



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

**Escuela Técnica Superior  
de Ingenieros Navales**

MADRID

TRABAJO FIN DE GRADO EN  
ARQUITECTURA NAVAL

Nº GAN-413

Modelización BIM 4D de la planificación para la  
construcción del buque asfaltero TFG GAN-324



Autora:  
Elisa Cardeña Patiño

Tutor:  
Antonio Souto Iglesias

JULIO 2025



*“Las organizaciones eficientes son aquellas en las que se invierte más tiempo  
en planear que en ejecutar”  
(Joseph Juran)*





# Propuesta TFG



CAMPUS  
DE EXCELENCIA  
INTERNACIONAL

## PROPUESTA DE TRABAJO FIN DE GRADO ARQUITECTURA NAVAL/INGENIERÍA MARÍTIMA



D./D<sup>a</sup>  profesor/a adscrito/a  
al departamento  de la E.T.S. de Ingenieros  
Navales de la U.P.M. propone el siguiente TRABAJO FIN DE GRADO para alumnos/as del  
título de Graduado/a en , para su evaluación por la Comisión de  
Ordenación Académica y posterior aprobación, si procede.

Cotutor/a D./D<sup>a</sup>  Empresa

Correo electrónico profesional Cotutor/a

Avalista D./D<sup>a</sup> (en caso de ser necesario)

Título del trabajo propuesto:

Descripción del TRABAJO: (Indíquese seguidamente si esta información se encuentra en documento anexo claramente identificado)

### Objetivo:

Una gestión y planificación precisa de los proyectos es crucial en la ingeniería moderna. Existen herramientas avanzadas de aplicación en este campo utilizando técnicas BIM 4D, incorporando geometría y tiempo, que todavía no son muy utilizadas en el sector naval. En este TFG se pretende avanzar en esta dirección. Para ello se plantea el reto de definir una planificación BIM 4D con Synchro tomando como referencia el buque objeto del TFG GAN-324, un asfaltero de 8350 TPM. La planificación se realizará primero en detalle en Ms Project y se focalizará en aquellos aspectos para los que se tiene definición en el TFG citado, incluyendo recursos, coste asociado, y un seguimiento del proyecto mediante la técnica de valor ganado. La visualización BIM en 4D representará la fabricación de bloques (sin prearmamento), su montaje en grada, y la instalación de equipos principales. Se propondrá un astillero real para la construcción, y la planificación se hará de acuerdo a los medios y modelo operativo de dicho astillero.

### Método y fases del trabajo:

1. Estado del arte de los métodos BIM 4D. Diferenciación respecto a la gestión de proyectos convencional.
2. Estado del arte de estrategias constructivas en el sector naval.
3. Aplicación de los métodos BIM 4D en el sector naval.
4. Descripción de las herramientas a utilizar y de su instalación.
5. Descripción del caso de estudio y selección de astillero
6. Selección de formatos de intercambio de datos
7. Estrategia constructiva: Hitos, Descomposición en bloques, Tareas y Diagrama de Gantt .
8. Importación en Synchro 4D de geometría y estrategia constructiva
9. Seguimiento de la ejecución del proyecto: Técnica de Valor ganado.
10. Conclusiones y definición de futuras líneas de trabajo





CAMPUS  
DE EXCELENCIA  
INTERNACIONAL

**PROPUESTA DE TRABAJO FIN DE GRADO  
ARQUITECTURA NAVAL/INGENIERÍA MARÍTIMA**



**Medios específicos necesarios:**

Rhinoceros, para dividir la geometría 3D del buque en bloques y añadir otros elementos relevantes.  
Excel, para la obtención de las curvas S y realizar cálculos  
Python, para llevar a cabo ciertos cálculos  
Freeplane, para la realización de mapas mentales para elaborar una WBS del proyecto  
Ms-Project, para secuenciar las tareas de esa WBS y asignar recursos  
Synchro 4D, para hacer una implementación BIM de esa planificación  
Word, para la redacción de los documentos escritos.

**Estructura de capítulos, planos o documentos que constituyen el cuerpo del trabajo:**

Los que se deducen de las fases de trabajo más los apéndices necesarios sobre el cálculo de los pesos de cada bloque y el dimensionamiento de la hélice y el timón.



# Resumen

Una buena gestión y una planificación precisa son cruciales para garantizar el éxito en los proyectos de ingeniería. Por ello, la metodología BIM 4D representa una evolución significativa al integrar la variable temporal en los modelos 3D y se convierte en una herramienta fundamental para mejorar la coordinación entre las tareas y los recursos, minimizando el costo final.

Debido a que todavía no es una técnica muy extendida en el sector naval, se pretende avanzar en esta dirección estableciendo como objetivo final de este TFG el desarrollo de una planificación BIM 4D del buque proyectado en el TFG GAN-324, un asfaltero de 8350 TPM.

A lo largo de este proyecto se emplearán sobre todo tres aplicaciones de software vinculadas con la gestión de proyectos: Freeplane, para la realización de mapas mentales para elaborar una WBS del proyecto, Microsoft Project para secuenciar las tareas de esa WBS y asignar recursos, y Synchro 4D para hacer una implementación BIM de esa planificación. Se estudiarán además los diferentes formatos de intercambio de datos entre dichas herramientas.

Se analizarán varios astilleros con la finalidad de elegir la mejor opción para la construcción del buque objeto de este TFG, teniendo en consideración sus instalaciones y modelo operativo. A partir de ello se definirán los recursos de trabajo y de material necesarios.

Se llevará a cabo la división del buque en bloques teniendo en cuenta las limitaciones técnicas del astillero, además de que se dimensionarán aquellos elementos necesarios que no estén representados en el modelo 3D original, ni tengamos su información en el TFG citado. Seguidamente, una vez se disponga de toda la información, se efectuará la planificación de la estrategia constructiva mediante un diagrama de Gantt.

A continuación, se realizará un modelo dinámico BIM en el que se pueda visualizar el ensamblado de los bloques, su montaje en grada, y la instalación de equipos principales.

Para concluir, se hace un ejercicio de seguimiento de la ejecución del proyecto. Para ello se supondrán una serie de desviaciones con el fin de observar qué impacto tendrán sobre la duración y coste previstos aplicando la técnica del valor ganado.





# Abstract

A good management and a precise planification are crucial to guarantee success in engineering projects. For this, BIM 4D methodology represents a significant evolution by incorporating the time variable in 3D models and it becomes a key element in order to improve the coordination between tasks and resources, minimizing the final cost.

Due to the fact that it is not a very spread technique in the Naval sector, the goal is to go in this way establishing as a final goal in this TFG the development of a BIM 4D planification about the vessel designed in TFG GAN-324, a bitumen ship of 8350 DWT.

Along this project, three software applications will be mainly used, all of them related to project management: Freeplane, for mind maps, to elaborate a WBS of the project, Microsoft Project, to sequence tasks in WBS and assign resources, and Synchro 4D to implement a BIM of that planification. It will also be studied the different data exchange format between the already mentioned tools.

Several shipyards will be analyzed in order to choose the best option for the building of the vessel studied in this TFG, taking into account its facilities and operating model. From there, the necessary work and material resources will be identified.

The vessel will be divided into modules considering the technical limitations in the shipyard, together with the design of those necessary elements which are not represented in the original 3D model, or whose information does not appear in the cited TFG. After that, once all the information is gathered, the building planification will be done by means of a Gantt chart.

Then, a dynamic BIM model will be developed. In it, the assembly process of the modules, its grade erection and the fitting of the main ship systems will be displayed.

To conclude, the project efficiency will be checked through a follow-up of its execution. To do so, some variations will be estimated so that it can be observed the impact they will have on the length and cost foreseen using Earned Value Method.





# Agradecimientos

Dedico este proyecto a mis padres por haberme motivado ante las dificultades y animarme siempre a lograr mis objetivos.

También, a mi tutor Antonio Souto Iglesias por su dedicación y consejos a lo largo de la realización de este proyecto.

Agradezco a Rafael Guadalupe García su tiempo invertido en orientarme en la utilización del programa Synchro 4D, que ha sido vital en este TFG.

A todos los amigos y compañeros que he conocido durante estos años de estudio y por último, no puedo olvidarme de Gloria, Alejandra y Fernando Marcos por su pequeña, pero no menos importante ayuda.





# Índice

|                                                                                            |             |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>Propuesta TFG</b> .....                                                                 | <b>v</b>    |
| <b>Resumen</b> .....                                                                       | <b>vii</b>  |
| <b>Abstract</b> .....                                                                      | <b>ix</b>   |
| <b>Agradecimientos</b> .....                                                               | <b>xi</b>   |
| <b>Índice</b> .....                                                                        | <b>xiii</b> |
| <b>Capítulo 1: Estado del arte de los métodos de trabajo BIM 4D</b> .....                  | <b>1</b>    |
| 1.1. ¿Qué es BIM 4D? .....                                                                 | 1           |
| 1.2. Orígenes y evolución .....                                                            | 1           |
| 1.3. Softwares más importantes para BIM 4D .....                                           | 2           |
| 1.4. Usos actuales de BIM 4D .....                                                         | 2           |
| 1.5. Ventajas y desventajas de BIM 4D en comparación con métodos tradicionales .....       | 5           |
| 1.6. Conclusiones parciales de este capítulo .....                                         | 7           |
| <b>Capítulo 2: Estado del arte de las estrategias constructivas del sector naval</b> ..... | <b>9</b>    |
| 2.1. Introducción .....                                                                    | 9           |
| 2.2. Departamento de producción .....                                                      | 9           |
| 2.3. Organización de flujos por procesos .....                                             | 9           |
| 2.4. Métodos de construcción .....                                                         | 10          |
| 2.4.1. Construcción por elementos .....                                                    | 10          |
| 2.4.2. Construcción por bloques .....                                                      | 11          |
| 2.4.2.1. Prefabricación .....                                                              | 11          |
| 2.4.2.2. Criterios y consideraciones en la definición de bloques .....                     | 12          |
| 2.4.2.3. Fases de la fabricación de bloques .....                                          | 13          |
| 2.4.2.4. Prearmamento .....                                                                | 13          |
| 2.4.3. Construcción integrada entre varios astilleros .....                                | 14          |
| 2.5. Sistemas de despiece de bloques .....                                                 | 14          |
| 2.5.1. Sistema piramidal .....                                                             | 15          |
| 2.5.2. Sistema de islas .....                                                              | 15          |
| 2.5.3. Sistema de anillos .....                                                            | 15          |
| 2.6. Fases en el proceso de producción de bloques .....                                    | 16          |
| 2.7. Conclusiones parciales de este capítulo .....                                         | 17          |
| <b>Capítulo 3: Estado del arte de los métodos de trabajo BIM 4D</b> .....                  | <b>19</b>   |
| 3.1. Introducción .....                                                                    | 19          |
| 3.2. Aplicaciones en el sector naval .....                                                 | 19          |
| 3.3. Ejemplos de aplicación de la metodología BIM 4D en el sector naval .....              | 20          |
| 3.3.1. Renovación de los astilleros de Navantia .....                                      | 20          |
| 3.3.2. Fragata tipo 26 .....                                                               | 21          |
| 3.3.3. Portacontenedores MSC Gülsün .....                                                  | 21          |
| 3.3.4. Reconstrucción y modernización de buques .....                                      | 22          |
| 3.4. Método BIM en otros trabajos de fin de titulación en el ámbito naval .....            | 23          |
| 3.5. Futuro de BIM 4D en el sector naval .....                                             | 24          |
| <b>Capítulo 4: Descripción de las herramientas a utilizar y su instalación</b> .....       | <b>25</b>   |
| 2.1. Introducción .....                                                                    | 25          |
| 2.2. FreePlane .....                                                                       | 25          |
| 2.3. Ms-Project .....                                                                      | 26          |
| 2.4. Rhinoceros .....                                                                      | 26          |
| 2.5. Synchro 4D .....                                                                      | 27          |
| <b>Capítulo 5: Descripción del caso de estudio</b> .....                                   | <b>29</b>   |
| 5.1. El buque .....                                                                        | 29          |
| 5.2. Elección del astillero .....                                                          | 30          |
| 5.2.1. Armón .....                                                                         | 30          |
| 5.2.1.1. Astilleros Armón Gijón .....                                                      | 30          |



|                                                                                        |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 5.2.1.2. Astilleros Armón Vigo .....                                                   | 31        |
| 5.2.1.3. Armón Ría de Vigo .....                                                       | 31        |
| 5.2.2. Gondán .....                                                                    | 32        |
| 5.2.3. Astilleros Murueta .....                                                        | 35        |
| 5.2.3.1. Murueta .....                                                                 | 35        |
| 5.2.3.2. Erandio .....                                                                 | 36        |
| 5.2.4. NODOSA .....                                                                    | 37        |
| 5.2.5. Decisión final .....                                                            | 37        |
| 5.3. Recursos .....                                                                    | 38        |
| 5.3.1. Recursos de personal .....                                                      | 38        |
| 5.3.2. Recursos indirectos/ transversales .....                                        | 41        |
| 5.3.3. Recursos de instalaciones .....                                                 | 41        |
| 5.3.4. Recursos de material .....                                                      | 42        |
| 5.3.5. Recursos de costo .....                                                         | 46        |
| 5.3.6. Presupuesto total .....                                                         | 46        |
| 5.4. Análisis breve de cadenas logísticas .....                                        | 46        |
| 5.5. Análisis breve de aspectos normativos .....                                       | 47        |
| <b>Capítulo 6: Estado del arte de los métodos de trabajo BIM 4D .....</b>              | <b>49</b> |
| 6.1. Introducción .....                                                                | 49        |
| 6.2. Formato IFC (Industry Foundation Classes) .....                                   | 49        |
| 6.3. Formato DWG/DXF .....                                                             | 49        |
| 6.4. Formato FBX (Filmbox) .....                                                       | 49        |
| 6.5. Formato DGN .....                                                                 | 50        |
| 6.6. Formato OBJ .....                                                                 | 50        |
| 6.7. Formato 3DM .....                                                                 | 50        |
| 6.8. Conclusiones parciales de este capítulo .....                                     | 51        |
| <b>Capítulo 7: Estrategia constructiva .....</b>                                       | <b>53</b> |
| 7.1. Introducción .....                                                                | 53        |
| 7.2. Hitos .....                                                                       | 53        |
| 7.2.1. Hitos contractuales .....                                                       | 53        |
| 7.2.1.1. Hitos contractuales del proyecto del buque asfaltero .....                    | 54        |
| 7.2.2. Hitos constructivos .....                                                       | 55        |
| 7.2.2.1. Hitos constructivos principales del proyecto del buque asfaltero .....        | 55        |
| 7.2.2.2. Hitos constructivos de segundo nivel del proyecto del buque asfaltero .....   | 56        |
| 7.2.3. Relación entre hitos contractuales y constructivos .....                        | 56        |
| 7.3. Descomposición en bloques .....                                                   | 56        |
| 7.3.1. División por zonas en anillos .....                                             | 56        |
| 7.3.2. Cálculo de número de bloques y pesos .....                                      | 58        |
| 7.3.3. Otros elementos individuales de especial relevancia .....                       | 59        |
| 7.3.3.1. Dimensionamiento de la hélice .....                                           | 60        |
| 7.3.3.2. Dimensionamiento del timón .....                                              | 60        |
| 7.4. Tareas .....                                                                      | 60        |
| 7.4.1. Diseño .....                                                                    | 61        |
| 7.4.1.1. Diseño (precontractual) .....                                                 | 61        |
| 7.4.1.2. Diseño constructivo (post contractual) .....                                  | 61        |
| 7.4.2. Compras .....                                                                   | 61        |
| 7.4.3. Preparar zonas de trabajo .....                                                 | 62        |
| 7.4.4. Corte, plegado y fabricación de previas de los bloques .....                    | 62        |
| 7.4.5. Bloques .....                                                                   | 63        |
| 7.4.6. Instalación de otros equipos .....                                              | 64        |
| 7.4.7. Botadura .....                                                                  | 65        |
| 7.4.8. Pruebas .....                                                                   | 65        |
| 7.5. Secuenciación y dependencia de las tareas. Generación del diagrama de Gantt ..... | 66        |
| 7.5.1. Ingeniería .....                                                                | 66        |
| 7.5.2. Compras .....                                                                   | 66        |



|                                                                                                                                                                      |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 7.5.3. Producción.....                                                                                                                                               | 66         |
| <b>Capítulo 8: Importación de la geometría y diagrama de Gantt en Synchro 4D, asociación de elementos geométricos a las tareas y generación de animaciones .....</b> | <b>69</b>  |
| 8.1. Intrducción.....                                                                                                                                                | 69         |
| 8.2. Obtención del archivo 3D descompuesto en bloques y añadir algunos equipos principales .....                                                                     | 69         |
| 8.3. Importación de la geometría y el diagrama de Gantt en Synchro 4D.....                                                                                           | 71         |
| 8.4. Asociación de los elementos geométricos a las tareas y otros recursos .....                                                                                     | 75         |
| 8.5. Generación de animaciones.....                                                                                                                                  | 75         |
| <b>Capítulo 9: Seguimiento de la ejecución del proyecto. Método de valor ganado.....</b>                                                                             | <b>77</b>  |
| 9.1. Introducción .....                                                                                                                                              | 77         |
| 9.2. Método de valor ganado .....                                                                                                                                    | 77         |
| 9.3. Curvas S.....                                                                                                                                                   | 78         |
| 9.4. Curvas S típicas de un astillero español .....                                                                                                                  | 79         |
| 9.5. Seguimieto de la ejecución del proyecto del buque asfatero .....                                                                                                | 79         |
| <b>Capítulo 10: Conclusiones y definición de futuras líneas de trabajo.....</b>                                                                                      | <b>81</b>  |
| 10.1. Conclusiones .....                                                                                                                                             | 81         |
| 10.2. Trabajo futuro .....                                                                                                                                           | 81         |
| <b>Referencias .....</b>                                                                                                                                             | <b>83</b>  |
| <b>Anexo 1 Cálculo detallado del número de bloques y pesos .....</b>                                                                                                 | <b>85</b>  |
| <b>Anexo 2 Dimensionamiento de la hélice .....</b>                                                                                                                   | <b>91</b>  |
| <b>Anexo 3 Tablas resumen de los costos de los recursos .....</b>                                                                                                    | <b>95</b>  |
| <b>Anexo 4 Mapas mentales .....</b>                                                                                                                                  | <b>97</b>  |
| Mapa mental Recursos.....                                                                                                                                            | 97         |
| Mapa mental Plan de Hitos.....                                                                                                                                       | 98         |
| Mapa mental Hitos y Tareas .....                                                                                                                                     | 99         |
| <b>Anexo 5 Diagramas de Gantt.....</b>                                                                                                                               | <b>101</b> |
| Plan de hitos .....                                                                                                                                                  | 101        |
| Diagrama de Gantt. Tareas principales .....                                                                                                                          | 102        |
| Diagrama de Gantt completo .....                                                                                                                                     | 103        |



|                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Ilustración 1: Allegiant Stadium de Las Vegas.....                                      | 3  |
| Ilustración 2: BIM 4D del Allegiant Stadium de Las Vegas .....                          | 3  |
| Ilustración 3: Centro Médico Kaiser Permanente de San Diego.....                        | 3  |
| Ilustración 4: BIM 4D del Céntró Médico Kaiser Permanente de San Diego .....            | 3  |
| Ilustración 5: Aeropuerto Changi de Singapur .....                                      | 4  |
| Ilustración 6: Línea ferroviaria rápida de Londres “Elizabeth Line” .....               | 4  |
| Ilustración 7: BIM 4D de la estación Paddington de Londres .....                        | 4  |
| Ilustración 8: Buque de crucero “Symphony of the Seas” .....                            | 5  |
| Ilustración 9: Esquema de un ejemplo de organización de flujo por procesos .....        | 10 |
| Ilustración10:Ejemplo de construcción por elementos .....                               | 10 |
| Ilustración11:Ejemplo de construcción por bloques .....                                 | 11 |
| Ilustración12:Construcción de un bloque en la fase de prefabricación .....              | 11 |
| Ilustración13:Prearmamento .....                                                        | 14 |
| Ilustración14:Ejemplo de construcción integrada.....                                    | 14 |
| Ilustración15:Ejemplo de construcción piramidal .....                                   | 15 |
| Ilustración16:Ejemplo de construcción en islas .....                                    | 15 |
| Ilustración17:Ejemplo de construcción en anillos .....                                  | 16 |
| Ilustración18:Ejemplo de distribución por zonas .....                                   | 17 |
| Ilustración19:Astillero Navantia Fene .....                                             | 20 |
| Ilustración 20:Fragata Tipo 26 .....                                                    | 21 |
| Ilustración 21:Portacontenedores MSC Gülsün.....                                        | 21 |
| Ilustración 22:Buque Auto Express 109 de Austal.....                                    | 22 |
| Ilustración 23:BIM 4D de un buque de Austal .....                                       | 22 |
| Ilustración 24:Modelo del Yate Balboa dividido en anillos.....                          | 23 |
| Ilustración 25:Mapa conceptual sobre los Hitos del proyecto.....                        | 25 |
| Ilustración 26:Ejemplo de Diagrama de Gantt realizado con Ms-Project .....              | 26 |
| Ilustración 27:Modelo 3D original del buque Asfaltero .....                             | 27 |
| Ilustración 28:Geometría del buque Asfaltero importada en Synchro 4D .....              | 28 |
| Ilustración 29:Instalaciones del astillero Armón Gijón.....                             | 30 |
| Ilustración 30:Buque de bunkering “Haugesund Knutsen” .....                             | 31 |
| Ilustración 31:Instalaciones del astillero Armón Vigo .....                             | 31 |
| Ilustración 32:Instalaciones del astillero Armón Ría de Vigo .....                      | 32 |
| Ilustración 33:Asfaltero “Lagan” .....                                                  | 32 |
| Ilustración 34:Esquema de las instalaciones del Astillero GONDÁN.....                   | 33 |
| Ilustración 35:Instalaciones principales del Astillero GONDÁN .....                     | 34 |
| Ilustración 36:Astillero GONDÁN .....                                                   | 34 |
| Ilustración 37:Instalaciones de procesado de acero y almacén del Astillero GONDÁN ..... | 34 |
| Ilustración 38:Tipos de buques construidos en el Astillero GONDÁN .....                 | 35 |
| Ilustración 39:Esquema de las instalaciones de Astilleros Murueta .....                 | 35 |
| Ilustración 40:Esquema de las instalaciones de Erandio .....                            | 36 |
| Ilustración 41:Instalaciones astillero Nodosa.....                                      | 37 |
| Ilustración 42:Buque “Prión” .....                                                      | 54 |
| Ilustración 43:Disposición general del buque .....                                      | 57 |
| Ilustración 44:División por zonas en anillos en función de las cuadernas.....           | 57 |
| Ilustración 45:División en bloques con sus pesos en toneladas.....                      | 59 |
| Ilustración 46:División en bloques con sus nombres .....                                | 59 |
| Ilustración 47:Huelgos del casco .....                                                  | 91 |
| Ilustración 48:Geometría de la hélice en 3D.....                                        | 60 |
| Ilustración 49:Astillero Armón Ría de Vigo .....                                        | 63 |
| Ilustración 50:Modelo 3D original.....                                                  | 69 |
| Ilustración 51:Plano 0,0 y planos de división en anillos .....                          | 70 |
| Ilustración 52:Planos horizontales para la definición de bloques.....                   | 70 |
| Ilustraciones 53 y 54:Definición de bloques .....                                       | 70 |
| Ilustración 55:Motor MAN 6L27/38, 800 rpm .....                                         | 71 |
| Ilustración 56:Hélice .....                                                             | 71 |



|                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Ilustración 57:Timón, hélice y línea de ejes .....                                           | 71 |
| Ilustración 58: Modelo 3D final.....                                                         | 71 |
| Ilustraciones 59 y 60: Importación de la geometría .....                                     | 72 |
| Ilustración 61:Geometría 3D importada en Synchro .....                                       | 72 |
| Ilustraciones 62 y 63:Importación de la geometría .....                                      | 72 |
| Ilustración 64:Organización de los recursos importados .....                                 | 73 |
| Ilustraciones 65 y 66:Ventanas de Recursos y Objetos 3D .....                                | 73 |
| Ilustración 67:Importación del diagrama de Gantt.....                                        | 74 |
| Ilustración 68:Diagrama de Gantt importado .....                                             | 74 |
| Ilustración 69:Recursos del diagrama de Gantt .....                                          | 74 |
| Ilustración 70:Ventanas de propiedades de la tarea .....                                     | 75 |
| Ilustración 71:Apartado Revisión 4D .....                                                    | 75 |
| Ilustración 72:Apartado Navegador .....                                                      | 75 |
| Ilustración 73:Comparación de la duración y costo real con los valores de la línea base .... | 85 |
|                                                                                              |    |
| Gráfica 9.1.Curvas Método Valor ganado .....                                                 | 77 |
| Gráfica 9.2.Representación de tres curvas S .....                                            | 78 |
| Gráfica 9.3.Curvas S típicas de un astillero español .....                                   | 79 |
| Gráfica 9.4 Informe de horas extra del valor acumulado del buque asfaltero (curvas S) .....  | 85 |
|                                                                                              |    |
| Tabla 1: Recursos de personal .....                                                          | 40 |
| Tabla 2: Recursos de instalaciones .....                                                     | 42 |
| Tabla 3: Refuerzos longitudinales empleados en este buque .....                              | 43 |
| Tabla 4: Recursos de material .....                                                          | 45 |
| Tabla 5: Tabla con los pesos de algunas partes del buque .....                               | 58 |
| Tabla 6: Fases de la producción con sis anillos correspondientes .....                       | 67 |
| Tabla 7: Bloques terminados de la FASE 1 y bloques a ensamblar de la FASE 2 .....            | 68 |
| Tabla 8: Tabla resumen de los bloques indicando su peso, zona y localización .....           | 90 |
| Tabla 9: Tabla para hallar el nu0 óptimo .....                                               | 92 |
| Tabla 10: Tabla resumen de los costos de los recursos de trabajo.....                        | 95 |
| Tabla 11: Tabla resumen de los costos de los recursos de material.....                       | 95 |





# Capítulo 1

## Estado del arte de los métodos de trabajo BIM 4D

### 1.1. ¿Qué es BIM 4D?

**Building Information Modelling (BIM)**, traducido al castellano como *"modelado de información para la construcción"* es una metodología de gestión de proyectos de arquitectura y/o ingeniería cuya estrategia de trabajo no solo engloba las actividades relacionadas con la planificación del diseño, sino que también atiende al proceso de la construcción y el seguimiento de la ejecución del proyecto [1].

En el caso concreto de BIM 4D, se trata de una extensión de este método que consiste en añadir la variable temporal al modelo en 3D. Con esta información, el objetivo final es recrear una simulación virtual donde aparezcan indicadas las tareas a la vez que se visualiza el progreso de la construcción a lo largo de sus diferentes etapas.

Esta forma de gestión presenta las siguientes características fundamentales [2]:

**-Facilidades en la planificación :** La estrategia de gestión consiste en dividir el proyecto en distintas tareas que quedan reunidas en un cronograma a las que se les vincula un elemento de la geometría tridimensional.

**-Gestión de recursos:** Con este sistema es mucho más sencillo gestionar y economizar recursos, reduciendo así el costo total del proyecto.

**-Simulaciones y seguimiento del progreso:** La gran ventaja de este método es que se pueden programar simulaciones de la evolución del proyecto. Esto es un gran avance para detectar conflictos a tiempo, predecir demoras y ver como progresa la construcción.

### 1.2. Orígenes y evolución

A finales de los 70 ya se empezó a trabajar con modelos experimentales creados con programas de diseño asistido por ordenador (CAD), pero no fue hasta la década de 1990 cuando se planteó la posibilidad de vincular esos modelos a una planificación que aportara información sobre el avance de la construcción. Así fue como surgió el término *Building Information Modelling* (BIM).

Debido a los avances tecnológicos que sucedieron en la década de los 2000, las grandes compañías del sector de la construcción como Turner Construction en Estados Unidos o la sueca Skanska en Europa [2], fueron pioneros en aplicar BIM en sus proyectos.

Del mismo modo, las empresas líderes en el desarrollo de softwares de gestión y CAD como **Autodesk o Bentley Systems** comenzaron a desarrollar nuevas herramientas que incluyeran la variable temporal [5].

Desde el año 2010, BIM se ha convertido en una práctica habitual en el sector de la construcción y además, muchos países lo han utilizado en proyectos públicos, como por ejemplo, el metro de Doha (Qatar) en el año 2022. En el futuro veremos su aplicación a una



gran variedad de industrias, por ejemplo, en el sector naval o integrándose con las nuevas tecnologías como la inteligencia artificial para mejorar el rendimiento de los proyectos.

### 1.3. Softwares más importantes para BIM 4D

A continuación, se describen brevemente las aplicaciones de software más habituales empleando la metodología BIM 4D [3]:

**-Microsoft Project y Primavera P6:** son programas muy similares que se emplean para crear cronogramas, calcular presupuestos y realizar el seguimiento de la ejecución del proyecto. Aunque no son softwares específicos de BIM, se suelen utilizar para realizar pasos previos que son necesarios para la obtención de la simulación en BIM 4D. En este proyecto en concreto, se programará un diagrama de Gantt en Ms-Project y a continuación lo importaremos en Synchro 4D para generar la animación.

**-Synchro 4D:** Es una aplicación de software de BIM creada por la compañía Bentley Systems. Resulta especialmente útil en proyectos de ingeniería complejos ya que permite trabajar en conjunto con la planificación y el modelo en 3D. Se pueden importar el diagrama de Gantt que previamente se haya realizado en Ms-Project y el modelo en 3D creado con una herramienta CAD. Es el que usaremos en este proyecto.

**-Asta Powerproject:** Este programa es la alternativa a Microsoft Project y Synchro 4D debido a que cumple las mismas funciones que ambas herramientas, pero es más fácil de adquirir ya que no es necesario disponer de licencia para usar su modo básico. Si ya se quieren acceder a funcionalidades exclusivas, hay que contratar los módulos extras disponibles en la tienda de Elecosoft.

**-ProjectWise:** Al igual que Synchro 4D, este programa también fue desarrollado por Bentley. Tiene ciertos aspectos en común con la finalidad de Synchro, como el ser una herramienta que permite relacionar el diagrama de Gantt y la geometría tridimensional para generar una animación, pero con la particularidad de ser una plataforma colaborativa muy útil para ser utilizada simultáneamente por distintos equipos de trabajo.

**-Vico Office:** Perteneciente a la compañía Construsoft, esta herramienta, al igual que las anteriormente descritas, tienen como principal misión elaborar diagramas de Gantt y relacionarlos con el modelo 3D para crear una simulación BIM. La particular ventaja de Vico Office es que puede trabajar con una gran variedad de formatos y es compatible con otros softwares de BIM como Revit o Synchro 4D. También se pueden calcular presupuestos y representar las curvas S del proyecto. Por último, al poder integrarle el uso del formato IFC, se pueden editar los modelos 3D dentro del propio programa.

**-Navisworks:** Desarrollado por Autodesk, es un programa muy útil para detectar conflictos. Suele ser utilizado en la revisión general de los proyectos.

### 1.4. Usos actuales de BIM 4D

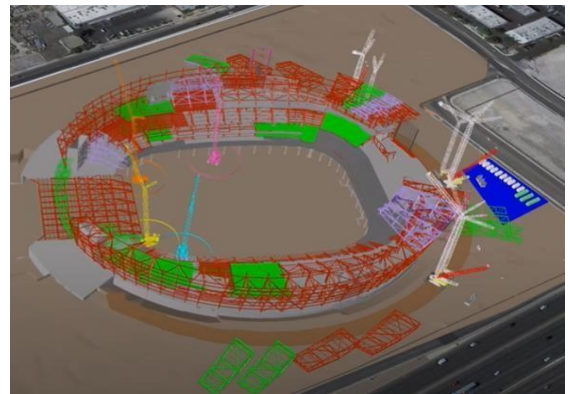
Actualmente, BIM 4D es empleado en una gran variedad de proyectos de arquitectura e ingeniería. En este apartado se indican algunos de los ejemplos más significativos [4]:



**-Edificación; obra nueva:** Por su facilidad de coordinación entre varios equipos de trabajo y la buena gestión de los recursos, el uso de las técnicas BIM es muy habitual en proyectos complejos de ingeniería, como fue el caso del proyecto de construcción del **Allegiant Stadium** [2] (2017), estadio de los Raiders de Las Vegas.

La gran ventaja de utilizar esta metodología frente al sistema tradicional de planificación de proyectos, fue que al tratarse de una obra de alta complejidad, en el caso de surgir inconvenientes a lo largo del proceso, estos podrían ser fácilmente detectados a tiempo y consecuentemente, la planificación podría modificarse con más facilidad. Debido a la buena gestión del proyecto, el resultado fue un éxito, ya que la construcción se terminó a tiempo (2020) y dentro del presupuesto establecido, 1.8 mil millones de \$ [2].

Con el siguiente enlace se puede acceder al video de la planificación 4D del estadio:  
<https://www.youtube.com/watch?v=VyBMIBA4RaE>

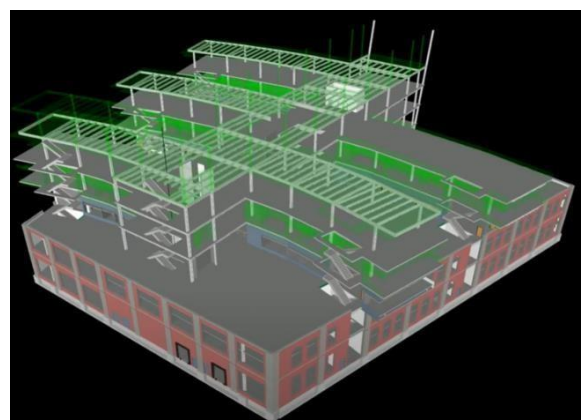


**Ilustraciones 1 y 2: Allegiant Stadium de Las Vegas y su BIM 4D**

Otro ejemplo, también del año 2017, el proyecto de construcción del “**Centro Médico Kaiser Permanente**” [2] en San Diego.

La dificultad de este proyecto era que se debía trabajar en plazos muy ajustados ya que el edificio debía estar operativo en 2018. Para evitar demoras en las tareas o tiempos de inactividad que afectaran a la duración total del proyecto, se dividió su programación en etapas que al final se pusieron en conjunto.

La evolución de la planificación BIM de la construcción se puede observar en el siguiente video: <https://www.youtube.com/watch?v=YxS0aLo2ftU>



**Ilustraciones 3 y 4: BIM 4D del Centro Médico Kaiser Permanente de San Diego**



**-Obra civil:** Las técnicas BIM son habituales en la gestión de proyectos de infraestructuras civiles ya que son trabajos de gran magnitud que requieren una buena planificación de las tareas y una gestión eficiente de los recursos.

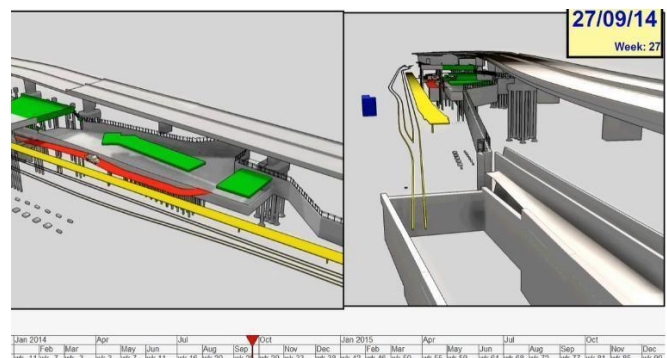
El ejemplo más reciente lo encontramos a principios de 2024, cuando comenzaron los trabajos de la **Terminal 5 del Aeropuerto de Changi, Singapur**, que se espera que esté en funcionamiento a finales de 2030 (*Ilustración 5*) [2]. La simulación de este proyecto se realizó con el objetivo de adaptar las instalaciones teniendo en cuenta el gran flujo de pasajeros que se recibirán diariamente.



**Ilustración 5: Aeropuerto Changi de Singapur**

**-Edificación; Renovación y restauración:** En este tipo de trabajos la dificultad se encuentra en que se parte de un modelo inicial al que hay que realizarle modificaciones, pero en ocasiones se deben mantener ciertas características del modelo original. Es el caso de reformas de edificios con valor histórico o como el ejemplo expuesto a continuación, la ampliación de líneas ferroviarias manteniendo parte del recorrido original.

La línea ferroviaria rápida de Londres, “**Elizabeth line**” (Antes Crossrail) [2], fue renovada entre 2021 y 2022 para ampliarse hasta una extensión final de 118 km y rehabilitar sus dos túneles de 21 km cada uno. En este video se puede observar la evolución del proyecto: <https://www.youtube.com/watch?v=jocerTgknKk>



**Ilustraciones 6 y 7: Imagen y BIM 4D de la estación de Paddington, Londres**

**- Construcción naval:** En la actualidad, la metodología BIM 4D aún no es muy popular en el sector naval. Algunos astilleros han optado por avanzar en esta dirección para conseguir un mejor rendimiento en la construcción de buques de gran tamaño.



Al emplear estas técnicas en proyectos de alta complejidad como puede ser la construcción de un barco, se pueden ver en sus resultados una reducción significativa en los costes y una mejor gestión del tiempo, que permitirá cumplir con los objetivos en los plazos acordados.

Como ejemplo, tenemos el caso del **"Symphony of the Seas"** de la compañía Royal Caribbean International, es uno de los buques de crucero más grandes del mundo con una capacidad de 6.680 pasajeros que fue construido en el astillero francés **Chantiers de l'Atlantique** en Saint-Nazaire.



**Ilustración 8: Buque de Crucero "Symphony of the Seas"**

La estrategia constructiva de este buque consistió en dividir su estructura en bloques. Al tratarse de un crucero de esta magnitud, se obtuvo un número alto de bloques lo que supone una mayor dificultad organizativa. Los bloques se fabricaron individualmente en el taller para posteriormente ser trasladados a la grada para su montaje. Gracias a la utilización de las técnicas BIM se pudo planificar una simulación del proceso para ver sus posibles puntos conflictivos con antelación.

### 1.5. Ventajas y desventajas de BIM 4D en comparación con los métodos tradicionales

La forma tradicional de gestionar un proyecto consiste en presentar una estructura secuencial en las que solo se planifican tareas a las que se les asocian sus respectivos recursos, sin tener en consideración la evolución física de las obras ya que no se realizan simulaciones. Estos sistemas han sido utilizados durante décadas y actualmente se siguen empleando con buenos resultados ya que están basados en cumplir el proyecto por etapas que siguen un orden lógico, pero con la restricción de que **cada etapa debe haberse completado antes de que comience la siguiente.**

La técnica de gestión de proyectos más utilizada es el **Diagrama de Gantt**. Según la definición de OBS Business School consiste en *"una representación gráfica de un proyecto en la que se muestran las tareas en un eje temporal. Cada tarea se presenta como una barra horizontal cuya longitud corresponde con las fechas de inicio y finalización de la tarea"* [24].



Los métodos tradicionales siguen siendo muy útiles, pero cuando se trata de proyectos complejos, son insuficientes porque con ellos no se puede visualizar el progreso a través de simulaciones, el cuál aporta información más precisa sobre el desarrollo del proyecto.

A continuación se exponen las ventajas y desventajas de la metodología BIM 4D frente a los sistemas tradicionales [4]:

#### **Ventajas:**

**-Mejora la coordinación entre tareas:** Al poder vincular la planificación con el modelo tridimensional, es más fácil coordinar las distintas tareas ya que se puede visualizar la evolución de la construcción y ajustarlas en caso de ser necesario.

**-Gestión de recursos:** Uno de los grandes beneficios del uso de esta técnica es la capacidad de administración de los recursos para evitar utilizar más de lo necesario, reduciendo así el coste significativamente. Además, los recursos se clasifican por categorías (trabajo, material, espacios...) para una mejor organización.

**-Prevención de posibles complicaciones:** Mediante la simulación se estudian y prevén qué riesgos y conflictos podrían suceder durante la ejecución del proyecto. De esta forma se evitan tiempos muertos a la vez que se pone más atención en las etapas más conflictivas.

**-Seguimiento:** Mientras se lleva a cabo la ejecución del proyecto es posible realizar el seguimiento del mismo a tiempo real. De esta forma se adapta el cronograma recalculando los tiempos y las tareas en caso de demoras u otros inconvenientes que aparezcan.

**- Nuevas tecnologías:** Estas técnicas están en continua evolución y en las próximas décadas podrán combinarse con nuevas tecnologías como la inteligencia artificial, la realidad aumentada o la incorporación de una quinta y sexta variable para estudiar el impacto del costo o la sostenibilidad.

#### **Desventajas:**

**- Inversión inicial:** Transformar e integrar los recursos existentes a esta metodología requiere realizar una considerable inversión inicial para adaptar los medios tecnológicos (nuevos equipos, aplicaciones de software, licencias...). Además, de la inversión en formación para los empleados que vayan a trabajar con este sistema.

**-Dependencia de los modelos originales:** El éxito del proyecto depende directamente de la calidad del modelo 3D inicial y de lo completo que esté. Si contiene errores, mala calidad o imprecisión en la información plasmada, será más difícil trabajar y los resultados finales no tendrán gran precisión.

**- Nuevas formas de gestión y colaboración:** Una vez que las técnicas BIM estén incluidas en la nueva forma de trabajo, puede resultar complejo adaptarlas a los métodos tradicionales de gestión. También conllevará implementar nuevas estrategias de colaboración entre los distintos departamentos.



## 1.6. Conclusiones parciales de este capítulo

Como se ha visto a lo largo de este capítulo, la aplicación de la metodología BIM 4D en arquitectura e ingeniería ha mejorado notablemente la gestión de los proyectos. Se ha convertido en una **herramienta esencial** para la coordinación de las tareas, la gestión de los recursos, prevenir conflictos y hacer el seguimiento del proyecto.

Debido a las mejoras que aporta y su continua evolución, en el futuro BIM 4D será aplicado en otras industrias y se combinará con las nuevas tecnologías. Ya hay nuevas versiones **5D**, teniendo en cuenta la **variable económica**, **6D**, añadiendo el factor **sostenibilidad** y hasta **7D**, parámetro de **mantenimiento**.





## Capítulo 2

# Estado del arte de las estrategias constructivas en el sector naval

### 2.1 Introducción

Gracias a las nuevas tecnologías, las técnicas de construcción naval han evolucionado significativamente en las últimas décadas. La implementación de nuevas estrategias de producción agilizan la construcción del buque en el astillero a la vez que permiten alcanzar altos niveles de calidad.

En este capítulo se tratará la situación actual de las estrategias constructivas en el sector naval. Se empezará por una breve descripción del departamento de producción y se continuará explicando los distintos métodos de construcción empleados en la actualidad. A continuación, se procederá con una definición detallada de los diferentes sistemas de despiece en bloques y finalmente se expondrán las fases que intervienen en el proceso de producción.

### 2.2. Departamento de producción

Como estudiamos en la asignatura de *Construcción Naval* de cuarto curso, el departamento de producción se define como “**el encargado de construir el barco y fabricar y/o incorporar sus componentes o elementos estructurales** [10]”.

Este departamento es el más presente durante el proceso total de construcción de un buque, ya que es el que interviene en la **fase de producción** (la más extensa). En ella se fabrican, ensamblan, montan y supervisan todas las estructuras y equipos que conforman el buque. Además, es aquí donde se planifican las secuencias de trabajo, designando las tareas, los recursos, se efectúan los controles de calidad y certificación, y finalmente, se monitoriza el seguimiento de la ejecución del proyecto [10].

En este departamento es además el encargado de llevar a cabo las pruebas finales (puerto y mar) y entregar el buque.

### 2.3. Organización de flujos por procesos

Lo más habitual es organizar la planta por procesos según las familias de productos homogéneos (en vez de en talleres especializados) “**Se trata de un proceso continuo, equilibrado y estable** [9].”

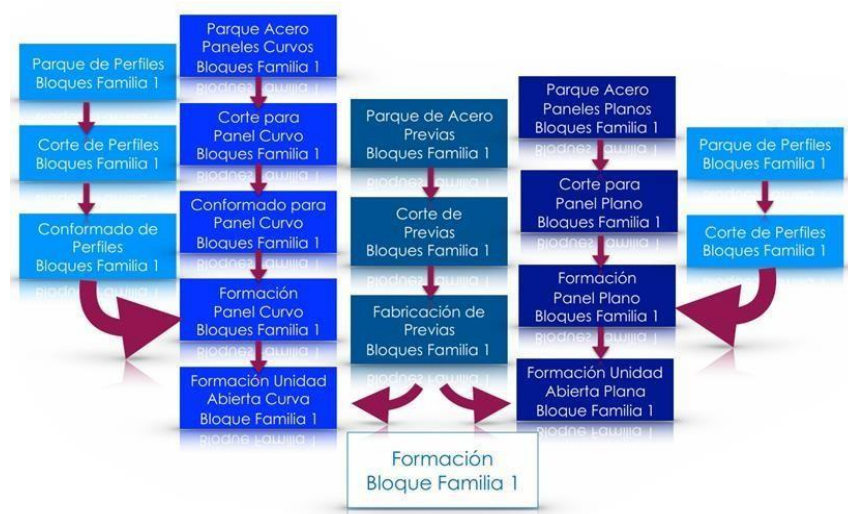


**Ilustración 9: Esquema de un ejemplo de organización de flujo por procesos [10]**

## 2.4. Métodos de construcción

Los métodos de construcción naval han evolucionado a lo largo de la historia con el fin de adaptarse a las necesidades de esta industria y mejorar su tecnología en función de los tipos de barcos a construir.

A continuación, se describen los métodos de construcción naval más utilizados actualmente:

### 2.4.1. Construcción por elementos

Es el método tradicional. Actualmente, aún se utiliza en la construcción de buques pequeños de acero o embarcaciones de madera [8].

Se caracteriza por el ensamblado de la estructura pieza a pieza, empezando con la quilla, después se añaden las cuadernas y finalmente las tablas del casco.

Este método es el más habitual en construcciones personalizadas o embarcaciones tradicionales, ya que permite una gran versatilidad de diseños. Debido a que es un proceso laborioso y muy lento, no es el adecuado para construcciones en masa.



**Ilustración 10: Ejemplo de construcción por elementos**



## 2.4.2. Construcción por bloques

Es la estrategia de construcción más utilizada actualmente. Consiste en simplificar el casco del barco en bloques o módulos para agilizar el proceso de su producción. Esos bloques primero se fabrican individualmente en talleres, donde a continuación se ensamblan y en algunos casos, se incorpora el pre armamento. A continuación, se trasladan a la grada donde se completa su montaje junto con el resto de bloques y se instala el armamento final [10].

El sistema de construcción por bloques tiene como principal ventaja la posibilidad de fabricar y ensamblar simultáneamente diferentes bloques, consiguiendo reducir significativamente el tiempo total de construcción y el uso mínimo de la grada. Otra de las ventajas es que al trabajar con bloques individuales, es mucho más sencilla la detección de fallos estructurales y su reparación. Por eso, la utilización de este método es muy habitual para construir buques de grandes dimensiones, como es el caso del buque de este proyecto [9].

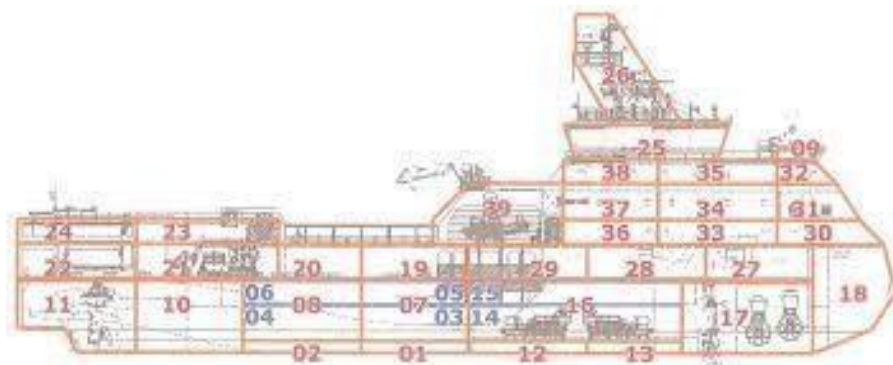


**Ilustración 11: Ejemplo de construcción por bloques**

### 2.4.2.1. Prefabricación

Dentro de la estrategia de construcción modular encontramos una técnica muy importante: la prefabricación. Consiste en que los bloques se fabrican y ensamblan en un taller antes de trasladarse a la grada donde finalmente serán montados, para que a continuación, se proceda con el armamento [9].

El objetivo principal de este proceso es reducir al mínimo el tiempo de ocupación de la grada.



**Ilustración 12: Construcción de un bloque en la fase de prefabricación**



**La prefabricación en los talleres tiene las siguientes ventajas [10]:**

-Al poder **soldar en plano**, más cómodamente, aumenta significativamente el rendimiento del trabajo y la calidad del acabado.

- También, se aprecia una importante **disminución del coste y simplifica el trabajo**, ya que al realizarse la mayor parte del mismo en plano, no son necesarios tantos andamios.

-Como se utilizan **máquinas automáticas de soldadura** se reduce el tiempo de fabricación, incrementando notablemente el rendimiento de trabajo.

-**Es posible trabajar bajo cubierto**, independientemente de las inclemencias del tiempo.

-**Se pueden abrir varios frentes de trabajo a la vez.**

- **Disminución del tiempo de trabajo en la grada:** Es de vital importancia reducir el máximo posible el tiempo de trabajo en grada ya que esto incrementa notablemente los costes de amortización y como consecuencia, un aumento del presupuesto final del proyecto. Para ahorrar ese tiempo y reducir el coste que supone, esto puede solucionarse haciendo que los bloques lleguen completamente terminados a la grada con las certificaciones y verificaciones de Calidad y Seguridad firmadas.

-**Control de Calidad:** Es más fácil firmar las certificaciones y verificar los controles de calidad porque la inspección se realiza por módulos independientes antes de enviarlos a la grada.

- **Pre armamento:** Consiste en preparar y armar individualmente los bloques antes de ser trasladados a la grada para su montaje final.

#### 2.4.2.2. Criterios y Consideraciones en la Definición de Bloques

El peso y tamaño de los bloques están **limitados en función de los medios e instalaciones del astillero**, por ejemplo, la superficie de los talleres o la capacidad de izado máxima de las grúas. El caso de las grúas es especialmente importante porque dependiendo de la cantidad de toneladas que pueden levantar, se podrá reducir o aumentar el número de bloques totales que formarán el buque.

Con las grúas también hay que prestar atención a otro aspecto importante como son las **deformaciones** que se pueden producir en los bloques durante su manipulación. Para reducir esta consecuencia, es necesario aplicar un refuerzo provisional expresamente para el momento del montaje en grada que se elimina al finalizar esta tarea [10].

Durante la etapa de montaje de los bloques en grada, hay que tener en cuenta dos cuestiones: la primera es el posicionamiento correcto de los bloques sobre el bloque inferior ya montado para asegurar su estabilidad y reducir los costes adicionales del posterior enderezado [10].



Una vez que se haya montado el bloque en su correspondiente posición, se deben efectuar los ajustes conociendo los cambios previsibles que pueden ocurrir durante los procesos de soldadura. Este ajuste de los bloques tras el proceso de montaje se realiza para conseguir tolerancias nulas o reducidas al mínimo para evitar rectificaciones posteriores [10].

### 2.4.2.3. Fases de la Fabricación de bloques

Primero, se fabrican individualmente los sub-prefabricados, que consiste en conjuntos estructurales pequeños, que conformarán más adelante otros elementos de mayor tamaño [10].

A continuación, utilizando los elementos estructurales anteriores, se fabrican **paneles planos**. Son las estructuras básicas para constituir los bloques. Por ejemplo, encontramos paneles planos en el fondo, doble fondo y los mamparos [10].

El siguiente paso, utilizando los paneles planos, consiste en la **fabricación de los bloques completos, es decir, estructuras tridimensionales**. El conjunto de varios bloques constituyen unas secciones de gran tamaño que reciben el nombre de anillos y se verán con más detalle en el *Apartado 2.5.3*. [10].

Para terminar, los bloques se montan en grada conformando los anillos y se realizan las labores de pintura y armamento.

### 2.4.2.4. Pre armamento

El pre armamento en construcción naval se define como el ***“montaje de los diferentes sistemas del buque en los bloques prefabricados antes de proceder con el ensamblaje final en grada*** [11].”

Con este método constructivo se pueden instalar anticipadamente los distintos sistemas como pueden ser el sistema de tuberías o el cableado. De esta forma, ya estarán incorporados en el buque cuando se lleve a cabo el montaje del bloque en grada.

Como sucedía con la prefabricación, durante el pre armamento se puede trabajar simultáneamente en diferentes bloques con la finalidad de optimizar mejor los recursos, agilizar las fases de trabajo y ocasionar el menor número de interrupciones posibles.

Gracias a la existencia del pre armamento, se reduce significativamente la cantidad de trabajo de la grada, reduciendo el tiempo total de construcción. De esta forma, el trabajo en los talleres gira en torno a la fabricación, el ensamblaje y el armamento anticipado.



Ilustración 13: Pre armamento

### 2.4.3. Construcción Integrada entre varios astilleros

La construcción integrada es una extensión de la construcción modular en la que se lleva a cabo la planificación y construcción de forma simultánea en todas las fases del proyecto.

La finalidad de esta estrategia es agilizar la construcción del buque realizando a la vez distintas fases del proyecto con el objetivo de conseguir integrar los sistemas del buque desde las primeras etapas de diseño [9].

En la construcción integrada suelen intervenir más de un astillero con sus correspondientes trabajadores subcontratados. El reto de este modelo constructivo es coordinar adecuadamente el trabajo entre ellos procurando no solaparse entre ellos. De este modo se consigue adelantar tiempo tanto en trabajos de acero como en armamento dando como resultado un mejor rendimiento de trabajo, se reducen los fallos, se evitan retrasos en las fechas, disminuyendo a la vez los costes.

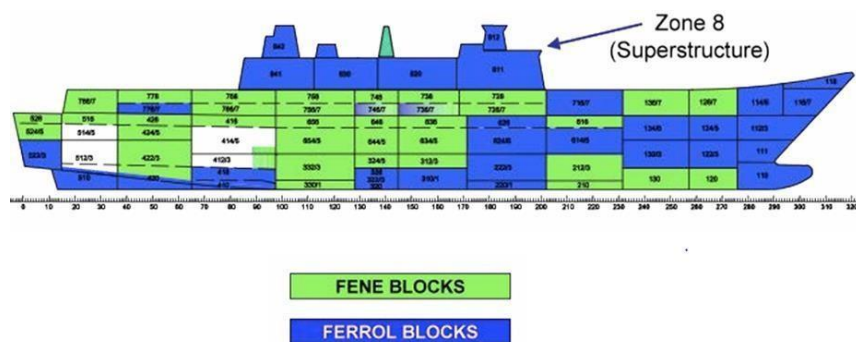


Ilustración 14 : Ejemplo de construcción integrada

## 2.5. Sistemas de despiece de bloques

Una de las cosas más importantes cuando nos enfrentamos ante el reto de la construcción de un buque es conocer las limitaciones del astillero para poder proceder con la elección de la estrategia constructiva [10].

Hay diferentes tipos de estrategias, a continuación se desarrollan cada una de ellas [10]:



### 2.5.1 Sistema Piramidal

Como se estudió en la asignatura de *Construcción Naval* [10], este sistema fue el primero en el que se comenzó a utilizar la prefabricación. Los bloques prefabricados eran de menor tamaño debido a que en su mayoría eran bidimensionales a excepción de los de doble fondo y piques.

El montaje se iniciaba en zonas correspondientes a **caminos críticos**, continuándose con los montajes hacia Proa y Popa a la vez que se avanzaba también hacia los costados y desde el fondo hacia arriba, conformando sucesivamente una pirámide cuyas diferentes capas se sueldan cada una a la anterior hasta adquirir buena rigidez longitudinal [10].

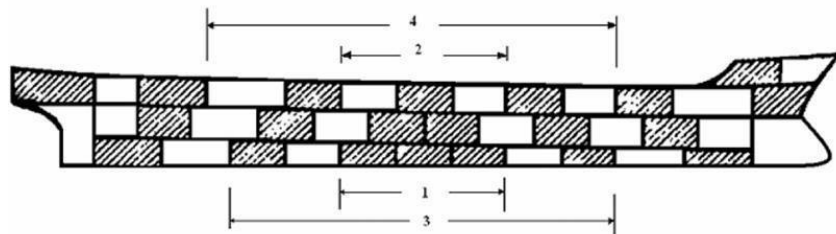


Ilustración 15: Ejemplo de construcción piramidal

### 2.5.2. Sistema de Islas

Es la extensión del sistema de construcción piramidal. Con este método se pretende ampliar el frente de trabajo en menos tiempo.

El método consiste en lo siguiente *“Las pirámides se constituyen en varios puntos a lo largo de la eslora del buque configurando diversas islas, por lo que al ir soldándose los bloques de cada pirámide, se puede comenzar el armamento del barco [10]”*.

Este sistema es más complejo debido a que la unión de las islas es un proceso que supone una mayor dificultad que otros métodos de construcción.

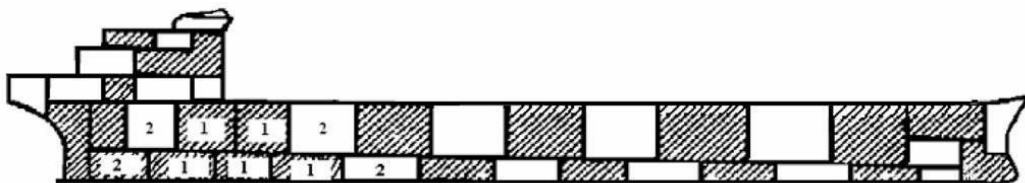


Ilustración 16: Ejemplo de construcción en islas

### 2.5.3. Sistema de Anillos

Esta técnica es la recomendada cuando se disponga de bloques de gran tamaño. De esta forma, se conforman los anillos, los cuales constituyen **rebanadas transversales completas a lo largo del barco [8]**.

Es conveniente que el número total de anillos sea el menor posible para reducir el transporte y los montajes en grada, disminuyendo así el tiempo total de construcción [10].



Según aprendimos en la asignatura *Construcción Naval en materiales Metálicos*, el montaje de los anillos completos se lleva a cabo de la siguiente manera : “Una vez montado el primer anillo, se efectúa el enlace con el colateral y luego con otro, o bien con dos simultáneamente. De esta manera, se produce una incorporación del máximo posible de armamento [10]”.

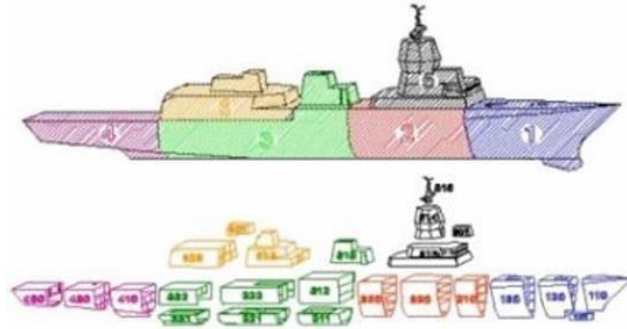


Ilustración 17: Ejemplo de construcción en anillos

Las **ventajas** de este sistema frente a otros son las siguientes [10]:

- El **tiempo de uso de la grada** es menor.
- Debido a que se puede ampliar el **frente de trabajo** con respecto a otros sistemas, esto influirá en la reducción del tiempo de fabricación.
- Se puede trabajar en instalaciones **bajo cubierto**.
- Si el anillo está provisto de tanques se puede **probar su estanqueidad con aire comprimido**.
- El **armamento final de las secciones** tiene un alto grado de calidad.

## 2.6. Fases en el proceso de producción de bloques

A continuación, se describen las principales fases que intervienen en el proceso de producción de los bloques [10]:

- Fabricación o prefabricación:** Son los procesos del acero hasta formar los elementos individuales estructurales que conformarán el bloque (previas).
- Ensamblado de los elementos de cada bloque:** Cuando ya se tienen las previas preparadas correspondientes a los distintos elementos del bloque, estas se ensamblan en los talleres.
- Chorro y Pintura:** Consiste adecuar las superficies metálicas con chorro de granalla y a continuación, pintarlas.



**-P1 y P2 (pre armamento 1 y pre armamento 2):** En estas fases se lleva a cabo la instalación del armamento en los bloques. La diferencia entre ambos pre armamentos es la siguiente:

- Durante la **fase de P1** deben realizarse las tareas que conlleven armamento mediante trabajos térmicos (soldadura). Tras ello, se efectúan las labores de Chorro y Pintura.

- En la **fase de P2** se incorpora el resto de armamento del bloque. Únicamente deben realizarse tareas que no impliquen procesos térmicos debido a que de ser así se quemaría la pintura.

**-Armamento por zonas:** Por último, se efectúa el armamento de sus diferentes zonas tras completar el montaje de los bloques en grada. Se entiende por “zona del buque” al “**área geográfica del mismo constituida por la unión de varios bloques con alguna característica en común [10]**”. De esta forma, al concluir con el armamento de cada zona, se obtendrá como resultado el producto final: el buque completo.

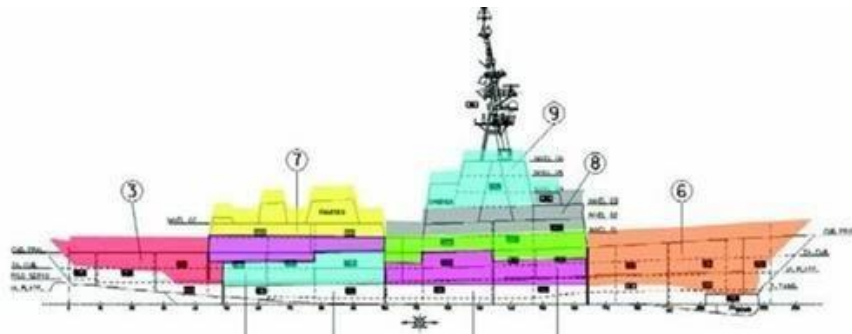


Ilustración 18: Ejemplo de distribución por zonas

## 2.7. Conclusiones parciales de este capítulo

Para finalizar este capítulo, sería interesante comentar algunos puntos importantes sobre el pre armamento en España.

Tradicionalmente no ha sido una actividad muy habitual en los astilleros españoles, pero en las últimas décadas su aplicación ha ido estando cada vez más presente, sobre todo en la construcción de buques de gran eslora, militares o aquellos que entrañen alta complejidad técnica.

Al tratarse del astillero con la tecnología más avanzada de España, **Navantia es el astillero líder en pre armamento** y lo ha utilizado en una variedad de proyectos de relevancia internacional como fue el caso de los **submarinos S-80** o la construcción de **buques militares para las Armadas de Australia y Arabia Saudí**, donde las técnicas de prearmamento fueron cruciales para cumplir con los ajustados plazos de entrega.

Otros astilleros españoles, por ejemplo, Armón, también han empleado pre armamento en sus construcciones, pero solamente en casos puntuales, como buques oceanográficos o remolcadores.

Aunque originalmente la construcción mediante la técnica del pre armamento se asociaba más a otros países europeos, como los Países Bajos o Noruega, España ha avanzado significativamente en esta dirección. Ha sido especialmente en la última década cuando España ha logrado situarse en buena posición gracias a la modernización de sus astilleros y



la creciente demanda de proyectos complejos que requieren esta técnica.



## Capítulo 3

# Aplicaciones de los métodos BIM 4D en el sector naval

### 3.1. Introducción

Como se ha visto en el *Capítulo 1*, la implementación de la metodología BIM ha transformado significativamente el área de la construcción. Aunque aún no está ampliamente extendida en el sector naval, en los últimos años su popularidad ha ido creciendo debido a las facilidades que aporta en la planificación de un proyecto complejo como es el de la construcción de un buque.

A lo largo de este capítulo se expondrán diferentes aplicaciones de BIM en el sector naval. Entre ellas encontraremos su uso en buques de nueva construcción, transformación de buques ya existentes, tecnología naval militar y renovación de las instalaciones del propio astillero.

### 3.2. Aplicaciones en el Sector Naval

Las aplicaciones de software de BIM pueden resultar de gran utilidad durante la fase de diseño. Con ellas se crea un modelo tridimensional detallado cuyos elementos estructurales se vinculan a su tarea correspondiente del cronograma para poder simular la evolución del proyecto en función del tiempo [1].

Como se explicó en el *Capítulo 1*, el objetivo de utilizar esta metodología de gestión de proyectos es la realización de una **simulación de la construcción del buque dentro de un espacio virtual** [3]. Este aspecto es fundamental en el sector naval ya que en los trabajos en el astillero pueden surgir cuellos de botella que ralenticen las tareas, problemas con los recursos o imprevistos técnicos que pueden prevenirse y evitarse.

En el proceso de construcción de un barco hay que tener en cuenta que todas las disciplinas involucradas están relacionadas entre sí. Por ejemplo, cuando se plantea el diseño estructural hay que tener en cuenta dónde y en qué momento se instalarán los equipos de propulsión. El uso de BIM ayuda a mantener una **coordinación multidisciplinar fluida** para minimizar el riesgo de que se produzcan problemas de comunicación entre los distintos departamentos [1] y por lo tanto, está garantizado que todos van a poder trabajar con información actualizada.

Los astilleros dependen de una gran **cadena de suministro** para adquirir los materiales, ya que en la mayoría de los casos estos proveedores son compañías extranjeras que operan alrededor del mundo. Puede darse el caso de que se produzcan retrasos en la recepción de los materiales, lo que puede provocar periodos de inactividad o la obligación de demorar tareas del cronograma. Si se implementan las técnicas de BIM, se puede hacer un seguimiento a tiempo real de las compras y fijar las fechas de recepción evitando retrasos o anticipaciones que produzcan saturación en el almacenamiento [3].

En resumen, la introducción de la metodología BIM en proyectos de construcción naval **mejora notablemente la productividad y la reducción de costos**. Al poder anticipar posibles retrasos o sobrecostos, se pueden gestionar mejor los recursos y fijar las fechas con precisión.



### 3.3. Ejemplos de aplicación de la metodología BIM 4D en el sector Naval

En los ejemplos que se exponen a continuación, se indican algunas de las aplicaciones de BIM en el sector naval como buques de nueva construcción, renovación de buques o reforma de las instalaciones de los astilleros.

Aún se trata de una técnica poco utilizada en este sector, pero con las múltiples aplicaciones que ofrece BIM, en las próximas décadas cada vez estará más presente.

#### 3.3.1. Renovación de los Astilleros de Navantia

Debido a que es el astillero más moderno y tecnológico de España, Navantia fue el primero en utilizar las técnicas de BIM 4D en sus proyectos de ingeniería, entre ellos, lo empleó en la reforma de sus propias instalaciones en A Coruña.

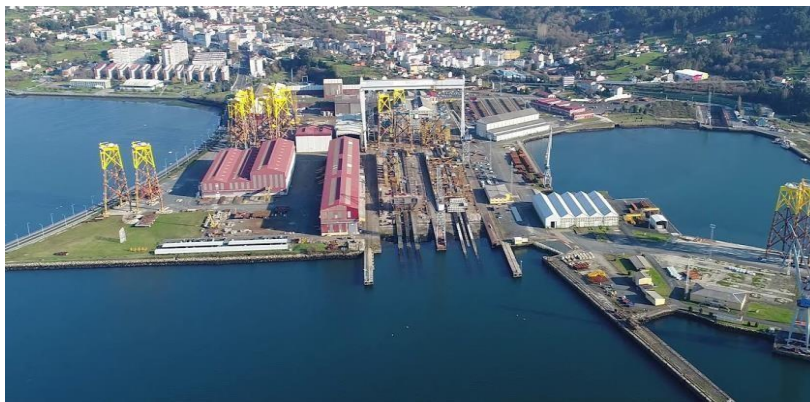


**Ilustración 29: Astillero Navantia Fene**

El objetivo principal de la utilización de las técnicas BIM 4D en esta renovación era cumplir los tiempos con precisión y finalizar las obras en fecha para poder seguir utilizando las instalaciones del astillero lo antes posible. Es decir, se esperaba una mejor gestión del tiempo.

Para llevarlo a cabo, primero se realizó un renderizado tridimensional del astillero en su estado inicial sobre el que se le incluyeron las modificaciones necesarias. Por otro lado, se creó un diagrama de Gantt con la programación detallada de las tareas a realizar. A continuación, utilizando un software especializado de BIM, se elaboró una simulación del proceso.

Además, este proyecto entrañó una dificultad añadida que fue la participación simultánea de diferentes equipos de trabajo procedentes de compañías completamente distintas entre sí. En el ámbito de la gestión de proyectos, esto se conoce como **“coordinación multidisciplinaria”**.

Al finalizar las obras, se llegaron a una serie de conclusiones para determinar que el uso de la metodología BIM mejora la eficiencia de la gestión de un proyecto en comparación con las técnicas tradicionales. Entre ellas, se observó una gestión más precisa de los recursos disponibles, que influye directamente en la reducción de tiempos muertos entre tareas y por lo tanto, terminar las obras incluso antes de lo previsto.



### 3.3.2. Fragata “Tipo 26”

Otro ejemplo de especial importancia, en este caso aplicado a la construcción naval militar, es el proyecto de la fragata Tipo 26 de la Marina Real Británica [14].



Ilustración 20: Fragata Tipo 26

El proyecto, desarrollado por BAE Systems, tenía una especial complejidad al tratarse de un buque de guerra de gran envergadura. Sus secciones estaban compuestas por módulos prefabricados y su proceso de ensamblaje, prearmamento y montaje final estaba compuesto por varias fases que sin una planificación adecuada, hubieran ocasionado múltiples retrasos.

Gracias a una simulación BIM 4D se pudieron estudiar por adelantado los problemas que podrían surgir durante la secuenciación de esas fases y así, entregar el buque a tiempo.

Otras de las aplicaciones que se analizaron con BIM en este proyecto, fue la estimación del **ciclo de vida** del buque y simular qué **labores de mantenimiento** serán necesarias a lo largo de la vida útil de la fragata.

Al tratarse de un proyecto militar, intervinieron numerosos equipos de ingeniería extranjeros y se disponía de un amplio listado de proveedores procedentes de distintas partes del mundo. Gracias al uso de BIM, se agilizó notablemente la integración y comunicación entre todos los intervinientes.

### 3.3.3. Buque Portacontenedores ‘MSC Gülsün’

La primera vez que Samsung Heavy Industries utilizó las técnicas de BIM 4D fue durante el proyecto del portacontenedores “MSC Gülsün” [14].



**Ilustración 21: Portacontenedores MSC Gülsün**

El objetivo era obtener una planificación precisa del proceso de la construcción del barco añadiéndole la variable tiempo a la geometría tridimensional. Este barco se construyó mediante módulos que requerían ser fabricados y ensamblados en talleres para después ser montados en grada. El desafío de este caso era que al tratarse de un barco de 400 m de eslora y 61.5 m de manga, estaba formado por un número considerable de módulos lo que ocasiona una planificación muy compleja.

Al ser un barco de grandes dimensiones, fue de vital importancia la optimización de los recursos. En especial, los de material, ya que los proveedores procedían de distintas partes del mundo y hubo que planificar meticulosamente las recepciones de los equipos principales, los cuales se fabricaron fuera de las instalaciones del astillero.

Gracias a BIM se pudo generar una simulación del proceso completo de la construcción del barco con la finalidad de identificar con antelación los problemas que pudieran surgir ante un proyecto de tal complejidad. Se evitaron solapamientos de tareas, retrasos en la recepción de equipos y se consiguió que el barco fuera entregado a tiempo.

### 3.3.4. Renovación y Modernización de Buques

El astillero australiano Austal es el actual líder en proyectos de renovación y modernización de buques utilizando la metodología BIM 4D. Aunque tradicionalmente era reconocido a nivel internacional por la construcción de embarcaciones rápidas, en los últimos 15 años ha implementado con éxito las técnicas BIM en sus trabajos [14].



**Ilustración 22: Buque Auto Express 109 de Austal**

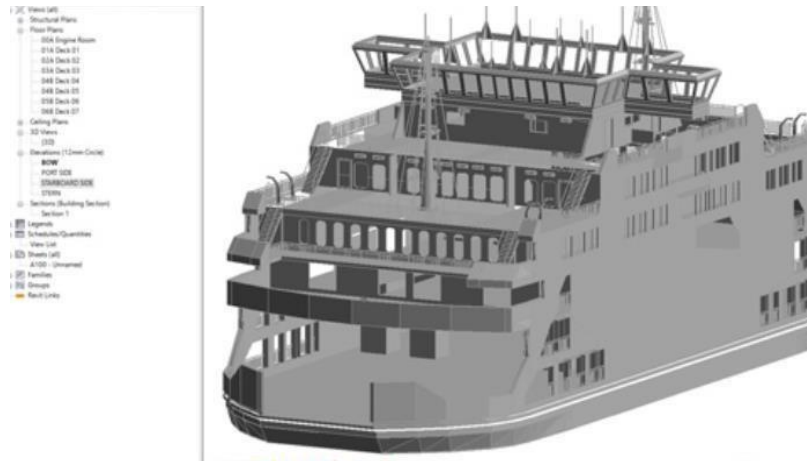


Ilustración 23: BIM 4D de un buque de Austal

Primero, se evalúa el estado original del buque. Por eso, siempre se elabora un modelo 3D del barco al que posteriormente se le añaden las modificaciones. A continuación, se desarrolla un cronograma y se vinculan los elementos de la geometría con su tarea correspondiente. Para facilitar la coordinación entre tareas y recursos, el proyecto se planifica por etapas independientes.

Finalmente, se hace una simulación de cada etapa individualmente para más adelante reunir las en una planificación general. De esta forma, se permite ahorrar tiempo, minimizar por completo los tiempos muertos entre etapas y evitar costes adicionales.

Igualmente, como ocurre en el ejemplo de la fragata Tipo 26, empleando la metodología BIM 4D se puede estimar el mantenimiento que necesitará el buque a lo largo de su vida útil.

### 3.4. Método BIM en otros trabajos de fin de titulación en el ámbito naval

En el contexto de la construcción naval, encontramos un capítulo del proyecto de fin de titulación ***“Diseño integral y modelado BIM del Yate Balboa”*** [13] en el que los estudiantes investigaron cómo la utilización de BIM 4D podía mejorar y facilitar la construcción de un buque.

Una vez se finalizó el diseño del casco, la superestructura, la cubierta y se dimensionaron los sistemas y equipos que los componen, se creó un modelo BIM para la puesta en común de todos ellos. A continuación, los alumnos procedieron a organizar todos los espacios dentro del buque. Como se trataba de un yate de lujo, era muy importante que los espacios fueran amplios y estuvieran bien definidos y ordenados, para así poder relacionar la geometría con el software de BIM. En este caso, ellos utilizaron la herramienta **“Revit”**, de Autodesk.

Para la elaboración del diagrama de Gantt emplearon la aplicación **“Ganttter”**, un programa que funciona con la misma dinámica que Microsoft Project, pero más simplificado, con menos funciones y de fácil adquisición, ya que se puede acceder a ello totalmente gratis desde un navegador web.



El objetivo del capítulo era realizar una simulación básica del proceso de construcción del yate, además de calcular un presupuesto y demostrar la eficiencia en la gestión de los recursos en comparación con el sistema tradicional.

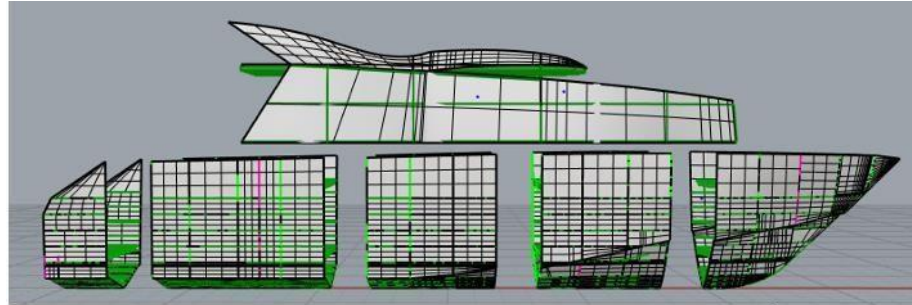


**Ilustración 24: Modelo del Yate Balboa dividido en anillos**

### 3.5. Futuro de BIM 4D en el Sector Naval

Como se ha visto a lo largo de este capítulo, la metodología de gestión BIM 4D está empezando a tener un valor significativo en la construcción naval. Para no quedarse atrás, el sector deberá enfrentarse a varios retos:

El primero y quizá más complejo, consistirá en renovar las instalaciones para adaptar esta metodología a nuevas estrategias constructivas y una mejor gestión de los recursos, los cuales requerirán una importante inversión económica.

También, la compra de nuevas aplicaciones de software que serán imprescindibles para desarrollar las planificaciones y simulaciones. Y como consecuencia de esto, los trabajadores deberán adaptarse a estas nuevas técnicas, por lo tanto, las empresas deberán proveer la formación necesaria para mantenerse actualizados.



# Capítulo 4

## Descripción de las herramientas a utilizar y su instalación

### 4.1. Introducción

Cuando se está trabajando en un proyecto, es fundamental hacer un breve análisis previo sobre las herramientas que se van a emplear con el fin de aprovechar al máximo sus ventajas.

En el presente capítulo se explicarán en rasgos generales las características principales de las aplicaciones de software que se van a emplear en este caso. También se especificará su uso concreto en este proyecto y se proporcionarán unas instrucciones básicas para instalar cada uno de estos programas.

### 4.2. FreePlane

**Freeplane** es un software libre y de código abierto muy útil para la elaboración de mapas mentales.

Un **mapa mental** es una herramienta muy práctica que permite realizar un esquema donde quedan plasmados conceptos básicos o las ideas más importantes del proyecto. En el caso de Freeplane, también existe la opción de hacer mapas mentales más completos e interactivos ya que tiene funciones extras que permiten combinar colores, añadir notas, incluir enlaces o crear ramas nuevas para organizar el esquema por niveles.

Freeplane es compatible con los sistemas operativos Windows, MacOS y Linux, pero para instalarlo es necesario disponer de **Java Runtime Environment (JRE) 7** o una versión más actualizada. Posteriormente, se debe entrar en la página web oficial de Freeplane, <https://docs.freeplane.org/> [15] para descargar el archivo .exe, que al ejecutarlo, nos aparecerán en pantalla los pasos a seguir para completar la instalación.

En este proyecto se ha utilizado FreePlane en la elaboración de mapas mentales que han servido de gran ayuda para estructurar visualmente los hitos, las tareas y los recursos. En concreto se han realizado **tres mapas conceptuales**: uno para organizar los recursos, otro con el Plan de Hitos y el último para estructurar los hitos y tareas que posteriormente han sido importados a Microsoft Project para desarrollar el diagrama de Gantt (**Anexo 4**).

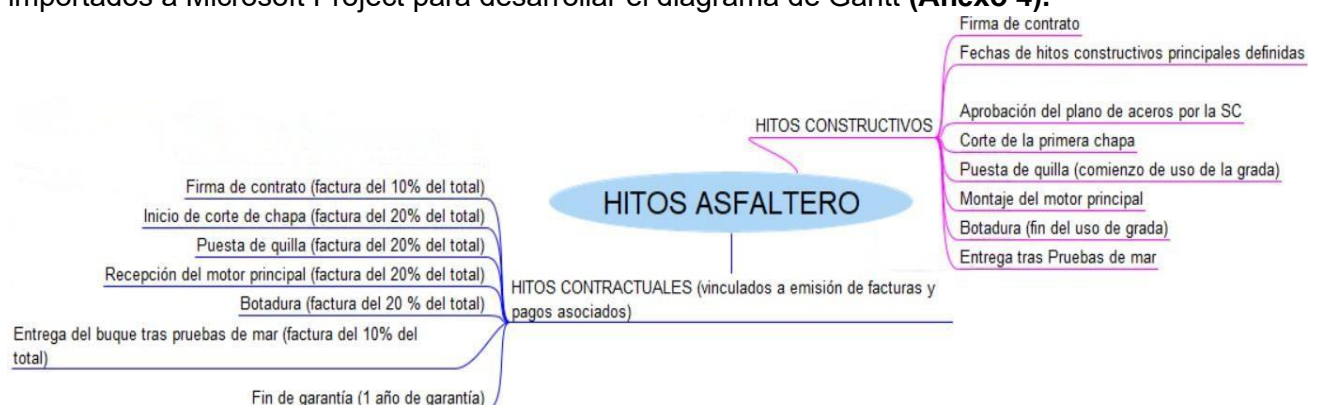


**Ilustración 25: Mapa conceptual sobre los Hitos del proyecto**



### 4.3. Ms-Project

Es una aplicación de software desarrollada por la compañía Microsoft muy habitual en el área de la gestión de proyectos.

Con ella, se pueden programar distintas tareas a las cuales se les asigna una duración y al vincularlas entre sí se llega a establecer un orden secuencial. Esta herramienta se usa principalmente con el objetivo de obtener el diagrama de Gantt, pero además de eso, también se pueden asignar recursos a cada una de las tareas, calcular presupuestos y hacer el seguimiento del progreso del proyecto.

Para poder instalar Ms-Project en un equipo, este debe ser exclusivamente de sistema operativo **Windows 10 o superior**, y contar con un mínimo de **4 GB** de espacio disponible [17].

La instalación puede efectuarse de dos maneras:

- **Mediante Office 365:** Es necesario tener una cuenta Microsoft para poder acceder al apartado Office 365, y una vez ahí, seleccionar Microsoft Project <https://www.microsoft.com/en-us/microsoft-365/project/project-management-software> [17]. Después, basta con clicar en la opción de instalar y seguir las instrucciones que aparezcan en pantalla.
- **A través de un instalador independiente:** Para instalarlo de esta forma es indispensable disponer de una licencia que se puede adquirir desde la tienda oficial de Microsoft <https://www.microsoft.com/es-ad/store/b/home> [17]. Una vez obtenida, se procede con la descarga y ejecución del archivo .exe. A continuación, únicamente hay que seguir las instrucciones que vayan apareciendo y por último, introducir la clave de licencia cuando se solicite.

En este proyecto, Microsoft Project se utilizará para crear el diagrama de Gantt, el cual es fundamental para planificar y visualizar las diferentes fases del proyecto de manera clara. Además, es una herramienta clave para asignar los recursos, obtener un presupuesto y realizar el seguimiento.

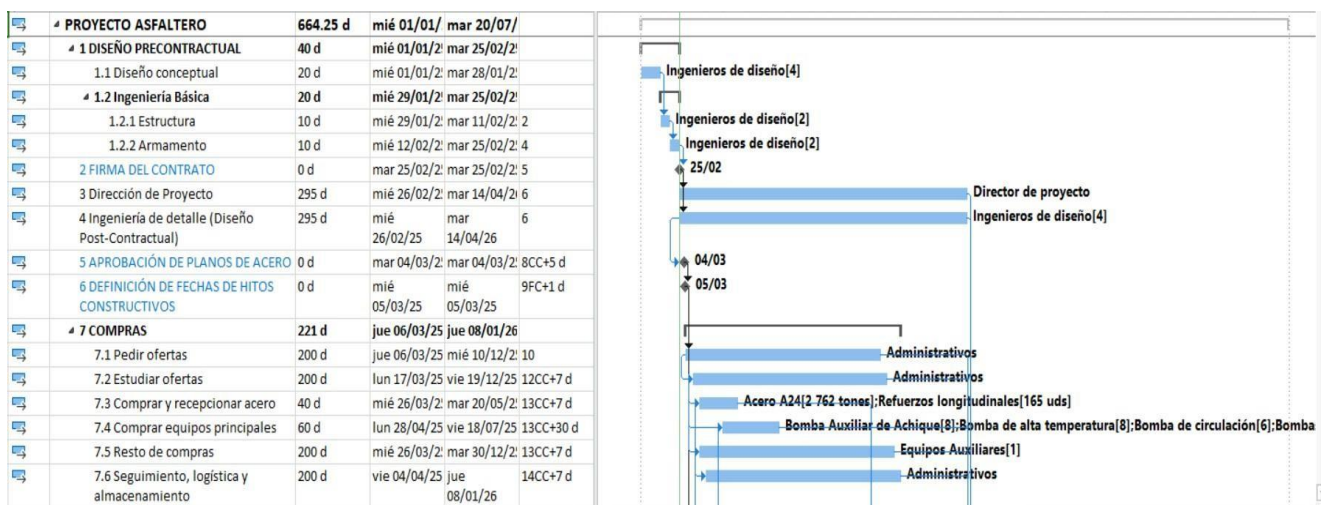


Ilustración 26: Ejemplo de Diagrama de Gantt realizado con Ms-Project



## 4.4. Rhinoceros

**Rhinoceros 3D** es una herramienta de diseño asistido por ordenador en 3D que funciona a través del modelado de curvas NURBS. Es un programa habitualmente utilizado en el diseño industrial o como en este caso, la Arquitectura Naval por su versatilidad, facilidad de uso y su compatibilidad con una gran variedad de softwares externos.

Además de poder trabajar en un amplio abanico de formatos, puede hacer de herramienta de conversión de los mismos (se desarrollará con más detalle en el *Capítulo 6*), para poder trabajar en el entorno de otros programas adicionales.

El equipo donde se desee instalar Rhinoceros debe tener sistema operativo **Windows** o **MacOS**, un **procesador de 64 bits**, espacio disponible de al menos **600 MB** y es recomendable contar con una **tarjeta gráfica de calidad** para trabajar con más comodidad [16].

Para instalar Rhinoceros se debe acudir a su página oficial <https://www.rhino3d.com/es/> [16] para activar la licencia y descargar el instalador. Hay disponibles tres tipos de licencia: comercial, estudiante/docente universitario y escolar. La diferencia entre ellas radica en las funcionalidades disponibles y por supuesto, el precio.

Como sucedía con los anteriores programas, se descarga un archivo .exe y la instalación se completará siguiendo las instrucciones del asistente. Para terminar, cuando se va a **abrir el programa por primera vez** es necesario introducir la clave de licencia.

También existe una **versión de prueba** cuya duración es de 90 días, que una vez caducada, se podrá seguir utilizando sin problemas a excepción de las funciones de guardado, importar y exportar.

En este proyecto en concreto, Rhinoceros se empleará para hacer la división en bloques del modelo 3D original del asfaltero, además de incorporar otros equipos y sistemas que sean de especial importancia.

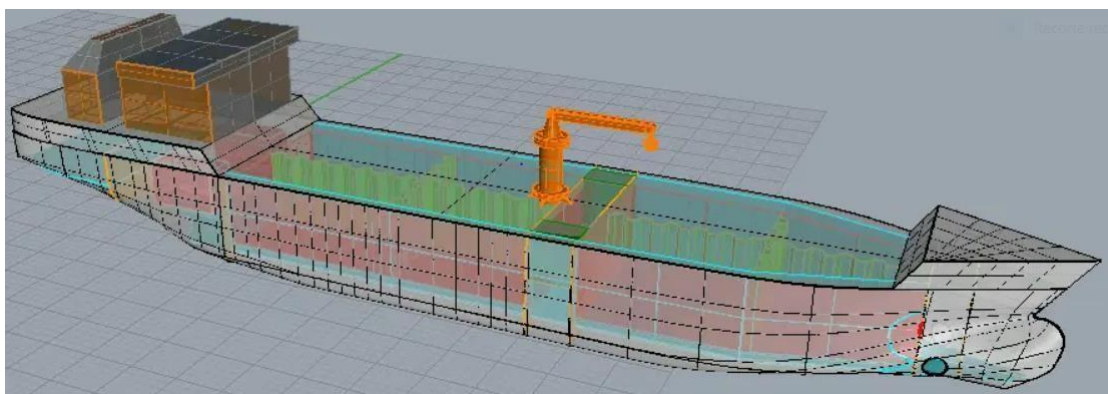


Ilustración 27: Modelo 3D original del buque Asfaltero

## 4.5. Synchro 4D

**Synchro 4D** es una aplicación de software de BIM creada por la compañía Bentley Systems. Es especialmente útil en proyectos de ingeniería complejos ya que permite trabajar en conjunto con la planificación temporal y el modelo en 3D.



En este proyecto, Synchro 4D se empleará para realizar una animación en la que se pueda visualizar el progreso del proyecto a través del modelo tridimensional a la vez que se ve el avance de la planificación programada en el diagrama de Gantt, indicando sus fechas correspondientes y las tareas que van sucediendo en cada instante.

Se trata de una herramienta particularmente cómoda debido a que se pueden importar el diagrama de Gantt que previamente se haya realizado en Ms-Project y el modelo en 3D creado en formato 3DM de Rhinoceros.

La instalación de Synchro 4D es más compleja que la de los programas anteriores. Previamente, el equipo debe tener instalado **Java Runtime Environment (JRE) 7**, poseer al menos **10 GB de espacio** disponible, una **memoria RAM de mínimo 8 GB** y se recomienda una **tarjeta gráfica de alta calidad** [18]. Además, debemos tener en cuenta que Synchro 4D solo está disponible para **Windows**.

Para tener acceso al instalador, hay que registrarse en la web oficial de Bentley <https://www.bentley.com/software/synchro/> [18] y entrar en el apartado de descargas. A continuación, se descarga el archivo.exe, y tras ejecutarlo, se deberán aceptar los términos y condiciones de uso del administrador y los permisos de la licencia.

El último paso de la instalación consiste en elegir entre la versión básica o comprar los módulos adicionales. Para obtener la versión básica, simplemente hay que hacer clic sobre la opción “funciones predeterminadas”, mientras que los módulos adicionales, hay que seleccionar individualmente los que se deseen, los cuales supondrán un coste extra.

Automáticamente por defecto, Synchro 4D se instalará en la carpeta "C:\Archivos de Programa\Bentley\Synchro 4D". Si se quiere, esto se puede cambiar a otro destino.

Por último, al abrir Synchro 4D por primera vez se debe introducir la contraseña de la licencia de Bentley e iniciar sesión en “*Connection Client*”, acceso al apartado de servicios y soporte en la nube de Bentley. Si se trabaja en el escritorio remoto, hay que iniciar sesión cada vez que se vaya a abrir el programa.

En el caso de no tener licencia, se puede utilizar la versión de prueba gratuita de 15 días.

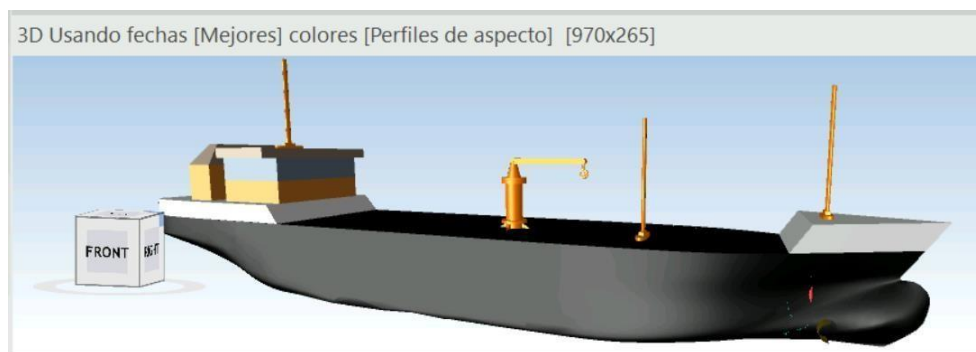


Ilustración 28: Geometría del buque Asfaltero importada en Synchro 4D



## Capítulo 5

# Descripción del caso de estudio

### 5.1. El buque

El caso de estudio es el buque proyectado en el Trabajo de Fin de Grado TFG- 324 (Julio 2022) titulado *Buque Asfaltero-Petrolero de 8350 TPM*, realizado por la alumna de Arquitectura Naval Raquel Rodríguez Gómez [23].

En el mencionado TFG, la estudiante proyectó un buque asfaltero de 111 m de eslora, 19.6 m de manga, 8.350 toneladas de peso muerto y 6.700 m<sup>3</sup> de capacidad de carga, el cual además debía poder transportar carga a 200°C de temperatura.

En su TFG hemos encontrado información que resulta de gran utilidad para llevar a cabo el modelado BIM 4D del buque, que es el objetivo final de nuestro proyecto. Contábamos con los documentos completos de la memoria escrita, el plano de formas, la cuaderna maestra y el plano de la disposición general del buque.

La memoria escrita del TFG es de vital importancia para consultar datos relevantes sobre la información técnica del buque, por ejemplo, las dimensiones y coeficientes del buque que se encuentran en el *Capítulo 2: Dimensionamiento*. También, al final del *Capítulo 3: Formas del casco (Apartado 3.3.)* se presentan los cálculos relativos a la estimación de la potencia y elección del motor propulsor que se pueden utilizar para el dimensionamiento de la hélice.

Por otro lado, en el *Capítulo 6: Estimación del Peso en Rosca (Apartado 6.2.)* se detallan los cálculos de los pesos correspondientes al acero del casco, la superestructura, la maquinaria propulsora y la maquinaria no propulsora. Esta información, junto con la disposición general, el plano de formas y los cálculos del peso longitudinal continuo, son esenciales para determinar el peso total de los anillos y bloques que conforman el buque.

Adicionalmente, contamos con el archivo de Maxsurf, que puede ser utilizado para consultar aspectos técnicos específicos, y con el fichero del modelo 3D realizado en Rhinoceros. Tener a nuestra disposición el modelo 3D supone un gran avance ya que es crucial para el desarrollo del proyecto. Este recurso permite la incorporación de elementos que no estaban inicialmente contemplados y facilita la división del buque en los bloques correspondientes. Posteriormente, el modelo puede ser exportado al software Synchro 4D para llevar a cabo el modelado BIM.

A pesar de tener información muy completa sobre el buque a estudiar, se identifican algunas carencias que limitan el alcance del proyecto. Entre los elementos que faltan se encuentran el dimensionamiento de la hélice principal, detalles específicos sobre la instalación eléctrica, el sistema de tuberías y sería muy útil disponer de información más precisa sobre el timón, incluyendo sus características técnicas. Por último, tampoco se aporta información relativa a un estudio económico del proyecto que podría ser de gran ayuda para estimar presupuestos.

Algunas de las carencias mencionadas serán objeto de estudio en este Trabajo de Fin de Grado en caso de ser esenciales para completar la información necesaria de este proyecto.

## 5.2. Elección del astillero

La elección de un astillero adecuado es crucial para garantizar el éxito de la construcción de un buque.

En este apartado se hará una descripción detallada de cuatro astilleros españoles (Armón, GONDAN, Murueta y Nodosa) con la finalidad de ver cuál es la mejor opción para la construcción del buque que estamos estudiando en este TFG. Analizaremos sus características técnicas, ubicación geográfica, infraestructura y su historial de proyectos similares al asfaltero.

Al finalizar este apartado se indicará cuál es el astillero seleccionado y su justificación.

### 5.2.1 Armón

#### 5.2.1.1. Astilleros Armón Gijón

Consultando su página web oficial [19], encontramos que este astillero cuenta con una superficie total de 148.000 m<sup>2</sup> entre oficinas, almacenes, talleres de acero, calderería y armamento, de los cuales 12.260 m<sup>2</sup> son talleres cubiertos y 9.641 m<sup>2</sup> son oficinas y otros almacenes secundarios.

Además, se especifica que en su dársena de armamento a flote se disponen dos muelles de 222 m y 239 m, dos diques secos de 170 m x 25 m y 124 m x 17 m, dos gradas de armamento que alcanzan un total de 180 m x 47 m y un taller de acero con línea de paneles automatizados [19].



Ilustración 29: Instalaciones del astillero Armón Gijón

Acudiendo al historial de buques construidos en este astillero, no encontramos ningún asfaltero, pero en 2022 se construyó el buque de la **Ilustración 30**, el cual tiene unas dimensiones similares, 92,95 m de eslora y 16,90 m de manga. Este astillero es candidato a ser el elegido para la construcción del buque de nuestro caso de estudio en el caso de no encontrar otro que reúna características más exactas.



Ilustración 30: Buque de bunkering "Haugesund Knutsen"

### 5.2.1.2. Astilleros Armón Vigo

Recopilando la información proporcionada por la página web de Astilleros Armón [19], resumimos las instalaciones de Armón Vigo en una superficie total de 12.000 m<sup>2</sup>, entre las que se encuentra una grada cubierta para albergar buques de hasta 120 m de eslora y 18 m de manga, otra grada de 70 m de eslora, un muelle de armamento de 180 m, talleres de calderería, centro de oxicorte, grúas móviles, puentes-grúa y auto grúas.

Las dimensiones del buque asfaltero de este TFG son de 111 m de eslora total y 19.6 m de manga, por lo tanto, este astillero **queda descartado** ya que las dimensiones del buque son mayores que las de las gradas disponibles.



Ilustración 31: Instalaciones del astillero Armón Vigo

### 5.2.1.3. Armón Ría de Vigo

Como podemos ver en su página oficial [19], su superficie total *"abarca hasta los 132 000 m<sup>2</sup> tras incluirse las instalaciones de Hijos de J. Barreras y de Aucosa con las ya existentes de Armón Vigo, para funcionar como un astillero unificado"*. Sus dos gradas principales cuentan con una capacidad de 190 m de eslora y 50 m de manga total entre ambas.

El resto de instalaciones se componen de un varadero de 120 m de eslora y 17 m de manga, varios muelles de armamento de 425 m de longitud total, numerosos almacenes, talleres de calderería y soldadura, doce grúas con capacidad de 12 a 100 ton, varias auto grúas, talleres de fabricación y una oficina técnica central [19].



**Ilustración 32: Instalaciones del astillero Armón Ría de Vigo**

Entre los buques que se han construido en este astillero, encontramos el **“Lagan”**, un asfaltero de 105,20 m de eslora y 17 m de manga,



**Ilustración 33 : Asfaltero “Lagan”**

Este astillero tiene ciertas características que nos indican que puede ser adecuado para la construcción del buque de este proyecto, entre ellas, las dimensiones de las gradas, que son apropiadas y además, que cuenta con experiencia en la construcción de buques asfalteros.

A continuación, se siguen investigando otros astilleros para determinar si hay más que cumplen con las características necesarias o son más óptimos.

### 5.2.2 Gondán

A través de su perfil oficial [20], hemos recopilado que GONDÁN posee tres instalaciones en un total de 55.000 m<sup>2</sup> : la factoría principal de Figueras, el taller de aceros junto con el almacén principal del Polígono industrial de Barres y unas instalaciones secundarias en Castropol.



Ilustración 34 : Esquema de las instalaciones del Astillero GONDÁN

### Instalaciones principales, Figuras:

Según la descripción que aportan en su página web [20], tienen una superficie total de 32.500 m<sup>2</sup>, de los cuáles, 10.000 m<sup>2</sup> permanecen a cubierto. El muelle de armamento cuenta con una eslora de 190 m y se dispone de dos gradas de construcción cuyas dimensiones son respectivamente : 115 m x 20,5 m y 115 m x 24m.

En estas instalaciones se llevan a cabo los trabajos de preparado y conformado del acero, el ensamblaje sin prearmamento, el montaje en grada y el armamento final [20].

Es importante mencionar que cuenta con tres grúas de capacidad :

1 x 50 t @ 25 m y 25 t @ 50 m  
 1 x 40 t @ 32 m y 25 t @ 50 m  
 1 x 60 t @ 32 m y 40 t @ 50 m

La nomenclatura utilizada para expresar la **capacidad de izado** de las diferentes grúas se interpreta de la siguiente forma:

Como ejemplo para la explicación, utilizaremos la primera grúa, cuya capacidad de izado es **1 x 50 t @ 25 m y 25 t @ 50 m**.

- **La primera parte (50 t @ 25 m)** significa que la grúa puede izar una carga máxima de 50 ton a una distancia de 25 m desde el centro de rotación (el brazo).
- **La segunda parte (25 t @ 50 m)** es lo mismo, pero a una distancia mayor. En este caso, con un brazo de 50 m, la capacidad de carga disminuye a 25 ton, ya que cuanto mayor sea la distancia respecto al centro de rotación, menor será el peso que puedan izar.



**Ilustración 35 : Instalaciones principales del Astillero GONDÁN**



**Ilustración 36 : Astillero GONDÁN**

**Las instalaciones de procesamiento de acero y almacén, Polígono Industrial de Barres [20]:**

- Almacén de acero
- Nave de corte
- Almacén de perfiles
- Corte y conformado de perfiles
- Almacén de grandes equipos y maquinaria pesada
- Almacén de equipos de armamento
- Soldadura robotizada



**Ilustración 37: Instalaciones de procesamiento de acero y almacén del Astillero GONDÁN**

En la página web de los Astilleros GONDÁN [20] encontramos un apartado con el historial de buques construidos. Como podemos ver en la **Ilustración 38**, el desplegable de búsqueda por tipos de buques, no hay ningún asfaltero ni otro barco de características similares al nuestro. Por lo tanto, **descartamos** este astillero.

## TIPOLOGÍA/USO

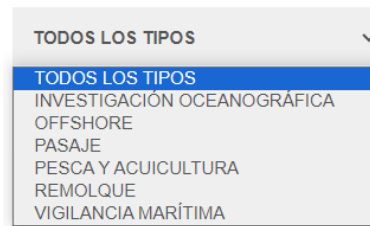


Ilustración 38 : Tipos de buques construidos en el Astillero GONDÁN

### 5.2.3. Astilleros Murueta

Aunque comúnmente se suele tratar como una factoría unificada, ya que se encuentra en el municipio vasco de Murueta (Vizcaya), realmente Astilleros Murueta dispone de dos instalaciones principales: Murueta y Erandio.

#### 5.2.3.1. Murueta

Se encuentra a 40 km de Bilbao. Este astillero cuenta con una superficie de 60.000 m<sup>2</sup> que está dividida en las siguientes zonas [21]:



Ilustración 39 : Esquema de las instalaciones de Astilleros Murueta [21]

- |                                        |                   |
|----------------------------------------|-------------------|
| 1. Parque de chapas                    | 4. Prefabricación |
| 2. Taller de corte y curvado de chapas | 5. Dique Sur      |
| 3. Taller de tubos                     | 6. Dique Norte    |

**-Diques secos:** Existen dos diques diferenciados, el **Dique 1 (Norte)** de 90 x 18 metros y el **Dique 2 (Sur)** de 100 x 20 metros. En ambos diques hay disponible una grúa de 40 ton de capacidad. En muchos casos, el armamento se completa en Erandio.

**-Parque de acero y taller de corte y conformado:** Con una superficie de 3.200 m<sup>2</sup>, es una de las instalaciones más importantes de este astillero ya que debido a su ubicación estratégica puede proveer de material y servicio a las secciones de Erandio y Murueta.

**-Taller de prefabricación de acero y montaje:** En este taller se montan los paneles y se realiza el ensamblado de los bloques que conforman el buque.

**-Taller de tubería y mecanizado:** Aquí se llevan a cabo los trabajos de corte y curvado de tuberías, preparación de perfiles y previas, además de la mecanización de piezas.

### 5.2.3.2. Erandio

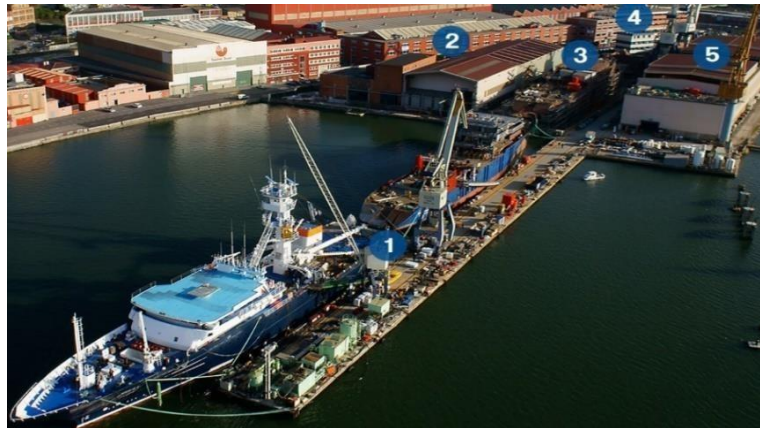


Ilustración 40 : Esquema de las instalaciones de Erandio

- |                                   |                                      |
|-----------------------------------|--------------------------------------|
| 1. Muelle de armamento de 170 m   | 4. Oficinas centrales                |
| 2. Taller de tubería y mecanizado | 5. Prefabricación de acero y montaje |
| 3. Grada de 165 x 24 m            |                                      |

La sección de Erandio tiene una superficie de 40.000 m<sup>2</sup>, dividida en las siguientes áreas [21]:

**-Prefabricación de acero y montaje:** Esta actividad se desarrolla en dos naves bajo cubierto provistas de puentes - grúa de 1x 8 ton, 2x 5 ton y 1x 8 ton y de otra grúa de 20 ton. También existe otro espacio, una nave de 3.600 m<sup>2</sup>, donde se trabaja en el conformado de acero y aluminio, que cuenta con el apoyo de dos grúas de 50 ton cada una.

**-Una grada de 165m x 24m** que es expandible hasta los 28 m de manga y 8 m de calado cuando baja la marea. Además en este área se encuentran dos grúas de capacidad de izado de 50 toneladas.

**-Muelle de Armamento de 170m:** Es donde se finaliza el armamento a flote del buque con la posibilidad de trabajar a ambos lados del muelle. Dispone de una grúa de 20 ton de capacidad y la suficiente amplitud para trabajar en varios buques simultáneamente.

Astilleros Murueta cuenta con la capacidad de poder construir una amplia variedad de buques, entre ellos: pesqueros, remolcadores, buques oceanográficos, plataformas offshore y buques de carga, pero **no tienen experiencia en la construcción de asfalteros** ni los buques de carga que se construyen se asemejan a las características del buque que estamos estudiando. Por lo tanto, este astillero también **será descartado** para realizar este proyecto.

#### 5.2.4. NODOSA

Las instalaciones principales se encuentran en el Puerto de Marín (Pontevedra), las cuales cuentan con una superficie total de 40.000 m<sup>2</sup>, entre ellas 6 gradas, de 150 m x 19 m, 110 m x 17.5 m, 110 m x 18.5 m, 60 m x 20 m y dos de 90 m x 15 m (una de ellas convertible en dique seco), 4 muelles de armamento; uno de 50 m, dos 80 m y uno de 150 m [22].

En estas instalaciones es donde suceden todos los trabajos involucrados en cada una de las fases de la construcción, botadura y entrega de los buques de nueva construcción. Además de ser también el lugar donde se lleva a cabo el mantenimiento/ reparación de buques, y se realizan las tareas de modernización [22].



Ilustración 41 : Instalaciones astillero de Nodosa

Nodosa cuenta con cerca de 100.000 m<sup>2</sup> de superficie total, distribuida en varios centros. Los principales son [22] :

- **El Astillero**, son las instalaciones principales, porque ahí es donde se construyen, arman y reparan los buques. La fabricación y el ensamblado de los bloques se realizan en las naves del Puerto de Marín. En el astillero también es donde se encuentran la oficina técnica y las oficinas administrativas.

- **La Factoría**: donde se trabaja en la calderería, la soldadura y la clasificación y corte de materiales.

- **El Taller Mecánico**, donde se realizan mecanizados, se fabrican piezas y se efectúan las reparaciones.

Este astillero también **queda descartado** porque las dimensiones de la grada son insuficientes y además, aunque en Nodosa se construyen una amplia variedad de buques como remolcadores, buques auxiliares, pesqueros y buques de pasaje, no tienen experiencia con asfalteros, ni con otros buques de características similares.

#### 5.2.5. Decisión final

Después de estudiar las características de los distintos astilleros, se ha llegado a la conclusión de que la mejor opción es **Armón Ría de Vigo**.

El primer motivo es que sus infraestructuras son lo suficientemente amplias como para realizar correctamente la construcción de embarcaciones de grandes dimensiones, como es el caso de este asfaltero.



Y la segunda razón es que, de los astilleros analizados, este ha sido el único con experiencia en la construcción de asfalteros, por lo tanto, nos da la suficiente confianza de que estará preparado para llevar a cabo eficientemente la construcción de este buque.

## 5.3. Recursos

En el ámbito de la gestión de proyectos, el término “recurso” hace referencia a todos los elementos que intervienen en el desarrollo de un proyecto [12].

Existen distintas categorías de recursos: **personal, material, instalaciones o costo**. Una correcta gestión de los recursos es esencial para garantizar que el proyecto finalice dentro de los plazos y cumpla con el presupuesto estipulado.

A lo largo de este apartado, se expondrán y describirán los distintos recursos que serán necesarios en la planificación del proyecto del buque asfaltero.

### 5.3.1. Recursos de Personal

Los recursos de personal están formados por aquellos **trabajadores** que intervienen en las tareas que comprenden el proyecto. Estas tareas están relacionadas con la dirección, labores administrativas y la realización de trabajos específicos dentro de la etapa de producción [12][13].

En este proyecto los recursos de personal que intervienen son los siguientes:

- Un **Director de Proyecto (jefe de proyecto, en la nomenclatura de Armón Vigo)** que supervisará, coordinará y planificará las tareas de ingeniería, compras y producción.

- Un **Jefe de buque** que coordinará los diferentes recursos humanos y las tareas en producción.

Como sólo hay un jefe de buque para todo el proyecto, estará presente en todas las etapas de producción. Para expresar este hecho en el fichero Project evitando que se indique como recurso sobrecargado, se ha decidido que ocupará un 10% del total de su tiempo en cada una de las tareas en las que interviene .

- Ingenieros de Diseño (oficina técnica, 4 ingenieros):** Trabajan en la oficina técnica en las tareas relativas a la Ingeniería Básica y/o Ingeniería de Detalle.

- Administrativos (3)** que formarán parte del equipo de apoyo a compras.

- Subcontratación:** Es una práctica muy común en la industria naval. Consiste en contratar empresas externas especializadas en ciertas tareas como la soldadura, la pintura o la electricidad. De esta manera, el astillero gestiona los recursos considerando a las subcontratas como si fueran personal propio a la hora de planificar. De hecho, en Armón Ría de Vigo se subcontrata toda la producción.



Sin embargo, esto no implica que haya recursos infinitos. La cantidad de personal subcontratado dependerá de si su costo total no se excede demasiado en el cálculo del presupuesto final.

El personal subcontratado está formado por **soldadores, caldereros, electricistas, tuberos, pintores y mecánicos**, que son los que llevarán a cabo todo el proceso de construcción del buque (fase de producción).

- **Caldereros:** Consultando otros proyectos, se estima que por cada 100 metros de eslora se suelen necesitar entre 10 y 20 caldereros dependiendo del tipo de buque y la complejidad de la construcción. Por lo tanto, para un buque de 111 metros, podrían ser necesarios **18 caldereros**.
- **Soldadores:** En muchos astilleros, los soldadores y caldereros forman parte de la misma plantilla pero realizan diferentes funciones según corresponda, pero en el Astillero Armón Ría de Vigo son dos ocupaciones diferentes, considerando que los soldadores realizan labores de unión mientras que los caldereros son los especialistas encargados de los trabajos del corte y conformado.

Para calcular el número de soldadores necesarios, hay que tener en cuenta que la construcción del buque se llevará a cabo en 18 meses, de los cuales, 12 incluirán trabajo de acero. Además contamos con datos precisos sobre las toneladas de acero que disponemos y que cada 50 horas se trabaja 1 tonelada de acero. Los cálculos son los siguientes:

Horas por trabajador= meses de trabajo x horas/mes =  $12 \times (40 \times 4) = 1920 \text{ h}$

Horas casco= toneladas casco x 50 h/ton =  $2341.63 \times 50 = 117081.5 \text{ h}$

Horas superestructura= toneladas superestructura x 50 h/ton =  $420.33 \times 50 = 21016.5 \text{ h}$

Horas totales=  $117081.5 + 21016.5 = 138098 \text{ h}$

Nº soldadores= Horas totales /horas por trabajador=  $138098/1920 = 71.9 \approx \mathbf{72 \text{ soldadores}}$

- **Mecánicos:** En la construcción de un buque, de media se disponen de entre 10 y 20 mecánicos por cada 100 metros de eslora. Por lo tanto, para este buque, vamos a considerar **15 mecánicos**.
- **Electricistas:** El número variará según el tipo de buque y la cantidad de cableado y equipos eléctricos instalados a bordo. Para este buque en concreto se estima que serán necesarios **15 electricistas**.
- **Tuberos:** Como valores medios, habitualmente son necesarios entre 5 y 10 tuberos por cada 100 m de eslora. Por lo tanto, para este asfaltero se necesitarán **10 tuberos** para la instalación de los sistemas de tuberías.
- **Pintores:** Generalmente, se estima que se necesitan entre 5 y 10 pintores por cada 100 metros de eslora. De esta forma, determinamos que para nuestro buque serían necesarios **10 pintores**.

La cantidad seleccionada de cada uno de estos recursos se refiere a la capacidad máxima necesaria. Esto no significa que cada día tengamos el 100% de estos recursos trabajando, pero sí que necesitaremos en algún momento esa cantidad total. Por ello, como probablemente los astilleros no cuentan con esa cantidad de empleados en su plantilla habitual, para muchas



tareas se subcontratarán nuevos empleados. Esto último es un factor importante que debemos tenerlo en cuenta a la hora de asignar los recursos a cada tarea y en el cálculo del presupuesto.

- **Operarios de grúa (2)** , que son quienes manejan las grúas del astillero para levantar y mover los bloques.

-**Andamieros (4)**: Son los encargados de montar y desmontar los andamios que serán utilizados durante las tareas de pintura.

-**Encargados (12)**: Su trabajo consiste en coordinar equipos formados por varios trabajadores y gestionar el transporte de los bloques ya constituidos a la grada o al almacén de bloques.

- **Un Jefe de Grada**: Supervisará, coordinará y planificará las tareas de montaje en grada.

- **Personal de mantenimiento y limpieza (3)**: Tienen como misión mantener las instalaciones del astillero en las condiciones óptimas para el trabajo.

- **Operarios (5)**: Estos trabajadores realizan las tareas de incorporación de equipos a bordo, como el sistema de fondeo y amarre o la instalación de los equipos de salvamento y contra incendios.

Una vez conocidos y explicados cada uno de los recursos de personal que intervienen en este proyecto, estos quedan resumidos en la **Tabla 1**.

| RECURSOS DE PERSONAL     |          |               |
|--------------------------|----------|---------------|
| RECURSO                  | UNIDADES | TASA ESTANDAR |
| Director de proyecto     | 1        | 120 €/hora    |
| Jefe de Buque            | 1        | 80 €/hora     |
| Ingenieros de diseño     | 4        | 70 €/hora     |
| Administrativos          | 3        | 40 €/hora     |
| Soldadores               | 72       | 50 €/hora     |
| Caldereros               | 18       | 50 €/hora     |
| Electricistas            | 15       | 50 €/hora     |
| Tuberos                  | 10       | 50 €/hora     |
| Pintores                 | 10       | 40 €/hora     |
| Mecánicos                | 15       | 50 €/hora     |
| Operarios de Grúa        | 2        | 50 €/hora     |
| Andamieros               | 4        | 40 €/hora     |
| Encargados               | 12       | 50 €/hora     |
| Jefe de grada            | 1        | 50 €/hora     |
| Mantenimiento y limpieza | 3        | 40 €/hora     |
| Operarios                | 5        | 40 €/hora     |

**Tabla 1 : Recursos de personal y su tasa estándar**



### 5.3.2. Recursos indirectos/ transversales

Estos recursos se contabilizarán a través de un porcentaje de **costes indirectos del 20%** y son los siguientes:

**-Personal de calidad:** Se encarga de garantizar que las tareas involucradas en la construcción del buque cumplan con los estándares y normativas internacionales de calidad.

**-Personal de soporte TIC:** Su función en el astillero consiste en proveer soporte técnico a los empleados y garantizar la seguridad en los sistemas informáticos.

**-Personal de seguridad:** Contratado a través de una empresa externa, debe desempeñar ciertas funciones como vigilar las instalaciones del astillero, controlar el acceso e instalar cámaras de seguridad.

**-Personal de prevención de riesgos laborales (PRL):** Su misión consiste en garantizar la seguridad de los trabajadores, como por ejemplo, identificando riesgos en los distintos puestos de trabajo del astillero, implementando medidas de seguridad laboral, dar formación al personal sobre prevención de riesgos e investigar accidentes.

**-Gestión de Residuos:** Está a cargo de una empresa externa o de los servicios municipales de limpieza, quienes se encargan de recolectar y manipular los desechos de manera segura.

### 5.3.3. Recursos de instalaciones

En este apartado se han indicado las principales instalaciones con las que cuenta el astillero y que serán necesarias para la construcción de este buque:

-Como se desarrolló en el *Apartado 5.2.* dedicado a la elección del Astillero, las instalaciones del Astillero Armón Ría de Vigo cuentan con una superficie total de 120.000 m<sup>2</sup> que está formada por un **Taller de Fabricación** de 5.000 m<sup>2</sup>, un **Taller de Pintura** de 2.000 m<sup>2</sup>, un **Almacén de Bloques** de 4.500 m<sup>2</sup>, **dos gradas principales** de 190 m de eslora y 50 m de manga, un **varadero** de 120 m de largo con capacidad máxima de 2.400 toneladas, y **dos muelles de armamento** de una longitud total de 425 m [19].

-Las **grúas:** Como se especificó anteriormente, en Armón Ría de Vigo se disponen de doce grúas con capacidad de 12 a 100 ton.

-Los **equipos de soldadura, otras herramientas y la maquinaria auxiliar** tienen un precio total de 920.000 €, el cual amortizamos en 10 años (**coste indirecto**).

Esto no significa que el astillero no cuente con otras muchas más instalaciones, pero no son de nuestro interés para el propósito de este proyecto, por eso, en la **Tabla 2** se resumen los recursos de instalaciones que intervendrán en la construcción del asfaltero.



| RECURSOS DE INSTALACIONES |          |
|---------------------------|----------|
| RECURSO                   | UNIDADES |
| Taller de fabricación     | 1        |
| Taller de pintura         | 1        |
| Almacén de bloques        | 1        |
| Gradas                    | 2        |
| Varadero                  | 1        |
| Muelles de armamento      | 2        |
| Grúas                     | 12       |

**Tabla 2: Recursos de instalaciones**

Es importante mencionar que las instalaciones **no se incluirán en la hoja de recursos de Ms-Project** ya que este las clasifica como **recursos de trabajo** y al asociarlas con varias tareas que suceden a la vez en el mismo lugar, el programa detecta que ese recurso está sobrecargado cuando en realidad no es así, ya que, por ejemplo, en los talleres se pueden llevar a cabo varias actividades al mismo tiempo.

Para evitar que esto suceda, es preferible añadir manualmente los recursos de instalaciones en **Synchro 4D** debido a que en dicha herramienta estos recursos pueden clasificarse dentro de la categoría específica de **“espacio”**.

### 5.3.4. Recursos de Material

Los recursos de material son los elementos físicos como el acero, la maquinaria, o los equipos auxiliares que **se instalan** en el buque durante su construcción [12].

En este proyecto los recursos de material necesarios son los siguientes:

-Este buque dispone de **2762 toneladas** de **acero A24**. Hemos establecido una tasa de **750 €/t** por su valor en el mercado. A esta tasa le hemos sumado alrededor de un **10 % de margen de desaprovechamiento**. Con lo cual nos ha quedado una tasa para el acero de **675 €/t**.

-Observando la cuaderna maestra del TFG-324 [23], vemos que tiene distintos tipos de **refuerzos longitudinales**. Dichos refuerzos son elementos estructurales fundamentales en el reparto de cargas a las que está sometido el fondo del barco. Su propósito en el buque es distribuir las tensiones a lo largo del casco para aportarle resistencia y rigidez. Los tipos de refuerzos y la cantidad utilizada quedan resumidos en la **Tabla 3**.

El coste final de los refuerzos se fija en función del peso. Por ejemplo, el precio del acero utilizado para fabricar estos refuerzos suele estar en un rango de **1000 a 1500 €/tonelada**, aunque esto puede variar según el tipo de acero y el tipo de perfil.



| REFUERZOS LONGITUDINALES |          |
|--------------------------|----------|
| TIPO                     | UNIDADES |
| HP 240 x 12              | 24       |
| HP 220 x 12              | 26       |
| HP 260 x 11              | 2        |
| HP 220 x 9               | 9        |
| HP 220 x 10              | 48       |
| HP 200 x 9               | 6        |
| HP 160 x 9               | 24       |
| HP 180 x 10              | 24       |
| T 550 x 19/200 X 10      | 10       |

**Tabla 3: Refuerzos longitudinales empleados en este buque**

Los refuerzos longitudinales suelen adquirirse en lotes y debido a que son elementos estandarizados, puede ocurrir que se compren cantidades superiores a las necesarias. Cuando esto sucede, el material sobrante pasa a formar parte del stock del astillero. De esta manera, pueden ser utilizados en proyectos posteriores.

-**Los tubos** necesarios serán de diferentes materiales y tamaños. Consultando los catálogos se determina que tienen un precio medio de entre 5-20 €/metro para las tuberías de **PVC** y en el caso de tuberías de acero de los tipos **AISI 304 o 316**, el precio puede oscilar entre **25 y 40 €/metro**.

Para realizar cálculos más exactos, se ha tomado como referencia el Proyecto de Final de Carrera *Buque asfaltero de 8000 TPM* [32], donde se calcula detalladamente que se necesitan 7950 m de tuberías de PVC y 7950 m de tuberías de acero.

Por lo tanto, el precio total de tuberías será:

$$\text{Tubos PVC} = 7950 \text{ m} \times 15 \text{ €/m} = 119\,250 \text{ €}$$

$$\text{Tubos Acero} = 7950 \text{ m} \times 35 \text{ €/m} = 278\,250 \text{ €}$$

$$\text{TOTAL TUBOS: } 397\,500 \text{ €}$$

- En el caso de los **cables**, su precio oscila entre **2 y 10 €/metro** dependiendo de la sección en mm<sup>2</sup> y el tipo de aislamiento. Para obtener un resultado económico que se ajustase a la realidad, hemos acudido al PFC- 352 [32] donde se determina que se emplearon 10 000 m de cableado en total.

Si en nuestro buque tenemos 11 zonas diferenciadas :  $10\,000 \text{ m} / 11 = 909 \approx 910 \text{ m}$  por zona. Y como no todas las zonas son iguales, se ha establecido que las de gran tamaño llevarán 910 m, las de tamaño medio 450 m y las pequeñas 230 m.

$$\text{Zona grande: } 910 \times 7 = 6370 \text{ m}$$

$$\text{Zona mediana: } 450 \times 3 = 1350 \text{ m}$$

$$\text{Zona pequeña: } 230 \text{ m}$$

$$\text{TOTAL CABLEADO} = 7950 \text{ m} \times 10 \text{ €/m} = 79\,500 \text{ €}$$



-Las pinturas se han clasificado en tres tipos: **la pintura de interior, la pintura de casco normal y la pintura antifouling**. Consultando los catálogos, el precio de la pintura de interior es de **15 €/litro**, la de casco tiene un precio de **20 €/litro** y la pintura antifouling es algo más cara, **25 €/litro**.

Basándonos en el capítulo de presupuestos de un buque similar [32], determinamos que de pintura normal necesitaremos 7920 L, en pintura antifouling 6336 L y en pintura interior, 3168 L. Por lo tanto, el precio total en pintura será:

$$\text{Pintura Normal} = 7920 \text{ L} \times 20 \text{ €/L} = 98\,400 \text{ €}$$

$$\text{Pintura Antifouling} = 6336 \text{ L} \times 25 \text{ €/L} = 158\,400 \text{ €}$$

$$\text{Pintura Interior} = 3168 \text{ L} \times 15 \text{ €/L} = 47\,520 \text{ €}$$

**TOTAL PINTURA: 304 320 €**

**-Bombas:** El número de bombas instaladas en un buque depende del tamaño, la capacidad de carga y el diseño del sistema de carga y descarga.

-En este buque hay 4 **bombas de carga y descarga**, de tipo tornillo o centrífugas, con un precio de **30.000 €** cada una.

-El asfaltero lleva a bordo **6 bombas de circulación** con un coste de **30.000 €** por unidad. Estas bombas son necesarias para recircular el asfalto dentro de los tanques.

**-Las Bombas centrífugas de alta temperatura**, que dependiendo del tamaño y resistencia térmica su precio puede oscilar entre 15.000 y 40.000 €. En este caso, se llevarán a bordo **8 bombas con un precio de 30.000€ cada una**

-Y por último, **las bombas auxiliares de achique**, que son más pequeñas y tienen un precio de **20.000 €**. A bordo se disponen **8 unidades**.

**-Grúa:** Los buques asfalteros suelen llevar a bordo una grúa de cubierta que es especialmente útil para operar en puertos donde no se dispongan de ellas. Este tipo de grúas suele tener una capacidad de entre **5 y 15 toneladas**, dependiendo del tamaño y las necesidades del buque.

En este caso, disponemos de una **grúa de pluma articulada** con un precio de **500 000 €**.

**-Motores:** Como se especifica en el TFG GAN-324 [23], se disponen a bordo dos **motores** semi rápidos de 4 tiempos **MAN 6L27/38 de 800 rpm** de 2040 kW de potencia cada uno. Además, estos se acoplarán a la hélice a través de una reductora para buques bimotor del tipo **Flender 7**.

Cada uno de los motores tiene un precio de **1.2 M €** mientras que el de la reductora es de **800 000 €**.

**-Hélice y línea de ejes:** El precio estimado de la hélice es de **1 millón de €**, mientras que el de la línea de ejes es de **800.000 €**.



- **Timón:** Se fabrica en el astillero y en el caso de este asfaltero, tiene un valor de **2 millones de €**.

-**Hélice de proa:** Consiste un elemento auxiliar que se instala en la proa del buque para mejorar la maniobrabilidad. En el caso de este proyecto, su hélice de proa tiene un precio de **500 000 €**.

-Un **Grupo electrógeno**, con un precio de **50 000 €** para poder generar electricidad en caso de emergencia o proveerla en lugares sin acceso a la red eléctrica.

-Consultando catálogos y otros proyectos, se ha determinado que el precio de los **equipos auxiliares** es de **4000 000 €**, el de los **equipos de fondeo y amarre** es de **700 000 €**, los **equipos de salvamento y contra incendios** **200 000 €** y los **sistemas de navegación y comunicación** tienen un coste de unos **700 000 €**.

Para finalizar, una vez que se han enumerado y explicado cada uno de los recursos de material que intervienen en este proyecto, estos quedan resumidos en la **Tabla 4**.

| RECURSOS DE MATERIAL       |            |          |
|----------------------------|------------|----------|
| RECURSO                    | COSTE      | UNIDADES |
| Acero A24                  | 675 €/ton  | -        |
| Refuerzos                  | 1000 €/ton | 165      |
| Tuberías PVC               | 15 €/m     | -        |
| Tuberías acero             | 35 €/m     | -        |
| Cables                     | 10 €/m     | -        |
| Pintura interior           | 15 €/L     | -        |
| Pintura normal             | 20 €/L     | -        |
| Pintura antifouling        | 25 €/L     | -        |
| Bomba carga & des.         | 30 000 €   | 4        |
| Bomba circulación          | 30 000 €   | 6        |
| Bomba alta temperatura     | 30 000 €   | 8        |
| Bomba Aux. de achique      | 20 000 €   | 8        |
| Grúa                       | 500 000 €  | 1        |
| Motores y reductora        | 1.2M €     | 2        |
| Hélice                     | 1M €       | 1        |
| Timón                      | 2M €       | 1        |
| Línea de ejes              | 800 000 €  | 1        |
| Hélice de proa             | 500 000 €  | 1        |
| Grupo electrógeno          | 50 000 €   | 1        |
| Equipos auxiliares         | 400 000 €  | -        |
| Sistema de fondeo y amarre | 700 000 €  | -        |
| Salvamento y C. incendios  | 200 000 €  | -        |
| Sist. De Navegación y Com. | 610 000 €  | -        |
| Antena Puente              | 100 000 €  | 1        |
| Antena 1                   | 100 000 €  | 1        |
| Antena 2                   | 100 000 €  | 1        |
| Túnel de hélice            | 500 000 €  | 1        |

**Tabla 4: Recursos de material**



### 5.3.5. Recursos de Costo

Dentro del ámbito de la gestión de proyectos, los **recursos de costo** son los expresamente relacionados con inversiones económicas.

En un proyecto constructivo siempre encontraremos dos tipos de costes: los **directos** y los **indirectos**.

Los **costes directos** son aquellos que ofrecen un resultado económico a partir de los recursos de personal y material, ya que están asignados a cada una de las tareas involucradas en la construcción. Por ejemplo, el coste total del acero o la mano de obra.

Por otro lado, los **costes indirectos** son imprescindibles en el desarrollo de un proyecto, pero no están relacionados con ninguna tarea constructiva. Estos pueden ser los costes de energía del astillero, la amortización de la maquinaria o como en el caso de este proyecto, los viáticos, que son los gastos de viaje y alojamiento generados por los trabajadores cuando deben desplazarse por motivos de la realización del trabajo.

En este proyecto, los costes indirectos se han contabilizado como un **20% del presupuesto total**, siendo como resultado **5 millones de euros**. Aunque en el párrafo anterior se ha especificado que los costes indirectos no van asociados a ninguna tarea en concreto, para poder incluirlos en el cálculo del presupuesto en el fichero Ms-Project, se ha decidido incorporarlos como **recurso de costo en el hito de Entrega del buque**.

### 5.3.6. Presupuesto total

Una vez recopilados todos los datos relativos a los costes, se crea una hoja de recursos en Ms-Project con toda esta información. Así, al activar la columna de “Costos”, se podrá ver la evolución del presupuesto según se van asociando los recursos a sus tareas correspondientes.

En la parte superior de la columna de “Costos”, la vinculada a la tarea resumen, aparece calculado el presupuesto final con un valor de **24.510.078 €**

En el **Anexo 3** está disponible una tabla resumen de todos los costes desglosados.

## 5.4. Análisis breve de las cadenas logísticas

Para asegurar el éxito de un proyecto de ingeniería es prioritario disponer de una buena planificación logística. En un astillero, esta gestión se organiza en distintas fases: **estudio y selección de proveedores, compra de los materiales, almacenamiento** y por último, **distribución [28]**.

El primer paso es **el estudio y la selección de los proveedores**. Es crucial analizar las ofertas de distintos proveedores para evaluar la calidad de los productos, los precios y la eficiencia de sus servicios.



Una vez se hayan elegido los proveedores, es conveniente realizar una evaluación de rendimiento de los mismos para valorar el éxito del servicio prestado. Este análisis se lleva a cabo estudiando **los indicadores clave de rendimiento (KPI)**. Estos parámetros examinan aspectos cruciales como la rentabilidad, la productividad o la satisfacción del cliente.

El siguiente factor clave es la **gestión de los inventarios**. El objetivo es garantizar que los materiales estén disponibles en su momento del montaje sin provocar el colapso de los almacenes. Para solucionar este problema, los astilleros tienen la solución a este problema mediante la implementación de estrategias de calidad como el método **Just in Time o similar**, que permite colapso en el almacén, además de reducir los gastos innecesarios de almacenamiento. [28].

Con la finalidad de reducir al máximo los retrasos, fallos o tiempos muertos en la producción, es recomendable incluir en la política de logística de los astilleros un análisis **de mitigación de riesgos** durante la **distribución** de los materiales.

Para finalizar, viendo que los nuevos avances tecnológicos tienen cada vez más aplicaciones en la ingeniería, en los próximos años será de gran utilidad la introducción de herramientas de inteligencia artificial y/o realidad virtual para obtener un mejor rendimiento en la gestión de la planificación y efectuar el seguimiento de la ejecución.

## 5.5 Análisis breve de aspectos normativos

El plan de **normativas de un astillero** engloba una serie de regulaciones que estarán presentes en distintas áreas de trabajo [27]:

Uno de los retos más importantes que encontramos sobre el trabajo en el astillero consiste en **garantizar la seguridad de los trabajadores**, ya que en estas instalaciones se emplea maquinaria pesada y ciertas herramientas o materiales que pueden suponer un riesgo. Para ello, existen **programas de formación** sobre estas materias para los empleados y la implementación de **protocolos de emergencia** en caso de accidentes.

Otro aspecto fundamental es el **control de calidad de la construcción**. Los buques deben obtener certificaciones y permisos de las Sociedades de Clasificación que garanticen que son aptos para la navegación. Además, para asegurar que los trabajos poseen un alto nivel de calidad, es obligatorio implementar sistemas de gestión de calidad como la norma ISO 9001.

La actividad industrial de los astilleros genera desechos que en ocasiones pueden ser peligrosos. Debido a ello, desde las últimas décadas se ha considerado de vital importancia la elaboración y cumplimiento de **normativas ambientales**, las cuales tratan sobre restricciones de las emisiones, los vertidos de sustancias tóxicas y la exigencia de una correcta manipulación y clasificación de los residuos.

Por último, es importante destacar el concepto de **“responsabilidad social corporativa”**, que consiste en el compromiso de las empresas en participar de forma voluntaria en la mejora de su propia competitividad y contribuir a la vez en el desarrollo social y económico de la zona en la que se encuentren.





# Capítulo 6

## Formatos de intercambio de datos relevantes para el problema: De Rhinoceros a Synchro 4D

### 6.1. Introducción

Garantizar la interoperabilidad entre los softwares que se van a utilizar es esencial para asegurar que el proyecto se desarrolle sin problemas.

Por esta razón, a lo largo de este capítulo se expondrán los formatos de intercambio de datos más utilizados entre Rhinoceros y Synchro 4D explicando sus características, ventajas, inconvenientes y al final del capítulo se justificará la decisión final del formato elegido.

### 6.2. Formato IFC (Industry Foundation Classes)

IFC es un formato de estándar abierto comúnmente utilizado por su facilidad en la interoperabilidad entre distintas aplicaciones de modelado 3D con herramientas de BIM 4D.

En el caso de Rhinoceros, es posible exportar modelos en formato IFC, pero para ello se debe contar con el complemento extra **VisualARQ**. Esta aplicación está enfocada en la calidad del **diseño** y en trabajar con el sistema **BIM** siendo posible trasladar sin dificultad la geometría y las propiedades básicas a Synchro 4D.

Este formato es el idóneo para realizar la transferencia de datos de la geometría manteniendo las propiedades originales del modelo dentro del entorno BIM. La gran ventaja que presenta el formato IFC es que es compatible con la mayoría de softwares de BIM. Además, en Synchro 4D hay una función para importar expresamente este formato.

### 6.3. Formato DWG/DXF

Los formatos DWG y DXF son los más habituales en los programas de CAD, por ejemplo, es el más utilizado en las herramientas de Autodesk. Rhinoceros también es capaz de exportar modelos en estos formatos y son compatibles con Synchro 4D.

El problema que presentan es que solo se pueden emplear en trabajos que únicamente traten de geometrías en 2D y 3D, careciendo de capacidad para transmitir información sobre las propiedades de los elementos o las fases de la construcción. Por este motivo, los hace menos adecuados para trabajar en proyectos BIM complejos y queda descartado.

### 6.4. Formato FBX (Filmbox)

Este formato ofrece una buena interoperabilidad entre diferentes aplicaciones de trabajo en 3D, ya que puede transferir tanto la geometría como sus propiedades originales, además de ser posible trasladar datos estructurales concretos y animaciones.



Se permite su exportación desde Rhinoceros, y a continuación puede ser importado a Synchro 4D sin perder calidad.

FBX es el formato idóneo para la transferencia entre diferentes programas si se quiere conservar las animaciones, pero el inconveniente principal que presenta, y la razón por la que lo descartamos para nuestro proyecto, es que no está enfocado a las transferencias de datos en trabajos BIM y esto podría dar problemas.

## 6.5. Formato DGN

Este formato no es tan habitual como los anteriores debido a que es propio de Bentley Systems, desarrolladores de Synchro.

Rhinoceros es compatible con este formato, por lo tanto, se convierte en una opción a considerar para la transferencia de la geometría de este proyecto.

Como único inconveniente que podemos encontrar sobre este tipo de formato, es que al no ser de estándar abierto, su utilización es muy limitada fuera de los softwares de Bentley.

## 6.6. Formato OBJ

Se trata de uno de los formatos más básicos. Es compatible con Rhino y Synchro 4D.

Aunque OBJ puede exportar geometría junto a algunas propiedades originales del modelo como por ejemplo, la clasificación por materiales, no reconoce datos sobre características estructurales o propiedades avanzadas, siendo insuficiente su aplicación en una herramienta de BIM 4D. Es un formato recomendable solo cuando se vaya a trabajar con geometría sencilla, sin otras funciones adicionales.

## 6.7. Formato 3DM

El formato **3DM** tiene la capacidad de transferir modelos tridimensionales, pero presenta ciertas limitaciones en comparación con alguno de los formatos anteriormente descritos que pueden ser los más adecuados para proyectos de BIM 4D.

Es el formato propio de Rhinoceros, creado específicamente para la edición de geometría compleja como curvas, superficies y otras funciones de modelado 3D que ofrece este programa. Aunque se trata de un formato habitual para trabajar en modelado en tres dimensiones, no es compatible con una gran variedad de programas externos.

Este formato es compatible con Synchro, pero para que la geometría se visualice con la mayor calidad posible, es necesario que cada bloque se encuentre en una capa diferente de Rhino y que los elementos que formen esos bloques estén en subcapas independientes. Además, antes de importar, es recomendable unir las superficies que se puedan (en el casco, doble fondo, espacios de carga y superestructura) para evitar problemas de continuidad.



## 6.8. Conclusiones parciales de este capítulo

Para garantizar la transferencia de la geometría entre Rhinoceros y Synchro 4D manteniendo sus propiedades originales y con buena calidad, el formato **IFC** es el más adecuado, ya que facilita el intercambio de datos del modelo conservando sus características originales dentro del entorno BIM.

Sin embargo, al no tener el complemento VisualARQ en nuestro Rhinoceros, debemos acudir a otro formato. Después de analizar y probar cada uno de ellos, se considera que los más adecuados son **DNG y 3DM** porque son los que más se ajustan a los medios que disponemos y cumplen con las características necesarias para poder alcanzar el objetivo final de este proyecto.

Comparando ambos formatos, se aprecia que DNG presenta peor calidad de detalle que 3DM a la hora de realizar la importación de la geometría en Synchro 4D. Por lo tanto, decidimos que el formato elegido será **3DM**.





# Capítulo 7

## Estrategia constructiva

### 7.1. Introducción

En la **construcción de un buque** es necesario adoptar una correcta estrategia de planificación que asegure la finalización exitosa del proyecto.

Por eso, en este capítulo se realizará la descomposición del buque en bloques y en caso de ser necesarios para este proyecto, también se **dimensionarán otros elementos clave** que no estaban definidos en el TFG- 324 [23]. Después, se dividirá el proyecto en sus tareas correspondientes para organizar el trabajo.

Finalmente, la planificación completa la veremos a través de un **diagrama de Gantt**, donde se asocian las tareas con los recursos permitiendo identificar dependencias entre ellas. Esta herramienta es esencial para coordinar las etapas del proyecto y garantizar una correcta asignación de recursos.

### 7.2. Hitos

Los **hitos** son momentos clave del proyecto cuya misión es indicar el progreso del mismo. En el diagrama de Gantt aparecen representados de la siguiente forma: ♦.

Los hitos simbolizan eventos de especial importancia dentro del proyecto, como en este caso, el inicio de cada una de las etapas, la firma del contrato o el montaje de algún elemento relevante, como por ejemplo, los motores. Además, durante el seguimiento del proyecto, un hito es un punto de referencia para estudiar si el trabajo se está llevando a cabo según lo planificado [12] .

En este proyecto haremos una diferencia clara entre los **hitos contractuales** y los **constructivos**.

#### 7.2.1. Hitos Contractuales

Los hitos contractuales son eventos clave del proyecto que están sujetos a la emisión de facturas, realización de pagos o entregas [24]. La existencia de estos hitos es vital para garantizar que ambas partes del contrato estén cumpliendo con los plazos y cláusulas firmadas.

Los hitos contractuales reúnen una serie de características:

- **Objetivos claros:** Al firmar el contrato, los objetivos del proyecto deben estar correctamente especificados. Por ello, es imprescindible adjuntar una explicación detallada de los propósitos que se pretenden lograr al llegar a cada hito.

- **Plazos y fechas límite:** Las fechas suelen estar vinculadas a un calendario de pagos. El cliente efectuará pagos parciales cada vez que se alcance un hito contractual.



**-Consecuencias Legales:** Incumplir un hito contractual puede conllevar sanciones económicas y en casos muy excepcionales, terminar con la anulación del contrato.

**-Supervisión y Aprobación:** Al suceder cada hito, el cliente suele validar si se ha cumplido con lo acordado en el contrato. También es posible que la Sociedad de Clasificación intervenga en la aprobación de algún hito.

### 7.2.1.1. Hitos contractuales del proyecto del buque asfaltero

Para determinar los hitos contractuales que intervendrán en la construcción del asfaltero, se han tomado como referencia los utilizados en la construcción del buque pesquero “Prión” de los astilleros Nodosa [24]. Algunos de estos hitos han sido certificados por la Sociedad de Clasificación (Puesta de Quilla y Corte de Chapa)



Ilustración 42: Buque Prión

**-Firma del Contrato:** Se factura el 10% del total y no se hace efectiva hasta que el astillero recibe en cuenta la cantidad.

- En el **inicio de Corte de Chapa** se factura el 20% del total.

- En la **Puesta de Quilla** se factura el 20% del total. En el ejemplo del buque Prión, el hito contractual de la Puesta de Quilla se corresponde en realidad cuando se ha completado 1/3 del acero.

- **La recepción del motor principal** supone la factura del 20% del total.

- En la **Botadura** se factura el 20% del total.

- La Entrega del buque** tras las pruebas de mar conlleva la facturación del 10% del total.

- Fin de garantía** (1 año de garantía) No está asociado a ninguna factura.

Normalmente se suelen establecer **cinco hitos**, pero en nuestro caso se ha incluido un **hito adicional correspondiente a la instalación del motor principal**, ya que se considera un evento de especial importancia. Además, siguiendo el ejemplo del buque Prión, se ha incorporado el hito de fin de garantía un año después de ser entregado.



## 7.2.2. Hitos Constructivos

Los hitos constructivos son momentos clave del proyecto que indican el progreso de las obras. Su misión consiste en señalar que el proyecto se desarrolla según lo planificado en el cronograma de trabajo [12]. Los hitos constructivos cumplen una serie de características:

- **Señalización de Etapas:** Los hitos constructivos simbolizan el inicio o culminación de etapas dentro del proyecto, como por ejemplo, el inicio del ensamblado de los bloques, el Corte de Chapa, la Puesta de Quilla o el montaje en grada del primer bloque.

- **Secuencia Lógica:** Se organizan siguiendo un orden secuencial que representa el proceso natural del proyecto.

- **Supervisión y Control de Calidad:** Al alcanzar un hito constructivo se realiza una supervisión técnica para garantizar que las obras continúan según los criterios de calidad.

Para relacionar mejor los hitos con las distintas tareas constructivas, hemos decidido clasificarlos en dos categorías: los **hitos constructivos principales** y los **hitos constructivos de segundo nivel**.

### 7.2.2.1. Hitos constructivos principales del proyecto del buque asfaltero

Los **hitos constructivos principales** indican el avance del proyecto a través de los eventos más relevantes relacionados con la construcción [13]. Son puntos de referencia esenciales para comprobar que el proyecto va evolucionando de acuerdo a lo planificado en el diagrama de Gantt. En este caso concreto del buque asfaltero son los siguientes:

- **Firma de contrato.**

- **Definición de las fechas de hitos constructivos principales:** El equipo de planificación del astillero es quien realiza esta actividad una vez que el contrato haya entrado en vigor.

- **Aprobación del plano de aceros por la Sociedad de Clasificación:** La Sociedad de Clasificación debe validar los planos de aceros, los cuales indican con detalle su disposición en el buque y las características técnicas de las planchas que forman el casco.

- **Corte de la primera chapa:** Es un hito simbólico que representa el inicio oficial de la construcción del buque. En este evento se corta una plancha de acero que después se utilizará en la estructura del casco.

- **Puesta de quilla:** Es uno de los momentos más importantes durante la construcción de un barco ya que corresponde con el inicio del uso de la grada.

- **Montaje del motor principal.**

- **Botadura:** El buque recién construido se lanza al agua por primera vez. Con la botadura se considera la finalización de la construcción estructural y por lo tanto el fin de utilización de la grada.

- **Entrega tras pruebas de mar:** Es el final oficial de la construcción. Aquí, el cliente adquiere en propiedad el buque recién construido.



### 7.2.2.2 Hitos constructivos de segundo nivel del proyecto del buque asfaltero

Los hitos constructivos de segundo nivel representan eventos que, aunque son importantes para el proyecto, no son críticos y por eso, están asociados a conjuntos de tareas o subtareas [13].

En la planificación de este proyecto, los hitos constructivos de segundo nivel corresponden a los **hitos de inicio y fin de distintas tareas** asociadas al diseño, la preparación del acero, el armamento y la certificación; **y a las subtareas** que intervienen en la construcción de los bloques, como es la creación de los mismos, los Armamentos 1 y 2 o las tareas de Chorro y Pintura.

### 7.2.3. Relación entre Hitos Contractuales y Constructivos

Aunque están relacionados, los hitos contractuales y los hitos constructivos tienen propósitos diferentes.

La principal diferencia entre los dos tipos de hitos es que los contractuales tienen un enfoque económico y legal, mientras que los constructivos atienden a cuestiones técnicas del proyecto. No obstante, es habitual encontrar algunos hitos que son de ambos tipos a la vez, por ejemplo, la **Firma del Contrato**, la **Puesta de Quilla** o la **Botadura**. Esto sucede cuando en el mismo hito se debe realizar un pago y además se trata de un evento que indica el avance de la construcción del buque

## 7.3. Descomposición en bloques

Como se explicó en el apartado 3.2. del *Capítulo 2*, la descomposición en bloques es el método más empleado actualmente en construcción naval, ya que al dividir el buque en elementos individuales llamados bloques o módulos, su fabricación en talleres y posterior ensamblaje será más rápida y sencilla.

La descomposición en bloques facilita la producción en los astilleros permitiendo que se puedan construir simultáneamente diferentes partes del buque agilizando los trabajos de ensamblaje y su posterior montaje en grada. Por eso, este método es muy habitual para construir buques de grandes dimensiones.

El objetivo fundamental de este apartado es calcular en cuántos bloques se puede dividir el buque y los pesos en toneladas de los mismos teniendo en cuenta las limitaciones de las instalaciones y los medios del astillero.

### 7.3.1. División por zonas en anillos

Antes de proceder con el cálculo de los bloques, se ha realizado una **división por zonas en anillos**, descomponiendo el buque en secciones transversales a lo largo de la eslora.



Los anillos tienen una **estructura repetitiva** a lo largo del barco, los cuales se disponen de esta manera para distribuir el peso total del buque. Cada anillo debe incluir sus estructuras transversales correspondientes, como pueden ser los mamparos o las cubiertas.

Los anillos se han determinan reuniendo aquellos espacios que comparten **alguna característica común**, procurando evitar la división de ciertas zonas como pueden ser la cámara de máquinas o los espacios de carga, ya que deben permanecer íntegros dentro de un mismo anillo.

El criterio utilizado para definir estas zonas consiste en la división en anillos según la **disposición de las cuadernas**. Al clasificar las secciones de esta forma se garantiza una planificación menos compleja y se podrá organizar mejor su producción en el astillero.

Cada uno de los anillos **estará dividido en bloques**, que es el objetivo de este apartado. Al dividir el buque en anillos y, a su vez, esos anillos en bloques, será más sencillo calcular el peso de cada uno de los bloques que componen el barco y además, la organización de su fabricación, ensamblaje, transporte y montaje en grada será más sencilla.

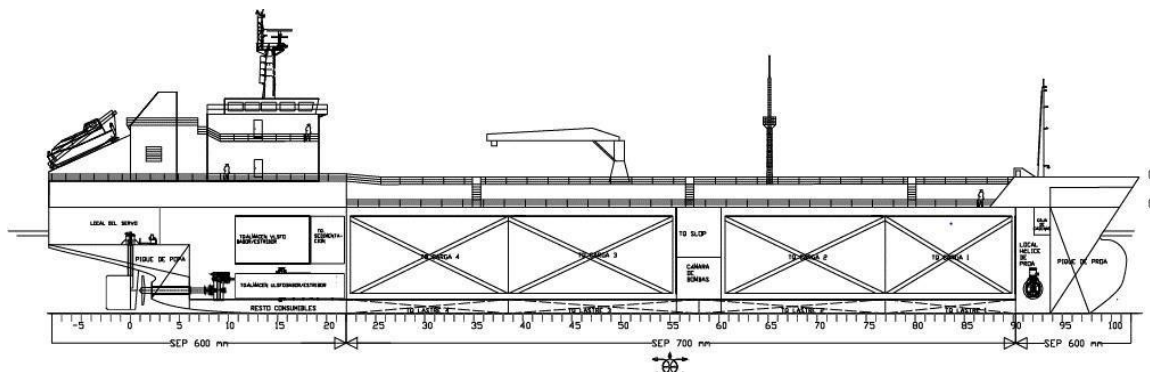
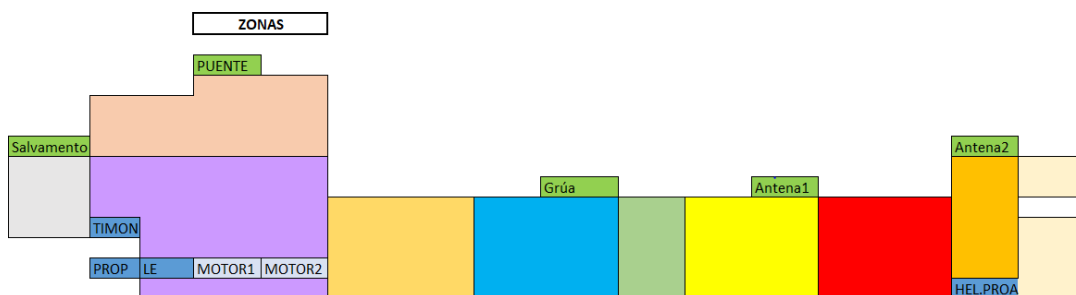


Ilustración 43: Disposición general del buque



|  |              |  |             |
|--|--------------|--|-------------|
|  | De -8 a 3    |  | De 56 a 60  |
|  | De 3 a 22    |  | De 60 a 77  |
|  | Habilitación |  | De 77 a 90  |
|  | De 22 a 38   |  | De 90 a 94  |
|  | De 38 a 56   |  | De 94 a 103 |

Ilustración 44 : División por zonas en anillos en función de las cuadernas



### 7.3.2. Cálculo del número de bloques y pesos

Consultando el TFG 324 [23] encontramos los cálculos del peso de algunas de las partes del buque que pueden darnos una valiosa referencia para el dimensionamiento de los bloques. Estos datos serán fundamentales para llevar a cabo una estimación más precisa de la distribución de pesos a lo largo de la estructura.

|                               |         |
|-------------------------------|---------|
| Peso acero (ton)              | 2341.63 |
| Peso equipos y habilit. (ton) | 420.33  |
| Peso motores (x2) (ton)       | 72      |
| Peso propulsión (ton)         | 244.07  |
| Peso maq. No propulsora (ton) | 127.08  |
| Pertrechos (ton)              | 30      |

**Tabla 5: Tabla con los pesos de algunas partes del buque [23]**

Para dimensionar los bloques que componen la **habilitación**, primero se considera que toda la estructura posee un peso uniforme, por lo que se dividirá en bloques iguales, cada uno con el mismo peso. A la hora de llevar a cabo la división, se debe cumplir con las limitaciones de peso que la grúa puede izar de manera segura (100 ton). Por lo tanto, se ha determinado que la habilitación estará compuesta por 6 bloques de 70 ton cada uno.

En el caso del **espacio de la maquinaria no propulsora**, como de forma individual se excede al máximo permitido por la grúa, se hemos decidido dividirlo en 2 bloques iguales de 63.54 ton cada uno.

El **peso del acero** reflejado en la tabla es el correspondiente al **casco**. Sin embargo, para el cálculo de estos bloques es necesario llevar a cabo un procedimiento de cálculo más laborioso ya que implica realizar un análisis detallado, considerando la distribución longitudinal del peso en cada zona del buque.

Si acudimos al TFG 324 [23] encontramos el cálculo del peso longitudinal continuo promedio real:

$$w_{real} = \frac{W_{acero}}{L} \quad (7.1)$$

Siendo:

- $W_{acero}$  (peso total del acero) = 2341 ton
- $L$  (eslora del buque) = 111 m

$$w_{real} = \frac{2341 \text{ toneladas}}{111 \text{ m}} \approx 21.09 \text{ ton/m}$$

Este dato resulta muy útil para calcular el peso total de cada anillo al multiplicarlo por la eslora del mismo. Después, teniendo en cuenta la geometría de los distintos espacios que forman el anillo, habrá que calcular el peso de cada uno de los bloques.

Estos cálculos, disponibles en el **Anexo 1**, se han hecho en función de las cuadernas anteriormente descritas.

Tras realizar los cálculos, nos han salido un total de **45 bloques**. Se considera un número elevado, pero no ha sido posible reducirlo debido a las limitaciones de peso que las grúas del astillero pueden izar, lo que ha obligado a crear más bloques con un peso menor.

Una vez calculados los pesos en toneladas de cada uno de los bloques, la distribución de los mismos queda de la siguiente manera:

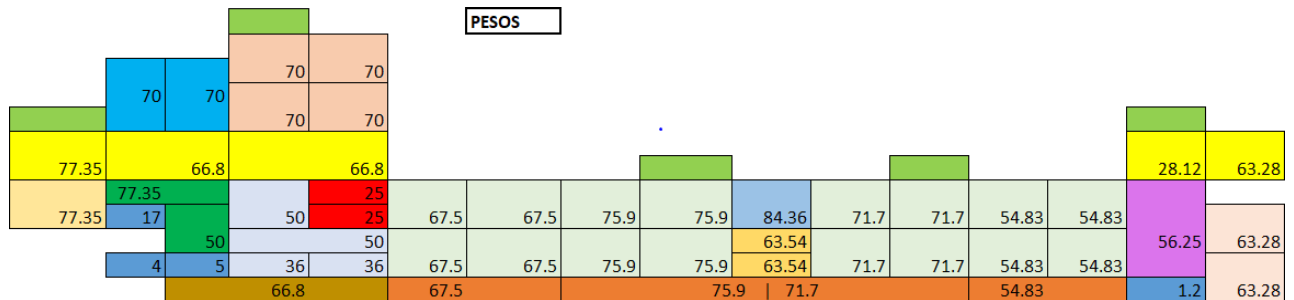


**Ilustración 45 : División en bloques con sus pesos en toneladas**

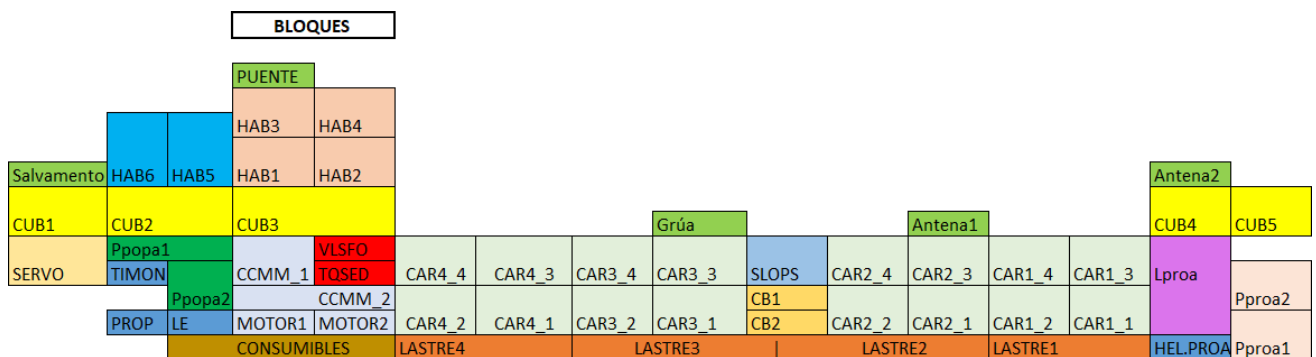


**Ilustración 46 : División en bloques con sus nombres**

### 7.3.3. Otros elementos individuales de especial relevancia

Existen otros elementos individuales que tienen una especial importancia en la construcción del buque, pero no se consideran bloques, ya que no forman parte de la estructura del barco y en la mayoría de los casos, no se fabrican en los talleres del astillero, sino que se adquieren directamente del fabricante, ya contruidos.

Estos elementos son: el timón, la línea de ejes, la hélice de proa, la hélice principal, los motores principales y los pertrechos.

Algunos de ellos sí vienen especificados en el TFG 324 [23], como la hélice de proa, con un peso de 1,2 toneladas, los motores principales, dos unidades de 36 toneladas cada uno y los pertrechos, que se componen de la grúa propia del buque, antenas y los equipos de salvamento, con un peso total de 30 toneladas entre todos ellos. El resto de elementos tienen que ser dimensionados.



### 7.3.3.1. Dimensionamiento de la hélice

Debido a que en el TFG 324 [23] no viene definida la hélice principal, se ha procedido con su dimensionamiento con la finalidad de hallar el dato de los **pesos de la hélice y la línea de ejes**. Los cálculos detallados relativos a este apartado se encuentran en el **Anexo 2**.

Tras la realización de los cálculos, se ha obtenido que la hélice tiene un peso de **4 ton**, mientras que el de la línea de ejes es de **5 ton**.

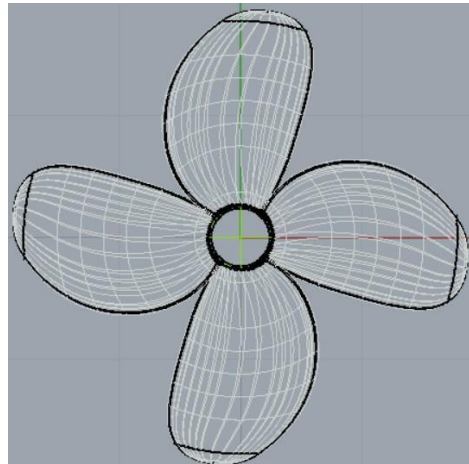


**Ilustración 48: Geometría de la hélice en 3D**

### 7.3.3.2. Dimensionamiento del timón

El objetivo de este apartado es hallar el peso del timón. Para ello, se ha seguido el mismo criterio del PFC- 352 [32].

Se ha utilizado un buque base de la que se disponían los datos del área del timón (80 m<sup>2</sup>) y el peso (195 ton), y a partir de ahí se ha calculado el peso del timón con la siguiente relación:

$$\left( \sqrt{\frac{15,9}{80}} \right)^3 \cdot 195 = 17,2 \text{ ton} \quad (7.2)$$

## 7.4. Tareas

El proyecto de la construcción de un buque se organiza en distintas fases que a su vez se componen de varias **tareas**, las cuales deben suceder en un orden lógico y llevarse a cabo de manera coordinada ya que están relacionadas entre sí.

En este apartado se analizarán las tareas clave que se desarrollarán a lo largo de la construcción del buque asfaltero, desde el diseño conceptual hasta las pruebas previas a la entrega.



### 7.4.1. Diseño

Dependiendo del nivel de detalle que posean y el instante en que se han realizado, en construcción naval, el diseño se puede clasificar en dos tipos: **diseño precontractual** o **post contractual** [9].

A grandes rasgos, si se trata de un diseño **precontractual**, este va a representar las características principales del buque, mientras que el diseño **post contractual** es el que se realiza tras la firma del contrato y profundiza en detalle las exigencias del cliente.

#### 7.4.1.1. Diseño (precontractual)

La fase del diseño precontractual consiste en la elaboración de un **diseño conceptual** que reúna las características fundamentales del buque. Se desarrollará un esbozo preliminar, se acordará la estrategia constructiva a seguir y se planteará un estudio económico básico para comprobar la rentabilidad del proyecto [25].

A continuación, se engloban las tareas correspondientes a la **Ingeniería Básica**. En esta etapa se aumenta el nivel de detalle porque es donde se confeccionan los planos definitivos, se hace la selección de materiales a emplear y se redactan las especificaciones técnicas del buque. En este punto, el diseño ya está bastante avanzado.

#### 7.4.1.2. Diseño constructivo (post contractual)

Tras la firma del contrato, comienza la fase de diseño constructivo, en la cual se trabaja en la **Ingeniería de detalle**, que consiste en la **definición completa y exhaustiva del buque**.

A lo largo de este diseño se generan los planos que incluyen detalles de las estructuras, sistemas eléctricos, sistemas de tuberías, los equipos y su disposición etc.

Además, es en esta etapa donde se redactan las normativas ya que un diseño constructivo es definitivo y cualquier modificación que se realice de aquí en adelante influirá notablemente en el coste total o puede ocasionar retrasos en las tareas, los cuales afectarán a la duración final del proyecto.

### 7.4.2. Compras

El astillero se encarga de **pedir ofertas a los distintos proveedores** para tener acceso a una amplia variedad de materiales de distinto precio, fabricante o lugar de procedencia. Una cuestión importante es establecer una fluida relación comercial con el proveedor habitual para disponer de sus servicios en futuros proyectos.

Tras recibirlas, estas ofertas se deben **analizar meticulosamente**, ya que hay que comprobar que los productos que se van a adquirir son los óptimos en relación calidad/precio. Una vez se ha decidido la mejor opción, se **efectúa la compra**.

Finalmente, para garantizar que el material estará disponible en el momento adecuado, éste será almacenado en un lugar seguro y en buenas condiciones. Es imprescindible disponer de



un buen protocolo de **seguimiento del producto, logística y almacenamiento** en las instalaciones del astillero.

### 7.4.3. Preparar zonas de trabajo

Antes de comenzar la construcción del buque es esencial adecuar el espacio de trabajo:

Es imprescindible **limpiar exhaustivamente** las áreas de trabajo y revisar las instalaciones, especialmente aquellas en las que se vaya a realizar **trabajos con maquinaria pesada**, para evitar accidentes. Hay que prestar especial atención a la **grada**, ya que será el centro de la fase de producción y al encontrarse a la intemperie puede acumular agua, por ello, requiere de una inspección exclusiva del sistema de drenaje.

Cabe destacar que una de las instalaciones más importantes del astillero son los **talleres de fabricación**. Deben contar con una correcta distribución del espacio respecto a las distintas tareas que pueden albergar. Es de vital importancia **revisar las herramientas** para evitar accidentes o problemas durante su uso.

Para terminar, cuando se haya recibido el material, es recomendable organizarlo en función de su utilización a lo largo del proyecto. Para cumplir con esta misión existen **equipos de coordinación de recursos** para proveer estos materiales en el instante preciso.

### 7.4.4. Corte, plegado y fabricación de previas de los bloques

En esta etapa suceden los procesos necesarios en la elaboración y conformado del material utilizado en la construcción de la estructura del buque [26].

Se llevan a cabo dos procedimientos:

#### 1. Elaboración y Conformado del Acero

El acero se prepara para ser conformado y posteriormente utilizado en la construcción de las diferentes partes del barco:

- **Planchas:** Son las piezas planas de acero que se cortan y conforman en los talleres de fabricación. Deben cumplir con el diseño especificado en los planos de acero.
- **Perfiles:** Se trata de vigas de acero de distintas formas tales como en L, H, T o U. Añaden resistencia adicional a zonas expuestas a grandes esfuerzos, por ejemplo, los costados, el fondo o el doble fondo.
- **Polines:** Estos elementos de soporte solo se incorporan en ciertas zonas donde se necesite especialmente una mayor resistencia.

#### 2. Fabricación de Previas

Estos subconjuntos estructurales se fabrican con antelación en los talleres de forma individual para que el posterior ensamblaje sea más rápido:



- **Preparación de las planchas:** Una vez se ha terminado el conformado, las planchas de acero pasan un proceso de preparación para a continuación, añadirlas los refuerzos.
- **Soldado de refuerzos:** El último paso consiste en soldar los refuerzos a las planchas para que así tengan rigidez adicional.

#### 7.4.5. Bloques

Como se desarrolló en el *Capítulo 2*, para facilitar su construcción, los buques se dividen en bloques. En este apartado se detallarán las tareas que intervienen en el ensamblado y montaje de los mismos [10]:

**-Ensamblado de los elementos de cada bloque:** Cuando ya se tienen preparadas las previas correspondientes a los distintos elementos del bloque, estas se ensamblan en los talleres.

**-Transporte y montaje de bloques en grada:** Una vez que se hayan ensamblado cada uno de los elementos, las estructuras completas de los bloques se trasladan a la grada para ser montadas.

En los astilleros de Armón se realiza en general poco prearmamento. Una vez que los bloques han sido ensamblados en los talleres, se trasladan directamente a la grada para su montaje, y es en ese lugar donde se realizará finalmente el armamento.

El motivo de esto es que, como se puede observar en la **Ilustración 49**, los talleres de fabricación de bloques están ubicados al otro lado de la calle. Si tuvieran que transportar los bloques completamente contruidos, sería necesario interrumpir el tráfico de esa calle durante un tiempo, varios días, lo que causaría grandes molestias. Además, este proceso implicaría un mayor consumo de tiempo en transporte.

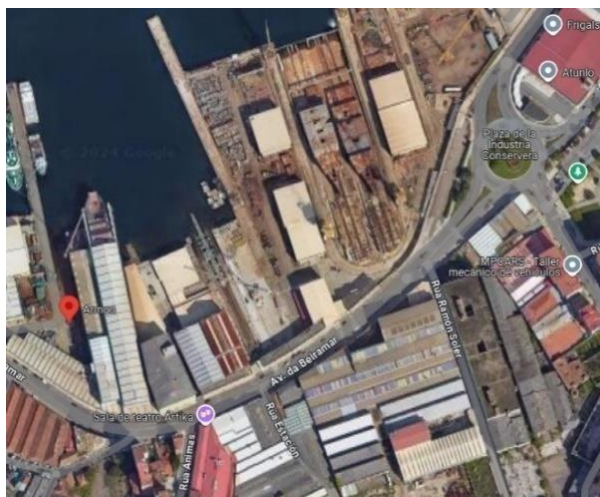


**Ilustración 49 : Astillero Armón Ría de Vigo**

**-Armamento 1 (A1):** Como se expuso en el *Capítulo 2*, en la **fase A1** debe incorporarse todo el armamento que suponga trabajos en caliente. Tras ello, se efectúan las labores de Chorro y Pintura.



**-Chorro y pintura:** Es un proceso muy importante para el mantenimiento y la protección de superficies metálicas en la industria naval. Se emplea principalmente para proteger la estructura de la corrosión y el desgaste del medio marino. Las tareas que se realizan dentro de esta actividad son las siguientes:

- Montaje de andamios
- Pintar
- Desmontar andamios

Este proceso se realiza en cada uno de los anillos del buque.

**-Armamento 2 (A2):** En esta fase se incorpora el resto de armamento del bloque. Únicamente deben realizarse tareas que no impliquen procesos térmicos debido a que de ser así se quemaría la pintura.

#### 7.4.6. Instalación de otros equipos

Durante la construcción de un buque, además del montaje de la estructura, se realiza la instalación de **equipos auxiliares y otros sistemas no estructurales** que son indispensables para el funcionamiento del buque. Entre estos equipos se encuentran los sistemas de propulsión, navegación, comunicación o salvamento. Algunos de estos sistemas están relacionados entre sí o el orden de su montaje depende del tamaño, por eso, la planificación de la instalación requiere especial atención.

A continuación, se propone un orden para la instalación de estos equipos en el buque. Esta organización se ha hecho asegurando que los equipos de mayor tamaño se instalen primero, ya que requieren el acceso sin obstáculos, dejando otros sistemas para etapas más avanzadas de la construcción:

- **Montaje de la maquinaria propulsora:** Debe instalarse en las primeras fases de la construcción, ya que estos equipos son grandes y pesados, por lo tanto deberán colocarse antes que otros sistemas que puedan bloquear el acceso.
- **Línea de ejes :** Se incorpora una vez esté instalada la maquinaria propulsora.
- **Hélice:** Una vez instalada la línea de ejes, se incorpora las hélice, la cual está acoplada a una reductora conectada a los motores principales.
- **Hélice de proa:** Se instala después de la hélice, ya que está conectada a los sistemas de propulsión.
- **Montaje de los equipos eléctricos:** Estos equipos se instalan una vez que los sistemas mecánicos principales estén en su posición.
- **Montaje del sistema de gobierno:** Se instala después de que la propulsión y cuando los sistemas eléctricos estén en su lugar correspondiente, ya que necesita estar conectado a red eléctrica.
- **Montaje de palos de comunicaciones:** Son instalados cuando se hayan terminado de montar las cubiertas y la superestructura.
- **Grúa:** Se instala una vez que se hayan completado las cubiertas.



- **Sistemas de Navegación y comunicación:** Se instalan después de la incorporación de los palos de comunicaciones ya que requieren conexiones eléctricas y acceso a ellas.
- **Sistema de fondeo y amarre:** Se deben instalar al finalizar la construcción y el armamento. Estos equipos se encuentran en proa y/o popa y su montaje ya no interrumpe directamente a ningún otro sistemas.
- **Equipos de salvamento:** Este conjunto de equipos está formado por los botes salvavidas y otros elementos de emergencia. Es lo último en instalarse, ya que no perjudica a otros sistemas y además son colocados en zonas concretas del buque.

#### 7.4.7. Botadura

La botadura es el proceso de lanzar por primera vez al agua el buque recién construido. Se considera el fin de la construcción y por lo tanto, también se dejará de usar la grada. Durante esta etapa se realizan ciertas tareas de especial importancia [10]:

Antes del lanzamiento, se revisa que el casco esté en condiciones óptimas, para ello, es necesario realizar **verificaciones de estanqueidad**.

La botadura de un buque se puede realizar mediante varios métodos, bien sea por deslizamiento en rampa, lateral, por flotadura... Independientemente del sistema utilizado, lo más importante es **monitorizar los movimientos** del buque y tras esto, se desmontan los andamios y otras **estructuras temporales de apoyo**.

Por último, tras finalizar la botadura comienza la fase de pruebas (*Apartado 7.4.8*) Durante esta etapa se evalúa el rendimiento del buque, se efectúan los últimos ajustes y se incorporan los equipos restantes.

#### 7.4.8. Pruebas

El objetivo de la fase de pruebas es verificar que un buque recién construido está en condiciones óptimas para navegar. Hay dos tipos de pruebas [9]:

-**Pruebas de puerto:** Son previas a las pruebas de mar y se llevan a cabo mientras el barco está en puerto ya que en ellas lo que se examina son ciertos sistemas que no necesitan que el buque esté navegando.

-**Pruebas de mar:** Como se trata de certificar el rendimiento del buque en condiciones de mar, se deben realizar la primera vez que el buque navega.

### 7.5. Secuenciación y dependencia de las tareas. Generación del Diagrama de Gantt

En la planificación de un proyecto, una buena estructuración de la **secuencia, las dependencias y la duración de las tareas** es clave para garantizar el éxito del mismo. Estas variables son fundamentales para la **generación del diagrama de Gantt**.



El **diagrama de Gantt** es la herramienta que permite elaborar y visualizar la planificación de un proyecto representando las tareas con su duración y su secuencia en el tiempo. Permite identificar los vínculos entre tareas, los plazos y posibles solapamientos. Es útil tanto para la planificación como para el seguimiento del avance del proyecto, ya que ofrece una visión clara del estado actual de las tareas, ayuda a controlar el cumplimiento de los plazos y la gestión de recursos.

A continuación, se describen detalladamente las diferentes etapas representadas en el diagrama de Gantt:

### 7.5.1. Ingeniería

El primer grupo de tareas que encontramos son las involucradas en el **Diseño Precontractual**, con una duración total de 40 días, comenzando el mismo día de inicio del proyecto (1/01/2025) y finalizando el día de la **Firma del Contrato** (25/02/2025).

Tras el hito de la Firma del Contrato, comienzan simultáneamente la fase de **Ingeniería de Detalle y la Dirección del proyecto**. Ambas tareas tienen una duración total de 300 días finalizando el 14/04/2026, 10 días antes de la Botadura.

### 7.5.2. Compras

Un mes después del inicio de la Ingeniería de detalle, se comienza con las compras de material. En estos 221 días, se engloban las tareas de **estudio de ofertas** y la **recepción de materiales y equipos**.

La adquisición de equipos principales y el resto de compras se realizarán en los días previos a su instalación para evitar saturar los almacenes del propio astillero.

El mismo día en que se inicia el **estudio de las ofertas** (6/03/2025), se empieza a **preparar la zona de trabajo**, donde se llevan a cabo las tareas de revisión de las instalaciones y herramientas y la preparación de los materiales. Esta etapa tiene una duración de 6 días en total, dando lugar al hito de inicio de corte de chapa (22/04/25).

### 7.5.3. Producción

Como se calculó en el *apartado 7.3.2.*, el buque se compone de **45 bloques**. Es sabido que es un número elevado y que debido a las limitaciones de las grúas, no se pudo reducir más. Este hecho es también un reto a la hora de realizar la planificación de su producción porque debemos fabricarlos y ensamblarlos en el menor tiempo que sea posible y utilizando únicamente los espacios del astillero disponibles.

La estrategia elegida consiste en dividir la producción en distintas fases. En cada fase se fabricará, ensamblará y realizará el armamento del anillo o anillos correspondientes a la misma.

Dependiendo del peso o tamaño de los bloques que constituyen esos anillos, cada fase estará comprendida de uno, dos o tres anillos de forma que en cada fase se trabajen 10 bloques como máximo. En la **Tabla 6** quedan resumidas las fases y los anillos que las componen.



| FASE   | ANILLOS      |
|--------|--------------|
| Fase 1 | De 22 a 38   |
|        | De 38 a 56   |
| Fase 2 | De 56 a 60   |
|        | De 60 a 77   |
|        | De 77 a 90   |
| Fase 3 | De 90 a 94   |
|        | De 94 a 103  |
| Fase 4 | De 3 a 22    |
|        | De -8 a 3    |
|        | Cubiertas    |
| Fase 5 | Habilitación |

**Tabla 6: Fases de la producción con sus anillos correspondientes**

Al inicio de cada una de las fases, habrá una etapa de **Corte, Plegado y Fabricación de previas** con una duración de 30 o 40 días, según el tamaño de los anillos.

Diez días después de la incorporación y soldado de los refuerzos, se comienza con el **ensamblado de los elementos de los bloques**, que durará entre 25 y 35 días por bloque, dependiendo del tamaño y lo elaborado que sea.

En el caso de la **Fase 1**, al ser la primera, sus 10 bloques correspondientes se pueden empezar a ensamblar a la vez (14/05/2025). Esto puede llevarse a cabo debido a que el taller está dividido en dos partes diferenciadas y en cada una de ellas se trabajará con 5 bloques.

Una vez se haya finalizado el ensamblado de un bloque, este debe ser trasladado a la grada. En el caso de que su montaje en grada no pueda realizarse inmediatamente después de su transporte porque en la secuencia de montaje le preceden otros bloques que aún no se han terminado de ensamblar, este permanecerá en el **Almacén de Bloques** hasta que sea su turno.

Según sea transportado un bloque a la grada o al almacén, inmediatamente se iniciará el ensamblado del bloque correspondiente a la fase siguiente en la misma posición donde se encontraba el bloque transportado. Este mismo procedimiento se realiza para todas las Fases.

Como ejemplo del funcionamiento de esta estrategia de organización, en la **Tabla 7** se resumen las fechas en las que los bloques de la Fase 1 abandonan el taller de fabricación y los bloques de la Fase 2 comienzan a ensamblarse.



| FASE 1   | FECHA TRANSPORTE | FASE 2    |
|----------|------------------|-----------|
| LASTRE_4 | 11/06/2025       | CB1 y CB2 |
| LASTRE_3 | 11/06/2025       | LASTRE_2  |
| CAR4_2   | 18/06/2025       | CAR2_2    |
| CAR3_2   | 18/06/2025       | CAR2_1    |
| CAR3_1   | 19/06/2025       | CAR2_4    |
| CAR3_4   | 19/06/2025       | CAR2_3    |
| CAR4_1   | 25/06/2025       | LASTRE_1  |
| CAR4_3   | 25/06/2025       | CAR1_2    |
| CAR4_4   | 26/06/2025       | CAR1_1    |
| CAR3_3   | 26/06/2025       | CAR1_4    |

**Tabla 7: Bloques terminados de la FASE1 y bloques a ensamblar de la FASE 2**

Llegado a este punto, es importante destacar que el hito de la **Puesta de Quilla** sucede antes de que el primer bloque sea transportado a grada (10/06/2025).

Siguiendo con las **Fases 2 y 3**, una vez que se haya finalizado el Armamento 2 del Anillo 94-103 (Fase 3), se hace un inciso en la fabricación y ensamblado de nuevos bloques porque tiene lugar la **recepción de los motores principales** (17/10/2025), seguido por el montaje de los mismos, el montaje del túnel de la hélice, y el montaje de la línea de ejes. Durante este periodo se ha preferido no continuar con la fabricación de los bloques de la Fase 4 porque al no poder montarse en grada antes que los equipos de propulsión, si su ensamblado finaliza antes, estos deberían permanecer a la espera, saturando tanto el taller como el almacén de bloques.

Por este motivo, es preferible posponer el inicio de la fabricación de los bloques de la **Fase 4** hasta el 10/09/2025. Además, en la Fase 4 ocurrirá lo mismo que en la 1, todos los bloques comenzarán a ensamblarse el mismo día (14/10/2025).

Cuando ya se haya terminado el Armamento 2 de la Habilitación (Fase 5), se procede con el montaje del timón, los equipos de gobierno, la instalación de los palos de comunicación, la grúa de cubierta, la incorporación de los sistemas de navegación y comunicación, el sistema de fondeo y los equipos de salvamento, **finalizando el día de la Botadura** (24/04/26).

Finalmente, tras la Botadura y la realización de las pruebas de puerto y mar (12/05/2026-26/05/2026), concluimos el diagrama de Gantt con la **Entrega del buque el 26/05/2026**.

Para concluir este apartado, debido a la secuenciación de la planificación, **la duración total del proyecto es de 665 días**.

El diagrama de Gantt completo se encuentra en el **Anexo 5**.

## Capítulo 8

# Importación de geometría y diagrama de Gantt en Synchro 4D y generación de animaciones

### 8.1. Introducción

El objetivo de este capítulo es generar una animación que represente el progreso de la construcción del buque en función de la variable temporal del proyecto. De esta forma, se visualizará una representación completa aplicada de la metodología **BIM**.

Para ello, primero se debe **descomponer el modelo 3D** en los bloques correspondientes, ya calculados en el *Apartado 7.3.2.* y a continuación, mediante la herramienta Synchro 4D se creará la animación asociando la geometría 3D y el Diagrama de Gantt.

### 8.2. Obtención del archivo 3D descompuesto en bloques y añadir algunos equipos principales

El archivo 3D original únicamente representa la estructura del buque, sin incluir otros elementos esenciales para un análisis completo. Esta limitación implica que el modelo, en su estado inicial, solo proporciona una visión parcial del buque, centrada en su arquitectura y por ello, requiere varias modificaciones para ajustarse a las necesidades de este proyecto.

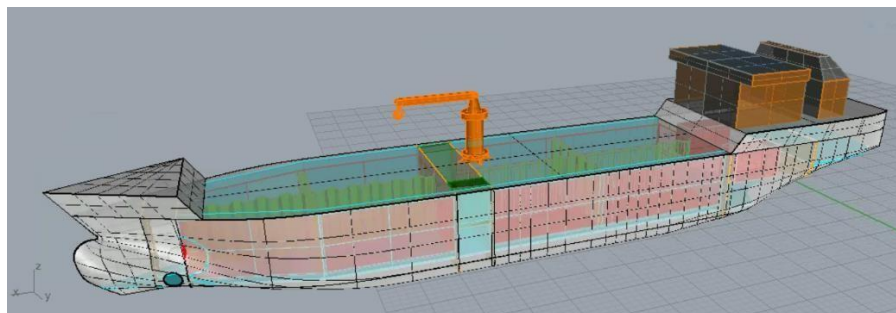


Ilustración 50: Modelo 3D original

La principal modificación a realizar es la descomposición del buque en bloques en función del criterio determinado en el *Apartado 3.2. del Capítulo 7.*

Primero, se ha creado en la coordenada 0,0 un plano vertical de referencia (color rosa) para indicar el origen. A continuación, se han construido planos verticales paralelos al 0,0 (en color amarillo) para establecer los límites de la división en anillos tal y como se explicó en el *Apartado 3.1 del Capítulo 7.*

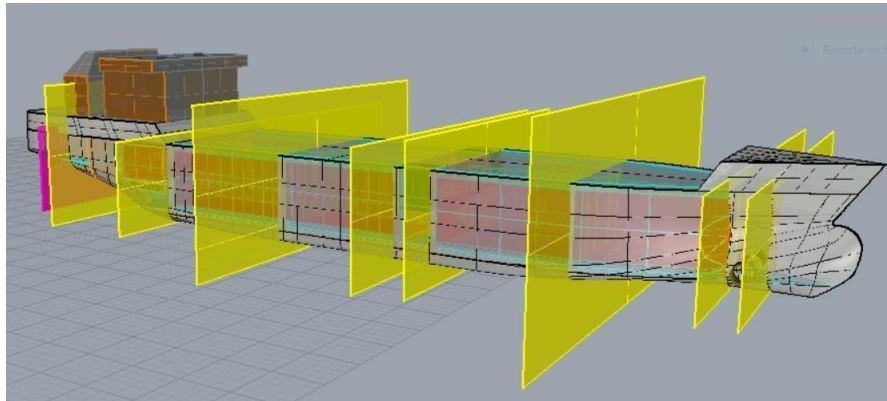


**Ilustración 51: Plano 0,0 y planos de división en anillos**

Después, se han creado distintos planos horizontales paralelos al eje x para definir los límites de los bloques de cada anillo.

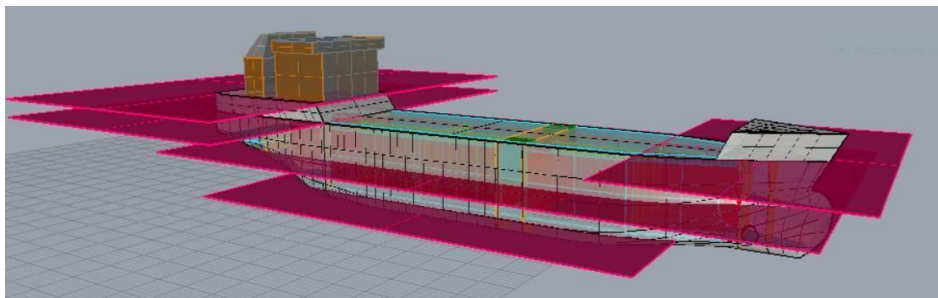
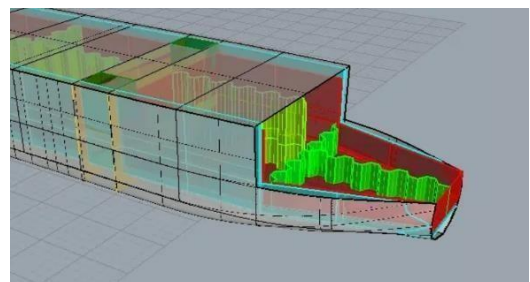
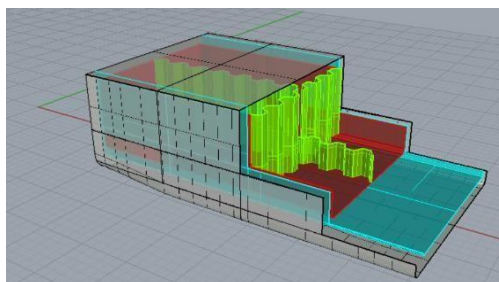


**Ilustración 52: Planos horizontales para la definición de bloques**

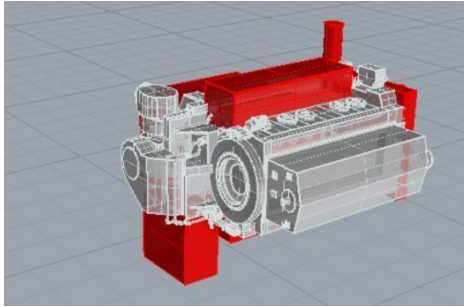
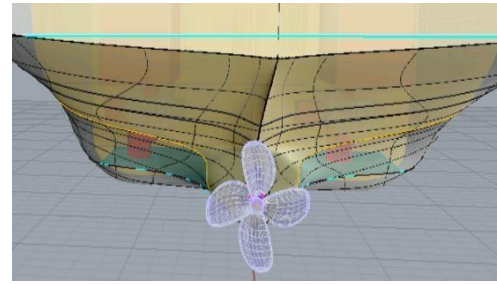
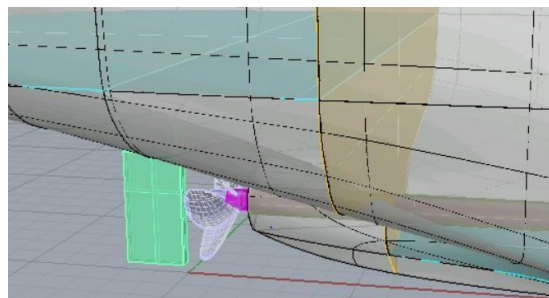
Posteriormente, con la función *trim* de Rhinoceros, se dividen las superficies para definir los elementos que formarán cada bloque.

Para conformar y organizar los bloques, se debe crear una capa principal para cada bloque, y dentro de ella, subcapas independientes para cada elemento.

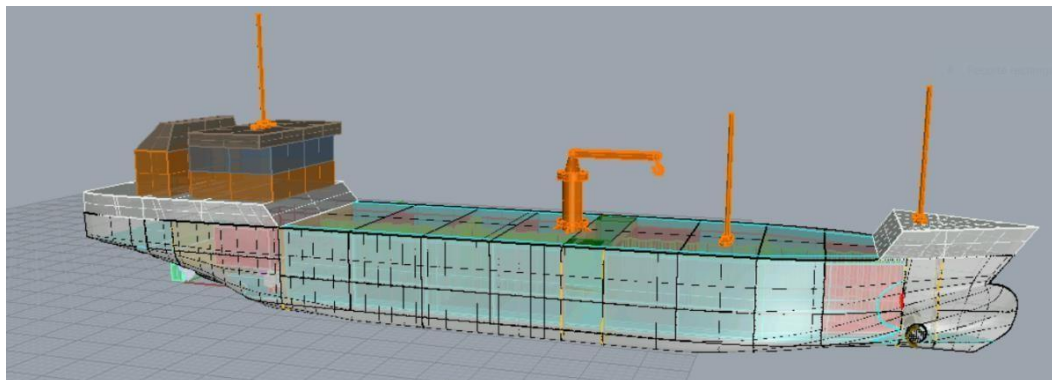


**Ilustraciones 53 y 54: Definición de bloques**

Además, en el modelo original faltaban elementos importantes como la hélice, la línea de ejes, los motores, el timón y las antenas de comunicación, los cuales han sido incorporados.

**Ilustración 55: Motor MAN 6L27/38, 800 rpm****Ilustración 56: Hélice****Ilustración 57: Timón, hélice y línea de ejes**

Por último, se ha creado una capa independiente de Rhino para las cubiertas (en color gris) con el objetivo de que al importarlas a Synchro se puedan diferenciar bien del casco.

**Ilustración 58: Modelo 3D final**

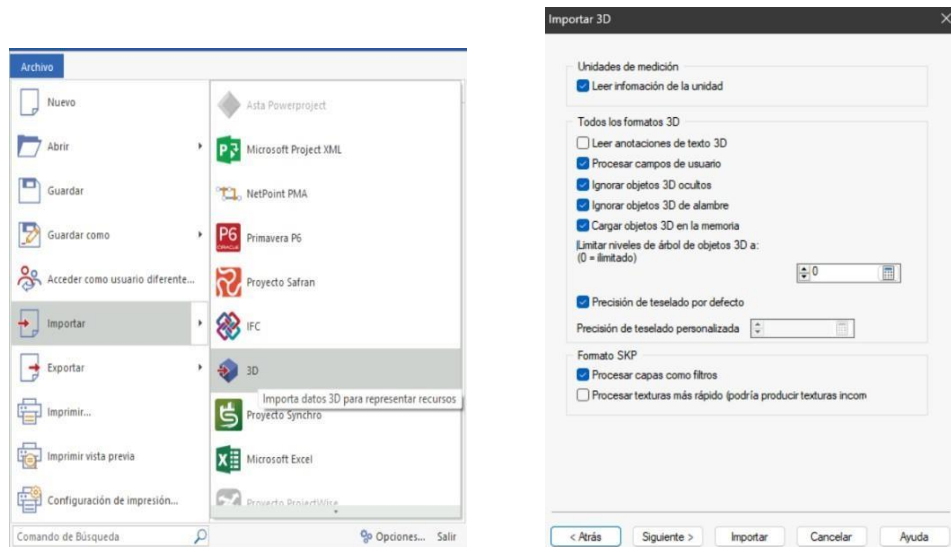
### 8.3 Importación de la geometría y el diagrama de Gantt en Synchro 4D

Antes de llevar a cabo este paso, es necesario tener en cuenta previamente los siguientes aspectos sobre la geometría a importar:

- Es importante asegurarse de que cada bloque esté en su capa correspondiente y que los elementos que forman el bloque se encuentren en subcapas independientes.
- Para evitar fallos al importar la geometría, es recomendable unir las superficies que se puedan del casco, doble fondo, los espacios de carga y la superestructura. En el caso de producirse esos fallos, Synchro lo señala con un aviso relativo a problemas de continuidad de las superficies.



Si se va a utilizar un fichero en formato 3DM hay que importarlo con la función “Importar 3D” y marcar las casillas correspondientes en función de los elementos que se quieran visualizar.



**Ilustraciones 59 y 60: Importación de la geometría**

Finalmente, tras hacer clic en importar se podrá visualizar la geometría del buque.

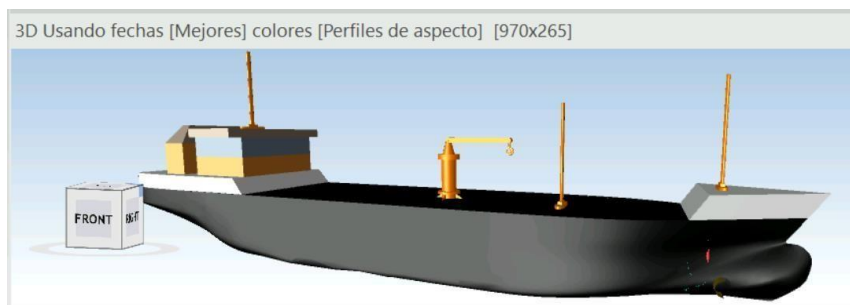
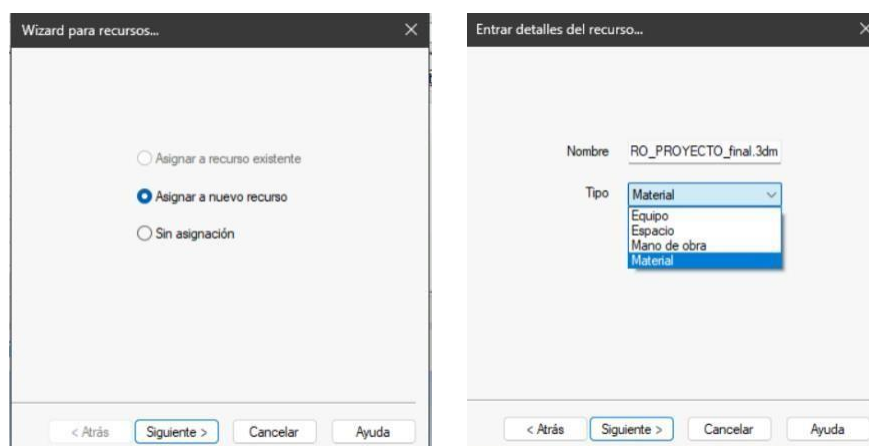


**Ilustración 61: Geometría 3D importada en Synchro**

A continuación, se deben importar los recursos. En pantalla aparecerán las ventanas que se muestran en las **Ilustraciones 62 y 63**. Es importante indicar que la geometría es un recurso de material, ya que son los elementos físicos que constituirán el buque.



**Ilustraciones 62 y 63: Importación de la geometría**



Para organizar los recursos importados hay **cuatro opciones**:

- Si en la geometría importada no hay subcapas con otros elementos, es recomendable marcar la **primera o la segunda** configuración, ya que no sería necesario organizarlos en forma de árbol.
- En el caso de este proyecto, al tener bloques constituidos por elementos individuales, se ha decidido la organización en árbol. Se puede hacer marcando la **tercera** opción o la **última**, creando un árbol personalizado.

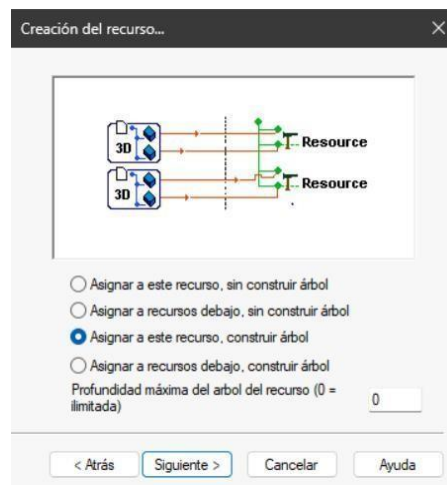
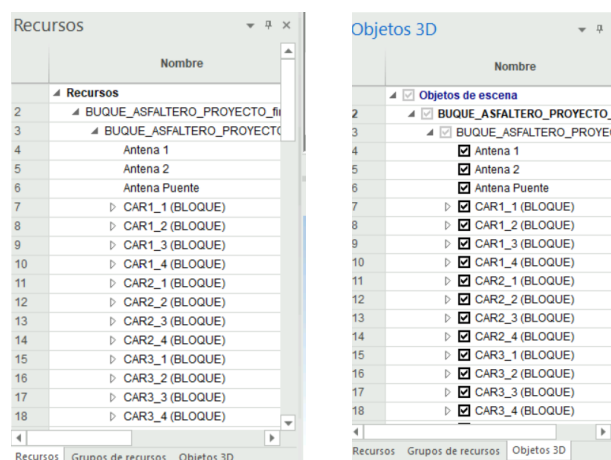


**Ilustración 64: Organización de los recursos importados**

Al importar los recursos, en pantalla podemos ver dos ventanas de trabajo: **los objetos 3D y los recursos**.

- Los **objetos 3D** tienen la misma función que las capas de Rhinoceros. Permiten ocultar o visualizar las distintas partes de la geometría.
- Los **recursos** son los que podrán asociarse a las tareas cuando se haya importado el diagrama de Gantt. Además de estos recursos se pueden crear otros manualmente.



**Ilustraciones 65 y 66: Ventanas de Recursos y Objetos 3D**

Por último, importamos el diagrama de Gantt que previamente se ha hecho en Microsoft Project, pero en **formato XML**.

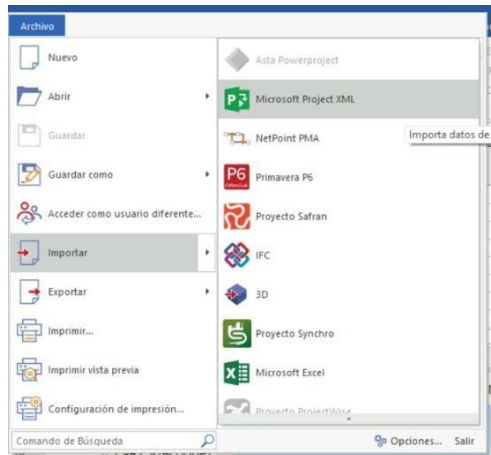


Ilustración 67: Importación del diagrama de Gantt

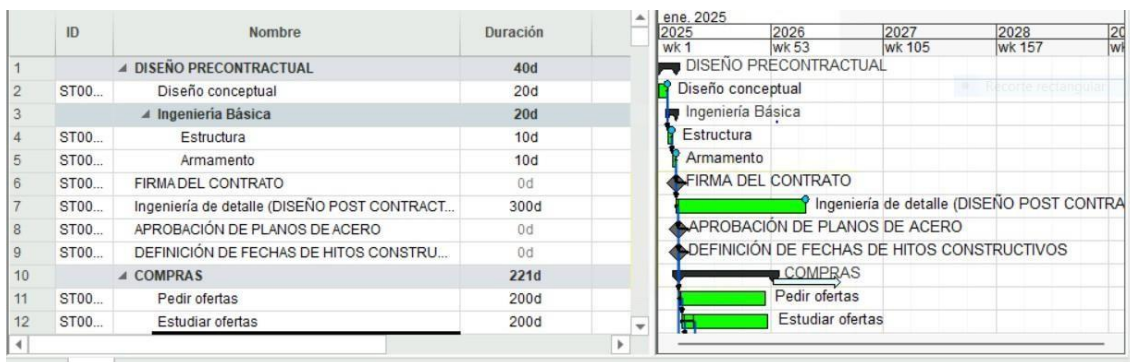


Ilustración 68: Diagrama de Gantt importado

Si observamos la ventana de “**Recursos**”, veremos que se han incorporado aquellos que se determinaron en el fichero de Project. Habrá que clasificarlos según su categorías: **Material, equipo, mano de obra o espacio**.

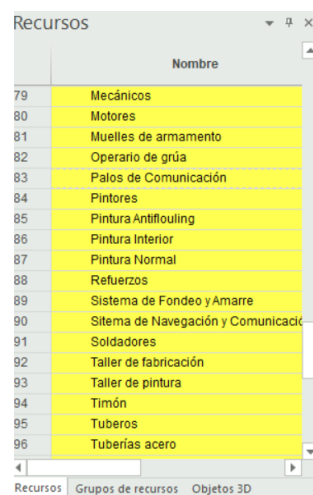


Ilustración 69: Recursos del diagrama de Gantt



## 8.4. Asociación de los elementos geométricos a las tareas y otros recursos

Tras la importación de la geometría y el cronograma, procedemos con la vinculación de los recursos a las tareas.

Primero, se seleccionan la tarea y el recurso que se desee asociar. Se pulsa el botón derecho del ratón sobre la tarea y a continuación, hacer clic en la función “asignar recurso seleccionado”. A la derecha de la ventana principal, se encuentra la ventana “**Propiedades de la tarea**”, donde aparecerá que ese recurso está correctamente asociado a la tarea seleccionada.

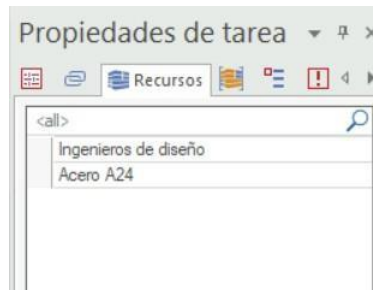


Ilustración 70 : Ventana propiedades de la tarea

## 8.5. Generación de animaciones

Una vez vinculada la geometría con las tareas y tras realizar la asignación de recursos, se procede con la generación de la animación del progreso de la construcción.

Si se quiere visualizar la animación desde Synchro, únicamente hay que acudir al apartado de **Revisión 4D** y reproducirla.



Ilustración 71: Apartado Revisión 4D

Pero en el caso de querer descargar un video con la animación, en la pestaña “**Navegador**”, se encuentra la función “**Animación**”, con la cual se puede exportar un video donde se visualizará el progreso de la construcción en 3D, junto con el diagrama de Gantt y la línea temporal.



Ilustración 72 : Apartado Navegador





# Capítulo 9

## Seguimiento de la ejecución del proyecto. Método de valor ganado

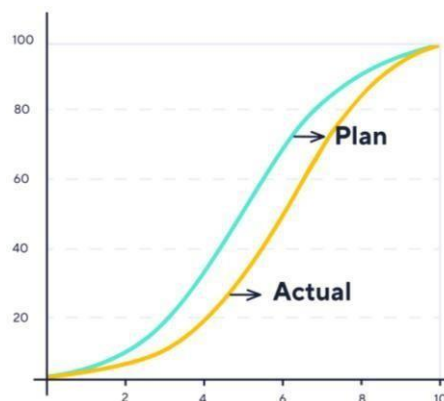
### 9.1. Introducción

Una vez que se dispone de la planificación completa de un proyecto, con los recursos asociados a cada una de las tareas, y los costes correspondientes a los recursos, ya puede **ejecutarse el proyecto**.

En este capítulo se estudiará mediante una simulación la ejecución y seguimiento del proyecto del buque asfaltero, con la finalidad de identificar los posibles problemas a tiempo, ya que para que un proyecto resulte exitoso su ejecución debe estar dentro del presupuesto, las fechas indicadas y cumplir con los objetivos definidos.

### 9.2. Método de valor ganado.

Según el PMI (Project Management Institute) con el Método de Valor Ganado “se compara la cantidad de trabajo que esté **completada** en un instante concreto, con el trabajo **planificado antes del comienzo del proyecto**” [24].



Gráfica 9.1 : Curvas Método de Valor ganado [34]

Con este método, podemos determinar si el **costo**, el **cronograma** o el **trabajo realizado hasta cierto instante** están llevándose a cabo de acuerdo con lo planeado. Es decir, podemos controlar la ejecución del proyecto a través de un cronograma de trabajo y un presupuesto [34]. La gran ventaja de aplicar esta técnica es que **con tres curvas S** que representen **el avance**, el **costo real** y la **programación**, se pueden obtener distintos índices que nos permiten administrar el riesgo del proyecto [24].

Es importante tener en cuenta de que con esta técnica es posible estimar el tiempo y el costo total del proyecto si se cumplen todas las **condiciones con las que se elaboró su planificación**.

Para llevarlo a cabo, previamente se debe disponer de la siguiente información [34]:



- Un **diagrama de Gantt** con el orden de secuencia de las tareas.
- **Costo presupuestado del trabajo planificado** o valor planificado (PV).
- **Costo presupuestado del trabajo realizado** o valor ganado (EV).

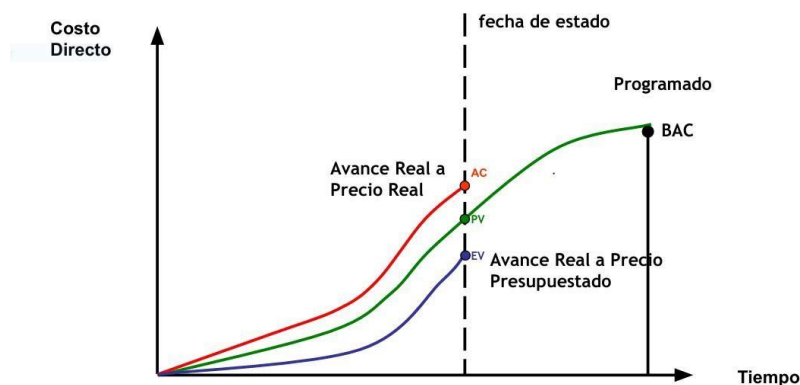
### 9.3 Curvas S

Utilizando la definición de la empresa desarrolladora de software de gestión de proyectos **Wrike**, “la curva S es un gráfico matemático que representa datos acumulativos relevantes para un proyecto, como el costo o las horas de trabajo, en relación con el tiempo.” [34]

Dentro del área de la gestión de proyectos, son ampliamente utilizadas para hacer el seguimiento del progreso de un proyecto garantizando que su desarrollo cumpla con el cronograma y esté dentro del presupuesto establecido. Son fundamentales para evaluar los siguientes aspectos:

- **La gestión del presupuesto:** Observando la curva se puede predecir cómo los costos se van acumulando a lo largo del proyecto, permitiendo planificar anticipadamente la administración económica del mismo.
- **Seguimiento del rendimiento:** Para ello hay que comparar el progreso real con el planteado en la curva. De esta manera, se puede controlar si las tareas se están llevando a tiempo.
- **Gestión de riesgos:** Gracias a ella, se pueden detectar posibles retrasos, pérdidas o problemas que puedan suceder con el presupuesto.

En la **Gráfica 9.2.** se observan tres curvas S que representan diferentes parámetros [24]:



**Gráfica 9.2. : Representación de tres curvas S**

La **curva azul, EV (Earn Value)**, es la que representa el avance real a precio presupuestado, es decir, el Valor Ganado, mientras que la **curva roja (AC)** refleja el avance real a precio real, que es el costo actual del proyecto en la fecha de estado.

Asimismo, como se puede ver en la **curva verde, PV (Plan Value)**, es la que expresa el Valor Programado, siendo este el valor presupuestado en la fecha de estado. Esta curva se

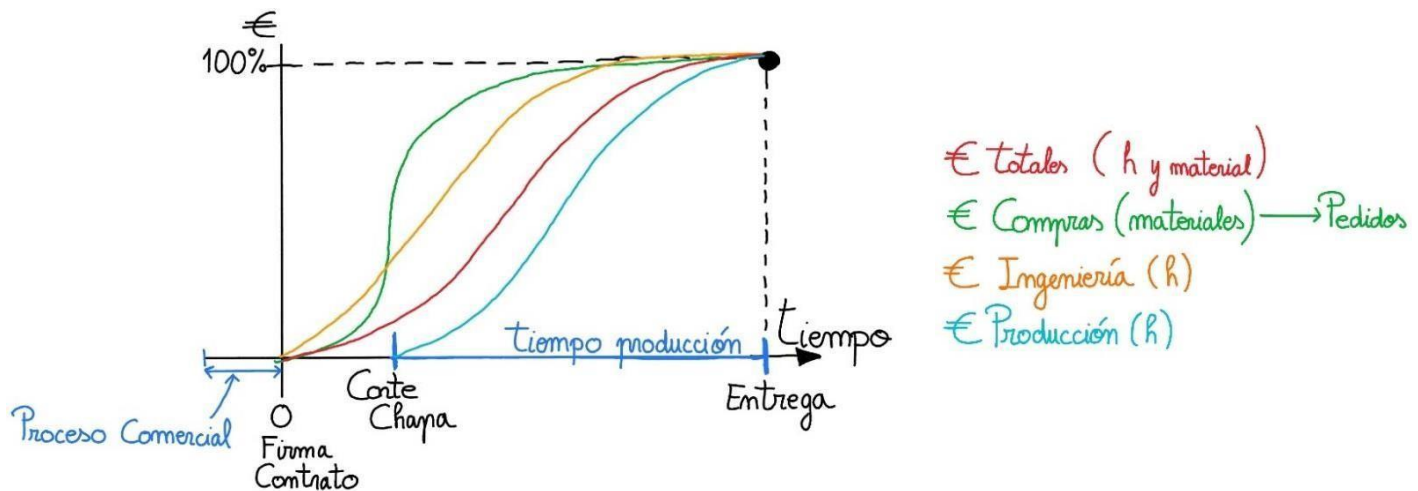


prolongará hasta el final del proyecto concluyendo en el punto BAC (Budget at Completion), siendo este el presupuesto final que, por lo tanto, se define como el costo total programado.

## 9.4 Curvas S típicas de un astillero español

El diagrama de seguimiento de un astillero español tiene apariencia de **curvas en S**.

Como se puede observar en la **Gráfica 9.3.**, la contabilización del costo en función del tiempo comienza a partir del Hito de la Firma del Contrato, ya que previo a ello, se llevan a cabo los procesos comerciales y la Ingeniería Básica.



**Gráfica 9.3 : Curvas S típicas de un astillero español [24]**

Tras la Firma del Contrato, en las etapas iniciales del proyecto el crecimiento suele ser lento. Entre la Firma del Contrato y el inicio de la producción (Corte de Chapa) se encuentran las tareas involucradas en la Ingeniería de detalle (curva naranja) y las compras (curva verde), que suelen ser actividades que progresan lentamente.

Una vez que ha sucedido el Hito de Corte de Chapa, que simboliza el inicio de la etapa de producción, el crecimiento es más rápido, generando en el gráfico una pendiente ascendente en forma de "media S". En este punto de inflexión donde se produce el máximo crecimiento se está trabajando intensamente en la construcción.

Posteriormente a este punto, el crecimiento vuelve a ralentizarse y se estabiliza, dando lugar a la mitad restante de la S. Esto significa que el proyecto ya está terminado y se ha utilizado el 100% del costo presupuestado.

## 9.5 Seguimiento de la ejecución del proyecto del buque asfaltero

Para llevar a cabo el seguimiento de la ejecución de este proyecto, lo primero es establecer una **línea base**, que es "*una imagen de lo que se haya planificado hasta el momento y nos proporciona la información sobre cuáles son los puntos de referencia con los que se podrá comparar el avance real del proyecto.*" [24] El rendimiento del proyecto se debe controlar regularmente para identificar posibles desviaciones con respecto a la planificación original.



En este proyecto, la línea base se ha establecido a partir de la identificación de las siguientes **desviaciones** durante el seguimiento y control del proyecto:

1. Por un error en la especificación de los materiales, las compras del acero sufren 60 días de retraso.
2. Durante la Etapa de Corte, Plegado y Fabricación de previas de la FASE 2, los caldereros se ponen en huelga durante 10 días (2 semanas de trabajo).
3. El Bloque LASTRE 4 tiene un fallo que debe ser reparado antes del montaje en grada. Debido a eso, el inicio del montaje en grada FASE 1 se retrasará 5 días.
4. El bloque Proa1 (FASE 3) se ha ensamblado mal y hay que repetirlo. Esto no es muy probable, pero es por ver el impacto que tiene repetir un bloque.
5. Por un problema de la subcontrata, las tareas de chorro y pintura del Anillo 38-56 se retrasan 3 días.
6. Los andamios piden un aumento de sueldo a 50€/h y se lo concedemos.
7. Por problemas con los equipos de soldadura, el Armamento 1 del Anillo 60 -77, irá con 4 días de retraso.
8. Algunas tuberías instaladas en el Anillo 77-90 durante el Armamento 2 de ese anillo estaban defectuosas. Debido a este hecho, se produce un retraso de 7 días en la tarea Armamento 2 de ese anillo.
9. Se pidió un pequeño ajuste en los motores principales. Eso conlleva un gasto extra de 20.000€ y 80 días de retraso.
10. En el bloque PUENTE ha habido problemas dimensionales con algunas previas que ha habido que repetir. La consecuencia de este error es un retraso de 15 días. (Tampoco es un inconveniente habitual, pero es interesante ver el impacto que tiene).
11. Se complica el montaje de la Hélice de Proa; es necesario emplear 5 días más.
12. Por un fallo de instalación del cableado de la Habilitación se produce un retraso de 5 días en el Armamento 2 de esa zona.
13. La grúa se ha averiado y no puede montarse la Antena 1 el día indicado, se produce un retraso de 4 días.
14. Uno de los equipos de salvamento se ha estropeado al instalarlo , ha sido necesario sustituirlo por uno nuevo con un valor extra de 20.000 €.
15. Las pruebas de mar sufren 10 días de retraso debido a problemas con los permisos de navegación y a un temporal.

A continuación, una vez aplicadas estas desviaciones a la planificación original, se observa que los valores del costo y la duración del proyecto han cambiado en comparación con lo planificado inicialmente, siendo **el costo real** de la construcción del buque asfaltero **25.531.053,07 €** y **la duración total del proyecto** ha ascendido a **813 días**.

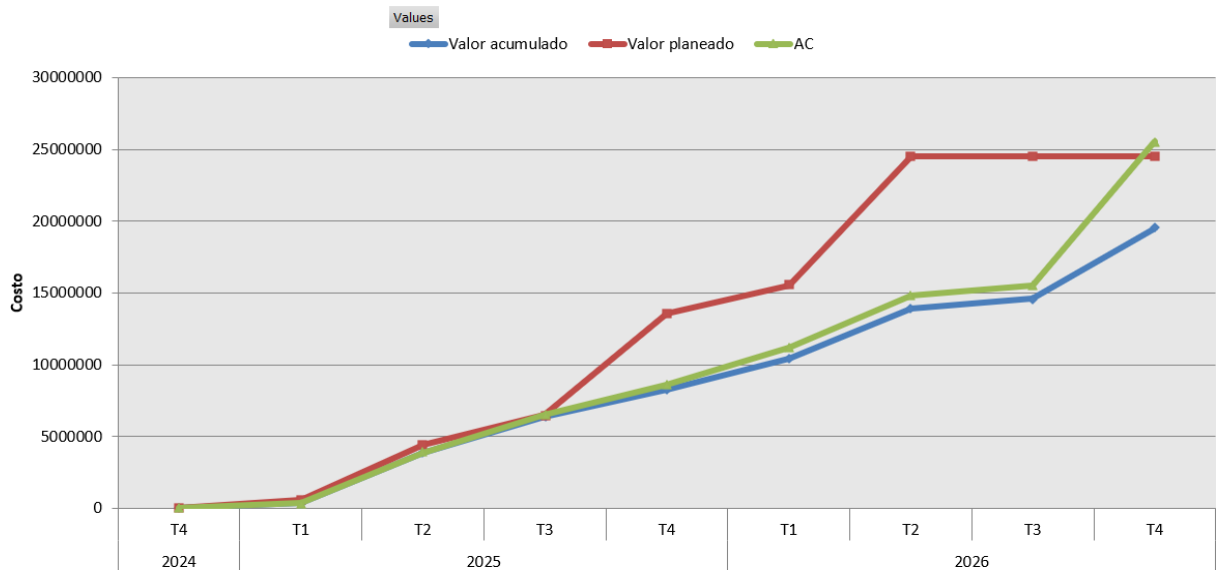


| Nombre de tarea    | Duración | Comienzo   | Fin          | Predecesoras | Costo           | Costo de línea base | Duración de línea base |
|--------------------|----------|------------|--------------|--------------|-----------------|---------------------|------------------------|
| PROYECTO ASFALTERO | 812.75 d | mié 01/01/ | vie 11/02/28 |              | 25 531 053.07 € | 24 510 078.00 €     | 664.25 d               |

**Ilustración 73 : Comparación de la duración y costo real con los valores de la línea base**

Una vez que se ha llegado a este punto, acudimos al apartado de informes visuales de Ms-Project para graficar el informe de horas extra del valor acumulado que aparece en la **Gráfica 9.4**

#### Informe de horas extra del valor acumulado



**Gráfica 9.4 : Informe de horas extra del valor acumulado del buque asfaltero (curvas S)**

La **curva roja** se corresponde con el **costo presupuestado del trabajo planificado**, que como se ve reflejado en la gráfica, finaliza al inicio del segundo trimestre de 2026 con el valor que ya se calculó en el Anexo 3, **24.510.078 €**.

La **curva verde** es la que indica el **costo presupuestado del trabajo realizado**, el cual se aprecia que es el obtenido tras la aplicación de las distintas desviaciones y alcanza un total de **25.531.053,07 €** a mediados del cuarto trimestre de 2026, que es cuando sucede la Entrega.

Aquí es importante hacer una aclaración sobre el resultado obtenido en la curva del **valor acumulado (azul)**. Como se explicó en el apartado de *Recursos de Personal*, solo disponíamos de un único Jefe de Buque para todo el proyecto. Para representar este hecho en el fichero Project, al realizar la asignación de recursos en la planificación de forma que el programa no lo indicase como recurso sobrecargado, se decidió que este ocuparía un 10% del tiempo total de su actividad en cada una de las tareas en las que interviniese. Esto se expresó añadiendo manualmente [0.1] junto al recurso “Jefe de Buque” en la celdilla de Costo correspondiente a la tarea resumen que englobaba todas las tareas de cada etapa.

Esta modificación, aunque es correcta y no ha causado inconvenientes con el cálculo del presupuesto ni con el cálculo del costo real tras la aplicación de las desviaciones, se ha detectado que el propio programa tiene algunos problemas a la hora de graficar los resultados de la curva del **valor acumulado**.

Para finalizar, como conclusión tras realizar el estudio del seguimiento de la ejecución del proyecto de construcción del buque asfaltero, determinamos que habrá que **emplear una**



**mayor inversión económica** a la presupuestada inicialmente y el **proyecto se extenderá en duración más de lo previsto**.



# Capítulo 10

## Conclusiones y definición de futuras líneas de trabajo.

### 10.1. Conclusiones

Debido a que la modelización con las técnicas BIM 4D no son actualmente muy habituales en el sector naval, el principal objetivo de este proyecto ha sido planificar de forma precisa el proceso de construcción de un buque profundizando más en este campo. Para ello, se ha realizado una planificación BIM empleando el software Synchro 4D, con la visualización del ensamblado de los bloques, su montaje en grada y la instalación de equipos principales, tomando como referencia el buque asfaltero de 8350 TPM procedente del TFG GAN-324.

Previamente a la realización del modelo dinámico BIM, se ha llevado a cabo la división del buque en 45 bloques, teniendo en cuenta las limitaciones técnicas del astillero Armón Vigo, el cual ha sido considerado el más adecuado donde realizar su construcción. Teniendo presente esta información, se ha efectuado la planificación de las tareas y la asociación de los recursos mediante un diagrama de Gantt.

Otro de los objetivos cumplidos ha sido el dimensionamiento de algunos elementos, como la hélice y el timón, que no estaban representados en el modelo 3D original del asfaltero, pero era de vital importancia conocer sus características para este proyecto.

Ha sido posible realizar un estudio económico, estableciendo un presupuesto a partir de los diferentes recursos empleados. Finalmente, se ha hecho un ejercicio de seguimiento de la ejecución del proyecto suponiendo una serie de desviaciones para observar qué impacto tendrán sobre la duración y coste previstos aplicando la técnica de Valor Ganado.

### 10.2. Trabajo futuro

Debido a que en este proyecto se ha realizado la planificación de construcción del asfaltero conforme a la información disponible en el TFG GAN-324, en el cual solo se definió un diseño conceptual del buque, faltan datos sobre los sistemas involucrados en el Armamento, como son los sistemas eléctricos o el sistema de tuberías, que se proponen como idea para posibles trabajos futuros.





## Referencias

- [1] Azhar, S. (2011). *Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry*. Leadership and Management in Engineering PH.D. A.M.ASCE 11:241-252
- [2] Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors* (2<sup>nd</sup> ed.). John Wiley & Sons Inc. ISBN-10: 9780470541371
- [3] Hardin, B (2009). *BIM and Construction Management: Proven Tools, Methods, and Workflows*. (1<sup>st</sup> ed.) Sybex ISBN-10: 0470402350 / ISBN-13: 978-0470402351
- [4] Candelario-Garrido A. García-Sanz-Calcedo J. Manuel Reyes Rodríguez A. (2017) *A quantitative analysis on the feasibility of 4D Planning Graphic Systems versus Conventional Systems in building projects*. Sustainable Cities and Society,35:378–384.
- [5] Lima da Silva, J., Quadrado Mussi, A., Leal da Silva, T. & Zardo, P. (2018). *Designers of the XXI century: BIM software programming and the development of new competencies*. Faculdade Meridional IMED, Brasil. 22th Conference of the Iberoamerican Society of Digital Graphics.
- [6] Farnood Ahmadi, P. & Arashpour, M. (2020). *An Analysis of 4D-BIM Construction Planning: Advantages, Risks and Challenges*. 37th International Symposium on Automation and Robotics in Construction. ISARC 2020.
- [7] Papanikolau, A. (2014) *Ship Design: Methodologies of Preliminary Design*. Springer ISBN-10: 9401787506 /ISBN-13: 978-9401787505
- [8] Van Dokkum, K.(2013) *Ship Knowledge*, DOKMAR Maritime Publishers B.V. , 6<sup>a</sup> edición, ISBN-10: 907150025X
- [9] Eyres, D. J. (2007) *Ship Construction*, (6<sup>th</sup>ed), Butterworth-Heinemann. ISBN-10: 0750680709, ISBN-13: 978-0750680707
- [10] Muñoz de Yraola, A. Material de clase de la asignatura Construcción Naval
- [11] [https://publicaciones.defensa.gob.es/pprevistas/REVISTAS\\_PDF21941/page\\_17.html](https://publicaciones.defensa.gob.es/pprevistas/REVISTAS_PDF21941/page_17.html)
- [12] Tarancón Meliá, M.A. (2019), *Ventajas de la digitalización en la planificación de obras: cuarta dimensión de BIM*. Trabajo Final de Grado. Escola de Camins. Univesitat Politècnica de Catalunya.
- [13] Amorós Amorós ,C., Balsells Altadill, L. & Blanco Duch, S., *Diseño integral y modelado BIM del Yate Balboa*. Trabajo Final de Grado. Facultad de Ingeniería Mecánica. Universidad Tecnológica de Panamá.
- [14] Journal of Building Information Modeling (JBIM)
- [15] Página web oficial de Freeplane: <https://docs.freeplane.org/>
- [16] Página web oficial de Rhinoceros: <https://www.rhino3d.com/es/>
- [17] Tienda oficial de Microsoft: <https://www.microsoft.com/es-ad/store/b/home>



- [18] Página web oficial de Bentley: <https://www.bentley.com/software/synchro/>
- [19] Página web oficial Astilleros Armón: <https://www.astillerosarmon.com/es/>
- [20] Página web oficial Astilleros Gondán: <https://gondan.com/es/>
- [21] Página web oficial Astilleros Murueta: <https://www.astillerosmurueta.com/shipyards/>
- [22] Página web oficial Astilleros Nodosa: <https://www.nodosa.com/es/medios.php>  
[https://www.nodosa.com/Catalogo Corporativo Nodosa On Line/](https://www.nodosa.com/Catalogo_Corporativo_Nodosa_On_Line/)
- [23] Rodríguez Gómez, R. (2022), *Buque Asfaltero-Petrolero de 8350 TPM*. Trabajo Final de Grado GAN-324, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales. Universidad Politécnica de Madrid.
- [24] Souto Iglesias, A. Material de clase de la asignatura Técnicas de Gestión de Proyectos.
- [25] Watson, D. G. M. (2002), *Practical Ship Design, Volume 1* Elsevier. ISBN-10 0080429998
- [26] Lee Storch, R. H., Bunch M. H., Moore. C. R., Colin P. & Hammon R. (1995) *Ship Production*. Cornell Maritime Press Centreville, Maryland.
- [27] Chandrupatla, T. (2009), *Quality and Reliability in Engineering Hardback* (1st ed.) Editorial Cambridge University Press. ISBN-10 052151522X
- [28] Christopher. M. (2010), *Logistics and Supply Chain Management* (4<sup>th</sup> ed.) Pearson Education Limited, ISBN-10 0273731122 / ISBN-13 978-0273731122
- [29] Baquero Mayor, A. (2015), *Resistencia y Propulsión del Buque*, Material de la asignatura de Hidrodinámica del Buque I
- [30] Aplicación en línea para generar rápidamente la geometría CAD de alta calidad para la hélice de la serie B Wageningen: <https://www.wageningen-b-series-propeller.com/show/app/wageningen/f6a4ec52a74dcf5eb758d3eb19a0a9908abf562a373fcee9625d569c54200c25/webinterface/3>
- [31] KT, KQ, eta curves. Wageningen B-Series Propellers
- [32] Peralta Alonso, C. (2016) *Buque asfaltero de 8000 TPM* PFC- 352 Proyecto Final de Carrera. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales. Universidad Politécnica de Madrid.
- [33] Souto Iglesias, A. (2024) Material de la asignatura de Máster Ingeniería y Simulación de Procesos.
- [34] Página web oficial de Wrike Inc. Compañía norteamericana especializada en el desarrollo softwares de gestión de proyectos. <https://www.wrike.com/es/project-management-guide/faq/que-es-la-curva-s-en-gestion-de-proyectos/>



# Anexo 1

## Cálculo detallado del número de bloques y pesos

Como se expone en el *Apartado 7.3.2.* el propósito de este capítulo es calcular el número de bloques y sus respectivos pesos. Con la estrategia elegida para llevarlo a cabo, primero se realiza el cálculo del peso total del anillo y a continuación, se calcula el peso correspondiente a cada uno de los bloques.

El mismo procedimiento se realizará en todos los anillos:

### **De 94 a 103:**

El peso total del anillo es el siguiente:

$$(103 - 94) \times 21.09 = 189.81 \text{ ton}$$

El bloque del pique de proa es el doble que el de la cubierta. Por lo tanto, primero calculamos cuánto pesa el bloque de cubierta:  $\frac{189.81}{3} = 63.28 \text{ ton}$ .

El peso del bloque del pique de proa tiene un peso total de 126.54 ton. Teniendo en cuenta la limitación de peso de las grúas del astillero (100 ton) es necesario fabricar dos bloques de pique de proa de 63.28 ton cada uno.

De forma resumida, este anillo quedará dividido de la siguiente manera:

|        |           |
|--------|-----------|
| CUB5   | 63.28 ton |
| Pproa1 | 63.28 ton |
| Pproa2 | 63.28 ton |

### **De 90 a 94:**

El peso total del anillo es el siguiente:

$$(94 - 90) \times 21.09 = 84.36 \text{ ton}$$

En este caso, el Local de la Hélice de Proa tiene el doble de tamaño que la cubierta. Por ello, primero calculamos cuánto pesa el bloque de cubierta:  $\frac{84.36}{3} = 28.12 \text{ ton}$ . A continuación, deducimos que el local de la Hélice de Proa tendrá un peso de 56.25 ton.

Finalmente, este anillo quedará dividido de la siguiente manera:

|       |           |
|-------|-----------|
| CUB4  | 28.12 ton |
| Lproa | 56.25 ton |

**De 77 a 90:**

El peso total del anillo es el siguiente:

$$(90 - 77) \times 21.09 = 274.17 \text{ ton}$$

Para hallar los pesos individuales de cada bloque, es necesario definir las partes que integran este anillo. Se llamará x el valor del peso del espacio de lastre. Según la descripción, el espacio de carga es el cuádruple que el de lastre, lo que significa que el espacio de carga es 4x.

Mediante la siguiente ecuación podemos obtener el valor del espacio de lastre:

$$x + 4x = 274.17$$

El valor de x es: 54.83 ton.

Por lo tanto, el valor del peso del bloque de lastre es 54.83 ton

En el caso de la carga, al ser el cuádruple que el de lastre, quedaría:  $4 \times 54.83 = 219.32 \text{ ton}$ . Como es mayor que el peso máximo que puede ser izado por la grúa, es necesario dividirlo en más bloques. Las posibles opciones son las siguientes:

- En tres bloques de 73.1 ton cada uno
- En cuatro bloques de 54.83 ton cada uno

Se ha decidido optar por la segunda forma porque, aunque implica un mayor número de bloques, al tener todos los bloques de este anillo el mismo peso, será más fácil y rápido fabricarlos en los talleres.

Como resumen, este anillo quedará dividido de la siguiente manera:

|         |           |
|---------|-----------|
| LASTRE1 | 54.83 ton |
| CAR1_1  | 54.83 ton |
| CAR1_2  | 54.83 ton |
| CAR1_3  | 54.83 ton |
| CAR1_4  | 54.83 ton |

**De 60 a 77:**

En este anillo el peso es el siguiente:

$$(77 - 60) \times 21.09 = 358.53 \text{ ton}$$

Haciendo el mismo procedimiento que el caso anterior, el peso del bloque de lastre es 71.7 ton.

Y respecto al peso del espacio de carga, al ser cuatro veces que el de lastre, quedaría:  $4 \times 71.7 = 286.8 \text{ ton}$ . En este caso se podría dividir de dos formas:

- En tres bloques de 95.6 ton cada uno.
- En cuatro bloques de 71.7 ton cada uno.



Se ha decidido optar por la segunda forma porque, aunque 95.6 ton es menor que el peso máximo que puede izar la grúa, sería un valor muy justo.

Finalmente, este anillo quedará dividido de la siguiente manera:

|         |          |
|---------|----------|
| LASTRE2 | 71.7 ton |
| CAR2_1  | 71.7 ton |
| CAR2_2  | 71.7 ton |
| CAR2_3  | 71.7 ton |
| CAR2_4  | 71.7 ton |

#### **De 56 a 60:**

El peso total del anillo es:

$$(60 - 56) \times 21.09 = 84.36 \text{ ton}$$

Como este peso es menor que el del máximo de capacidad de izado y además hay un buen margen de seguridad, se ha optado por un único bloque de 84.18 ton

|       |           |
|-------|-----------|
| SLOPS | 84.36 ton |
|-------|-----------|

#### **De 38 a 56:**

En este anillo el peso es el siguiente:

$$(56 - 38) \times 21.09 = 379.62 \text{ ton}$$

Realizando los mismos pasos que en zonas anteriores, determinamos que el peso del espacio de lastre es 75.9 ton.

Y al calcular el peso del espacio de carga, al ser el cuádruple que el de lastre, quedaría:  $4 \times 75.9 = 303.6 \text{ ton}$ . Igual que pasó en el caso anterior, hay que dividirlo en más bloques. Las posibles opciones son las siguientes:

- En dos bloques quedaría 151.8 ton, excede del peso máximo permitido.
- En tres bloques serían 101.2 ton cada uno, también se excede.
- En cuatro bloques de 75.9 ton cada uno.

La única opción válida es la división del espacio de carga en cuatro bloques de 75.9 ton cada uno.

La división de este anillo será la siguiente:

|         |          |
|---------|----------|
| LASTRE3 | 75.9 ton |
| CAR3_1  | 75.9 ton |
| CAR3_2  | 75.9 ton |
| CAR3_3  | 75.9 ton |
| CAR3_4  | 75.9 ton |

**De 22 a 38:**

El peso de este anillo es el siguiente:

$$(38 - 22) \times 21.09 = 337.44 \text{ ton}$$

Realizando los mismos pasos que los anillos anteriores, determinamos que el peso del espacio de lastre es 67.5 ton.

El peso del espacio de carga, al ser cuatro veces el de lastre, quedaría:  $4 \times 67.5 = 270 \text{ ton}$ . Igual que en los anillos anteriores, hay que dividirlo en varios bloques. Las posibles opciones son las siguientes:

- En tres bloques de 90 ton cada uno.
- En cuatro bloques de 67.5 ton cada uno.

Aunque ambas opciones son menores de 100 ton, descartamos la primera porque se ha considerado que era un peso muy ajustado.

La organización de este anillo será la siguiente:

|         |          |
|---------|----------|
| LASTRE4 | 67.5 ton |
| CAR4_1  | 67.5 ton |
| CAR4_2  | 67.5 ton |
| CAR4_3  | 67.5 ton |
| CAR4_4  | 67.5 ton |

**De 3 a 22:**

El peso total de este anillo es:

$$(22 - 3) \times 21.09 = 400.71 \text{ ton}$$

Siguiendo el mismo procedimiento, se determina que el peso de la cubierta es: 133.57 ton. Como es mayor que el peso máximo a izar por la grúa, debe dividirse en dos bloques de 66.8 ton cada uno.

El peso del bloque de los consumibles es la mitad que el peso total el de la cubierta =  $\frac{133.57}{2}$   
= 66.8 ton .

El resto del anillo tiene el siguiente peso:

$$400.71 - (66.8 \times 3) = 200.4 \text{ ton}$$

Utilizando el mismo criterio empleado para hallar el valor del peso de la cubierta, se determina que el peso más pequeño (bloques VLSFO y TQSED) es de 25 ton. También sabemos según lo consultado en el TFG 324 [23] que el espacio Ppopa2 es el doble y la Cámara de Máquinas es cuatro veces mayor. Por lo tanto, el peso del bloque Ppopa2 es de 50 ton y el de la Cámara de Máquinas es 100 ton.

Debido a que el peso de la CCMM es muy ajustado, se ha considerado más adecuado dividirlo en dos bloques de 50 ton cada uno.



La organización final de este anillo será la siguiente:

|         |          |
|---------|----------|
| CUB2    | 66.8 ton |
| CUB3    | 66.8 ton |
| CONSUM. | 66.8 ton |
| VLSFO   | 25 ton   |
| TQSED   | 25 ton   |
| Ppopa2  | 50 ton   |
| CCMM_1  | 50 ton   |
| CCMM_2  | 50 ton   |

**De -8 a 3:**

El peso de este anillo es el siguiente:

$$(8 + 3) \times 21.09 = 231.99 \text{ ton}$$

Las tres zonas que dividen este bloque son iguales, por lo tanto, cada una de ellas tiene el siguiente peso:  $\frac{231.99}{3} = 77.33 \text{ ton}$

La división final de este anillo será de esta forma:

|        |           |
|--------|-----------|
| SERVO  | 77.35 ton |
| CUB1   | 77.35 ton |
| Ppopa1 | 77.35 ton |

Han salido un total de **45 bloques**. Se considera un número elevado, pero no ha sido posible reducirlo debido a las limitaciones de peso que las grúas del astillero pueden izar, lo que ha obligado a crear más bloques con un peso menor.

La **Tabla 8** muestra un resumen de todos los bloques indicando su peso, la zona a la que pertenecen y su localización.



|                        | Bloque   | Peso  | Zona         | Localización                          |
|------------------------|----------|-------|--------------|---------------------------------------|
| <b>Superestructura</b> | HAB 1    | 70    | Habilitación | De cubierta ppal a acomodación pl.1   |
|                        | HAB 2    | 70    | Habilitación | De cubierta ppal a acomodación pl.1   |
|                        | HAB 3    | 70    | Habilitación | De acomodac. pl.1 a acomodac. pl.2    |
|                        | HAB 4    | 70    | Habilitación | De acomodac. pl.1 a acomodac. pl.2    |
|                        | HAB 5    | 70    | Habilitación | De cubierta ppal a acomocación pl.2   |
|                        | HAB 6    | 70    | Habilitación | De cubierta ppal a acomocación pl.2   |
| <b>Casco</b>           | SERVO    | 77.35 | De -8 a 3    | De cub. local del servo a cub. ppal   |
|                        | CUB 1    | 77.35 | De -8 a 3    | De cubierta ppal a cubierta castillo  |
|                        | Ppopa 1  | 77.35 | De -8 a 3    | De fondo a cubierta local servo       |
|                        | CUB 2    | 66.80 | De 3 a 22    | De cubierta ppal a cubierta castillo  |
|                        | CUB 3    | 66.80 | De -8 a 3    | De cubierta ppal a cubierta castillo  |
|                        | Consum.  | 66.80 | De -8 a 3    | De fondo a doble fondo                |
|                        | VLSFO    | 25    | De -8 a 3    | En CCMM                               |
|                        | TQSED    | 25    | De -8 a 3    | En CCMM                               |
|                        | Ppopa 2  | 50    | De -8 a 3    | De fondo a cubierta local servo       |
|                        | CCMM 1   | 50    | De -8 a 3    | De doble fondo a cubierta principal   |
|                        | CCMM 2   | 50    | De -8 a 3    | De doble fondo a cubierta principal   |
|                        | Lastre 4 | 67.50 | De 22 a 38   | De fondo a doble fondo                |
|                        | CAR4_1   | 67.50 | De 22 a 38   | De doble fondo a cubierta principal   |
|                        | CAR4_2   | 67.50 | De 22 a 38   | De doble fondo a cubierta principal   |
|                        | CAR4_3   | 67.50 | De 22 a 38   | De doble fondo a cubierta principal   |
|                        | CAR4_4   | 67.50 | De 22 a 38   | De doble fondo a cubierta principal   |
|                        | Lastre 3 | 75.90 | De 38 a 56   | De fondo a doble fondo                |
|                        | CAR3_1   | 75.90 | De 38 a 56   | De doble fondo a cubierta principal   |
|                        | CAR3_2   | 75.90 | De 38 a 56   | De doble fondo a cubierta principal   |
|                        | CAR3_3   | 75.90 | De 38 a 56   | De doble fondo a cubierta principal   |
|                        | CAR3_4   | 75.90 | De 38 a 56   | De doble fondo a cubierta principal   |
|                        | SLOPS    | 84.36 | De 56 a 60   | De cubierta slop a cubierta principal |
|                        | CB1      | 63.54 | De 56 a 60   | De doble fondo a cubierta slop        |
|                        | CB2      | 63.54 | De 56 a 60   | De doble fondo a cubierta slop        |
|                        | Lastre 2 | 71.70 | De 60 a 77   | De fondo a doble fondo                |
|                        | CAR2_1   | 71.70 | De 60 a 77   | De doble fondo a cubierta principal   |
|                        | CAR2_2   | 71.70 | De 60 a 77   | De doble fondo a cubierta principal   |
|                        | CAR2_3   | 71.70 | De 60 a 77   | De doble fondo a cubierta principal   |
|                        | CAR2_4   | 71.70 | De 60 a 77   | De doble fondo a cubierta principal   |
|                        | Lastre 1 | 54.83 | De 77 a 90   | De fondo a doble fondo                |
|                        | CAR1_1   | 54.83 | De 77 a 90   | De doble fondo a cubierta principal   |
|                        | CAR1_2   | 54.83 | De 77 a 90   | De doble fondo a cubierta principal   |
|                        | CAR1_3   | 54.83 | De 77 a 90   | De doble fondo a cubierta principal   |
|                        | CAR1_4   | 54.83 | De 77 a 90   | De doble fondo a cubierta principal   |
|                        | CUB 4    | 28.12 | De 90 a 94   | De cubierta ppal a cubierta castillo  |
|                        | Lproa    | 56.25 | De 90 a 94   | De fondo a cubierta principal         |
|                        | CUB 5    | 63.28 | De 94 a 103  | De cubierta ppal a cubierta castillo  |
|                        | Pproa 1  | 63.28 | De 94 a 103  | De fondo a cubierta principal         |
|                        | Pproa 2  | 63.28 | De 94 a 103  | De fondo a cubierta principal         |

Tabla 8: Tabla resumen de los bloques indicando su peso, zona y su localización.



## Anexo 2

### Dimensionamiento de la hélice

Como se expone en el *Apartado 7.3.3.1.* el propósito de este capítulo es calcular los pesos de la hélice principal y la línea de ejes. Consultando el TFG 324 [23] vemos que hay información relativa a la maquinaria propulsora y los coeficientes del buque que nos puede ser de gran utilidad para dimensionar la hélice.

Para hallar el dato final de los pesos se empleará una herramienta en línea de diseño de hélices de la serie-B Wageningen [30] de la cual además se podrá descargar un fichero CAD con la geometría en 3D de la hélice que será incorporada al modelo tridimensional completo del buque.

El procedimiento utilizado para el dimensionamiento de la hélice es el siguiente:

Como características físicas, en este caso se ha optado por una hélice de **4 palas** debido a la configuración del motor propulsor, **MAN 6L27/38**, que cuenta con **6 cilindros**. Es importante tener en cuenta que el número de palas de la hélice no sea múltiplo del número de cilindros, ya que esto podría generar resonancias.

El coeficiente de estela y el coeficiente de succión se obtienen mediante la forma aproximada de Taylor [29]. Como el buque asfaltero sólo tiene un propulsor, hay que emplear la ecuación correspondiente a esta característica:

$$\text{-El Coeficiente de Estela: } w = 0.5 \cdot C_B - 0.05 = \mathbf{0.329}$$

$$\text{-El Coeficiente de Succión : } t = 0.6 \cdot w = \mathbf{0.197}$$

A continuación, se procede con el cálculo del empuje, utilizando el dato de la resistencia al avance del TFG 324 [23]:

$$T = R / 1 - t = \frac{295.7}{1 - 0.197} = \mathbf{368.24 \text{ Kn}}$$

Otro valor que se puede obtener es la velocidad de entrada al propulsor, utilizando el dato de la velocidad de servicio obtenido en el TFG- 324:

$$V_A = V(1-w) = (13.4 \times 0.514) \times (1 - 0.329) = \mathbf{4.62 \text{ m/s}}$$

Para determinar su diámetro, elegiremos el diámetro máximo disponible para colocar la hélice una vez descontados los huelgos dados por la Sociedad de Clasificaciones.

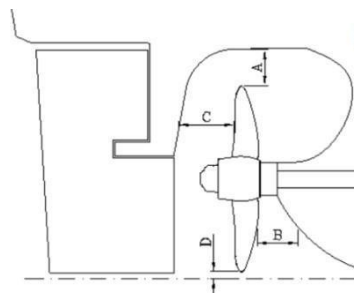


Imagen 47: Huelgos del casco



$$D_{\max} = 4.5 / (1+0.2) = \mathbf{3.75 \text{ m}}$$

Ahora, el objetivo es encontrar **las rpm óptimas** para ese diámetro. Para hallarlo, es necesario realizar algunos cálculos previos:

- La distancia de inmersión de la hélice:  $H = 7.23 - (3.75/2) = \mathbf{5.35 \text{ m}}$
- La presión absoluta :  $P_o = P_{\text{amb}} + \rho g H = (1.01 \times 10^5) + (1.025 \times 9.81 \times 5.355) = \mathbf{101053.84 \text{ Pa}}$

Con estos datos, ya se puede aplicar el método de Keller para el cálculo de la relación Área/Disco mínima necesaria para prevenir la cavitación:

Siendo la constante aditiva  $K = 0.2$

$$\frac{A_g}{A_o} = \frac{(1.3+0.3 Z) T}{(P_o - P_v) D^2} + K = \mathbf{0.85}$$

Siendo  $KT$  y  $J$  las siguientes ecuaciones:

$$KT = \frac{T}{\rho N^2 D^4} \quad J = \frac{VA}{ND}$$

Utilizando las curvas de Wageningen B-Serie [32] creamos una tabla para hallar el  $nu0$  óptimo (**Tabla 9**) correspondiente a este caso de estudio.

| N (rpm) | n(rps)   | J        | KT       | P/D  | nu0  |
|---------|----------|----------|----------|------|------|
| 120     | 2        | 0.616    | 0.454174 | 1.4  | 0.45 |
| 125     | 2.083333 | 0.59136  | 0.418567 | 1.35 | 0.49 |
| 130     | 2.166667 | 0.568615 | 0.386988 | 1.3  | 0.48 |
| 135     | 2.25     | 0.547556 | 0.358853 | 1.14 | 0.47 |
| 140     | 2.333333 | 0.528    | 0.333679 | 1.15 | 0.45 |
| 145     | 2.416667 | 0.509793 | 0.311063 | 1.12 | 0.5  |
| 150     | 2.5      | 0.4928   | 0.290671 | 1.1  | 0.45 |
| 155     | 2.583333 | 0.476903 | 0.272221 | 0.92 | 0.52 |
| 160     | 2.666667 | 0.462    | 0.255473 | 0.9  | 0.5  |
| 165     | 2.75     | 0.448    | 0.240224 | 0.87 | 0.5  |
| 170     | 2.833333 | 0.434824 | 0.226301 | 0.85 | 0.49 |
| 175     | 2.916667 | 0.4224   | 0.213554 | 0.8  | 0.49 |
| 180     | 3        | 0.410667 | 0.201855 | 0.75 | 0.49 |

**Tabla 9: Tabla para hallar el  $nu0$  óptimo**

Por lo tanto, se ha determinado que la velocidad óptima de la hélice es de 155 rpm.

Teniendo en cuenta las rpm óptimas de la hélice y las rpm nominales del motor (800 rpm) la **relación de reducción queda de la siguiente manera:**

$$\text{Relación de reducción} = \text{RPM (Final Motor)} / \text{RPM (Hélice)} = \mathbf{800/155}$$

En el TFG 324 se especifica que se incluye una reductora de la marca Flender 7.

Por otro lado, si introducimos los datos requeridos en la herramienta en línea para desarrollar hélices de la serie-B Wageningen [30] se genera rápidamente una geometría CAD de alta calidad que será utilizada más adelante.

Este programa calcula el peso de la hélice y la línea de ejes, que son **4 ton y 5 ton** respectivamente.

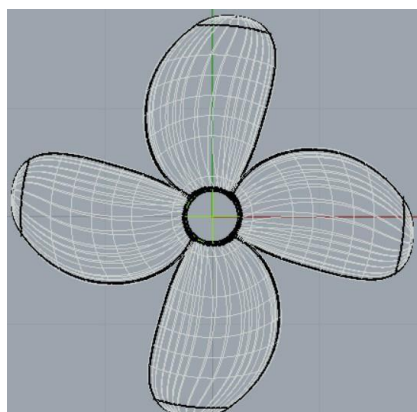


**Ilustración 48: Geometría de la hélice en 3D**





## Anexo 3

### Tablas resumen de los costos de los recursos

| Id | Nombre del recurso                   | Costo                | Costo de línea base | Variación            | Costo real   | Restante             |
|----|--------------------------------------|----------------------|---------------------|----------------------|--------------|----------------------|
|    | <b>Tipo: Trabajo</b>                 | <b>€5 447 728.00</b> | <b>€0.00</b>        | <b>€5 447 728.00</b> | <b>€0.00</b> | <b>€5 447 728.00</b> |
| 1  | Director de proyecto                 | €283 200.00          | €0.00               | €283 200.00          | €0.00        | €283 200.00          |
| 2  | Jefe de buque                        | €26 528.00           | €0.00               | €26 528.00           | €0.00        | €26 528.00           |
| 3  | Ingenieros de diseño                 | €728 000.00          | €0.00               | €728 000.00          | €0.00        | €728 000.00          |
| 4  | Administrativos                      | €192 000.00          | €0.00               | €192 000.00          | €0.00        | €192 000.00          |
| 5  | Caldereros                           | €432 000.00          | €0.00               | €432 000.00          | €0.00        | €432 000.00          |
| 6  | Soldadores                           | €2 634 800.00        | €0.00               | €2 634 800.00        | €0.00        | €2 634 800.00        |
| 7  | Electricistas                        | €276 800.00          | €0.00               | €276 800.00          | €0.00        | €276 800.00          |
| 8  | Tuberos                              | €232 000.00          | €0.00               | €232 000.00          | €0.00        | €232 000.00          |
| 9  | Pintores                             | €185 600.00          | €0.00               | €185 600.00          | €0.00        | €185 600.00          |
| 10 | Jefe de grada                        | €71 200.00           | €0.00               | €71 200.00           | €0.00        | €71 200.00           |
| 11 | Andamios                             | €16 640.00           | €0.00               | €16 640.00           | €0.00        | €16 640.00           |
| 12 | Mecánicos                            | €244 800.00          | €0.00               | €244 800.00          | €0.00        | €244 800.00          |
| 13 | Encargado                            | €31 600.00           | €0.00               | €31 600.00           | €0.00        | €31 600.00           |
| 14 | Operario de grúa                     | €74 000.00           | €0.00               | €74 000.00           | €0.00        | €74 000.00           |
| 15 | Grada 1                              | €0.00                | €0.00               | €0.00                | €0.00        | €0.00                |
| 16 | Grúas                                | €0.00                | €0.00               | €0.00                | €0.00        | €0.00                |
| 44 | Personal de mantenimiento y limpieza | €5 760.00            | €0.00               | €5 760.00            | €0.00        | €5 760.00            |
| 46 | Operarios                            | €12 800.00           | €0.00               | €12 800.00           | €0.00        | €12 800.00           |

Tabla 10: Tabla resumen de los costos de los recursos de trabajo

|    |                                            |                       |              |                       |              |                       |
|----|--------------------------------------------|-----------------------|--------------|-----------------------|--------------|-----------------------|
|    | <b>Tipo: Material</b>                      | <b>€14 062 350.00</b> | <b>€0.00</b> | <b>€14 062 350.00</b> | <b>€0.00</b> | <b>€14 062 350.00</b> |
| 17 | Acero A24                                  | €1 864 350.00         | €0.00        | €1 864 350.00         | €0.00        | €1 864 350.00         |
| 18 | Refuerzos longitudinales                   | €165 000.00           | €0.00        | €165 000.00           | €0.00        | €165 000.00           |
| 19 | Tuberías PVC                               | €119 250.00           | €0.00        | €119 250.00           | €0.00        | €119 250.00           |
| 20 | Tuberías acero                             | €278 250.00           | €0.00        | €278 250.00           | €0.00        | €278 250.00           |
| 21 | Cables                                     | €79 500.00            | €0.00        | €79 500.00            | €0.00        | €79 500.00            |
| 22 | Pintura Interior                           | €47 520.00            | €0.00        | €47 520.00            | €0.00        | €47 520.00            |
| 23 | Pintura Normal                             | €158 400.00           | €0.00        | €158 400.00           | €0.00        | €158 400.00           |
| 24 | Pintura Antifouling                        | €190 080.00           | €0.00        | €190 080.00           | €0.00        | €190 080.00           |
| 25 | Bombas carga y descarga                    | €120 000.00           | €0.00        | €120 000.00           | €0.00        | €120 000.00           |
| 26 | Bomba de circulación                       | €180 000.00           | €0.00        | €180 000.00           | €0.00        | €180 000.00           |
| 27 | Bomba de alta temperatura                  | €240 000.00           | €0.00        | €240 000.00           | €0.00        | €240 000.00           |
| 28 | Bomba Auxiliar de Achique                  | €160 000.00           | €0.00        | €160 000.00           | €0.00        | €160 000.00           |
| 29 | Grúa de cubierta                           | €1 000 000.00         | €0.00        | €1 000 000.00         | €0.00        | €1 000 000.00         |
| 30 | Motores                                    | €2 400 000.00         | €0.00        | €2 400 000.00         | €0.00        | €2 400 000.00         |
| 31 | Hélice                                     | €1 000 000.00         | €0.00        | €1 000 000.00         | €0.00        | €1 000 000.00         |
| 32 | Timón                                      | €2 000 000.00         | €0.00        | €2 000 000.00         | €0.00        | €2 000 000.00         |
| 33 | Línea de Ejes                              | €800 000.00           | €0.00        | €800 000.00           | €0.00        | €800 000.00           |
| 34 | Hélice de Proa                             | €500 000.00           | €0.00        | €500 000.00           | €0.00        | €500 000.00           |
| 35 | Equipos Auxiliares                         | €400 000.00           | €0.00        | €400 000.00           | €0.00        | €400 000.00           |
| 36 | Sistema de Fondeo y Amarre                 | €700 000.00           | €0.00        | €700 000.00           | €0.00        | €700 000.00           |
| 37 | Equipos de Salvamento y CI                 | €200 000.00           | €0.00        | €200 000.00           | €0.00        | €200 000.00           |
| 38 | Sistema de Navegación y Comunicación       | €610 000.00           | €0.00        | €610 000.00           | €0.00        | €610 000.00           |
| 39 | Antena Puente                              | €100 000.00           | €0.00        | €100 000.00           | €0.00        | €100 000.00           |
| 40 | Antena 1                                   | €100 000.00           | €0.00        | €100 000.00           | €0.00        | €100 000.00           |
| 41 | Antena 2                                   | €100 000.00           | €0.00        | €100 000.00           | €0.00        | €100 000.00           |
| 42 | Grupo Electrónico                          | €50 000.00            | €0.00        | €50 000.00            | €0.00        | €50 000.00            |
| 43 | Túnel de Hélice                            | €500 000.00           | €0.00        | €500 000.00           | €0.00        | €500 000.00           |
|    | <b>Tipo: Costo</b>                         | <b>€0.00</b>          | <b>€0.00</b> | <b>€0.00</b>          | <b>€0.00</b> | <b>€0.00</b>          |
| 45 | Costes indirectos (se asume 20% del total) | €0.00                 | €0.00        | €0.00                 | €0.00        | €0.00                 |

Tabla 11: Tabla resumen de los costos de los recursos de material





## Anexo 4

# Mapas mentales

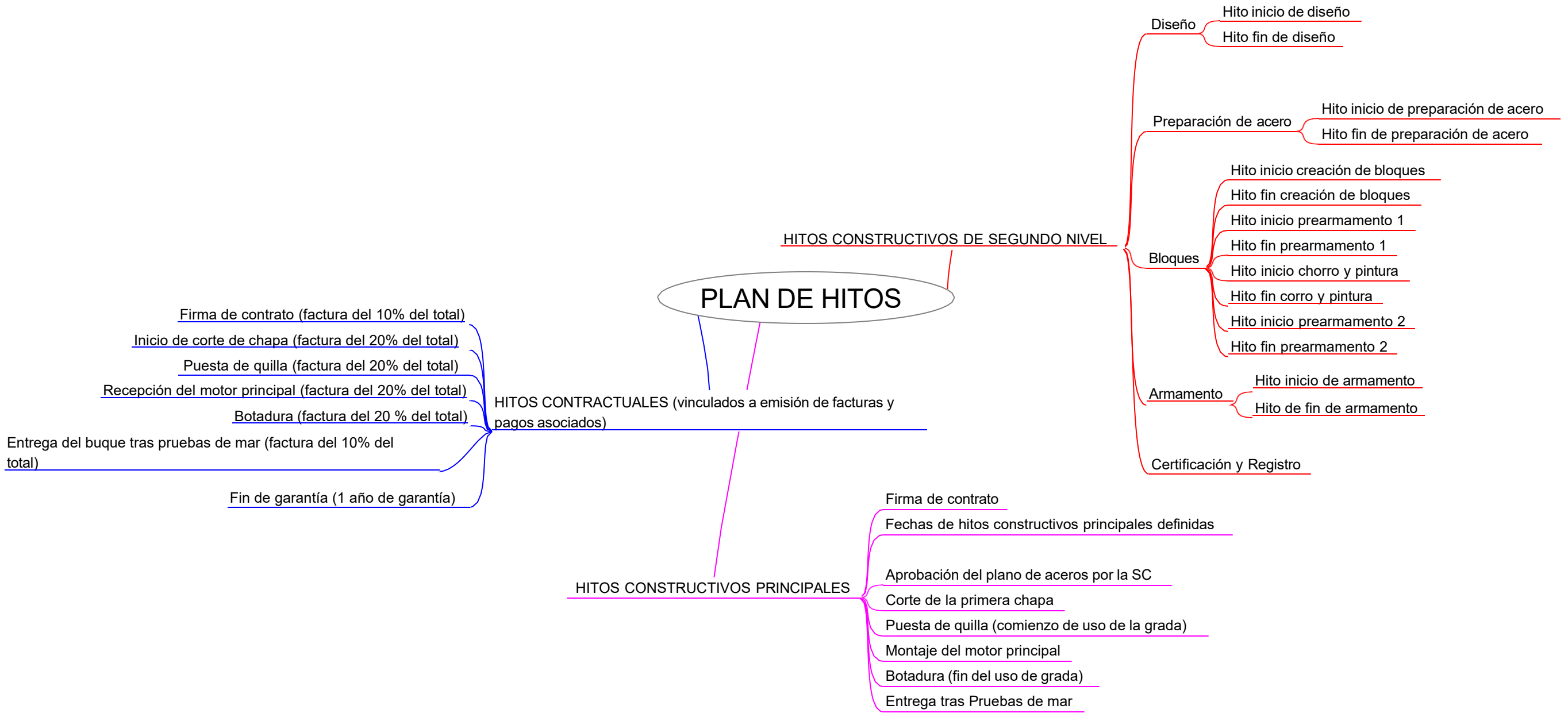
En este capítulo Anexo se recogen los **mapas mentales** elaborados con la herramienta **Freeplane**.

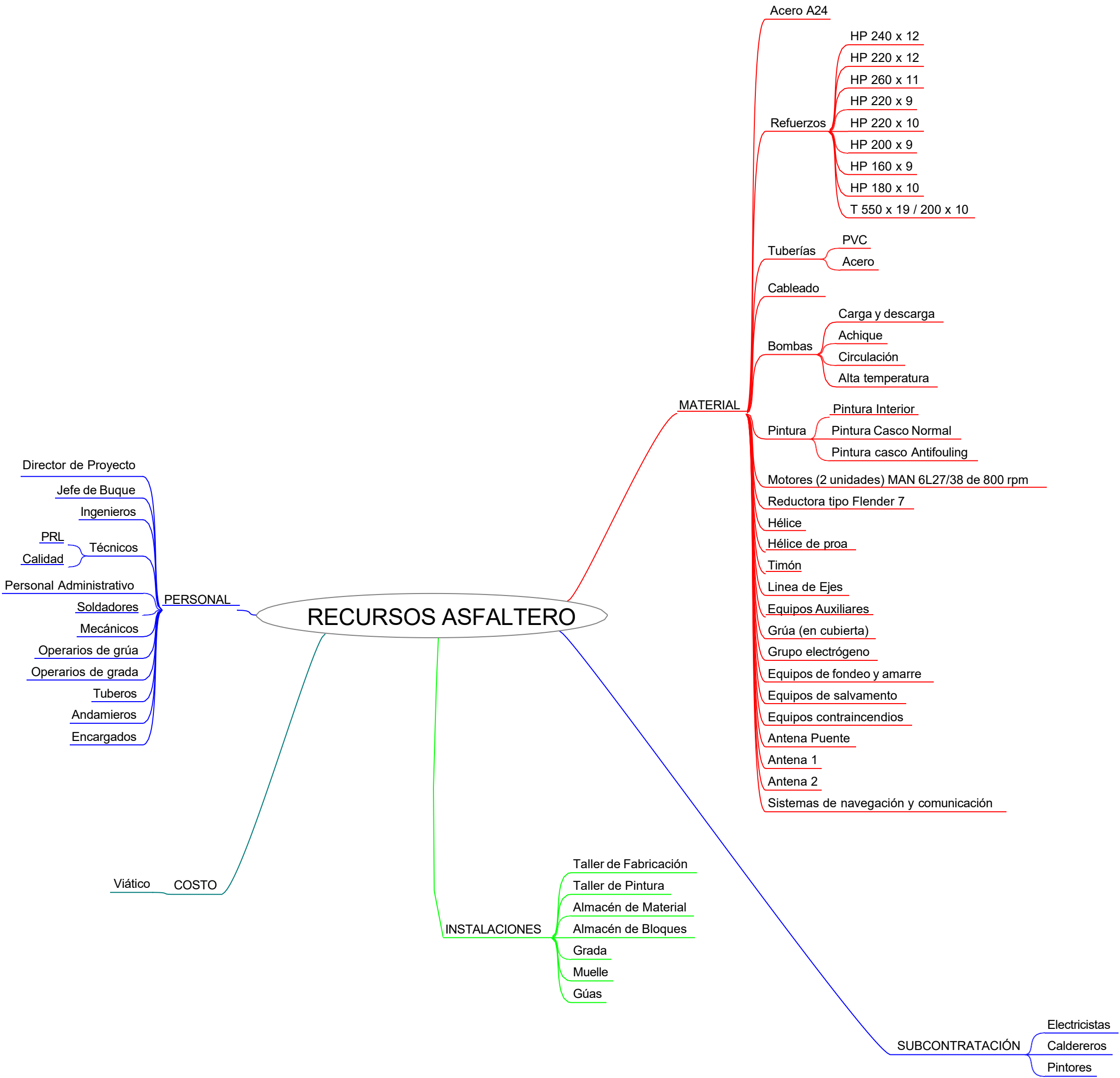
El primero de ellos representa el **Plan de Hitos** del proyecto, en el que los hitos se enumeran agrupados según su categoría: contractuales, constructivos principales y los constructivos de segundo nivel.

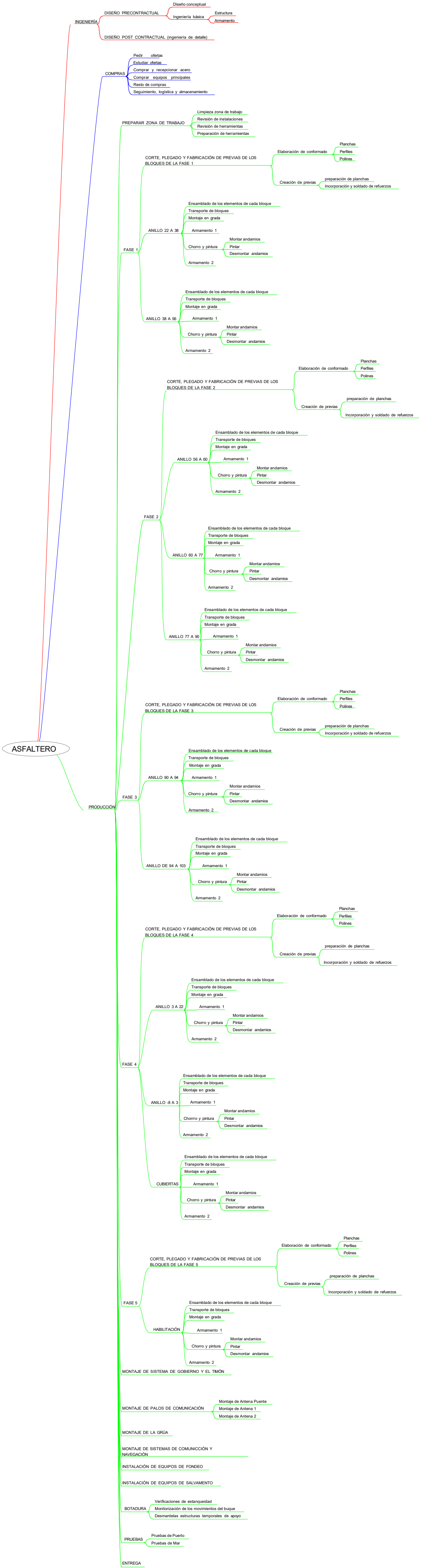
El segundo reúne los **Recursos**, clasificándolos en función de si son de material, personal, instalaciones o costo.

El último, es un mapa mental utilizado para poner en conjunto los **hitos y tareas**, muy útil para estructurar las etapas del desarrollo del proyecto. Este esquema ha sido posteriormente importado a Microsoft Project para confeccionar el diagrama de Gantt.











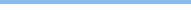
## Anexo 5

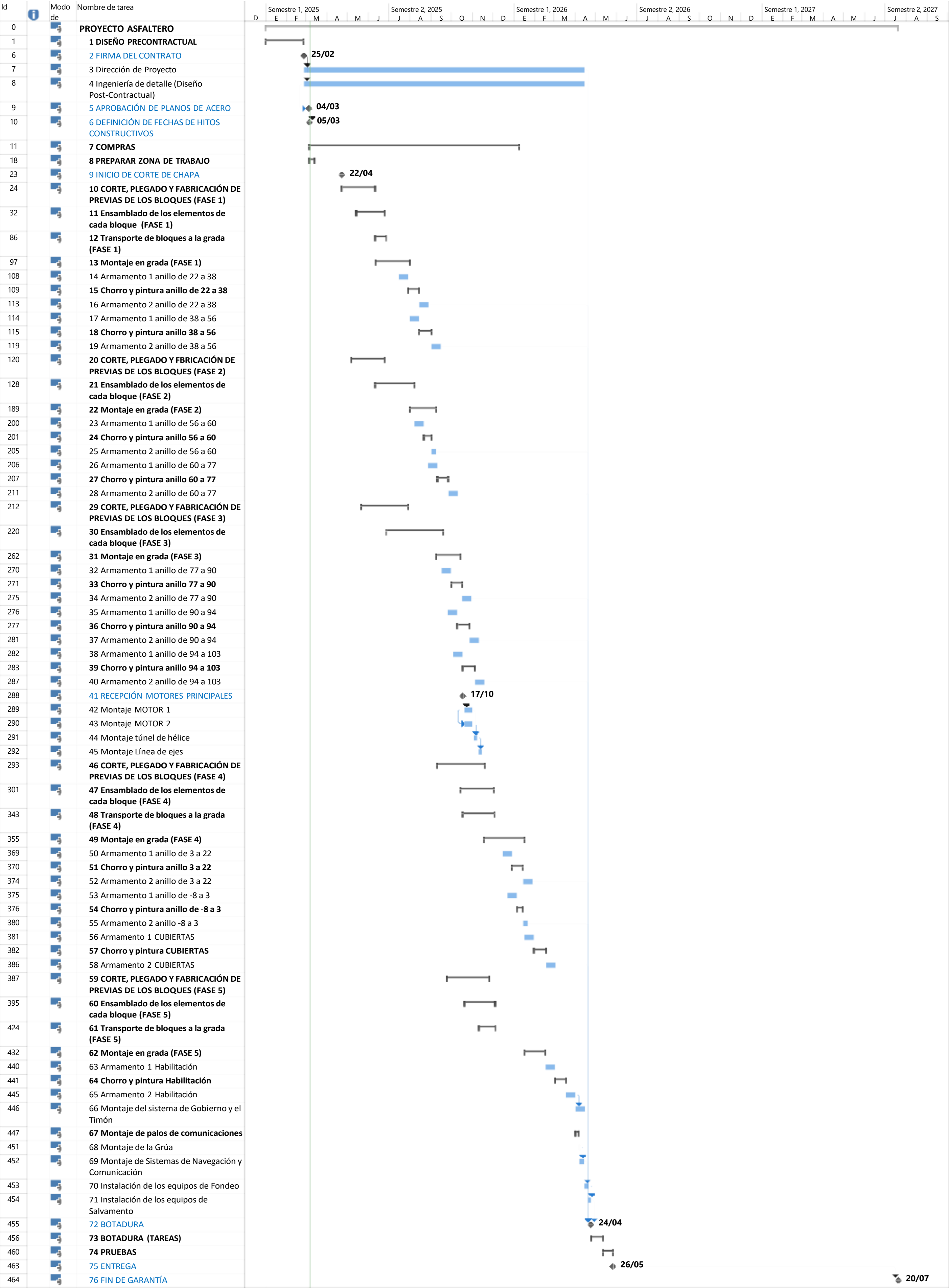
### Diagrama de Gantt

Este Anexo corresponde al **diagrama de Gantt** generado conforme a la secuenciación de fases y tareas planificadas en el Apartado 7.5. Dentro de este capítulo se encuentran tres documentos:

El primero representa el **Plan de Hitos** del proyecto. A continuación, se dispone el diagrama de **Gantt de hitos y tareas principales**, mientras que en el último, se encuentra el diagrama de **Gantt completo**, en el que se pueden visualizar todas sus tareas principales, tareas resumen, subtareas, hitos y vinculación entre ellos.

| Id  |  | Modo de | Nombre de tarea                                        | 24      |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   | Semestre 1, 2025 |   |   |   |   | Semestre 2, 2025 |   |   |   |   | Semestre 1, 2026 |   |   |   |   | Semestre 2, 2026 |   |   |   |   | Semestre 1, 2027 |   |   |  |  | Semestre 2, |  |  |  |
|-----|--|---------|--------------------------------------------------------|---------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|------------------|---|---|---|---|------------------|---|---|---|---|------------------|---|---|---|---|------------------|---|---|---|---|------------------|---|---|--|--|-------------|--|--|--|
|     |  |         |                                                        | D       | E | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D                | E | F | M | A | M                | J | J | A | S | O                | N | D | E | F | M                | A | M | J | J | A                | S | O |  |  |             |  |  |  |
| 0   |  |         | PROYECTO ASFALTERO                                     |         |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                  |   |   |   |   |                  |   |   |   |   |                  |   |   |   |   |                  |   |   |   |   |                  |   |   |  |  |             |  |  |  |
| 1   |  |         | 1 INICIO DEL PROYECTO (ACCIONES PRECONTRACTUALES)      | ◆ 01/01 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                  |   |   |   |   |                  |   |   |   |   |                  |   |   |   |   |                  |   |   |   |   |                  |   |   |  |  |             |  |  |  |
| 7   |  |         | 3 FIRMA DEL CONTRATO                                   | ◆ 25/02 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                  |   |   |   |   |                  |   |   |   |   |                  |   |   |   |   |                  |   |   |   |   |                  |   |   |  |  |             |  |  |  |
| 10  |  |         | 6 APROBACIÓN DE PLANOS DE ACERO                        | ◆ 04/03 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                  |   |   |   |   |                  |   |   |   |   |                  |   |   |   |   |                  |   |   |   |   |                  |   |   |  |  |             |  |  |  |
| 11  |  |         | 7 DEFINICIÓN DE FECHAS DE HITOS CONSTRUCTIVOS          | ◆ 05/03 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                  |   |   |   |   |                  |   |   |   |   |                  |   |   |   |   |                  |   |   |   |   |                  |   |   |  |  |             |  |  |  |
| 24  |  |         | 10 INICIO DE CORTE DE CHAPA                            | ◆ 22/04 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                  |   |   |   |   |                  |   |   |   |   |                  |   |   |   |   |                  |   |   |   |   |                  |   |   |  |  |             |  |  |  |
| 33  |  |         | 12 Ensamblado de los elementos de cada bloque (FASE 1) | └─┘     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                  |   |   |   |   |                  |   |   |   |   |                  |   |   |   |   |                  |   |   |   |   |                  |   |   |  |  |             |  |  |  |
| 86  |  |         | 12.11 PUESTA DE QUILLA                                 | ◆ 10/06 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                  |   |   |   |   |                  |   |   |   |   |                  |   |   |   |   |                  |   |   |   |   |                  |   |   |  |  |             |  |  |  |
| 289 |  |         | 42 RECEPCIÓN MOTORES PRINCIPALES                       | ◆ 17/10 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                  |   |   |   |   |                  |   |   |   |   |                  |   |   |   |   |                  |   |   |   |   |                  |   |   |  |  |             |  |  |  |
| 456 |  |         | 73 BOTADURA                                            | ◆ 24/04 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                  |   |   |   |   |                  |   |   |   |   |                  |   |   |   |   |                  |   |   |   |   |                  |   |   |  |  |             |  |  |  |
| 464 |  |         | 76 ENTREGA                                             | ◆ 26/05 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                  |   |   |   |   |                  |   |   |   |   |                  |   |   |   |   |                  |   |   |   |   |                  |   |   |  |  |             |  |  |  |
| 465 |  |         | 77 FIN DE GARANTÍA                                     | ◆ 20/07 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                  |   |   |   |   |                  |   |   |   |   |                  |   |   |   |   |                  |   |   |   |   |                  |   |   |  |  |             |  |  |  |

|                                                |                      |                                                                                     |                           |                                                                                       |                 |                                                                                       |
|------------------------------------------------|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Proyecto: PROYECTO ASFALTER<br>Fecha: 07/03/25 | Tarea                |  | Resumen inactivo          |  | Tareas externas |  |
|                                                | División             |  | Tarea manual              |  | Hito externo    |  |
|                                                | Hito                 |  | solo duración             |  | Fecha límite    |  |
|                                                | Resumen              |  | Informe de resumen manual |  | Progreso        |  |
|                                                | Resumen del proyecto |  | Resumen manual            |  | Progreso manual |  |
|                                                | Tarea inactiva       |  | solo el comienzo          |  |                 |                                                                                       |
|                                                | Hito inactivo        |  | solo fin                  |  |                 |                                                                                       |



Proyecto: PROYECTO ASFALTERO  
Fecha: 07/03/25

Tarea

División

Hito

Resumen

Resumen del proyecto

Tarea inactiva

Hito inactivo

Resumen inactivo

Tarea manual

solo duración

Informe de resumen manual

Resumen manual

solo el comienzo

solo fin

Tareas externas

Hito externo

Fecha limite

Progreso

Progreso manual



