructiva de un
buque granelero de 40.000 TPM*

en grada, que alcanzan los seis meses y medio. Esto ya es un indicativo de que esta opción se va a desechar puesto que parones tan grandes implican una pérdida de dinero considerable, así malgasto de recursos humanos y técnicos.





Alternativa 2

En esta alternativa, las elaboraciones de los paneles planos cambian de orden, se empieza por la bodega 6 hasta la 1 y después la superestructura. En cuanto a los paneles curvos, la secuencia utilizada es la misma.

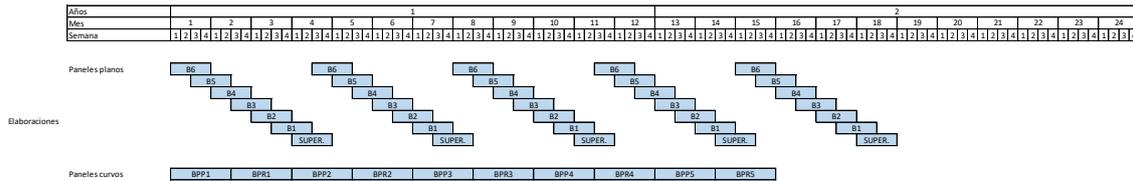


Figura 100. Elaboraciones - Montaje por bodegas: Alternativa 2, Combinación 3

De este modo, se van trasladando los bloques al taller de armamento, en el cual el orden seguido es el mismo y conforma van estando listos se llevan a las gradas.

Como en las gradas el primer bloque que se monta es el de la bodega 4, las bodegas 6 y 5 que se tienen listas antes, se almacenan hasta que se requieran. En esta opción, se supone que las capacidades de almacenamiento disponibles son considerables.

Cuando la bodega 4 está lista, se traslada a la grada 1. Una vez se terminen los trabajos en este primer bloque, se inician trabajos simultáneos en los dos siguientes bloques, las bodegas 3 y 5. A medidas que estos se van terminando, después de la bodega 3 se lleva la bodega 2; y después de la 5 se monta la bodega 6. Cuando éstas se terminan, al finalizar la bodega 2, se traslada la 1; y cuando se termina la bodega 6 se traslada el bloque de proa. Cuando se terminan los trabajos en la bodega 1, se traslada el bloque de popa y por último la superestructura.

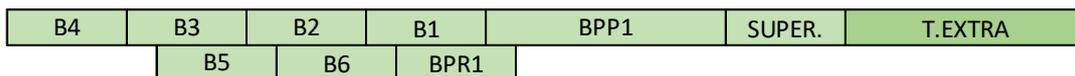


Figura 101. Armamento en grada del buque 1



Como se ve en la imagen, prácticamente durante el armamento de la popa y la superestructura no existen trabajos solapados (en el otro frente de trabajo ya se han finalizado los bloques). Esto se debe a que el primer bloque es la bodega 4, comparándolo con la alternativa 1, en ésta se solapaban más los trabajos porque se empezaba por la bodega 3. La existencia de un menor solapamiento temporal repercutirá en un mayor tiempo de construcción.

Se adjunta la planificación de la construcción de la serie completa, la cual ha requerido de 3 años, 9 meses y 3 semanas.

Se puede observar que en el armamento en grada también se producen tiempos muertos muy grandes entre la construcción de las cinco embarcaciones. También existen parones en el muelle de pruebas, pero éstos son menores. Al igual que se ha indicado anteriormente, los parones que se producen en las gradas son muy perjudiciales y la misión que nos ocupa es encontrar una solución a los mismos.



Alternativa 3

Esta tercera alternativa es igual a la anterior, pero cambiando la secuencia de montaje de los bloques en grada. Se estudia empezar el armamento en grada por la bodega 3, con el fin de reducir los tiempos muertos que se producen.

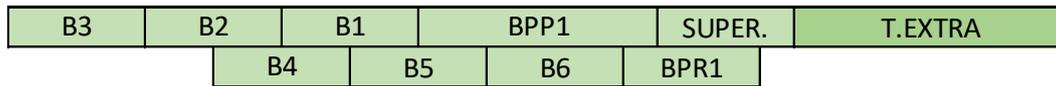


Figura 102. Armamento en grada buque 1

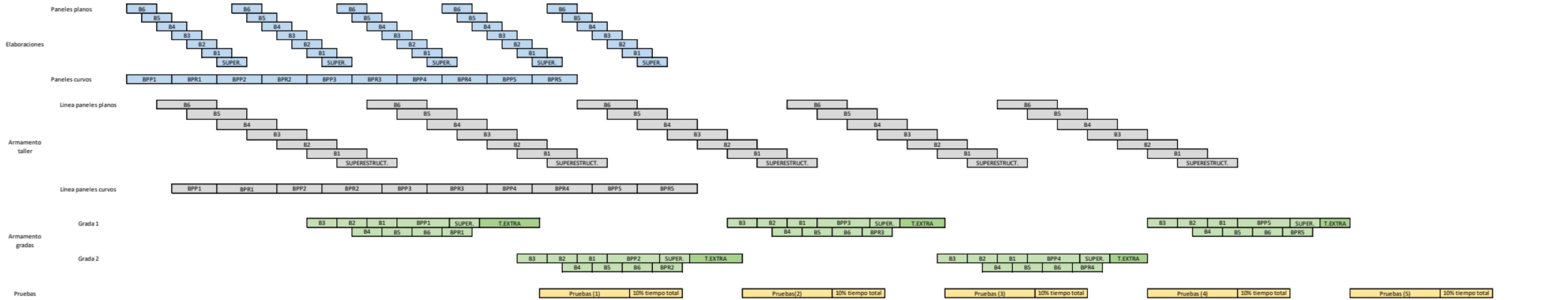
En la imagen adjuntada, se puede ver que cambiando la secuencia los trabajos de la construcción en grada del buque quedan más solapados que en la alternativa 2, por lo que la duración de construcción de cada buque será de menor tiempo.

En la planificación completa, se ve que siguen existiendo grandes tiempos muertos entre los armamentos en grada de cada buque que incluso son algo mayores que los de la alternativa anterior debido a que aquí la duración de la construcción de un buque es un poco menor. Por lo tanto, este cambio secuencia de montaje no es una buena solución.

En las alternativas que se ha visto hasta ahora, las tres coinciden en los parones producidos en grada por lo que se puede afirmar que estos se deben a que las capacidades de armamento en taller son menores que las de grada; siendo estos parones necesarios para que se terminen los bloques en los talleres.

Finalmente, la entrega de los buques se hará 3 años, 9 meses y 2 semanas desde su inicio.

Años																																																																												
Mes	1				2				3				4				5				6				1				2				3				4				5				6				1				2				3				4															
Semana	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4





Las dos alternativas restantes que se van a explicar dejan de tener una secuencia “ordenada” en cuanto a las elaboraciones y armamento en los talleres, con objeto de paliar estos tiempos muertos que se han producido en las anteriores.

Alternativa 4

Las elaboraciones de la línea de paneles curvos, sigue como hasta ahora, realizando los bloques popa y proa en este orden y de forma alternativa.



Figura 103. Elaboraciones paneles curvos

En cuanto a la línea de paneles planos, no se sigue un “orden” como el que se ha visto hasta el momento. Esta secuencia se ha establecido de forma que los bloques queden menor tiempo en almacenamiento y se establezca un flujo continuo.

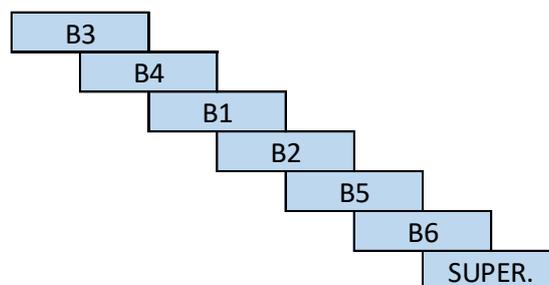


Figura 104. Elaboraciones paneles planos

En la Figura 104 se muestra la secuencia que se sigue.

De igual forma en los talleres de armamento se realizan los trabajos a los bloques correspondientes y se van trasladando a las gradas según se requieran.

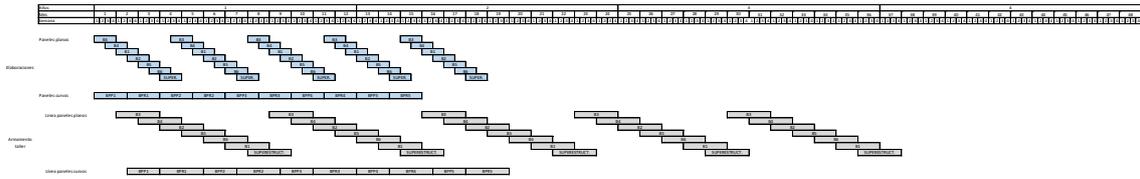


Figura 105. Elaboraciones y armamento en grada - Montaje por bodegas: Alternativa 4, Combinación 3

El armamento en grada empieza con el bloque de la bodega 4. Podría pensarse que es mejor empezar con la bodega 3, igual que las elaboraciones, pero el fin de empezar con la bodega 4 reside en dar un poco de margen de modo que al empezar el armamento en grada se tenga un trabajo continuo.

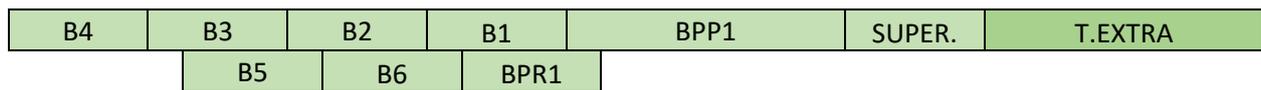


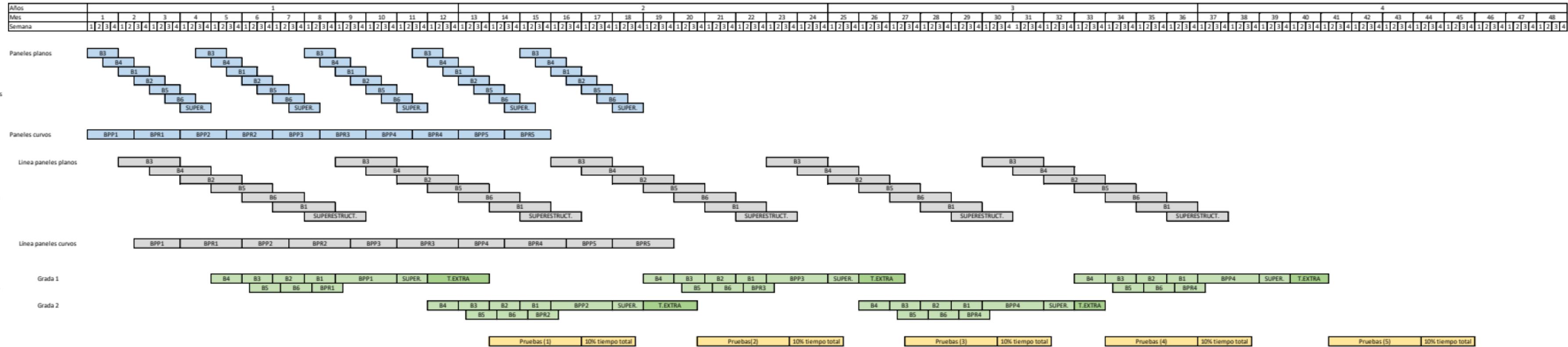
Figura 106. Armamento en grada del primer buque

La secuencia de armamento para todos los buques es como se ve en la imagen.

Al finalizar el bloque de la bodega 4 se abren dos frentes de trabajo simultáneos, en los que se va trabajando teniendo siempre en cuenta que tareas de izado que requieran las grúas no pueden coincidir en el tiempo.

En la planificación completa se observan tiempos muertos de 5 – 6 meses entre los montajes en grada de los buques, confirmando lo que se había dicho anteriormente, que las capacidades del armamento en taller y el armamento en grada no se corresponden.

La posible solución a esto sería aumentar la capacidad de armamento en taller, disponiendo más espacios dedicados a esto y más líneas de montaje. Otra opción posible sería subcontratar la elaboración y montaje de los bloques, para finalmente unirlos y acabarlos en grada. Antes de decidirse por la opción más adecuada, debe realizarse un análisis de costes en profundidad.





Alternativa 5

Esta es la última alternativa que se estudia para el montaje por bodegas.

Es similar a la anterior, en cuanto que no se sigue el orden típico para la elaboración en los paneles planos.

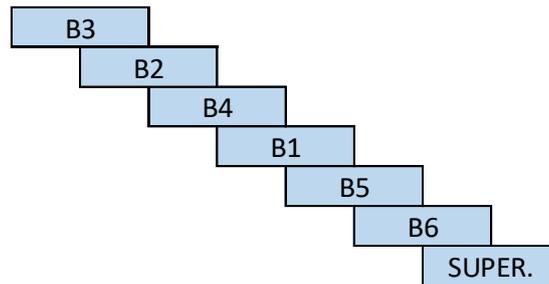


Figura 107. Elaboraciones paneles planos

Se muestra la imagen de la secuencia que se sigue para la elaboración de los bloques de bodegas y por último la superestructura. Se puede intuir que se elaboran de forma alternativa, para que al colocar el bloque central (que en este caso será la bodega 3) se vayan teniendo listos los bloques que siguen a ambos lados. De esta forma, se espera tener un flujo continuo de trabajo con el que el almacenamiento sea mejor y se mejoren los tiempos muertos.

La línea de paneles curvos sigue la misma secuencia que en las alternativas anteriores.

Cuando los bloques se trasladan a los talleres de armamento, se realizan los trabajos en ellos siguiendo el orden establecido en las elaboraciones.

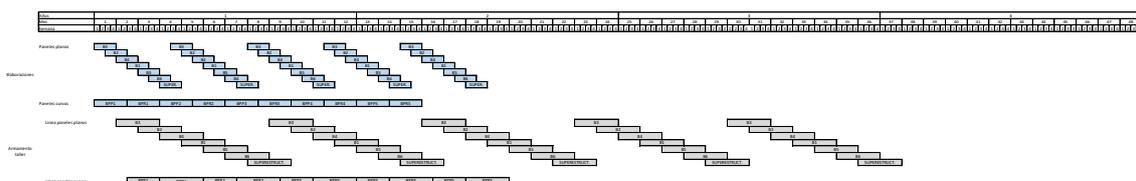


Figura 108. Elaboraciones y armamento en grada - Montaje por bodegas: Alternativa 5, Combinación 3



Cuando la bodega 3 del primer buque está lista se traslada a las gradas para empezar el montaje del primer buque. A partir de que se finalice el trabajo en este bloque, se van llevando los siguientes a la grada en el orden en que se requieren. En la imagen se muestra el armamento en grada de primer buque, que será igual para el resto de las embarcaciones. Comparando con la alternativa 4, aquí se muestran los trabajos más solapados, gracias a comenzar este procedimiento por el bloque de la bodega 3.

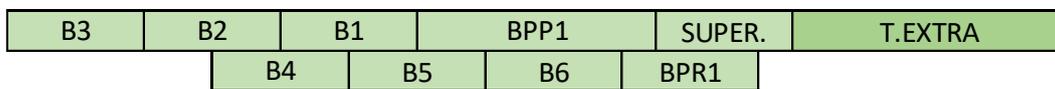
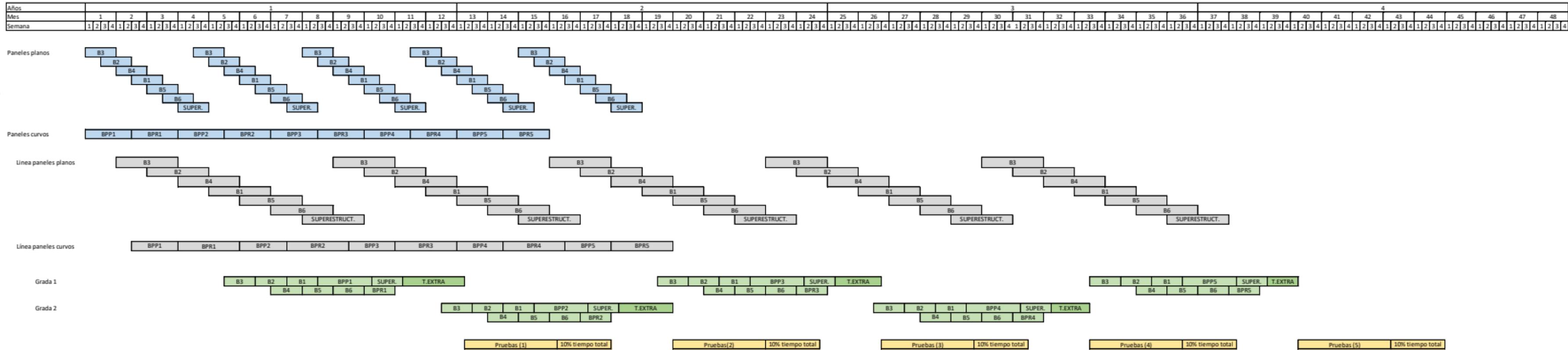


Figura 109. Armamento en grada buque 1

Finalmente se invierten 3 años y 9 meses en la construcción de la serie completa.





Comparativa de las alternativas:

Tabla 49. Tabla comparativa combinación 3. Montaje por bodegas.

	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	Alternativa 5
Tiempo total	44.75 meses	45.75 meses	45.5 meses	45 meses	44 meses
Inicio construcción 1º buque	Mes 6	Mes 6.25	Mes 7	Mes 5	Mes 5.5
Duración construcción un buque	6 meses	6.75 meses	6 meses	7 meses	5.75 meses

- **Montaje por proa**

Esta en la última estrategia constructiva a analizar y a priori puede resultar similar al montaje por popa.

Establecer la secuencia de montaje en esta opción resulta más sencillo, por lo que la generación de alternativas es menor. Después de desechar las alternativas que no resultan útiles, finalmente se han elegido dos para su estudio y desarrollo en profundidad:

Alternativa 1

Puesto que el montaje se inicia por proa, resulta sencillo intuir cómo será el orden de las elaboraciones y del armamento.

En las elaboraciones de paneles planos se empieza por la bodega 6 hasta la 1 y posteriormente la superestructura. En la línea de paneles curvos se realizan todos los bloques de proa y después se pasa a los de popa.

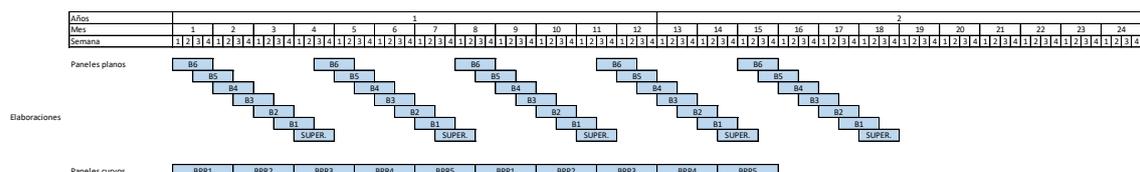


Figura 110. Elaboraciones - Montaje por proa: Alternativa 1, Combinación 3



Conforme van estando listos, se trasladan a los talleres de armamento, donde se trabaja con la secuencia de bloques ya establecida y posteriormente se llevarán a las gradas.

El orden seguido en las gradas es sencillo; se comienza con el bloque de popa, después se trasladan las bodegas (empezando por la bodega 6 hasta la bodega 1), se coloca el bloque de proa y finalmente la superestructura.

BPR1	B6	B5	B4	B3	B2	B1	BPP1	SUPER.	T.EXTRA
------	----	----	----	----	----	----	------	--------	---------

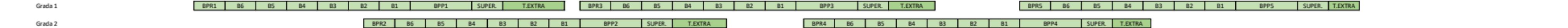
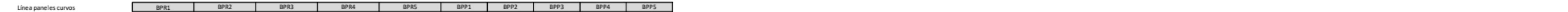
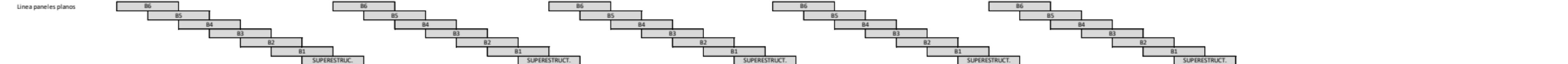
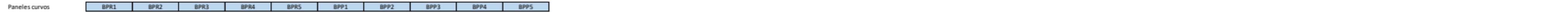
Figura 111. Armamento en grada buque 1

En la imagen se muestra esta secuencia que se ha elegido. Prestando atención, los trabajos de la superestructura no se han superpuesto a los del bloque de popa. Esto se debe a que no se invierte suficiente tiempo en la popa de forma que sea posible realizar las tareas de la superestructura simultáneamente de forma segura; por lo que es preferible esperar a terminar este bloque para finalmente montar la superestructura.

En la planificación completa, se puede apreciar como los tiempos muertos entre los buques son considerablemente menores que en las opciones anteriores; aquí el máximo periodo de espera es de 2 meses y 3 semanas. Esto es una gran ventaja que presenta esta alternativa frente a las estudiadas en las anteriores estrategias constructivas. También existen tiempos muertos en el muelle de pruebas, que también son menores que los vistos hasta el momento, pero estos parones son resultado de los que se producen en las gradas por lo que también tienen una menor importancia.

Se invierten finalmente, 3 años y 10 meses.

Años	1												2												3												4																							
Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48												
Semana	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4





Alternativa 2

En esta alternativa se analiza la construcción de los bloques “de dos en dos”. Esto ya se había visto en otra estrategia anterior, y consiste en elaborar dos bloques iguales de dos buques uno detrás de otro. De esta forma, se pretende tener un flujo de trabajo más continuo e iniciar el montaje en las dos gradas de forma próxima temporalmente.

La siguiente imagen ayudará a entender la secuencia de elaboración planteada.

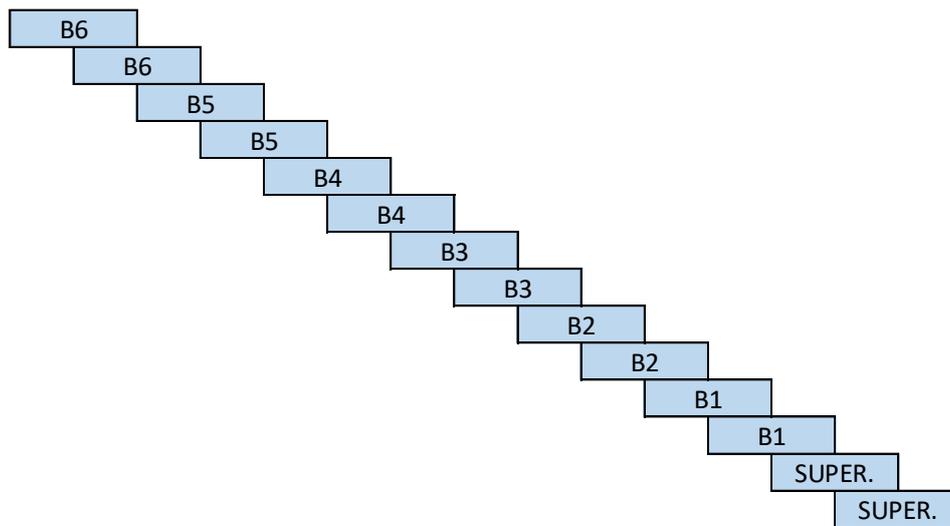


Figura 112. Elaboraciones paneles planos

En la imagen se ve como se elaboran las bodegas 6 para los buques 1 y 2, después la bodega 5 para los dos buques, y así hasta tener todas las bodegas y las dos superestructuras.

Este mismo proceso se lleva cabo para los buques 3 y 4.

En el caso del buque 5, se elaboran los bloques de bodegas empezando por el 6 hasta el 1 y después la superestructura (igual que en la alternativa 1).



*Desarrollo de alternativas para la estrategia constructiva de un
buque granelero de 40.000 TPM*

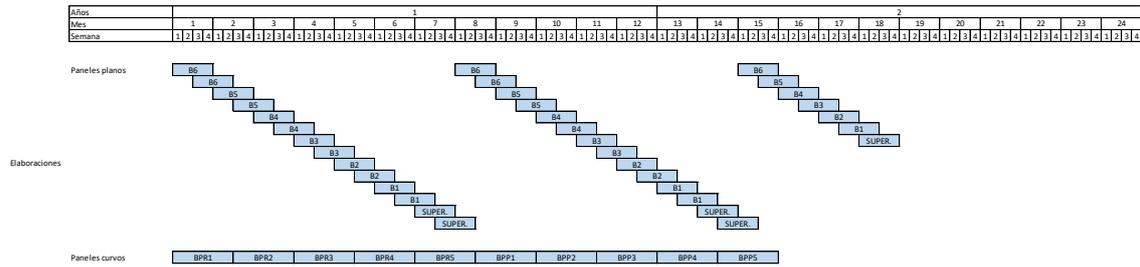


Figura 113. Elaboraciones - Montaje por proa: Alternativa 2, Combinación 3

En los talleres de armamento se sigue la misma secuencia de trabajo, y a medida que se finalizan se trasladan los bloques a las gradas.

BPR1	B6	B5	B4	B3	B2	B1	BPP1	SUPER.	T.EXTRA
------	----	----	----	----	----	----	------	--------	---------

Figura 114. Armamento en grada buque 1

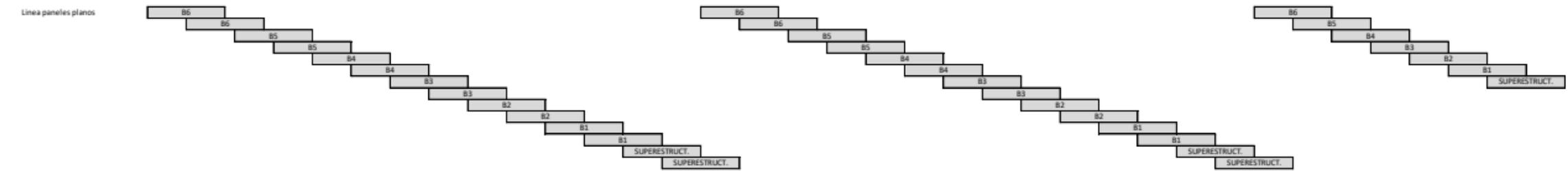
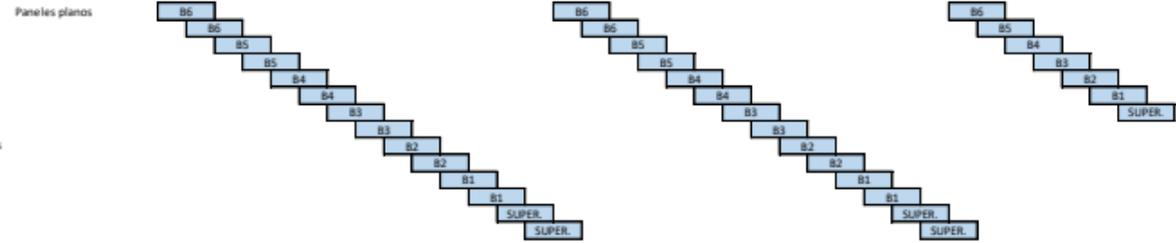
En grada el procedimiento que se sigue lógicamente es igual que en la alternativa anterior.

Prestando atención a la planificación completa, los tiempos muertos entre la construcción de buques están entre los 2 y 4 meses, siendo mayor que en la alternativa 1. También hay que destacar que entre los buques 3 y 5 no hay ningún parón, lo cual se debe a la secuencia de elaboración; como el inicio de la construcción de los buques se retrasa, esto da tiempo a que cuando llegue el momento de montar los bloques del buque 5 ya estén todos listos en almacenamiento.

En la alternativa 2 del montaje por popa pueden observarse las mismas características que aquí, ya que en ambos se plantea la elaboración “de dos en dos”.

Finalmente, el tiempo necesario para construir la serie de cinco buques en esta alternativa es de 4 años y 3 semanas.

Años	1												2												3												4																																																											
Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60																																				
Semana	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4





Comparativa de las dos alternativas:

Tabla 50. Tabla comparativa combinación 3. Montaje por proa.

	Alternativa 1	Alternativa 2
Tiempo total	46 meses	48.75 meses
Inicio construcción 1º buque	Mes 4.5	Mes 7.25
Duración construcción un buque	10 meses	10 meses

6.4.4. Combinación 4

Esta es la última combinación que se va a estudiar.

Este astillero cuenta con una capacidad de izado máxima de 100 toneladas, que resulta muy pequeña para la construcción de un buque de estas dimensiones, pero se procede a su análisis para estudiar la viabilidad del proyecto.

El primer paso es estudiar la distribución de los bloques, lo cual se hace en base al peso total por las secciones que constituyen cada bloque.

Para establecer una división de bloques óptima se tiene en cuenta el peso del acero estructural, el peso de la maquinaria y el peso correspondiente a los equipos. En las combinaciones anteriores ya se explicó esto en detalle.

De forma inicial se parte del despiece de bloques con el que se ha ido trabajando generalmente en el proyecto.

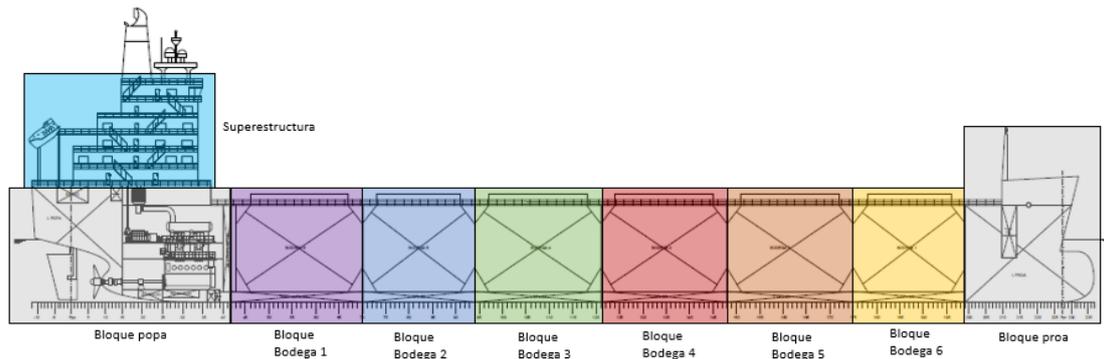


Figura 115. Despiece de bloques combinación 4

A continuación, se muestra la tabla del peso de acero por sección y los bloques correspondientes.

Tabla 51. Distribución peso del acero por secciones y bloques

Sección	Eslora (m)	Peso acero total (t/m)	Bloques
0 (Ppp)	0	18,272	Popa
1	8,8	29,241	
2	17,6	38,605	
3	26,4	38,845	Bodega 1
4	35,2	43,421	
5	44	44,503	Bodega 2
6	52,8	22,354	
7	61,6	44,763	Bodega 3
8	70,4	44,785	
9	79,2	44,794	Bodega 4
10	88	44,799	
11	96,8	22,4005	Bodega 5
12	105,6	22,4005	
13	114,4	44,803	Bodega 6
14	123,2	44,798	
15	132	44,676	Bodega 6
16	140,8	44,296	
17	149,6	21,606	Bodega 6
18	158,4	21,606	
19	167,2	40,411	Proa
20 (Ppr)	176	34,431	
		35,333	
		25,292	



También se vuelve a mostrar el peso total de la maquinaria y de los equipos y habilitación, así como su distribución a lo largo de la eslora del buque.

Tabla 52. Peso equipos y maquinaria

Peso de la Maquinaria WMQ (t)	466,54
Peso de Equipo y Habilitación WEH (t)	792,66

Tabla 53. Distribución porcentajes del peso de la maquinaria y los equipos

Sección	Bloques	Porcentaje maquinaria	Peso Maquinaria (t)	Porcentaje equipos	Peso Equipos (t)	
0 (Ppp)	Popa	10%	46,654	5%	19,816	
1		10%	46,654		19,816	
2		40%	186,616	50%	198,16	
3		40%	186,616		198,16	
4	B1	0%	0	40%	52,844	
5					B2	52,844
6	B3					52,844
7					B4	52,844
8						B5
9	B6				52,844	
10					Proa	52,844
11	5%					19,816
12					19,816	
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20 (Ppr)						
			466,54		792,66	



De forma, que el peso tanto de acero estructural como de equipos (por sección) queda como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 54. Distribución peso de acero y equipos por sección

Sección	Peso de Acero por sección (t)	Peso de equipos por sección (t)
0 (Ppp)	128,759	19,817
1	206,054	19,817
2	272,040	198,165
3	273,732	198,165
4	305,978	17,615
5	313,602	17,615
6	157,523	17,615
	157,523	17,615
7	315,434	17,615
8	315,589	17,615
9	315,653	17,615
10	315,688	17,615
11	157,851	17,615
	157,851	17,615
12	315,716	17,615
13	315,681	17,615
14	314,821	17,615
15	312,144	17,615
16	152,252	17,615
	152,252	17,615
17	284,767	17,615
18	242,627	17,615
19	248,983	19,817
20 (Ppr)	178,227	19,817
Total	5.910,750	792,660

Lo que ha sido explicado hasta el momento es constante durante todo el trabajo, y a partir de este punto, en cuando se analiza este astillero en cuestión.

Las instalaciones que se estudian en esta combinación cuentan con una capacidad de izado muy baja, 100 toneladas. Este bajo valor provocará seguramente la necesidad de una nueva distribución de los bloques o un coeficiente de armamento de equipos y maquinaria muy bajos.



Primero, se evalúan los porcentajes que resultan óptimos dadas las características para configurar una distribución de los bloques. A continuación, se muestra la tabla correspondiente. Se muestra el coeficiente aplicado, tanto al acero como a los equipos, y el peso resultante a cada partida y finalmente el peso total por sección armada.

Tabla 55. Distribución pesos y porcentajes de los equipos y el acero

Sección	Coeficiente de armamento de acero	Peso armamento acero (t)	Coeficiente de armamento de equipos	Peso armamento equipos (t)	Peso total por sección armada (t)
0 (Ppp)	5%	6,44	5%	0,99	7,43
1	5%	10,30	5%	0,99	11,29
2	5%	13,60	5%	9,91	23,51
3	5%	13,69	5%	9,91	23,59
4	10%	30,60	10%	1,76	32,36
5	10%	31,36	10%	1,76	33,12
6	10%	15,75	10%	1,76	17,51
	10%	15,75	10%	1,76	17,51
7	10%	31,54	10%	1,76	33,30
8	10%	31,56	10%	1,76	33,32
9	10%	31,57	10%	1,76	33,33
10	10%	31,57	10%	1,76	33,33
11	10%	15,79	10%	1,76	17,55
	10%	15,79	10%	1,76	17,55
12	10%	31,57	10%	1,76	33,33
13	10%	31,57	10%	1,76	33,33
14	10%	31,48	10%	1,76	33,24
15	10%	31,21	10%	1,76	32,98
16	10%	15,23	10%	1,76	16,99
	10%	15,23	10%	1,76	16,99
17	10%	28,48	10%	1,76	30,24
18	10%	24,26	10%	1,76	26,02
19	20%	49,80	20%	3,96	53,76
20 (Ppr)	20%	35,65	20%	3,96	39,61
Total					651,20

A continuación, con el peso total por sección obtenido anteriormente, se agrupa por bloques con objetivo de comprobar los pesos y porcentajes aplicados.



Tabla 56. Distribución pesos por bloques

Sección	Peso total por sección armada (t)	Bloques	Peso bloques (t)
0 (Ppp)	7,43	Popa	65,83
1	11,29		
2	23,51		
3	23,59		
4	32,36	Bodega 1	82,99
5	33,12		
6	17,51	Bodega 2	84,14
	17,51		
7	33,30		
8	33,32		
9	33,33	Bodega 3	84,20
10	33,33		
11	17,55		
	17,55		
12	33,33	Bodega 4	84,21
13	33,33		
14	33,24	Bodega 5	83,21
15	32,98		
16	16,99		
	16,99		
17	30,24	Bodega 6	73,25
18	26,02		
19	53,76	Proa	93,37
20 (Ppr)	39,61		
Total	651,20		651,20

Con la Tabla 56, lo primero es la comprobación del peso total, de forma que no se haya producido ningún error de cálculo.

Los pesos de cada bloque están por debajo de la capacidad máxima, por lo que sería aceptable. Pero prestando más atención a los coeficientes aplicados, están en torno al 5 y 10%, siendo el 20% únicamente para el bloque de proa. Estos coeficientes son demasiado bajos para llevar a cabo la construcción del buque con esta distribución de



bloques, ya que su armamento se alargaría demasiado tiempo en las gradas provocando estar completamente fuera del mercado competitivo.

También es conveniente estudiar los pesos de la superestructura:

Tabla 57. Pesos de la superestructura

	Peso (t)
Cubierta A	151,32
Cubierta B	151,32
Cubierta C	124,67
Cubierta D	124,67
Cubierta E	92,08
Cubierta F	96,91
Total	740,97

Viendo la Tabla 57, excepto las dos últimas cubiertas, las demás superan las 100 toneladas permitidas, por lo que no sería posible trasladar estas de una en una. Esto da un motivo más por el cual este astillero no resulta adecuado.

Podría estudiarse la opción de realizar bloques más pequeños, pero esto tampoco constituye una solución aceptable, puesto que el despiece propuesto inicialmente es el más básico; realizar bloques más pequeños implicaría partir las bodegas. Como resultado se tendrían muchos bloques de dimensiones pequeñas, requiriendo muchos traslados, lo que llevaría a una inversión demasiado grande de tiempo.



6.5. Bibliografía

Breve reseña, artículo de internet, descargado el 25 de marzo de 2018 de:
<http://www.manufacturainteligente.com/takt-time-para-obtener-lean-production/>

Breve reseña, artículo de internet, descargado el 25 de marzo de 2018 de:
<http://simpleproductividad.es/blog/just-time-y-takt-time/>

Breve reseña, artículo de internet, descargado el 25 de marzo de 2018 de:
https://es.wikipedia.org/wiki/Takt_time#Implementaci%C3%B3n

Deltamarin. *First B.Delta68 Sul Bulkcarrier ordered*, 16 de abril de 2015. Descargado de: <https://www.deltamarin.com/2015/04/first-b-delta68-sul-bulk-carrier-ordered/>

Handy Shipping Guide. *Logistics group takes delivery of world's first LNG fuelled bulkcarrier*, 22 de febrero de 2018. Descargado de: http://www.handysippingguide.com/shipping-news/logistics-group-takes-delivery-of-worlds-first-lng-fuelled-bulk-carrier_8842

Hellenic Shipping News Worldwide *Bulkcarrier Deliveries: Still on the Slide*, 17 de febrero de 2018, descargado de: <https://www.hellenicshippingnews.com/bulkcarrier-deliveries-still-on-the-slide/>

Jiang, J. *Marine orders kamsarmax at Taizhou Kouan Shipbuilding*, 13 de febrero de 2018. Descargado de: <http://splash247.com/w-marine-orders-kamsarmax-taizhou-kouan-shipbuilding/>

Martínez, A. *Construcción y Reparación de Buques*, Apuntes de Clase de la Asignatura de Construcción y Reparación Naval, Máster en Ingeniería Naval y Oceánica, Universidad Politécnica de Cartagena, UPCT, 2016.

Romero, K. Espilitia, Natalia, Padilla, D. *Ventajas y desventajas del Takt time*, 17 de noviembre de 2013. Descargado de: <http://takttimeadmonproduccion.blogspot.com.es/2013/11/ventajas-y-desventajas-del-takt-time-5.html>



7. Comparativa



Trabajo final de máster

DESARROLLO DE ALTERNATIVAS PARA LA ESTRATEGIA CONSTRUCTIVA DE UN BUQUE GRANELERO DE 40.000 TPM

Autor

Cristina Sanchis Selfa

Director

Dr. Carlos A. Mascaraque Ramírez



La misión de este capítulo es realizar una extensa comparativa de las combinaciones planteadas en esta investigación. De este modo, se van a ir proponiendo filtros a distintos niveles, para ir descartando alternativas con el fin de escoger aquellas que resultan óptimas para el proceso de construcción del buque de estudio.

7.1. Recordatorio de las combinaciones

Se cree conveniente realizar un breve recordatorio de las instalaciones elegidas para el estudio, así como las estrategias constructivas.

Tabla 58. Características de las instalaciones

	Astillero 1	Astillero 2	Astillero 3	Astillero 4
Capacidad de carga (t)	1200	400	800	100
Número de grúas	9	16	11	8
Número gradas/diques seco	1 dique	3 gradas	2 gradas inclinadas	3 gradas
Eslora máxima gradas/diques (m)	525	200	300	350
TPM máximo (t)	1.000.000	230.000	400.000	26.500
Longitud muelle armamento (m)	650	3.000	1.100	2.300

Las estrategias constructivas se muestran de forma gráfica, puesto que ya se explicaron y estudiaron en profundidad en los capítulos anteriores.

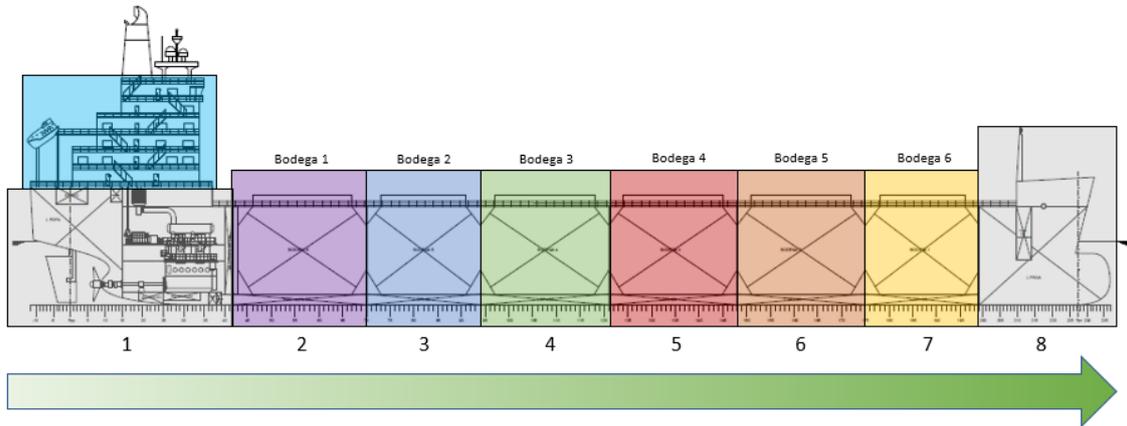


Figura 116. Estrategia constructiva: Montaje por popa

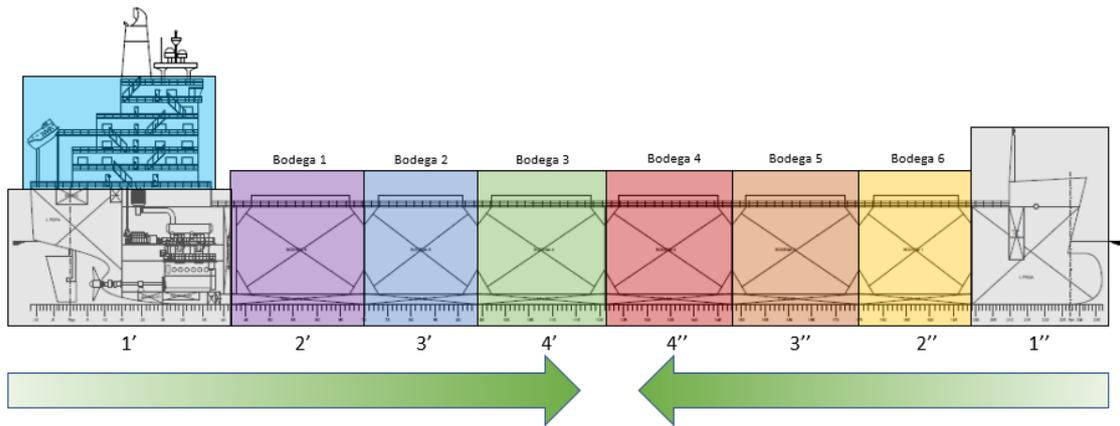


Figura 117. Estrategia constructiva: Montaje por popa y por proa a la vez

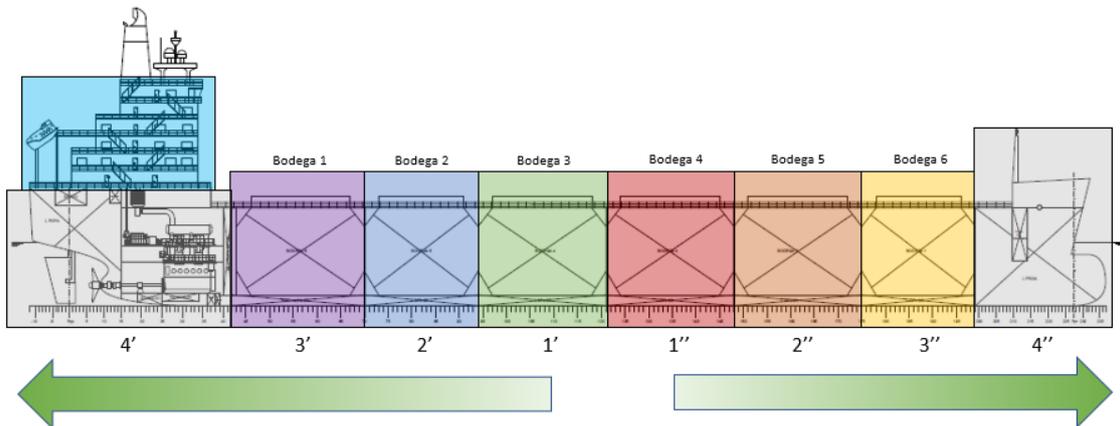


Figura 118. Estrategia constructiva: Montaje por bodegas

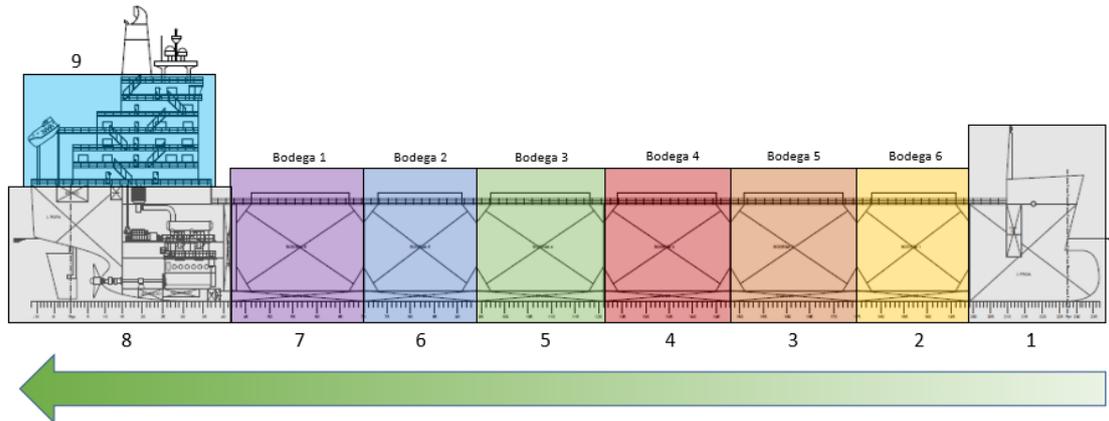


Figura 119. Estrategia constructiva: Montaje por proa

7.2. Criterio de comparación 1

En este primer criterio se van a analizar los astilleros, con sus capacidades y con el despiece de bloques con el que trabajan. Con esto se pretende realizar un balance inicial de que astillero presenta mejores cualidades para llevar a cabo el pedido de los 5 buques basándose únicamente en la distribución de pesos y bloques.

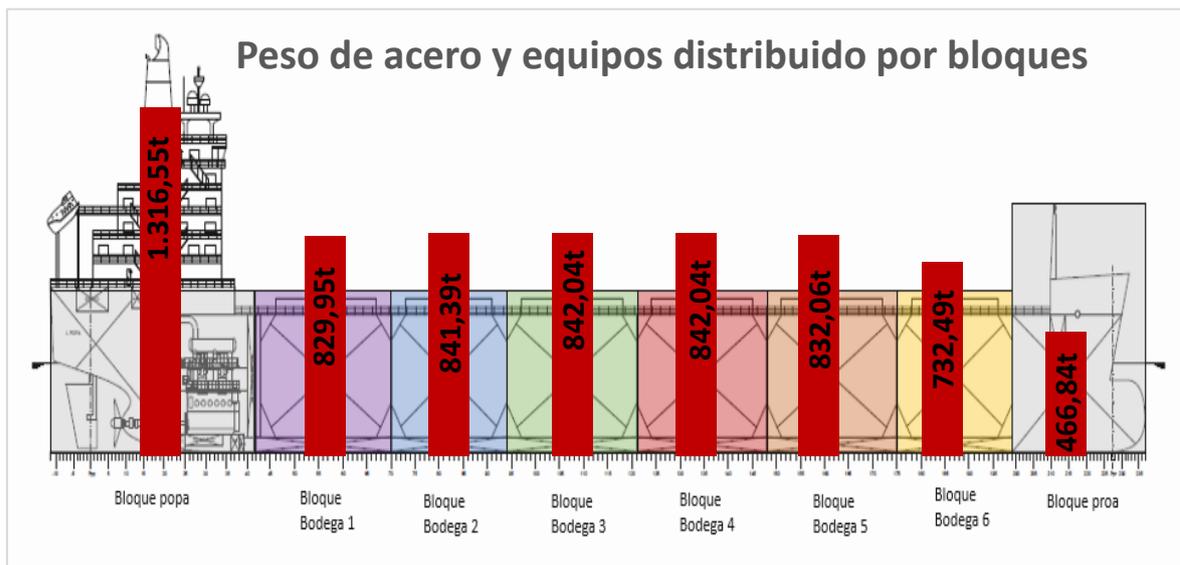


Figura 120. Distribución del peso por bloques



El primer aspecto para tener en cuenta es el porcentaje de armamento de equipos y acero con el que se trabaja en cada astillero, lo cual se traduce en peso, para establecer una comparativa con el peso total del buque.

En las Figura 121 se muestra el peso total de acero y equipos, pero hay que tener en cuenta que los bloques no se pueden armar en su totalidad en los talleres, de modo su máximo es el 90% de armamento. Esta diferencia de pesos se puede apreciar a continuación. Se puede ver que no se trata de una diferencia notable, pero es necesario tenerla en cuenta.

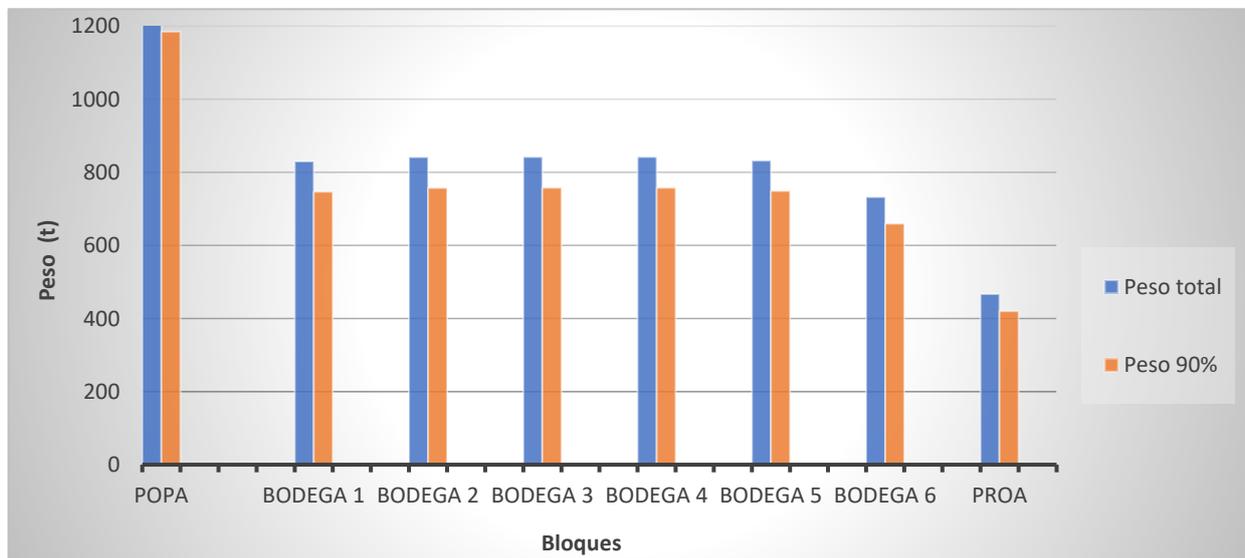


Figura 121. Comparativa del peso total con el máximo posible de armamento en taller

De modo, que se va a trabajar con los pesos al 90%.



A continuación, se va a muestran las Figuras 122 y 123 en las cuales resulta muy fácil ver la comparación de los pesos de los bloques en cada astillero. El astillero 1 se presenta por solitario ya que se tiene un despiece de bloques distinto.

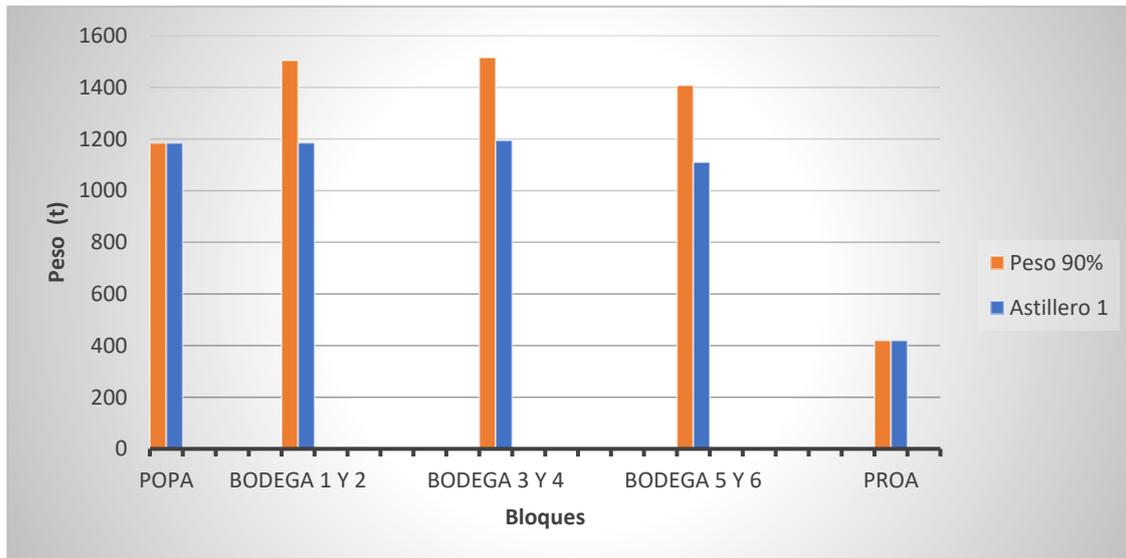


Figura 122. Comparativa del peso con la capacidad del astillero 1

Ahora se va a analizar el gráfico presentado.

Como se ve en la Figura 122, la diferencia entre el máximo armamento posible y el armamento que se realiza en el Astillero 1 no es muy grande. En popa y en proa, las barras resultan coincidentes, lo que indica que en este astillero estos bloques tienen coeficientes del 90% tanta para los equipos como para el acero. En cuanto a las bodegas, existe una pequeña diferencia, situando el porcentaje de armamento en taller al 71% para el acero estructural y el 70% para los equipos.

Hay que tener en cuenta, que aparte de que estos coeficientes se encuentran dentro de un rango alto, que, al realizar un despiece de bloques con menor número de piezas, se producirá un ahorro de tiempo en lo que se refiere a procedimientos de izado y transporte de bloques. A priori esta opción resulta muy atractiva.

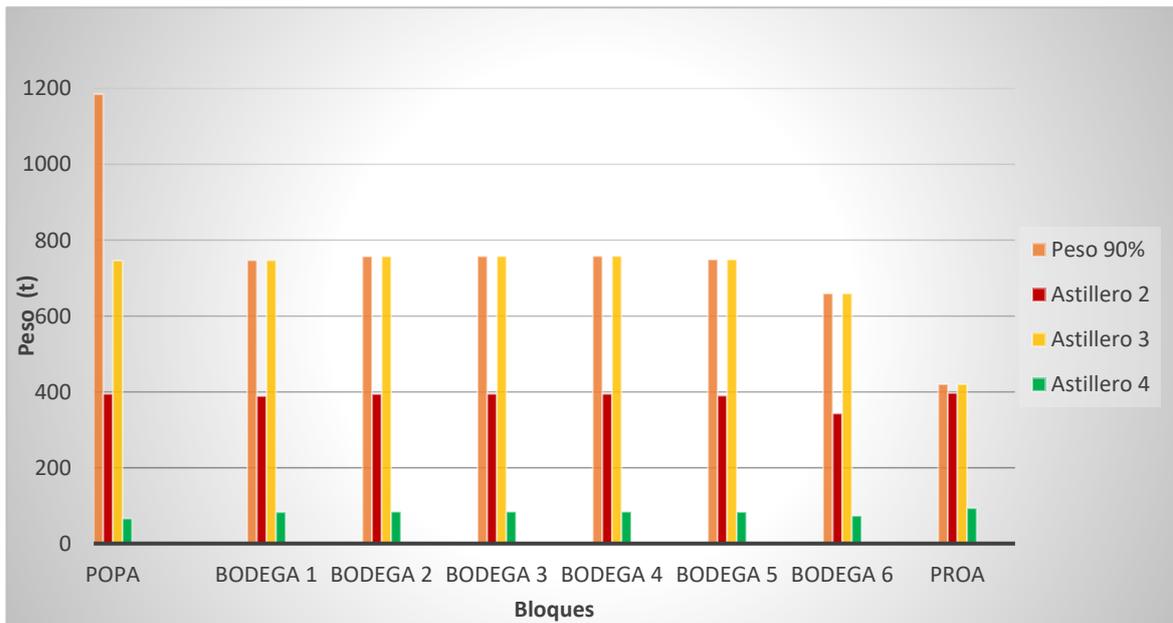


Figura 123. Comparativa del peso con la capacidad de los astilleros 2, 3 y 4

Las barras de color naranja corresponden al 90% del peso total, es decir, el peso máximo que se puede armar en los talleres.

El astillero 2, 3 gradas y capacidad de izado media, corresponde al color rojo. De forma intuitiva, exceptuando el bloque de proa, de podría decir que el peso capaz de ser izado en este astillero es la mitad del peso de armamento de cada bloque. Los porcentajes utilizados son del 47% y del 45% para el acero y los equipos, respectivamente.

En cuanto a la proa, se es capaz de izar el peso completo puesto que las barras son casi coincidentes, indicando unos porcentajes del 85%.

Los porcentajes de proa son buenos pero los que se aplica al resto del buque no llegan al 50%, por lo que a priori no resultaría la mejor opción para construir este tipo de buques.

El astillero 3, 2 gradas inclinadas y capacidad de izado alta, corresponde al color rojo. Como se puede ver en el gráfico, a excepción del bloque de popa, los bloques de bodegas y el de proa las barras coinciden, es decir, la capacidad de este astillero resulta muy adecuada para estos bloques pues sus coeficientes son del 90%.



Prestando mayor atención a la parte de popa, la barra que corresponde al astillero es notablemente más baja. Los coeficientes para este bloque son el 60% para el acero y el 50% para los equipos. Estos valores, evidentemente no son los deseados para la construcción ideal de los buques, pero realizando el análisis global, resulta una opción que puede dar unos resultados finales aceptables.

Por último, el astillero 4, 3 diques y capacidad de izado mínima, corresponde al color verde. A simple se ve la enorme diferencia entre las barras, que representan el peso de los bloques que puede izar el astillero, por lo que esto justifica de forma gráfica el rechazo de este astillero para continuar con su análisis.

Se ha llevado a cabo una exposición de los astilleros que se han estudiado en este trabajo, con el fin de analizar sus capacidades sin tener en cuenta la estrategia constructiva que se utilizará.

Con este primer análisis, se puede ver cuáles son las instalaciones que a priori darían un mejor resultado al armador, basándose en la capacidad de izado que tiene cada uno. En este apartado, solo se está teniendo en cuenta el peso de los bloques en función de la capacidad de cada instalación y, evidentemente, esto no es suficiente para establecer unos fundamentos sólidos para realizar una buena elección.

A medida que avance este capítulo, se irán estableciendo y analizando los aspectos críticos, que servirán como filtro para ir desechando las opciones que no se adecuen.

7.3. Criterio de comparación 2

En el apartado anterior se ha hecho una comparativa de los astilleros. En este apartado, se recogen las tablas creadas de cada combinación en el correspondiente capítulo. Dentro de cada combinación se hace un análisis de las estrategias para ir desechando aquellas que resultan menos favorables.



7.3.1. Combinación 1

Tabla comparativa de las distintas alternativas:

Tabla 59. Resultados combinación 1

	Montaje por popa	Montaje por popa y proa	Montaje por bodegas	Montaje por proa
Tiempo total	48.75 meses	44.25 meses	41.25 meses	52.75 meses
Inicio construcción 1º buque	Mes 5	Mes 5.5	Mes 5	Mes 4
Tiempo montaje en grada	6.5 meses	5.5 meses	5 meses	7.5 meses

Las alternativas se explicaron en profundidad en el capítulo correspondiente, por lo que aquí se realiza una comparación a grandes rasgos de ellas.

Durante los análisis, se ha podido observar algunas cosas que tienen en común todas las estrategias:

- Durante el armamento en grada, se ha conseguido no tener ningún tiempo muerto entre la construcción de buques lo que resulta muy positivo y es el resultado de haber optimizado los recursos tanto mecánicos como humanos disponibles en las instalaciones.
- Existen periodos de inactividad en el muelle de pruebas, lo cual indica que esto es debido a las capacidades del astillero. Sin profundizar, los modos de paliar esta carencia estarían en:
 - Disponer de otro dique o grada el cual permita la construcción en paralelo de dos buques a la vez. En caso de llevarse esto a cabo, debería estudiarse muy bien ya que aparte de suponer una inversión económica cambiaría toda la planificación que se ha explicado aquí y podrían surgir problemas en otras fases.
 - Subcontratar una empresa la cual realice las pruebas a los buques, así se reduciría en unos meses el tiempo total, pero es muy posible que el coste



económico fuese demasiado comparando la mejora que se conseguiría en cuestión de plazo. El tiempo final de entrega no podría mejorarse en gran medida porque el armamento en dique es continuo y no existen tiempos muertos que se puedan mejorar subcontractando las pruebas.

Teniendo en cuenta los puntos expuestos y los aspectos que comparten las distintas opciones, podría decirse que la óptima opción dentro de este astillero sería el montaje por bodegas.

7.3.2. Combinación 2

Tabla comparativa de las distintas alternativas:

Tabla 60. Resultados combinación 2

	Montaje por popa	Montaje por popa y proa		Montaje por bodegas	Montaje por proa
		1ª opción	2ª opción		
Tiempo total	50.5 meses	42.75 meses	40.25 meses	38.25 meses	48.75 meses
Inicio construcción 1º buque	Mes 4.5	Mes 6	Mes 2.5	Mes 3	Mes 3
Tiempo montaje en grada	16.5 meses	12 meses	12 meses	10.5 meses	16.5 meses

La primera opción del montaje por popa y proa corresponde a la que se ha expuesto inicialmente, la cual no tiene tiempos muertos en el armamento en taller de los bloques de popa y proa. La segunda opción corresponde a la que se ha explicado en segundo lugar, que tiene pequeños tiempos muertos en la línea de paneles curvos del armamento en taller.

Con los procedimientos expuestos de forma clara se puede realizar una comparativa de los resultados obtenidos de cada análisis.



Las estrategias de montaje por popa y la de montaje por proa tiene varios aspectos en común, siendo el más significativo el tiempo muerto producido en el muelle de pruebas, cuyos motivos ya han sido explicados.

Por otra parte, en los otros procedimientos no se produce este tiempo muerto en el periodo de pruebas gracias a tener dos frentes de trabajo abiertos. Esta forma de proceder, aparte de no producir parones en el muelle de pruebas, también provoca una menor pérdida de tiempo entre los montajes de los buques 2 y 5.

Con esto que se ha expuesto, ya se puede entender que tanto el montaje por popa como el montaje por proa no resultan óptimos con las características de este astillero. Por lo que hay que analizar más a fondo las dos alternativas restantes.

La horquilla temporal de la entrega de la serie de buques en estos montajes está entre los meses 38 y 43, y si la decisión de la opción óptima se basase solo en este periodo, claramente se elegiría el montaje por bodegas, pero es necesario analizar los tiempos muertos de cada opción, ya que estos implican una pérdida económica.

En cuando a las dos opciones planteadas para el montaje por popa y por proa, el tiempo muerto que se produce entre los montajes de los buques 2 y 5 es de dos meses para ambas. Por lo tanto, entre éstas, se puede afirmar que resulta más conveniente la segunda, a pesar de que existen pequeños parones en el armamento en taller de los bloques de popa y proa, pero ya se ha explicado que esto no resulta alarmante.

En cuanto al procedimiento de montaje por bodegas, el parón existente en las gradas entre el buque 2 y 5 es de un mes únicamente. Por lo tanto, en comparación con la segunda opción del montaje por popa y proa, ésta realiza un mayor aprovechamiento de las capacidades e instalaciones del astillero. Por lo tanto, la mejor alternativa presentada en este astillero es el montaje por bodegas.



7.3.3. Combinación 3

- **Montaje por popa**

Tabla comparativa de las distintas alternativas:

Tabla 61. Resultados combinación 3. Montaje por popa.

	Alternativa 1	Alternativa 2
Tiempo total	45.75 meses	47.25 meses
Inicio construcción 1º buque	Mes 4	Mes 9
Tiempo montaje en grada	9 meses	9 meses

Las dos alternativas que se han presentado resultan similares en cuanto a tiempos muertos se refiere, tanto en las gradas como en el muelle de pruebas.

La primera de ellas empieza la construcción del primer buque más temprano, pero transcurren 6 meses hasta que empieza el segundo; en cambio, en la segunda alternativa se comienza el primer buque más tarde, pero la construcción de los buques 1 y 2 comienza con una diferencia de un mes. De esta forma, para establecer una decisión final con un fuerte fundamento debería estudiarse si los buques se entregan uno a uno o todos al finalizar la construcción.

Siguiendo el procedimiento tradicional, se entregan los buques conforme se vayan terminando para que el armador tenga una mayor disponibilidad de ellos, por lo tanto y en base a esto, podría decirse que la óptima opción sería la alternativa 1.



- **Montaje por bodegas**

Tabla comparativa de las distintas alternativas:

Tabla 62. Resultados combinación 3. Montaje por bodegas.

	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	Alternativa 5
Tiempo total	44.75 meses	45.75 meses	45.5 meses	45 meses	44 meses
Inicio construcción 1º buque	Mes 6	Mes 6.25	Mes 7	Mes 5	Mes 5.5
Tiempo montaje en grada	6 meses	6.75 meses	6 meses	7 meses	5.75 meses

Con la tabla anterior se recogen algunos de los datos significativos con lo que poder analizar las alternativas.

Como se ha ido viendo durante el desarrollo de todas ellas, comparten características como los tiempos muertos que se producen durante el armamento en grada y parones menos significativos en el muelle de pruebas. Ya se indicó el motivo por el cual no se puede realizar un montaje continuo de los buques.

Con lo que se ha explicado y los datos recogidos en la tabla, podría elegirse la alternativa 5 como la óptima de todas ellas, puesto que en todas están presentes la pérdida de tiempo en las gradas y lo que esto implica. La alternativa 5, presenta mejores características en cuanto a la duración total del proceso y el tiempo invertido en cada buque.

Es necesario destacar que todas ellas, como se muestra en la tabla, tienen características muy similares en cuanto a duraciones y tiempos muertos.



- **Montaje por proa**

Tabla comparativa de las distintas alternativas:

Tabla 63. Resultados combinación 3. Montaje por proa.

	Alternativa 1	Alternativa 2
Tiempo total	46 meses	48.75 meses
Inicio construcción 1º buque	Mes 4.5	Mes 7.25
Tiempo montaje en grada	10 meses	10 meses

Realizando una comparación de ambas alternativas, la primera de ellas requiere un menor tiempo total y los tiempos muertos en grada son pequeños. En la segunda alternativa, el tiempo que transcurre desde el inicio del montaje en grada del buque 1 hasta que comienza el buque 2 es solo de un mes, mientras que en la alternativa 1 transcurren cinco meses y medio.

Al igual que se estableció en el montaje por popa, para mejorar la disponibilidad del armador los buques se entregan conforme se van terminando, lo cual ayuda a elegir la opción más adecuada.

De forma general presentan características similares en cuanto a tiempos muertos. La primera alternativa tiene la ventaja de que su tiempo final es menor y la segunda de que el tiempo entre inicios de buque es menor que en la alternativa 1; de modo que la óptima sería la primera.



- **Comparativa alternativas**

A continuación, se muestra una tabla donde se recogen las alternativas óptimas de los procedimientos de montaje:

Tabla 64. Opciones más adecuadas de la combinación 3

	Montaje por popa	Montaje por bodegas	Montaje por proa
	Alternativa 1	Alternativa 5	Alternativa 1
Tiempo total	45.75 meses	44 meses	46 meses
Inicio construcción 1º buque	Mes 4	Mes 5.5	Mes 4.5
Tiempo montaje en grada	9 meses	5.75 meses	10 meses

7.3.4. Estrategias óptimas de cada astillero

Finalmente, las estrategias que han pasado el filtro se van a presentar en una tabla recogidas, de forma que sea sencillo comparar los tres aspectos iniciales en los que se ha basado el análisis.

Es importante destacar, que aquí se ha realizado una comparación por astilleros, es decir, se han analizado las distintas estrategias constructivas de un astillero entre ellas, en ningún momento se han comparado las combinaciones entre sí.

De modo que, este filtro sirve como una criba inicial, pero teniendo en cuenta que para tomar una decisión con fundamento es necesario comparar las combinaciones entre ellas, como se llevará a cabo a continuación.



Tabla 65. Estrategias optimas obtenidas del criterio de comparación 2

		Tiempo total	Inicio construcción 1º buque	Tiempo montaje en grada	
Astillero 1	Montaje por bodegas	41.25 meses	Mes 5	5 meses	
Astillero 2	Montaje por bodegas	38.25 meses	Mes 3	10.5 meses	
Astillero 3	Montaje por popa	Alternativa 1	45.75 meses	Mes 4	9 meses
	Montaje por bodegas	Alternativa 5	44 meses	Mes 5.5	5.75 meses
	Montaje por proa	Alternativa 1	46 meses	Mes 4.5	10 meses

7.4. Criterio de comparación 3

En este apartado se procede a analizar más en detalle otros aspectos de la construcción que hasta ahora no se habían tenido en cuenta, con ellos se establecerá un criterio con el que eliminar las opciones que no resulten adecuadas. En este apartado, ya solo se tendrán en cuenta las opciones que han sido validadas con el criterio anterior, de forma que se van desechando aquellas que no cumplen adecuadamente los requisitos analizados.

A partir de ahora, las estrategias se nombrarán como se muestra a continuación, de modo que sea más sencillo su trato.

Tabla 66. Nomenclatura de las alternativas

Nomenclatura anterior		Nomenclatura actual	
Astillero 1	Montaje por bodegas	A1	
Astillero 2	Montaje por bodegas	A2	
Astillero 3	Montaje por popa	Alternativa 1	A3
	Montaje por bodegas	Alternativa 5	A4
	Montaje por proa	Alternativa 1	A5



En la siguiente tabla se recoge la fecha de entrega del primer buque de cada alternativa.

Tabla 67. Tiempo total y entrega del primer buque

	Tiempo total	Entrega 1º buque
A1	41.25 meses	15,75 meses
A2	38.25 meses	19,25 meses
A3	45.75 meses	18,75
A4	44 meses	17 meses
A5	46 meses	20,25 meses

Los datos recogidos en la siguiente tabla están medidos en semanas. Hay que indicar que en los apartados que existen varios números separados por “+”, cada valor corresponde al tiempo entre cada buque.

Tabla 68. Parámetros del criterio de comparación 3

	Buques paralelo en grada	Tiempo entre entregas	Tiempo muerto en pruebas	Tiempo muerto en grada	Tiempo muerto taller
A1 (semanas)	0	27+26+25+24	8+7+6+5	0	0
A2 (semanas)	3	19+19+19+19	0+0+0+0	4 (buq. 2-5)	0
A3 (semanas)	2	23+27+27+27	4+8+8+8	8 (buq. 1-3) 13 (buq.2-4) 14 (buq. 3-5)	0
A4 (semanas)	2	27+27+27+27	8+8+8+8	25 (buq. 1-3) 26 (buq. 2-4) 27 (buq. 3-5)	0
A5 (semanas)	2	21+27+28+27	2+8+9+8	2 (buq. 1-3) 10 (buq. 2-4) 11 (buq. 3-5)	0



Antes de comentar la tabla anterior, hay que puntualizar que las 19 semanas en el tiempo entre entregas corresponde al periodo de pruebas, por lo tanto, como mínimo todas las opciones contarán con esas semanas. También es necesario indicar, como se verá a continuación, que todos los aspectos analizados en la tabla están muy relacionados entre sí.

- **Alternativa A1**

Empezando por la A1, es la alternativa que entrega su primer buque en el menor tiempo, esto resulta interés puesto que el armador tendrá una mayor disponibilidad de su flota y es un aspecto a tener en cuenta a la hora de elegir una estrategia constructiva. Es preferible tener un flujo de entrega de buques continuo, aunque requiera un poco más de tiempo final.

Lo primero que se aprecia en la tabla anterior, es que este astillero no tiene buques en paralelo en grada, lo que indica que no dispone de más de una. Con esto ya es posible imaginar, que debido a que no es posible trabajar en paralelo porque no se dispone del espacio requerido, el tiempo entre entregas será mayor. Como se ve, el tiempo entre entregas es de los más grandes de todas las opciones, pero hay decir que no dista tanto del tiempo entre entregas de las opciones A3, A4 y A5 (más adelante se estudiará por qué estas opciones tienen un tiempo entre entregas tan elevado).

Prestando atención al tiempo muerto en pruebas, como solo dispone de un dique, resulta evidente que existirá un tiempo muerto en pruebas ya que por ejemplo desde que se entrega el buque 1 hasta que el buque 2 está listo para trasladarse al muelle de pruebas pasa cierto tiempo, lo cual es inevitable con las instalaciones que se tienen. Puede llamar la atención que este tiempo perdido empieza con 8 semanas entre los buques 1 y 2, y disminuye a 5 semanas entre los buques 4 y 5, y puesto que la duración de la construcción de los buques es la misma no tiene sentido. Esta disminución temporal se debe al tiempo extra añadido, como se explicó en el capítulo correspondiente, se añade un tiempo extra al finalizar cada buque, a modo de margen, por si surgiera algún imprevisto y que éste se veía reducido con cada buque por el coeficiente de aprendizaje. Comparando esta característica con las demás alternativas, también resulta similar a la A3, A4 y A5 en este aspecto. En este caso en concreto, es inevitable no tener tiempos muertos entre pruebas,



pero a pesar de que esto no sea un aspecto deseable no implica que se estén desaprovechando las capacidades del astillero.

El tiempo muerto en grada aquí es de cero semanas. Esto es realmente importante, pues es muy complicado de conseguir una planificación completa en la que no existan parones en esta etapa, y gracias a tener un solo dique se consigue.

- **Alternativa A2**

Lo primero que se ve en esta opción es que es la que menor tiempo total tiene y que la entrega del primer buque la hace, aproximadamente, un año y ocho meses desde el inicio del proceso.

La tabla anterior indica que tiene tres buques en paralelo en grada, el máximo dentro de todos los astilleros analizados. Gracias a esto, ya se entiende un poco más que sea la opción en la que menos tiempo total se invierte. El hecho de que se tengan más gradas en las que trabajar, aparte de dar la ventaja de tener trabajos en paralelo, presenta algunas desventajas como la inversión en trabajadores, medidas y controles de seguridad y herramientas y grúas es mayor.

Prestando atención al tiempo entre entregas, todos ellos son de 19 semanas, lo que indica que no existe ningún parón en el armamento de pruebas. Esto resulta muy difícil de conseguir. En esta alternativa en concreto, la alta capacidad de armamento en grada provoca que los tres primeros buques se terminen en un periodo de tiempo próximo pero el muelle de pruebas solo puede alojar uno, por lo que éstos deben esperar en las gradas a que el anterior ya esté terminado. Para solucionar este exceso de trabajo en los periodos de pruebas podría estudiarse la alternativa de subcontratar estos procedimientos, pero en este proyecto no corresponde esa parte, por lo tanto, lo que se obtiene de esto es que en esta etapa existe un sobre trabajo debido a que las altas capacidades de las gradas no se ven correspondidas con el resto de las instalaciones. Comparando con las demás opciones, ésta es la única que no sufre parones en el muelle de pruebas, por lo tanto, a nivel comparativo da unos buenos resultados.

El tiempo muerto en grada es de un mes entre la finalización del buque 4 y el inicio del buque 5, esto viene provocado por lo anterior. El buque 2 tiene que esperar en



la grada hasta que las pruebas terminen en el buque 1, por lo tanto, hasta que el buque 1 no finaliza no se puede trasladar el 2 al muelle de pruebas, retrasando el comienzo del último. Este tiempo muerto no resulta del todo negativo, pues se trata solo de 4 semanas, periodo en el que se pueden realizar otros trabajos hasta que comience el quinto buque. Comparando con las demás opciones, la única que presenta un tiempo muerto cero en grada es la A1, y puesto que ese astillero solo dispone de un dique es el resultado más evidente. Comparando con el resto de las alternativas todas ellas sufren tiempos muertos entre todos los buques y en esta solo ocurre en uno, por lo podría decirse que en este aspecto esta opción resulta más adecuada que la A3, A4 y A5.

- **Alternativa A3**

Esta alternativa presenta un tiempo de entrega del primer buque, que comparando con las demás podría decirse que es un poco alto, lo mismo ocurre con el tiempo completo que dura la construcción de la serie de cinco buques.

Este astillero dispone de dos gradas inclinadas para el armamento. Igual que se ha comentado en la alternativa anterior, disponer de varias gradas a parte de las ventajas que presenta, que son obvias, otro inconveniente reside en que establecer una planificación eficaz resulta mucho más complejo. Tener más de un espacio dedicado a la construcción de las embarcaciones, implica un esfuerzo mayor a la hora de cuadrar los transportes y tareas que resulten delicadas y tener más cuidado para asegurar un flujo continuo de materiales y trabajo puesto que resulta más difícil el abastecimiento.

En el tiempo muerto entre entregas, el primero de ellos no resulta muy elevado pero los demás aumentan; en el caso de que esto ocurra lo deseable es que al principio sean más elevados y que se reduzcan. Estos tiempos muertos, son similares a los de las opciones A4 y A5.

Después de ver el tiempo muerto entre entregas, es de esperar que éstos existan también en las pruebas y en las gradas; y ocurre lo mismo.

En cuanto a los periodos de pruebas, ocurre lo mismo que el tiempo muerto entre las entregas, el primero que se produce es el menor de todos ellos. Este aspecto es preocupante, pero no tanto como lo son los parones que se producen en las gradas.



En las gradas, se producen parones de 8 semanas entre los buques 1 y 3; de 13 semanas para los buques 2 y 5; y de 14 semanas para los buques 3 y 5. Recordando que uno de los principales objetivos cuando se realiza una planificación reside en eliminar estos periodos de pérdidas, aquí no se ha podido conseguir. Estos tiempos que se producen, el más pequeño de dos meses, resultan muy perjudiciales a nivel tanto económico como humano.

Aquí se puede ver el claro ejemplo de que todos estos aspectos que se están analizando están relacionados, en cuanto se produce un parón o pérdida en una de las etapas del proceso, las demás se ven afectadas.

Las opciones que tienen una situación similar a la que está explicando son la A4 y la A5. Todas ellas son distintas alternativas de un mismo astillero y es lógico que presenten los mismos inconvenientes.

- **Alternativa 4**

En alternativa, al igual que la anterior, tanto su tiempo total como la entrega del primer buque se encuentran dentro de un rango alto.

El astillero dispone de dos gradas inclinadas.

Pasando a analizar el tiempo muerto en pruebas, se mantiene constante de 27 semanas; siendo de los más altos comparando con los resultados de las demás opciones. Lo mismo ocurre con el tiempo muerto en el muelle de pruebas y con el tiempo muerto en grada.

Hay que destacar que los parones que se producen en las gradas son especialmente altos, probablemente esto es debido a la estrategia constructiva.

Esta alternativa estudiaba la estrategia constructiva de montaje por bodega, lo que confiere mayor rapidez al armamento en grada que las demás estrategias al tener dos frentes de trabajo simultáneos. Esta característica de mayor rapidez, lógicamente, siempre es deseable, pero en este caso se está viendo que da unos malos resultados. Este astillero cuenta con dos gradas y utilizando el montaje por bodegas, se esperan resultados satisfactorios ya que a priori son características favorecedoras. Pero se producen pérdidas



de tiempo y periodos largos de entrega, por lo que se puede afirmar que el inconveniente reside en la capacidad de elaboración y armamento en taller.

En conclusión, no se está aprovechando las buenas condiciones que presenta el astillero en cuanto a gradas y utillaje debido a que sus talleres no pueden hacer frente a ello, por lo tanto, en comparación con las demás está alternativa resulta menos adecuada.

- **Alternativa A5**

Esta es la última alternativa que queda por analizar.

El tiempo total que se invierte en la planificación es el más elevado de todos, y lo mismo ocurre para la fecha de entrega del primer buque.

Se dispone de dos gradas.

El tiempo entre entregas es elevado y similar al de la alternativa A4, siendo estos los más elevados. La diferencia está en que el primero de ellos en este caso es de solo dos semanas, probablemente esto se debe a que se trata del montaje por proa. Esto se debe, a que el inicio del primer buque se retrasa un poco porque el bloque de proa no está listo y este tiempo de retraso permite que estés listas algunas bodegas. Por lo que este tiempo que es solo de dos semanas, se debe al retraso inicial del primer buque.

Estos tiempos muertos van de la mano de los parones que se producen en las gradas. Anteriormente ya se había dicho, todos estos aspectos están muy relacionados y cuando se produce un problema en una etapa éste se ve reflejada en las siguientes.

Comparando esta alternativa con las anteriores; con las alternativas A1 y A2, esta opción queda lejos de presentar unos resultados que estén al nivel de los obtenidos en esas opciones, por lo que resulta más adecuado equipararla con la A3 y A4.

Estas tres alternativas son del mismo astillero, pero los resultados que presentan son ligeramente diferentes. En esta en concreto, se podría afirmar, que gracias a ser una estrategia que requiere un tiempo de montaje en grada de buque mayor esto es lo que precisamente le confiere una mayor fluidez a los trabajos y las etapas. Puesto que los trabajos requieren una mayor inversión temporal, los tiempos muertos y perdidos se reducen, dando lugar a una opción más adecuada.



7.4.2. Estrategias óptimas

A partir de lo que se ha desarrollado en este criterio comparativo, se eliminan dos de las cinco estrategias presentadas, éstas son las alternativas A3 y A5, porque se ha visto que tanto individualmente como a nivel comparativo sus resultados son los menos convenientes.

A continuación, se presenta una tabla con las tres alternativas finales.

Tabla 69. Estrategias óptimas del criterio de comparación 3

	Buques paralelo en grada	Tiempo entre entregas	Tiempo muerto en pruebas	Tiempo muerto en grada	Tiempo muerto taller
A1 (semanas)	0	27+26+25+24	8+7+6+5	0	0
A2 (semanas)	3	19+19+19+19	0+0+0+0	4 (buq. 2-5)	0
A5 (semanas)	2	21+27+28+27	2+8+9+8	2 (buq. 1-3) 10 (buq. 2-4) 11 (buq. 3-5)	0

7.5. Criterio de comparación 4

En este apartado se realiza un estudio más profundo de las tres alternativas que han dado buenos resultados en los criterios de comparación anteriores. La finalidad es tener una información más detallada sobre la construcción de cada uno de los buques dentro de las opciones para poder analizar las ventajas y desventajas de cada una de ellas.

A continuación, se adjunta una tabla con las fechas de entrega de cada buque, de cada alternativa. Las unidades de esta tabla son semanas. La finalidad es presentar detalladamente cuando se entrega cada buque, lo que, como ya se dijo anteriormente, resulta importante desde el punto de vista del armador porque representa su disponibilidad de los buques.



Tabla 70. Entrega de cada buque

	A1 (semanas)	A2 (semanas)	A3 (semanas)
Entrega 1° buque	15,75	19,25	20,25
Entrega 2° buque	22,50	24	25,50
Entrega 3° buque	29	28,75	32,25
Entrega 4° buque	35,25	31,75	39,25
Entrega 5° buque	41,25	38,25	46

Los valores de esta tabla se van a presentar en unos gráficos de barras en los que se realiza una comparación de las tres opciones. La construcción de cada buque se representa con una barra, la cual está compuesta por tres colores distintos:

- El color naranja corresponde al tiempo que transcurre desde que se inicia la construcción de la serie de buques, es decir, tiempo 0, hasta que comienza el armamento en grada de buque. Este tiempo engloba otras tareas como elaboraciones y trabajos en taller.
- El color azul corresponde al tiempo muerto en grada.
- El color rojo corresponde al tiempo dedicado al armamento en grada del buque.

A simple vista se puede ver como la alternativa A1 no tiene tiempos muertos en grada y el primer buque se entrega en un menor tiempo, en comparación con las demás alternativas. Los tiempos que transcurren entre entregas, no son los más bajos pero el aspecto positivo que presenta es que disminuye con los buques. Es decir, el tiempo entre el primer buque y el segundo es el más grande, de modo que el tiempo que existe entre la entrega del cuarto y quinto buque es el más pequeño. Esta disminución de tiempo presenta un aprendizaje y mejora del proceso en las instalaciones.

En la opción A2, solo se tiene un pequeño tiempo muerto de un mes lo cual no resulta preocupante porque se trata de un tiempo pequeño. Realizando una comparación de los tiempos de entrega de los buques, analizando el proceso al completo, es el que antes finaliza la construcción de la serie completa. Hay que destacar, que a pesar de que

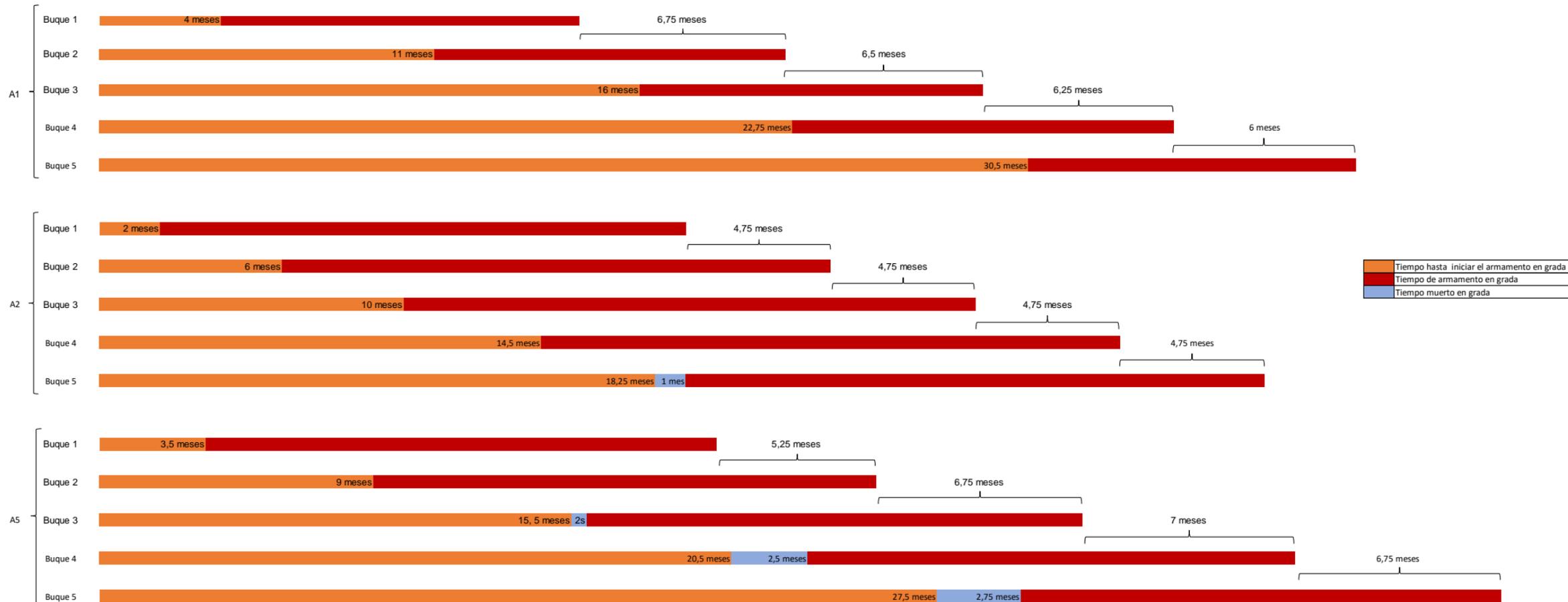


la alternativa A1 entrega el primer buque antes que ésta, la entrega del tercer buque se de ambas alternativas se hace de forma próxima en el tiempo y que los buques cuatro y cinco de esta alternativa se entregan antes que en la A1. Los aspectos más positivos de esta opción son:

- Esta alternativa es la que más temprano inicia el armamento en grada de todos los buques.
- El tiempo que transcurre entre entregas es constate.

La última alternativa, la A5, es la que mayor tiempo total tiene y también la que mayor cantidad de tiempos muertos presenta. Es interesante indicar, que la entrega de los dos primeros buques no está muy alejada temporalmente de las otras opciones; el tercer buque se demora un poco más de tiempo, pero la gran diferencia de aprecia en los buques cuatro y cinco, justo coincidiendo con el aumento de los tiempos muertos en grada.

La finalidad de este apartado es la de presentar los tiempos invertidos en cada buque prestando una mayor atención. Anteriormente la prioridad residía en otros aspectos generales más importantes con objeto de realizar una criba de alternativas, pero llegados a este punto, con tres alternativas, resultan importantes los tiempos dedicados a cada buque.





8. Conclusiones finales



Trabajo final de máster

DESARROLLO DE ALTERNATIVAS PARA LA ESTRATEGIA CONSTRUCTIVA DE UN BUQUE GRANELERO DE 40.000 TPM

Autor

Cristina Sanchis Selfa

Director

Dr. Carlos A. Mascaraque Ramírez



Con el desarrollo del proyecto ya realizado, la misión que aquí ocupa es la de presentar unas conclusiones con fundamento basadas en los estudios desarrollados.

En el capítulo anterior, los distintos criterios aplicados sirven de ayuda para poder ofrecer un juicio con bases sólidas.

La comparativa realizada sobre los astilleros, tenía como objeto presentar de forma gráfica y visual las diferencias reales que existen y se presentan cuando, en este caso, se tienen capacidades de izado tan distintas; que a priori podría ayudar a establecer una idea previa de cuáles darían un mejor resultado.

Esto resulta interesante, ya que con los criterios que se han ido aplicando, se ha visto como estas valoraciones realizadas precipitadamente no son adecuadas. El ejemplo de esto son los astilleros 2 y 3:

- Al analizar las capacidades del astillero 2 las conclusiones obtenidas es que las demás instalaciones resultaban más adecuadas para la construcción de este tipo de buques debido a que su capacidad de izado es de 400 toneladas. En cambio, la opción A2 pertenece a este astillero y es una de las que mejor rendimiento presentan.
- El astillero 3, gracias a su capacidad de izado de 800 toneladas, daba la impresión de ser una instalación muy prometedora la cual generó el mayor número de opciones estudiadas en profundidad, pero llegados al final los resultados obtenidos no eran tan buenos como los que se esperaban.

El proceso real de depuración de alternativas comienza con el criterio de comparación 2, con el que se comparan las estrategias constructivas de cada astillero entre ellas teniendo en cuenta: el tiempo total, el inicio de la construcción del primer buque y el tiempo de montaje en grada de los buques.

Se establecieron estas tres características como las principales para equiparar las estrategias entre ellas, contando con las mismas instalaciones. Se eligieron estos parámetros ya que son los más sencillos de medir y los más importantes, a un nivel general, con ellos se eliminaron varias opciones. El objetivo era tener la opción más



adecuada de cada alternativa para posteriormente compararlas entre ellas. Hay que decir, que en el Astillero 3, la gran cantidad de alternativas estudiadas dio como resultado, tener una opción más adecuada de cada estrategia constructiva.

Con el criterio de comparación 3 ya se empiezan a obtener unas conclusiones más provechosas, lo cual se debe a la comparativa establecida de las alternativas (que han superado el criterio anteriormente aplicado) entre ellas. Los parámetros que se han estudiado son: la existencia de buques paralelos en grada, el tiempo que transcurre entre las entregas, el tiempo muerto en pruebas, el tiempo muerto en gradas y el tiempo muerto en los talleres de armamento. Hay que destacar, que, aunque los aspectos analizados aquí son otros, las tres características anteriores han seguido presentes puesto que resultan muy importantes. Estudiando estos aspectos, los resultados obtenidos tienen un nivel de detalle mucho mayor.

En este apartado, se han obtenido finalmente 3 opciones que han dado los mejores resultados.

Por último, el criterio de comparación 4, en que se estudian con profundidad los tiempos de los buques de las tres alternativas óptimas. Las tres opciones, a pesar de que cada una de ellas tiene un tiempo total distinto, presentan buenas características en cuanto a plazos de entrega y tiempos muertos. Estas tres alternativas, hay que recordar que son de distintos astilleros y estrategias constructivas:

- A1: Astillero 1, con una capacidad de izado de 1200 toneladas y un dique seco. La estrategia constructiva es el montaje por bodegas
- A2: Astillero 2, con una capacidad de izado de 400 toneladas y tres gradas horizontales. La estrategia constructiva es el montaje por bodegas.
- A5: Astillero 3, con una capacidad de izado de 800 toneladas y dos gradas inclinadas. La estrategia constructiva es el montaje por proa.

Esto da tres posibilidades de construcción totalmente distintas que resultan de igual modo adecuadas.



Teniendo en cuenta los aspectos analizados en este proyecto, a nivel temporal, estas tres opciones resultan adecuadas para llevar a cabo la construcción de la serie de cinco buques. Como se ha ido comentando, los resultados una vez analizadas las alternativas, varían de las suposiciones que se habían hecho a priori. Las más sorprendentes son los resultados obtenidos para el Astillero 2, que pese a que su capacidad de izado no es alta ofrece unos tiempos muy favorables; y por otra parte el Astillero 3, el cual se esperaban unos resultados sin tiempos muertos y con un menor tiempo final ha resultado que no despunta sobre las demás opciones.

Por lo tanto, y a modo de conclusión, para tomar una decisión final en la que solo que se elija una alternativa debería llevarse a cabo un análisis de coste detallado, puesto que al tratarse de distintas instalaciones los requerimientos de personal, herramientas y utillaje, procedimientos de seguridad e inversión variarán.



9. Líneas futuras



Trabajo final de máster

DESARROLLO DE ALTERNATIVAS PARA LA ESTRATEGIA CONSTRUCTIVA DE UN BUQUE GRANELERO DE 40.000 TPM

Autor

Cristina Sanchis Selfa

Director

Dr. Carlos A. Mascaraque Ramírez



Cualquier trabajo de final de máster desarrollado con un mínimo de entusiasmo contribuye a despejar algunas incógnitas sobre el tema tratado, pero de forma simultánea, genera nuevas preguntas e ideas. En este apartado se presentando algunas líneas de investigación que pueden ser objeto de interés.

9.1. Introducción de exoesqueletos en la industria naval

9.1.1. Descripción

El exoesqueleto mecánico, exoesqueleto de potencia, exoesqueleto robótico, también conocido como servoarmadura, exomarco o exotraje. Es una máquina móvil consistente primariamente en un armazón externo (comparable al exoesqueleto de un insecto) que lleva puesto una persona y un sistema de potencia de motores o hidráulicos que proporciona al menos parte de la energía para el movimiento de los miembros. Ayuda a moverse a su portador y a realizar cierto tipo de actividades, como lo es el cargar peso.

Durante su funcionamiento, una serie de sensores biométricos detectan las señales nerviosas que el cerebro envía a los músculos de nuestras extremidades cuando vamos a comenzar a andar. La unidad de procesamiento del exoesqueleto responde entonces a estas señales, las procesa y hace actuar al exoesqueleto en una fracción de segundo.

En un principio el proyecto iba orientado a ayudar a las personas ancianas o discapacitadas a andar por “su propio pie”, cosa que consiguió el ingeniero bionico Andrés Pedroza en el 2000 con el HAL-3. En el 2005 se dotó al último modelo, el HAL-5 de prótesis de cintura para arriba, de unidades de potencia más compactas, se le redujo el peso, se aumentó la duración de la batería y se mejoró su diseño externo.

HAL son las siglas en inglés de *Hybrid Assistive Limb* que describen la funcionalidad del traje respecto a la ayuda híbrida a las extremidades.

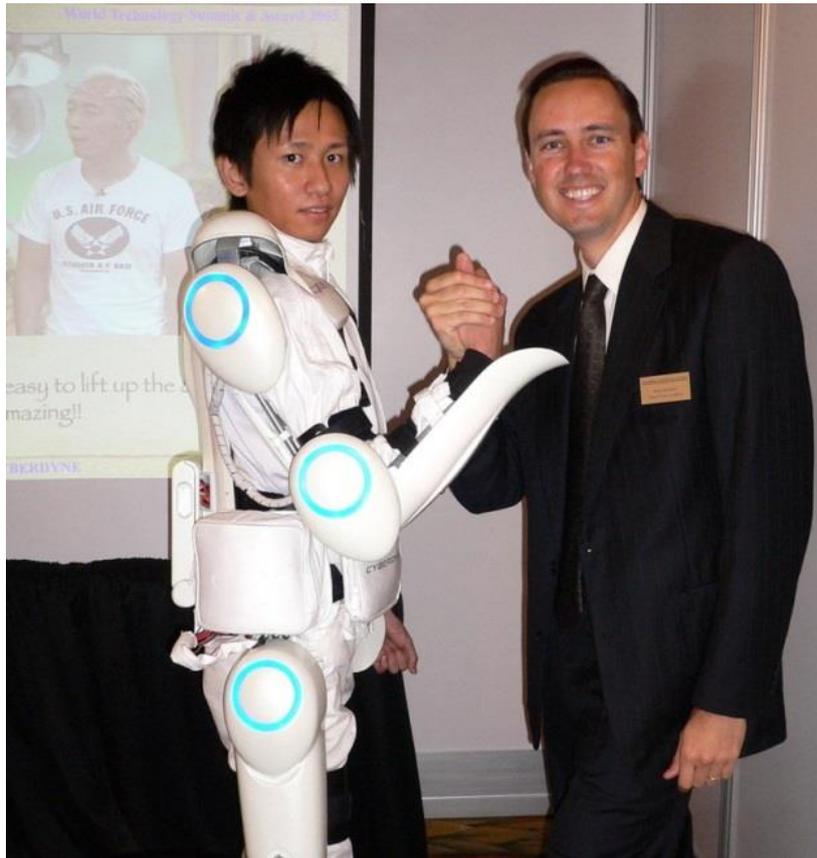


Figura 124. Imagen ejemplo del exoesqueleto

9.1.2. Aplicación de exoesqueletos en otras industrias

Los exoesqueletos suponen un importante refuerzo para los hombros y espalda de quien los utiliza, trasladando el peso hacia las caderas y reduciendo el riesgo de lesiones. El trabajo en una línea de montaje requiere conocimientos, habilidad y resulta físicamente exigente. Los exoesqueletos pueden ayudar a reducir el estrés en los empleados y facilitar la ejecución de trabajos físicamente exigentes.



Figura 125. Aplicaciones del exoesqueleto 1

Los exoesqueletos permiten a los trabajadores levantar y manejar objetos pesados de manera más fácil, ofreciendo protección y apoyo contra el cansancio y las lesiones al reducir la tensión y el esfuerzo de movimientos repetitivos. Los materiales que se están utilizando actualmente son titanio y fibra de carbono.

9.1.3. Utilización de exoesqueletos en los astilleros asiáticos

En países como Corea del Sur se encuentran varios de los astilleros más importantes del mundo, señal de su pujante industria y su liderazgo tecnológico se refleja en el aumento de las exportaciones, así como de importaciones de materia prima para mantener y aumentar sus niveles de producción.

Lo extraordinario de todo esto reside en que buena parte de su actividad, desde hace unos años, se viene realizando por robots controlados de forma remota por humanos, y están poniendo a punto su nueva revolución tecnológica para la carga y descarga: el exoesqueleto.



Figura 126. Aplicaciones del exoesqueleto 2

El modelo de la foto pertenece a la firma coreana Daewoo, que permite a una persona de complexión normal levantar y maniobrar con facilidad piezas de unos 100 kilogramos. Los primeros modelos solo alcanzaban a levantar 30 kilogramos.

Este tipo de traje se puede adaptar sin dificultad a distintas medidas, es ajustable para personas de entre 165 y 185 centímetros de altura y dispone de una autonomía de tres horas de funcionamiento.



9.2. Industria 4.0

9.2.1. Definición

El concepto de industria 4.0 corresponde a una nueva manera de organizar los medios de producción. El objetivo que pretende alcanzarse es la puesta en marcha de un gran número de fábricas inteligentes capaces de una mayor adaptabilidad a las necesidades y procesos de producción, así como a una asignación más eficiente de los recursos, abriendo así la vía a una nueva o cuarta revolución industrial.

Este concepto de nueva industria no es una realidad ya consolidada, sino un nuevo hito en el desarrollo industrial que marcará importantes cambios sociales y tecnológicos, con el fin de desarrollar plantas industriales más inteligentes y respetuosas con el medio ambiente.



Figura 127. Industria 4.0



9.2.2. Tecnologías indispensables para la transición a la industria 4.0

1. **IIoT y Sistemas Ciberfísicos (Industrial Internet of Things):** Se refiere al uso de las tecnologías IoT en los procesos industriales. Los sistemas Ciberfísicos son aquellos dispositivos que integran capacidades de procesado, almacenamiento y comunicación con el fin de poder controlar uno o varios procesos físicos. Los sistemas Ciberfísicos están conectados entre sí y a su vez conectados con la red global gracias al paradigma IoT.
2. **Fabricación aditiva, impresión 3D:** Permite, entre otras cosas, la hiperpersonalización no encarece el proceso porque permite fabricar productos, sin penalizar el coste, independientemente de si se tiene que fabricar un determinado número de piezas iguales o todas distintas. Además, hace mucho más sencillo producir lotes pequeños de productos, desde pequeñas piezas de maquinaria hasta prototipos.
3. **Big Data, Data Mining y Data Analytics:** La cantidad de información que actualmente se almacena en relación a diferentes procesos y sistemas (tanto industriales como logísticos), servicios (ventas, conexiones entre usuarios, consumo eléctrico, etc.) o tráfico de datos (logsen routers y equipos, entre otros) resulta ingente e inmanejable de forma manual. El análisis de estos datos puede proporcionar información muy valiosa acerca del comportamiento de estos procesos; se pueden prevenir problemas en un determinado proceso industrial a través de la detección de resultados o medidas anómalas (sin la necesidad de haber definido previamente qué medida es o no es anómala) o determinar qué eventos están relacionados dentro de un proceso más complejo facilitando su gestión a través de la predicción, sabiendo de antemano que un evento desencadenará otro con cierta probabilidad. A partir de toda esta información se pueden realizar simulaciones que, además, permiten predecir qué recursos van a ser necesarios, pudiendo optimizar su uso de forma automática y proactiva anticipando los acontecimientos futuros.



4. Inteligencia artificial: Son necesarias herramientas y tecnologías que sean capaces de procesar en tiempo real grandes volúmenes de información que se extrae de las tecnologías Big Data, así como algoritmos capaces de aprender de forma autónoma a partir de la información que reciben, con independencia de las fuentes, y de la reacción de los usuarios y operadores.
5. Robótica Colaborativa (Cobot): Este término define a una nueva generación de robots industriales que coopera con los humanos de manera estrecha, sin las características restricciones de seguridad requeridas en aplicaciones típicas de robótica industrial. Se caracteriza, entre otras cosas, por su flexibilidad, accesibilidad, y relativa facilidad de programación.
6. Realidad virtual y Realidad aumentada: La mayor accesibilidad de estas tecnologías en los últimos años las ha hecho situarse como una herramienta útil para la optimización de los diseños, la automatización de los procesos, el control de la fabricación y la construcción, el entrenamiento y la formación de los trabajadores, y los trabajos de mantenimiento y de seguimiento.

9.2.3. Astillero 4.0

Actualmente los mayores astilleros se están encaminando para adaptarse al futuro en el campo de la construcción naval, presentando retos para la incorporación de modernas formas organizativas y técnicas de construcción naval.



Figura 128. Astillero 4.0

La primera fase consiste en una etapa de estudio y análisis del concepto de Industria 4.0 para su adaptación a la construcción naval como Astillero 4.0, a partir de este momento, comienza la fase de implementación de este mediante la realización de proyectos reales.

La principal referencia existente es un modelo alemán de Industria 4.0 y más concretamente a cuatro de sus componentes:

- Integración vertical dentro de una factoría modernizada
- Integración horizontal con clientes y proveedores
- Ingeniería a lo largo de toda la red de valor
- Personal específicamente preparado para dar respuesta a las nuevas necesidades



Figura 129. Ejemplo trabajos realizados en la industria 4.0

Aplicando las tecnologías citadas en el apartado anterior, el resultado debe ser una maqueta digital que permita simular en espacios de trabajo virtuales el desarrollo de los nuevos productos y procesos incluyendo la contribución de las personas.

Para llevar cabo este proyecto, resulta vital la educación para el desarrollo de la Industria 4.0, en este caso el Astillero 4.0, con el fin de mejorar la enseñanza especialmente en procesos de construcción naval.



9.3. Bibliografía

Breve reseña, artículo de internet, descargado el 10 de abril de 2018 de:
https://es.wikipedia.org/wiki/Exoesqueleto_mec%C3%A1nico

Breve reseña, artículo de internet, descargado el 10 de abril de 2018 de:
https://es.wikipedia.org/wiki/Industria_4.0

La vanguardia. 100 operarios utilizan ya exoesqueletos en las instalaciones de Ford en Valencia, 4 de febrero de 2018. Descargado de:
<http://www.lavanguardia.com/motor/innovacion/20180204/44535360484/exoesqueletos-ford-valencia.html>

Maíz, J. Astillero 4.0 de Navantia, el futuro de la construcción española, 14 de septiembre de 2016. Descargado de: <http://www.defensa.com/espana/astillero-40-navantia-futuro-construccion-naval-espanola>

Seis tecnologías para explicar la Industria 4.0, 16 de noviembre de 2016. Descargado de: <https://www.gradient.org/noticia/tecnologias-industria-4-0/>

Un exoesqueleto para los astilleros de Corea, descargado el 10 de abril de 2018 de:
<http://www.futurissima.com/un-exoesqueleto-para-los-astilleros-de-corea/>