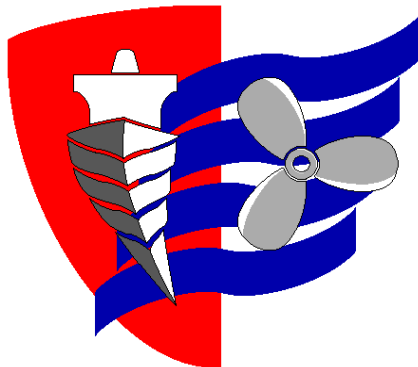


ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Trabajo Fin de Máster

Planificación de Varada en Astillero

Dock planning in shipyard.

Para acceder al Título de Máster Universitario en
INGENIERÍA NÁUTICA Y GESTIÓN MARÍTIMA

Autor: Enzo Giménez Queren

Director: Jose Ramón San Cristóbal Mateo

Septiembre - 2024

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

Trabajo Fin de Máster

Planificación de Varada en Astillero

Dock planning in shipyard.

Para acceder al Título de Máster Universitario en
INGENIERÍA NÁUTICA Y GESTIÓN MARÍTIMA

Septiembre - 2024



Anexo V: AVISO DE RESPONSABILIDAD

AVISO DE RESPONSABILIDAD:

Este documento es el resultado del Trabajo Fin de Máster de un alumno, siendo su autor responsable de su contenido.

Se trata por tanto de un trabajo académico que puede contener errores detectados por el tribunal y que pueden no haber sido corregidos por el autor en la presente edición.

Debido a dicha orientación académica no debe hacerse un uso profesional de su contenido.

Este tipo de trabajos, junto con su defensa, pueden haber obtenido una nota que oscila entre 5 y 10 puntos, por lo que la calidad y el número de errores que puedan contener difieren en gran medida entre unos trabajos y otros,

La Universidad de Cantabria, la Escuela Técnica Superior de Náutica, los miembros del Tribunal de Trabajos Fin de Máster así como el profesor/a director no son responsables del contenido último de este Trabajo.

Resumen

El principal objetivo es organizar desde cero la Varada de un Buque mixto de pasaje y carga rodada (RO-PAX) convencional. Para lograr este objetivo es necesario la utilización de herramientas y/o métodos organizativos característicos de la gestión de proyectos. Uno de los más indicados para llevar a cabo un proyecto de este calibre es el método PERT/CTM; el cual es por sí mismo una combinación de dos métodos organizativos. Ambos se han utilizado para organizar la Varada que se expone en este proyecto.

Para poder aplicar el método mencionado, se deben conocer sus conceptos y metodología. Existe también una herramienta informática que ayuda a obtener información adicional para este trabajo. Esta herramienta es una macro de Excel, SOLVER. Esta macro es de utilidad a la hora de resolver problemas de programación lineal, en concreto, ayuda a obtener máximos o mínimos sujetos a restricciones que afectan a los recursos necesarios para desarrollar un proyecto.

Como caso práctico o de estudio, se ha planificado la Varada de un RO-PAX. Se ha elaborado una lista con las actividades que se deben realizar, el tiempo y el personal que requieren. Acto seguido se ha ponderado el peso de cada actividad y se han elaborado unos gráficos en los que se expone el orden y simultaneidad de todas las actividades. Además, también se han elaborado una estimación del coste que supondría llevar a cabo este caso práctico. Hay que destacar que la planificación ha sido elaborada en base a experiencias anteriores del mismo buque. Las cuales sirven como motivación para la realización de este trabajo.

Debido a la naturaleza organizativa de este trabajo, existe una componente temporal que adquiere gran relevancia. Es decir, es necesario elaborar varios escenarios. En este trabajo se ha elaborado un escenario optimista y uno más pesimista (ambos representados gráficamente). De esta forma se consigue evitar o paliar posibles imprevistos.

Finalmente se han alcanzado unas conclusiones acerca de cuan complejo es organizar una Varada. El conjunto de resultados obtenidos en el caso de estudio también se expone (como apoyo de las conclusiones).

Palabras clave: Costes, organización, varada, gestión de proyectos, PERT/CPM

Abstract

The main objective is to organize from zero, the ground/drydocking of a RO-PAX conventional vessel. To achieve this objective, it is necessary to use tools and/or organizational methods which are characteristic of project management. One of the most suitable methods for carrying out a project of this caliber is the PERT/CTM method, which is itself a combination of two organizational methods. Both have been used to organize the ground that is exposed in this project.

To apply the method, you must know its concepts and methodology. There is also a computer tool that helps to obtain additional information for this work. This tool is an Excel macro, Solver. This macro is useful when solving linear programming problems, specifically it helps to obtain maximums or minimums subject to restrictions that affect resources.

As practical case or study case, the grounding/drydocking of a RO-PAX vessel has been planned. A list has been prepared with the activities that must be carried out, the time and personnel that are requested for the job. Immediately afterwards, the weight of each activity has been balanced and graphs have been prepared in which the order and simultaneity of all the activities of the stranding are exposed. Once the times and order of the project are known, an estimate of the personnel needed to carry out all the activities has been prepared. In addition, an estimate of the cost of carrying out this project has been prepared. It should be noted that the planning has been prepared based on previous experiences of the same vessel. Which are the source of motivation for this work.

Due to the organizational nature of this work, there is a temporary component that acquires great relevance. That is, it is necessary to develop several scenarios. In this work, an optimistic scenario and a more pessimistic one (both represented graphically) have been elaborated. In this way it is possible to avoid or mitigate possible unforeseen events.

Finally, some conclusions have been reached about how complex it is to organize a drydock/grounding operation. In addition, the set of results obtained in the case study are exposed.

Keywords: Costs, organization, drydocking, project management, PERT/CTM.

Índice General

Resumen	1
Abstract.....	3
Índice de Ilustraciones	7
Índice de Tablas	9
Índice de Ecuaciones	10
Acrónimos	11
Simbología.....	13
1.- Introducción	15
2.- Gestión y Planificación de Proyectos	17
2.1.- Técnica PERT	17
2.2.- Técnica CPM.....	19
2.3.- Comparativa PERT / CPM	20
3.- Notación PERT/CPM	21
4.- Gestión de Proyectos aplicada a buques	23
4.1- La Varada.....	23
4.2.- El diagrama de Gantt.....	24
4.2.1.- Historia del Diagrama de Gantt.....	24
4.2.2.- Los Diagramas de Gantt y las varadas de buques.	24
5.- Gestión de Personal	27
5.1.- Macro SOLVER	27
5.1.1.- Fundamento de la macro SOLVER	27
5.1.2.- Metodología SOLVER	28
6.- Metodología	31
6.1.- Diagramar el proyecto.....	31
6.2.- Diagramar mediante Grafo.....	32
6.3.- Diagramar mediante Gantt	33

7.- Caso de estudio: S/F Bahama Mama.....	37
7.1.- Ship`s Particulars S/F Bahama Mama.....	37
7.2.- Varda del S/F Bahama Mama.....	38
7.3.- Programación de trabajos.....	39
7.4.- Duración de los trabajos.....	40
7.5.- Personal	43
7.5.1.- Aplicación de SOLVER.....	43
7.6.- Costes	46
7.6.1.- Costes Fijos	47
7.6.2.- Costes Variables	49
Conclusiones.....	53
Bibliografía.....	55
Anexo A.- Grafos y Diagramas de Gantt.....	57
Anexo B.- Tablas	61
Anexo C.- Imágenes del buque S/F Bahama Mama en dique	65

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1 Ejemplo de Diagrama Grafo. Fuente: apuntes de la asignatura gestión de actividades marítimo – portuarias. Autor: Jose Ramón San Cristobal Mateo.	32
Ilustración 2 S/F Bhamama entrando en el Puerto de Denia, Alicante (2019). Autor: Enzo Giménez (alumno).	38
Ilustración 3 Función Objetivo y celdas de Flujo. Autor: Enzo Giménez (alumno). La Función Objetivo es la suma de los valores del Flujo. Los Flujos los determina la macro Solver aplicando las restricciones insertadas.	44
Ilustración 4 Reparto de personas según turno. Autor: Enzo Giménez (alumno). Los valores del número de personas de cada turno vienen determinados por las restricciones insertadas en la macro Solver.	44
Ilustración 5 Personal disponible y requerido para una semana de trabajo de acuerdo con el turno establecido. Autor: Enzo Giménez (alumno).	45
Ilustración 6 Grafo del proyecto. Autor: Enzo Giménez (alumno). Este es el GRAFO resultante del proyecto de varada que se trata en este documento.	58
Ilustración 7 Diagrama de Gantt Early Start. Autor: Enzo Giménez (alumno). Este es el Diagrama de Gantt que representa la evolución de la varada si todas las tareas se inician lo más pronto posible.	59
Ilustración 8 Diagrama de Gantt Last Start. Autor: Enzo Giménez (alumno). Este es el Diagrama de Gantt que representa la evolución de la varada si todas las tareas se inician lo más tarde posible.	60
Ilustración 9 Vista de popa con rampa de babor abierta por trabajos en el interior de la bodega. Fotografía tomada por el alumno durante la Varada del S/F Bahama Mama en 2022.	65
Ilustración 10 Vista de proa en el primer día de dique, tras la maniobra de Varada. Fotografía tomada por el alumno durante la Varada del S/F Bahama Mama en 2022. ..	66
Ilustración 11 Vista de proa con las cadenas saneadas y marcadas. Fotografía tomada por el alumno durante la Varada del S/F Bahama Mama en 2022	67
Ilustración 12 Robot limpiando el casco para aplicar la pintura posteriormente. Fotografía tomada por el alumno durante la Varada del S/F Bahama Mama en 2022...	66
Ilustración 13 Vista de proa el último día, horas antes de la maniobra de Botadura. Fotografía tomada por el alumno durante la Varada del S/F Bahama Mama en 2022...	67

Índice de Tablas

Tabla.1 Listado de ejemplo. Autor: Enzo Giménez (alumno).	31
Tabla 2 Tabla con prelación (ejemplo). Autor: Enzo Giménez (alumno).	33
Tabla 3 Tabla Early Start - Early Finish (ejemplo). Autor: Enzo Gimenez (alumno) ...	34
Tabla 4 Estados Inicial y Final (ejemplo). Autor: Enzo Gimenez (alumno).....	34
Tabla 5 Tabla de ejemplo completa. Autor: Enzo Giménez (alumno).....	35
Tabla 6 Tabla de ejemplo completa con holguras. Autor: Enzo Giménez (alumno).	35
Tabla 7 Tabla de cálculo de Early Start y Early Finish (demostración). Autor: Enzo Giménez (alumno).	41
Tabla 8 Tabla de cálculo de Last Start y Last Finish (demostración). Autor: Enzo Giménez (alumno).	42
Tabla 9 Tabla de cálculo de Holguras (demostración). Autor: Enzo Giménez (alumno).	43
Tabla 10 Tabla de actividades de la varada del S/F Bahama Mama. Autor: Enzo Giménez (alumno).	62
Tabla 11 Tabla determinante de Camino Crítico para la varada del S/F Bahama Mama. Autor: Enzo Giménez (alumno).	63
Tabla 12 Tabla de personal necesario para la Varada del S/F Bahama Mama. Autor: Enzo Giménez (alumno).	64

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1	Ecuación de Holgura.....	22
Ecuación 2	Ecuación de Tiempo Estimado	22
Ecuación 3	Ecuación de Tiempo Estimado Optimista.....	22
Ecuación 4	Ecuación de Tiempo Estimado Pesimista	22
Ecuación 5	Ecuación genérica de Función Objetivo.	28
Ecuación 6	Ecuaciones genéricas de restricciones matemáticas.	28
Ecuación 7	Ecuación Early Start (aplicada)	41
Ecuación 8	Ecuación Early Finish (aplicada).....	41
Ecuación 9	Ecuación Last Start (aplicada).	42
Ecuación 10	Ecuación Last Finish (aplicada).....	42
Ecuación 11	Ecuación de Holgura (aplicada).....	42

Acrónimos

C.I.	Contra Incendios
CPM	Critical Path Method
EE. UU.	Estados Unidos
EDP	Estructura de Descomposición de Proyecto
F.O.	Fuel Oil
GNL	Gas Natural Licuado
IMDG	Código para el transporte marítimo de Mercancías Peligrosas
LSA	Código sobre los medios de salvamento
M.D.O.	Marine Diesel Oil
MARPOL	Convenio para prevenir la contaminación del mar por hidrocarburos
MM.PP.	Máquinas Principales
P.I.	Península Ibérica
PERT	Program Evaluation and Review Technique
RAE	Real Academia Española
RO-PAX	Buque mixto de pasaje y carga rodada
S/F	Super Ferry
SOLAS	Convenio para la Seguridad de la Vida en el Mar

Simbología

Símbolo	Descripción
€	euros.
°C	Grados Centígrados (Temperatura).
<i>a</i>	Tiempo estimado optimista (días)
<i>b</i>	Tiempo estimado pesimista (días)
<i>bar</i>	Bares (presión).
<i>ef</i>	Early Finish (momento más cercano al evento de origen para finalizar una actividad/tarea).
<i>es</i>	Early Start (momento más cercano al evento de origen para iniciar una actividad/tarea).
<i>GT</i>	Gross Tonnage (tonelada de arqueo).
<i>KW</i>	Kilowatio (unidad de energía).
<i>lf</i>	Last Finish (momento más alejado del evento de origen para finalizar una actividad/tarea).
<i>ls</i>	Last Start (momento más alejado del evento de origen para iniciar una actividad/tarea).
<i>m</i>	Tiempo estimado más probable (días)
<i>m²</i>	Metro Cuadrado (área).
<i>m³</i>	Metro Cúbico (volumen).
<i>mlin</i>	Metro Lineal (equivalente a 4.5 metros de longitud).
<i>rpm</i>	Revoluciones Por Minuto.
<i>Te</i>	Tiempo esperado (en días).
<i>TN</i>	Tonelada Neta.
<i>V</i>	Voltios

1.- Introducción

Antes de entrar en materia, es necesario definir qué es una Varada. Si se recurre a la Real Academia Española (RAE), se encuentra que la definición de Varada es: *"Del verbo varar. Sacar a la playa y poner en seco una embarcación, para resguardarla de la resaca o los golpes de mar, o también para carenarla."* (R.A.E., 2022) También se utiliza para referirse a *"La encalladura de una embarcación a causa de un obstáculo"* (INC, 2023); aunque no es este el caso.

En otras palabras, supone la puesta en seco de una embarcación. Esta operación se lleva a cabo en lugares especializados, los varaderos. Según la RAE, un varadero es *"El lugar donde varan las embarcaciones para resguardarlas o para limpiar sus fondos o repararlas."* (R.A.E., 2022) Los hay de diversos tipos y formas, aunque lo más común es que se compongan por diques que se llenan y vacían a voluntad. Los más importantes a nivel mundial se encuentran mayormente en Asia (en países como China, Japón o Corea del Sur) (Profesional, 2023). Por otra parte, en Europa los más conocidos se encuentran en Francia, Italia, Alemania y España.

A menudo se relacionan los conceptos de *astillero* y *varadero*, tendiendo a pensar que son lo mismo. No es el caso, existe una sutil pero relevante diferencia. El astillero es el lugar donde se fabrican desde cero y también se reparan los buques y embarcaciones (R.A.E., 2022). Un mismo astillero puede acoger en sus instalaciones a buques que precisen de realizar actividades más propias de un varadero. Salvando las distancias, se podría decir que un astillero es similar a una factoría de coches; mientras que un varadero es similar a un taller de coches de concesionario/oficial (si está en las instalaciones de un astillero) o multimarca (si no es así).

La varada de un buque es una operación compleja y costosa para cualquier naviera. Debe llevarse a cabo de forma regular y obligatoria para garantizar que el buen estado y funcionamiento de la nave sea lo más longevo posible. La regularidad y objetivos que persigue cada una de las varadas que realiza un buque, viene determinada por el tipo de buque y los certificados de la clase a la que pertenezca. De todas formas, estos periodos en los que el buque está en seco suelen ser aprovechados para efectuar reparaciones, implementar mejoras o adaptarse a nuevas normativas. Actualmente la mayoría de los buques están instalando sistemas que les permitan ser más eficientes y menos contaminantes. Dicho esto, es necesario destacar la existencia de varaderos que se dedican

a desguazar buques que son considerados obsoletos en las nuevas normativas o que ya no son económicamente viables para sus armadores (los coloquialmente denominados *cementerios de barcos*); como, por ejemplo: las playas de Chittagong en Bangladesh (HANDKE, 2020).

En el caso de este trabajo, el objetivo es organizar la Varada de un buque RO-PAX. Mientras el buque este en seco, se deben llevar a cabo las reparaciones e inspecciones necesarias; además de incorporar un nuevo sistema que permita combinar el Gas Natural Licuado (GNL) y el Fuel Oil (F.O.) como combustibles para las máquinas propulsoras. Todo ello debe realizarse en el menor tiempo posible, lo que implica la simultaneidad de varias actividades.

Para que las diferentes actividades se lleven a cabo sin mayor perjuicio, se debe establecer un orden. En este orden se debe definir la prioridad o relevancia que tiene cada actividad individualmente para el conjunto de la Varada. El orden que seguir debe ser establecido teniendo en cuenta que el desarrollo de las actividades puede sufrir modificaciones o retrasos. Por último, el proyecto debe ajustarse a un presupuesto que puede verse alterado con relativa facilidad (material, personal necesario, servicios a contratar, etc.).

Por lo general, cuanta más planificación previa se realice, mayor acierto y control se puede tener sobre el presupuesto y menores pueden ser los sobrecostos o "sorpresas". Para lograr esto, la planificación previa deber ser lo más detallada y realista posible.

2.- Gestión y Planificación de Proyectos

Existen diferentes técnicas para gestionar y planificar proyectos independientemente de su envergadura como, por ejemplo: Agil, Crystal Clear, Scrum, Prince2, Lean Management, Método en Cascada, etc. (Albornoz, 2021) En este proyecto concreto se utilizan tanto la técnica *Program Evaluation and Review Technique (PERT)* como la técnica *Critical Path Method (CPM)*. Ambos métodos constituyen dos técnicas pioneras en la programación y control de proyectos. Hay que destacar que ambas tienen su origen a finales de la década de los 50, aunque nacen en grupos de investigación distintos y para atender necesidades distintas (Portugal, 1966).

- La técnica PERT nace dentro del programa POLARIS de construcción de submarinos atómicos de la armada de los Estados Unidos (EE. UU.). Donde el objetivo era desarrollar y fabricar estas naves de forma eficiente y relativamente rápido.
- La técnica CPM nace para programar la construcción de una planta industrial de la empresa DUPONT. Donde el objetivo era controlar los costes de la operación desde el primer momento.

2.1.- Técnica PERT

(Stillian, 1964) La técnica PERT puede proporcionar a la persona encargada de la planificación (planificador), la información necesaria para un control efectivo y la implantación de medidas a cualquier nivel de organización. Esta técnica puede usarse como elemento auxiliar para conseguir una mayor seguridad en las decisiones a tomarse en proyectos grandes y en cualquier tipo de operación que pueda ser descompuesta en actividades menores o más simples. Las principales mejoras de esta técnica respecto a otras son:

- Mejora el control por parte la dirección y sirve de ayuda para tomar mejores decisiones
- Ayuda a conocer el margen de tiempo disponible para cada actividad (holgura).
- Permite conocer la fecha de inicio más tardía admisible para cada actividad.

La técnica PERT permite observar todo el progreso del proyecto, ya que conforme se termina alguna tarea se anota el tiempo empleado y se le relaciona con la siguiente. Con esto se mide su efecto sobre el camino crítico y así es posible analizar cualquier adelanto dentro del proyecto y tomar las medidas necesarias para evitar demoras o minimizar costos.

La técnica PERT es un grupo de principios, métodos y técnicas para un planeamiento efectivo de trabajo orientado hacia un objetivo, con el cual se establece una base para una efectiva programación, control de costes, y planeamiento en la dirección de programas (Portugal, 1966). Esta técnica emplea:

- La descomposición de la estructura del proyecto: subdividiendo los objetivos para conseguirlo, en pequeñas tareas (Método Estructura de Descomposición de Proyecto (EDP) (Navarro, 2023)).
- Un flujo del plan: constituido de todas las actividades y eventos que deberán ser terminados o realizados para llegar al objetivo final del proyecto, mostrando la secuencia de realización planeada, su interdependencia y sus interrelaciones. A esto se le conoce como la red de un proyecto y queda representado en un grafo.
- Un programa: el cual intenta balancear los objetivos, la red del plan y la disponibilidad de recursos.
- Un análisis de la interrelación de redes, programas y holguras, como una base para una continua evaluación del estado del programa.

En términos generales, el PERT es una técnica muy recomendada para dirigir ordenadamente un proyecto. Las ventajas principales de la técnica PERT son las siguientes:

- Impone una disciplina rígida para identificar los elementos o materiales requeridos para conseguir los objetivos de interrelación entre las diferentes tareas.
- Es un método rápido y efectivo para comunicar planes y su contenido.
- Proporciona un plan estructural que tiende por sí mismo a una determinación sistemática del tiempo estimado total necesario, el cual puede ser comparado con una fecha de terminación fijada.
- Da una prueba certera de si lo planeado se está llevando a cabo.
- Sirve para evaluar el progreso contra los planes aprobados y predecir posibles problemas.

2.2.- Técnica CPM

La técnica CPM es una herramienta utilizada en la Ingeniería Industrial y ayuda principalmente al control del desarrollo de una operación. Permite conocer las actividades que determinan la duración de un proyecto, sobre las cuales es necesario ejercer un mayor control para tratar de acortar su duración.

La técnica CPM se divide en tres fases (Portugal, 1966):

- La primera es la construcción de una representación o red. Esta red muestra la relación secuencial de las operaciones que integran el proyecto. Esta fase es un requisito indispensable para cada una de las siguientes fases. Por lo general, dicha representación es mayoritariamente una red, en vista de que es más fácil de entender que con una gráfica convencional. La comprensión de esta red es muy importante en la planificación y control del proyecto.
- La segunda fase consiste en desarrollar la información esencial más útil para conseguir el objetivo de control del proyecto. En esta fase se determina qué operaciones son críticas, es decir, aquellas que determinan la duración total del proyecto y la holgura que tienen las operaciones están en el camino crítico. Esta información será muy útil para lograr el control del proyecto (denominados como tiempos “early” y tiempos “last”). El conocimiento de las holguras de las tareas servirá para programar los cambios de mano de obra y equipo. Tanto esta fase como la anterior pueden realizarse de forma manual y sin gran esfuerzo, sin necesidad de utilizar programas informáticos complejos.
- La tercera fase contempla la posibilidad de introducir variaciones en el tiempo de realización y también la introducción de datos sobre costo. El objetivo de esta fase es determinar el programa de operaciones que produzca el menor costo directo para una duración determinada del proyecto. Cabe destacar que es la fase más difícil de resolver, sin embargo, es la que ofrece mayores posibilidades para la reducción de costos del proyecto.

En función del resultado de la tercera fase, se puede repetir o no la segunda fase. Esto se debe a que, tras la realización de la tercera fase, la duración de las tareas está optimizada en base a los costes. Debido a esto, se pueden reorganizar algunas de las diferentes tareas del proyecto, incluso las fechas de iniciación y finalización de este pueden ser modificadas.

2.3.- Comparativa PERT / CPM

A pesar de que ambas técnicas nacen para atender necesidades distintas, en esencia son prácticamente idénticas. Sin embargo, existen diferencias notables:

- La técnica PERT aborda un enfoque aleatorio a la hora de establecer las duraciones de las actividades, considerando tres tiempos posibles de ejecución. Mientras que la técnica CPM aborda un enfoque determinista y asigna un solo tiempo a la duración de una actividad.
- En la técnica CPM es posible introducir la relación entre el coste de una actividad y su duración es lo que permite programar un proyecto en base a un coste mínimo.

A pesar de estas diferencias, a ambas técnicas se las suele denominar de forma conjunta como PERT/CPM dado que ambas utilizan el método del Camino Crítico para calcular los diferentes tiempos que caracterizan a un proyecto.

3.- Notación PERT/CPM

(Fernández, 1995) Existen ciertos conceptos y términos que pueden llevar a confusión. Es por esto que se hace necesario crear un pequeño glosario para que no se lleguen a conclusiones erróneas o se malinterprete información. Los conceptos y términos son los siguientes:

- Actividad o Tarea: es la unidad fundamental del proyecto. Es un elemento que consume tiempo y fuerza e indica el trabajo necesario para avanzar en un proyecto (actividad real). En el grafo se representan unidas entre sí por una línea o flecha, la cual sirve para indicar la sucesión de los eventos. Una actividad no debe comenzarse hasta que la actividad anterior no haya terminado.
- Evento o Estado: es una actividad que representa un punto distinguible en el tiempo que coincide con el inicio y/o término de una actividad específica. Puede ser un momento de decisión o ejecución que no consume tiempo ni recursos. En el caso de este proyecto concreto, representa el estado inicial (justo al entrar a dique) y final (justo después de salir del dique) del buque.
- Red o Grafo: Es un diagrama de flujo. Está compuesto por las actividades y los eventos que deben cumplirse para lograr los objetivos del programa. En ella se muestran su secuencia de realización, interdependencia e interrelaciones, según se han planificado.
- Camino Crítico: Es la secuencia de actividades cuya holgura es cero, es decir, aquellas actividades cuya realización es indispensable para el proyecto. A su vez, esto indica cuál es el camino de mayor duración a través de la red. La duración de este camino determina la fecha de terminación del proyecto.
- Holgura (H): Es la diferencia entre el tiempo más corto esperado para el inicio (early start - *es*) y el más largo esperado para el inicio (last start - *ls*) de una actividad concreta. El conjunto de las diferencias de cada actividad representa la flexibilidad de un programa. Es decir, indica el lapso en el cual puede ubicarse una actividad, sin influir en la fecha final de cumplimiento del objetivo. No obstante, cabe destacar que las actividades con holgura disponen de los mismos recursos que otras actividades como los recursos humanos y otras facilidades que pueden ser utilizados en el resto de las actividades.

Ecuación 1 Ecuación de Holgura

$$H = ls - es$$

- Tiempo esperado (Te): Es el tiempo que se espera requiera una actividad. Su valor se calcula en base al promedio de distintos tiempos para el trabajo a realizar. Aunque en el caso práctico de este proyecto, este dato se obtiene por la experiencia acumulada en varadas anteriores, la fórmula es la siguiente:

Ecuación 2 Ecuación de Tiempo Estimado

$$Te = \frac{a + 4m + b}{6}$$

- Tiempo estimado más probable (m): Es el tiempo estimado más cercano a la realidad que podría demorar una actividad. Se puede esperar que este tiempo ocurra más a menudo si la actividad se repite numerosas veces bajo las mismas circunstancias durante el proyecto.
- Tiempo estimado optimista (a): Es el tiempo en el cual se puede completar una actividad si no surgen inconvenientes (en los cálculos este valor se denomina “early finish”- ef).

Ecuación 3 Ecuación de Tiempo Estimado Optimista

$$a = ef$$

- Tiempo estimado pesimista (b): Es la mayor duración que podría requerir una actividad bajo las condiciones más adversas (en los cálculos este valor se denomina “last finish” - lf).

Ecuación 4 Ecuación de Tiempo Estimado Pesimista

$$b = lf$$

4.- Gestión de Proyectos aplicada a buques

4.1- La Varada

Las varadas en dique seco son periodos muy importantes para cualquier navío. Aunque en ocasiones puede ser un periodo aparentemente breve, es de vital importancia que se repita de forma periódica para que un buque pueda continuar prestando un servicio de forma eficiente y segura. Es en este periodo de tiempo cuando se realizan inspecciones rutinarias que sirven para conocer el estado del buque; con especial atención en zonas que no se pueden inspeccionar estando a flote, e implantar las mejoras que sean necesarias.

Para llevar a cabo estas inspecciones rutinarias y mejoras, es preciso realizar una programación de eventos previa. Esto es debido al gran número de tareas que se realizan simultáneamente en un breve espacio de tiempo. Por otra parte, todas las tareas tienen que terminar antes de una fecha límite, pues la varada de un buque es una inversión importante para cualquier naviera o armador.

La duración de una varada es una de las variables más importantes para poder calcular su costo. A su vez, en función de si prevalece más el factor financiero o el temporal, se priorizarán unas tareas u otras. La clase de buque y su edad también ayudan a saber cuáles son las necesidades que deben ser cubiertas con mayor o menor urgencia (y su correspondiente duración).

Aunque no todas las varadas son iguales, existen una serie de tareas que suelen hacer todos los buques que van a dique seco. Entre estas tareas se encuentran: la apertura de escotillas y grifos de fondo, el lavado de la obra viva, el pintado de la obra viva con pinturas especiales (denominadas en lenguaje coloquial como "patente"), la revisión de elementos de gobierno y propulsión, la inspección de espacios vacíos y tanques (incluyendo lastres, combustibles, aceites y agua dulce) y las inspecciones de los elementos de seguridad correspondientes (botes, balsas, aparatos de comunicación, etc.).

La varada de un buque también sirve para actualizar y mejorar algún aspecto de este. Es en estas varadas especiales cuando la organización de las tareas juega un papel mucho más importante de lo habitual. Una mala organización puede derivar en el incumplimiento de plazos (con el consecuente sobre costo), fallos en la instalación de nuevos equipos o que incluso quede alguna tarea pendiente de realizar.

4.2.- El diagrama de Gantt

Como bien se ha mencionado, la organización de tareas es un factor muy importante a la hora de planificar la varada de un buque. Para llevar a cabo dicha tarea existen diferentes técnicas y métodos (Albornoz, 2021). Además de las ya mencionadas PERT y CPM, existe otra más gráfica y que complementa a ambas. Se trata del Diagrama de Gantt, mediante el cual se pueden observar de forma rápida y objetiva características de un proyecto como:

- qué tiempo debe ocupar cada actividad.
- quién realiza cada una de las actividades.
- el orden que debe de seguirse o las simultaneidades que pueden darse durante la ejecución del proyecto.

4.2.1.- Historia del Diagrama de Gantt

En 1910, el ingeniero mecánico Henry Laurence Gantt (Library, 2006) popularizó en los EE. UU. un gráfico similar a los primeros cronogramas, que fueron inventados por el economista e ingeniero ruso Karol Adamiecki (Wikipedia, 2023) en 1896. (Martins, 2022).

Gantt elaboró sus primeros diagramas con el objetivo de representar cuánto tiempo dedicaban los obreros de una fábrica a trabajar en una tarea específica. Más adelante, los diagramas de Gantt se transformaron en una forma muy difundida de dar seguimiento a los cronogramas de cualquier proyecto con cierta envergadura o complejidad.

Con el paso de los años, ambos sistemas (el de Gantt y el de Adamiecki) se han combinado para crear lo que actualmente se conoce como el diagrama de Gantt. Originalmente, los diagramas se hacían en papel, con lo que, si las fechas cambiaban había que volver a dibujarlos. En la actualidad, el diagrama de Gantt se le denomina también como "hoja de ruta", dado que muestra de forma visual la "ruta" que sigue un proyecto.

4.2.2.- Los Diagramas de Gantt y las varadas de buques.

En la varada de un buque se realizan muchas tareas que engloban a otras más simples y que se llevan a cabo, en muchas ocasiones, al mismo tiempo. Es esto por lo que el diagrama de Gantt resulta de gran utilidad para este tipo de proyectos.

Si el diagrama no se realiza de forma objetiva, existe el riesgo de elaborar una planificación demasiado optimista o, demasiado pesimista (dando lugar nuevamente a los

consecuentes sobrecostos y otros inconvenientes). Por esta razón, la persona o el equipo encargado de planificar el proyecto que elabore el diagrama debe tener cierta experiencia o, por lo menos, acceso a información suficiente relativa a proyectos similares anteriores.

Esta información es muy diversa, pudiendo ser desde materiales a emplear hasta experiencias que ayuden a evitar errores. Por lo general, se pueden extraer una serie de causas que puedan ralentizar el desarrollo de las tareas programadas, como puede ser:

- Materiales especiales que deben pedirse con mucha antelación: piezas mecánicas, pinturas especiales, equipamiento de apoyo, etc.
- Contratación de servicios especiales: inspecciones principalmente.
- Necesidad de personal extra: bien tripulantes o bien personal de apoyo del propio dique.
- Retrasos en el desarrollo de tareas previas: debido a falta de materiales, falta de personal, mayor dificultad de lo previsto, etc.
- Programación del varadero: el varadero debe atender a otros buques que también tienen su propia programación.

Debido a la cantidad de variables que pueden alterar la duración de las tareas que suelen caracterizar a un proyecto como la varada de un buque, la Dirección (o equipo directivo) no realizará un único diagrama; si no que elaborará un mínimo de dos diagramas:

- Un diagrama optimista: en el que todas las tareas cumplan con el plazo establecido (que finalicen lo más pronto posible).
- Un diagrama pesimista: en el que todas las tareas empiecen lo más tarde posible.

De esta forma se puede establecer una ventana de tiempo aproximada entorno a la fecha de finalización del proyecto.

Para obtener unos diagramas con unos resultados presumiblemente objetivos, se deben realizar una serie de cálculos y procesos. El primero de ellos es, a primera vista, muy sencillo; se trata de enumerar y ordenar todas las tareas que se desean realizar. Estas deben ser lo más detalladas posible, conociendo las subtareas que pueden componerlas y su relevancia dentro del proyecto. Es en esta primera parte donde la Dirección (normalmente un inspector de la compañía naviera con suficiente experiencia) debe consultar, mediante propuestas realizadas por la tripulación técnica, las necesidades del buque y su urgencia.

Dichas necesidades y propuestas se recogen en un documento único que es revisado y aprobado por la Dirección del proyecto.

5.- Gestión de Personal

Al igual que el presupuesto, el personal también puede ser monitorizado. No todas las tareas pueden ser ejercidas por la tripulación, en numerosas ocasiones se requiere de personal especializado o simplemente se necesita más. Cabe destacar que el personal juega un papel importante dentro de cualquier presupuesto, aunque en proyectos grandes como una varada no tiene porqué suponer la mayor de las partidas económicas.

Se ha de crear un gráfico en el que se relacionen todas las actividades con las personas que se necesitan para cada actividad y el tiempo que ocupan. El resultado de este gráfico depende del listado de las tareas y su prelación. Con esto se conoce de forma sencilla el número de personas que se necesita cada día.

5.1.- Macro SOLVER

Con el programa Excel, se puede realizar una estimación del personal necesario para realizar las tareas de cada día. Determinar este número es un problema lineal que puede tener diversas soluciones o diversas formas de llegar a la misma solución. Existe una macro de Excel que ayuda a resolver problemas de esta naturaleza, se denomina Solver.

5.1.1.- Fundamento de la macro SOLVER

La macro SOLVER es un modelo matemático de optimización basado en restricciones (las cuales son igualdades o condiciones matemáticas). Este modelo tiene como finalidad encontrar la mejor solución de entre varias opciones. El modelo tiene tres componentes básicos: (Kentucky, 1997)

- **Variables de decisión:** son cantidades físicas representadas por medio de símbolos matemáticos. En el caso de este trabajo, son las personas necesarias para desarrollar el proyecto.
- **Función Objetivo:** es el criterio para evaluar la solución alcanzada (normalmente un valor máximo o mínimo). En el caso de este trabajo, es el número de personas mínimo para realizar el proyecto.
- **Restricciones:** son igualdades o restricciones numéricas que representan las limitaciones que pueda tener el proyecto. En este caso son los turnos o el personal del buque que pueda desarrollar alguna de las actividades que se proponen en la tabla 10.

Los modelos matemáticos que utiliza la macro SOLVER son de programación lineal. Es decir, son modelos de optimización matemáticos condicionados que cumplen al menos tres condiciones:

- Las variables de decisión deben ser continuas; pueden tomar cualquier valor dentro de un determinado rango o condiciones.
- La función objetivo debe ser una función lineal.
- Las restricciones deben ser funciones lineales.

Estos modelos matemáticos se escriben de la siguiente forma (aunque también pueden escribirse de forma matricial):

- Para la función objetivo (maximizar o minimizar) se utiliza la ecuación genérica:

Ecuación 5 Ecuación genérica de Función Objetivo.

$$z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$$

- Para las restricciones del modelo se utilizan las ecuaciones genéricas:

Ecuación 6 Ecuaciones genéricas de restricciones matemáticas.

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n =; \leq; \geq b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n =; \leq; \geq b_2$$

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n =; \leq; \geq b_m$$

Donde los valores de x_j son los valores de las variables de decisión y c_j ; a_{ij} y b_j son valores constantes denominados coeficientes (restricciones del problema). En la mayoría de los casos las variables de decisión deben ser no negativas (que no arrojen valores negativos).

5.1.2.- Metodología SOLVER

Para utilizar la macro SOLVER, se ha de crear un gráfico en el que se relacionen todas las actividades con las personas que se necesitan para cada actividad y el tiempo que ocupan. El resultado de este gráfico depende del listado de las tareas y su prelación. Con esto se conoce de forma sencilla el número de personas que se necesita cada día.

A continuación, se necesita establecer una función objetivo y un flujo (ilustración 3). El objetivo será la suma de los valores que adquieran todos los elementos del flujo. A su vez, el flujo irá adquiriendo diferentes valores según se desarrolle el cálculo. El siguiente paso es establecer las condiciones o límites en los que debe operar la extensión. En este caso,

se busca un objetivo mínimo, es decir, el número de personas mínimo necesario para realizar todas las actividades programadas. A continuación, se imponen las restricciones propias del proyecto (turnos, número máximo de personas, escenario pesimista u optimista, etc.) para que la herramienta pueda realizar los cálculos pertinentes.

6.- Metodología

Para el desarrollo del caso práctico expuesto posteriormente en este trabajo, se ha utilizado el método PERT/CPM complementado por diversos diagramas.

6.1.- Diagramar el proyecto

En primer lugar, es necesario aclarar en qué consiste diagramar un proyecto. En el caso particular de este trabajo, se le puede definir como la capacidad de exponer una sucesión de eventos ordenados en forma gráfica. Esto puede hacer de forma totalmente artesanal (con lápiz y papel) o mediante el uso de programas informáticos.

Para poder diagramar un proyecto, se debe elaborar una lista con todas las actividades que se deben realizar en el proyecto con el mayor detalle posible. A cada tarea se le asigna un código (letra o número) y se intenta delimitar su duración en la unidad que se requiera (horas o días). Una vez identificadas, se establece un orden a seguir; marcando en cada actividad, cuál es la que le sucede y cuál es la que le precede (Tabla 1).

Pueden existir diversas tareas que dependan de una misma tarea previa para llevarse a cabo, por lo tanto, su predecesora será la misma. Por ejemplo: Para llevar a cabo las tareas de apertura de grifos de fondo y de conexiones buque – varadero, el buque debe estar previamente en seco.

Tabla.1 Listado de ejemplo. Autor: Enzo Giménez (alumno).

Actividad	Descripción	Prelación	Duración	Personal
A	Varada		0.2	
B	Candeleros	A	5	3
C	Helideck	A	6	3
D	Quitar rejillas Dck3	A	2	2
G	Quitar y sanear rejillas Dck4	D	7	2
I	Cesárea Dck4	A	5	8
K	Mamparo de TCS	I	5	8

Esto puede repetirse a varios niveles y no tienen por qué ser tareas aparentemente cercanas en el listado.

6.2.- Diagramar mediante Grafo.

Utilizando los códigos empleados en el mencionado listado y siguiendo su prelación, se obtiene un diagrama del proyecto. El gráfico obtenido tiene una apariencia similar a un flujograma (también denominado diagrama de Pert) (Martins, 2022). Existe una primera tarea o estado que sería detonante (por ejemplo: la entrada en la grada) y una última que sería el resultado final o culminación del proyecto (por ejemplo: la botadura). Los diferentes flujos que existen para ir del estado inicial al final quedan representados por las tareas definidas previamente, en los que cada nudo sería una tarea (ilustración 1). De esta forma se consigue representar gráficamente las dependencias que existen entre las diferentes tareas o fases del proyecto (Ilustración 6). En otras palabras, se representa gráficamente el “camino” o las “distintas vías” que llevan al buque de un estado inicial (entrada en grada) a un estado final (botadura).

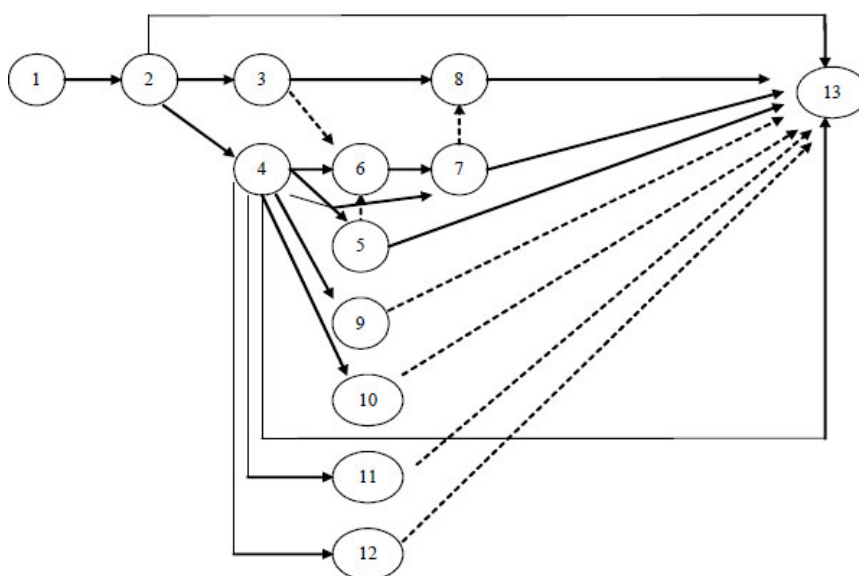


Ilustración 1 Ejemplo de Diagrama Grafo. Fuente: apuntes de la asignatura gestión de actividades marítimo – portuarias. Autor: Jose Ramón San Cristobal Mateo.

Pero de entre todos estos flujos, hay uno que destaca; el cual está conformado por las tareas más críticas o restrictivas del proceso. Es decir, aquellas tareas que determinan en gran medida la continuidad y duración del proyecto. En algunos proyectos son fácilmente detectables, debido a que son predecesoras de múltiples tareas. Para esclarecer cuáles son estas tareas críticas, se debe recurrir a la diagramación mediante GANTT.

6.3.- Diagramar mediante Gantt

Para una mayor precisión, se deben elaborar mínimo 2 diagramas (sección 4.2.2). Para elaborarlos se hacen cálculos con relación a la prelación de las tareas y su duración. Esta información se detalla en el documento aprobado por la Dirección (listado de tareas; tabla 10). Haciendo un sumatorio condicionado de todas las tareas se puede calcular la duración de la varada. Una vez conocidas la duración total de la varada y de cada una de sus tareas, se pueden establecer controles de personal y presupuesto.

Para calcular la duración total de la varada y poder también crear los diagramas de Gantt, la herramienta más adecuada es el programa Excel. Gracias a él, se pueden realizar complejos cálculos de forma efectiva y rápida. Para ello se siguen los siguientes pasos:

- Se ordenan las tareas en una tabla (tabla 2), mostrando su prelación y duración.

Tabla 2 Tabla con prelación (ejemplo). Autor: Enzo Giménez (alumno).

Actividad	Prelación (anterior)	Duración
A	-	0.2
B	A	5
C	A	6
D	A	2
G	D	7
I	A	5
J	D	2
K	I	5

- Se crea una segunda tabla (tabla 3) compuesta por las columnas:
 - Actividad: código o numeración que identifica a la tarea en cuestión.
 - “Early start” o inicio de la actividad lo más pronto posible. Es el valor del “early finish” de la tarea predecesora; siguiendo el orden de prelación.
 - “Early finish” o finalización de la actividad lo más pronto posible. Es el valor suma de los valores de “early start” de la actividad en cuestión y su duración. (ecuación 3)

Tabla 3 Tabla Early Start - Early Finish (ejemplo). Autor: Enzo Giménez (alumno)

Actividad	Early Start	Early Finish
A	0	0.2
B	0.2	5.2
C	0.2	6.2
D	0.2	2.2
G	2.2	9.2
I	0.2	5.2
J	2.2	4.2
K	5.2	10.2

- Siguiendo la prelación establecida, se van sumando los valores de las casillas “early start “ y de las casillas “early finish” respectivamente. El resultado final de ambas columnas (estado “finish”), deben tener el mismo valor (tabla 4).

Tabla 4 Estados Inicial y Final (ejemplo). Autor: Enzo Gimenez (alumno).

Actividad	Early Start	Early Finish
Start	0	0
...	...	...
Finish	39.4	39.4

- El valor final de “early start” viene determinado por el valor máximo de las tareas que son predecesoras al estado final “finish”.
- Para comprobar que el cálculo es correcto, se hará el cálculo a la inversa. Es decir, se añadirán las columnas (tabla 5):
 - “Last start” o inicio de la actividad lo más tarde posible. Es el valor resultante de la resta de los valores de las casillas “last finish” y la duración de la actividad.
 - “Last finsh” o finalización de la actividad lo más tarde posible. Es el valor correspondiente a la casilla “Last Start” de la tarea predecesora. Es necesario poner especial atención cuando hay varias tareas que tienen a la misma tarea como predecesora; es decir, se debe remarcar el valor mínimo de entre todas ellas (ecuación 4).

Tabla 5 Tabla de ejemplo completa. Autor: Enzo Giménez (alumno)

Actividad	Early Start	Early Finish	Last Start	Last Finish
Start	0	0	0	0
A	0	0.2	0	0.2
B	0.2	5.2	9.4	14.4
C	0.2	6.2	33.4	33.9
D	0.2	2.2	2.4	4.4
G	2.2	9.2	4.4	11.4
I	0.2	5.2	0.2	5.2
J	2.2	4.2	35.4	35.7
K	5.2	10.2	5.2	10.2
... Finish	39.4	39.4	39.4	39.4

- Como el cálculo se hace a la inversa, los valores tienen que ir descendiendo hasta finalizar en cero. Esto es, el cálculo se inicia en el estado final “finish” y termina en el estado inicial “start” cuyo valor debe ser cero (tanto en las casillas “last start” como “last finish” de dicho estado).
- El siguiente paso es establecer las holguras o flexibilidad del proyecto. Gracias a este dato, se pueden determinar las actividades críticas (las actividades que determinarán la duración total del proyecto). Para ello, se debe crear una nueva columna de cálculo en la que se resten los valores de “Early Start” y “Last Start” de cada tarea. Si el valor de dicha resta es igual a cero, entonces la tarea es crítica (ecuación 1). En caso contrario (resultado con valor distinto de cero), la tarea no es crítica y, por tanto, se entiende que hay cierto margen de tiempo para que sea realizada (ver tabla 6).

Tabla 6 Tabla de ejemplo completa con holguras. Autor: Enzo Giménez (alumno).

Actividad	Early Start	Early Finish	Last Start	Last Finish	Holgura	Resultado
Start	0	0	0	0	0	Crítico
A	0	0.2	0	0.2	0	Crítico
B	0.2	5.2	9.4	14.4	9.20	NO Crítico
C	0.2	6.2	33.4	33.9	33.2	NO Crítico
D	0.2	2.2	2.4	4.4	2.20	NO Crítico
G	2.2	9.2	4.4	11.4	2.20	NO Crítico
I	0.2	5.2	0.2	5.2	0	Crítico
J	2.2	4.2	35.4	35.7	33.2	NO Crítico
K	5.2	10.2	5.2	10.2	0	Crítico
... Finish	39.4	39.4	39.4	39.4	0	Crítico

Con la información que ofrece la tabla 6 de datos y valores, se construyen los diagramas de Gantt. En este trabajo, el primero de ellos, será el optimista (todo se realiza en el periodo establecido). Para ello, se elabora una tabla aparte con los datos de las columnas de: el código de las actividades, el valor “early start” de cada actividad y la duración de cada una de ellas. A partir de estos datos, utilizando la herramienta Excel, se genera un gráfico de barras superpuestas que dará lugar al primer diagrama (ilustración 7).

Para realizar el segundo diagrama se procederá de la misma forma. Pero, éste será para el escenario contrario, es decir, el pesimista (todas las tareas comienzan lo más tarde posible). Nuevamente, se elabora una tabla aparte, pero en la que los datos provienen de las columnas de: el código de las actividades, el valor “last start” de cada actividad y la duración de cada una de ellas. Con todo ello, se genera mediante la herramienta Excel un gráfico de barras superpuestas que dará lugar al segundo diagrama (ilustración 8).

Una vez desarrollados los cálculos y generados los diagramas (ilustraciones 7 y 8), sólo queda estudiarlos y procurar que la realización del proyecto se ajuste lo más parecida posible a estas planificaciones. Es necesario destacar que, la proyección de estos diagramas, nacen de una planificación previa, la cual a su vez está condicionada por un presupuesto. Este puede ser monitorizado, permitiendo así conocer la evolución del proyecto.

7.- Caso de estudio: S/F Bahama Mama

7.1.- Ship`s Particulars S/F Bahama Mama

El Super Ferry (S/F) Bahama Mama es un buque mixto, es decir, transporta pasaje y carga rodada (RO-PAX); y es propiedad de la compañía Euro-líneas Marítimas Balearia S.A. desde el año 2009. Este ferry fue construido por el astillero gallego H.J. Barreras, en Vigo. Además, fue el primer buque de la compañía Balearia en operar entre los EE. UU. y las Bahamas (Miami - Nassau). Anteriormente, el buque era de bandera española y se le conocía como “S/F Alhucemas”. Actualmente, este buque se encuentra navegando bajo pabellón chipriota; realizando diversas rutas entre la Península Ibérica (P.I.) (Barcelona, Denia o Valencia) y las Islas Baleares (Ibiza, Mahón, Ciutadella, Alcudia o Palma de Mallorca); o entre el Sur de la P.I. (Algeciras, Motril, Málaga o Almería) y el Norte de África (Ceuta, Melilla, Tanger-Med, Nador o Mostaganem). Sus características principales son (Barreras, 2009):

- Eslora total: 154.5 metros
- Eslora entre perpendiculares: 137 metros
- Manga: 24.2 metros
- Puntal: 13.5 metros
- Calado mínimo (en lastre): 4.7 metros
- Calado máximo (en carga): 5.5 metros
- Arqueo bruto: 20312*GT*
- Peso Muerto: 3520*TN*
- Desplazamiento: 10343*TN*
- Velocidad Máxima: 23*nudos* (en lastre)
- Velocidad de Servicio: 21*nudos*
- Máquina Principal: dos motores *MAK 9M43C* con una potencia de 8965*KW* a 500*rpm* (cada uno de ellos).
- Auxiliares: 3 auxiliares *MAK 6M20C* con una potencia de 1140*KW* a 1000*rpm* (cada uno de ellos).
- Propulsores: Dos hélices de 4 palas de paso variable.
- Hélices de Maniobra: Dos hélices de maniobra de 4 palas, accionamiento por motor eléctrico con una potencia de 750*KW* cada una.

- Equipo de Gobierno: timones convencionales con servomotores independientes (SV650- 3FCP).
- Capacidad de combustible: 600m³ de F.O., 82m³ de Marine Diesel Oil (M.D.O.) y 180m³ de GNL (a 6bar de presión y –180°C).
- Consumos diarios: 48 toneladas de F.O. y 0.3 toneladas de M.D.O.
- Capacidad para 1000mlin de carga rodada repartidos en dos grandes bodegas (Cubiertas 3 y 4 del buque) y 1000 personas (incluyendo la tripulación, de unas 50 o 40 personas).



Ilustración 2 S/F Bahama Mama entrando en el Puerto de Denia, Alicante (2019).
Autor: Enzo Giménez (alumno).

7.2.- Varda del S/F Bahama Mama

La varada del buque S/F Bahama Mama tiene como objetivo principal la implantación de un nuevo sistema que permita utilizar combustibles alternativos al fuel como el GNL. Al mismo tiempo, durante este periodo se deben hacer las reparaciones y modificaciones necesarias para que el buque esté a punto y cumpla con las modificaciones que hayan experimentado las normativas desde la última varada (enmiendas del Convenio para prevenir la contaminación del mar por hidrocarburos (MARPOL), enmiendas del Convenio para la seguridad de la vida en el mar (SOLAS), enmiendas del Código para el transporte marítimo de Mercancías Peligrosas (IMDG), enmiendas del Código sobre los medios de salvamento (LSA), etc.).

La utilización de un nuevo combustible implica la necesidad de nuevos dispositivos que permitan usarlo (ya sea de forma total o parcial). En este caso, las Máquinas Principales del buque deben adaptarse para ser duales, es decir, ser funcionales tanto con F.O. como con GNL. Por lo tanto, en la Sala de Máquinas se introducirán dispositivos y sensores que permitan cambiar y utilizar de forma segura ambos combustibles.

Al usar un nuevo combustible, también se deben adaptar o disponer de nuevos lugares de almacenamiento. En esta varada, se introducirán dos tanques capaces de almacenar y utilizar el GNL de forma segura. Junto con estos recipientes, se instalarán las correspondientes unidades de conversión del GNL (TCS) y nuevos mamparos y seguridades. Pero, la instalación de estos elementos supone la ocupación de un espacio a bordo, en este caso, el garaje o bodega de carga. Es decir, la instalación de los equipos que permiten el uso del GNL supone una pérdida en capacidad de carga (pasando de 1200mlin a 1000mlin) y un peso extra para el buque.

El peso de los nuevos elementos modifica el asiento y el arqueo total del buque, pasando de 20238GT a 20312GT y apopando el buque (debido a su ubicación). Al modificarse estas características del buque, su capacidad de carga y el calado máximo del buque se ven afectados. El calado máximo del buque aumenta de 5,50m hasta 5,65m, con lo que su disco Plimsoll también se modifica volviéndose menos restrictivo.

Como consecuencia de este último cambio, se deben calcular y elaborar nuevamente los libros de estabilidad del buque. Estos documentos contienen información acerca de los esfuerzos dinámicos del buque en todas las condiciones de carga y lastre del buque:

- *Stability Book* : en el que se muestran los valores de los esfuerzos dinámicos de cada tanque de lastre y cómo este afecta a la estabilidad del buque.
- *Damage Stability Book* : en el que se muestran los valores de los esfuerzos dinámicos de cada espacio vacío en caso de inundación y cómo este afecta a la estabilidad del buque.

Junto con estos documentos, se adjuntan planos con la disposición de los espacios y tanques que se nombran. Además de estos planos, se adjuntan también otros planos con información relativa a elementos de seguridad, disposición de bodegas, etc. los cuales también serán modificados con los nuevos elementos y equipos.

7.3.- Programación de trabajos.

Como se ha indicado en capítulos anteriores, el primer paso es la elaboración de un listado con todas las actividades. Este documento se elabora entre la tripulación técnica y el equipo de inspectores de la empresa naviera (La Dirección del proyecto). El documento o listado elaborado para el S/F Bahama Mama es el que se muestra en la tabla 10.

En el documento o listado (tabla 10) se enumera cada actividad junto con su descripción, su prelación, su duración y el personal necesario para llevarlas a cabo. Hay que destacar que el personal necesario puede ser tanto del dique como de la tripulación. Para elaborar este documento, se ha recopilado información de varadas anteriores y se ha estimado la duración de alguna de ellas (ecuación 2).

7.4.- Duración de los trabajos.

La lógica dicta que la suma de las duraciones de cada una de las actividades daría como resultado el tiempo total de la estancia del buque en el dique. Pero no todas las actividades se desarrollan linealmente. Además, algunas de estas actividades se realizan simultáneamente.

Para resolver la cuestión de la duración de la varada se recurre a la diagramación mediante los métodos del grafo y los diagramas de Gantt. Cabe recordar que dichos métodos ya están previamente descritos en capítulos de este trabajo y cuyo resultado se muestra en las ilustraciones 6, 7 y 8.

El análisis del grafo clarifica el orden y la simultaneidad de todas las actividades (ilustración 6). Por otra parte, los diagramas de Gantt aplican la información del grafo en un contexto temporal. Gracias a estos diagramas (ilustraciones 7 y 8), se sabe que la duración de la varada será de unos 40 días aproximadamente.

Los cálculos llevados a cabo para determinar la cantidad de días especificada y las actividades críticas, se han explicado en el capítulo 5 de este trabajo. El resultado de estos cálculos se observa en la tabla 11.

El análisis de la tabla 11 ofrece datos de suma importancia para la varada del buque. En primer lugar, la duración de la misma, la cual se ve en la fila correspondiente al estado (o actividad) **FINISH**. En segundo lugar, las actividades que son críticas y por tanto, necesarias para realizar la varada en el tiempo estimado. Estas últimas se remarcen en el grafo (ilustración 6), dando a entender que el resto de las actividades pueden sufrir alteraciones (llegando incluso a no realizarse) sin que repercutan en el desarrollo/culminación de la varada.

A modo de recordatorio, el cálculo de los valores de cada columna es el siguiente:

- **Early Start:** es el valor correspondiente al valor que tenga cada actividad en su **Early Finish**. Pero este valor es el de la actividad que la precede. Por ejemplo, el valor para **Early Start** de las actividades B a F, es el valor de **Early Finish** de la actividad A (esta prelación se aprecia en la ilustración 6 y se muestra en la tabla 7.)

Ecuación 7 Ecuación Early Start (aplicada)

$$\begin{aligned} \text{Early Start} &= \text{Early Finish} (act_{\text{anterior}}) \rightarrow \text{Early Start} [B - F] \\ &= \text{Early Finish} [A] \end{aligned}$$

Tabla 7 Tabla de cálculo de Early Start y Early Finish (demostración). Autor: Enzo Giménez (alumno).

Actividad	Prelación	Duración	Early Start	Early Finish
Start	–	0	0	0
A	Start	0.2	0 + 0	0+0.2
B	A	5	0+0.2	5+0.2
C	A	6	0+0.2	6+0.2
D	A	2	0+0.2	2+0.2
E	A	2	0+0.2	2+0.2
F	A	2	0+0.2	2+0.2

En el caso de actividades que dependan de la finalización de varias, se escoge el valor máximo de los **Early Finish** de las actividades predecesoras.

- **Early Finish:** es el valor correspondiente a la suma de la duración de cada actividad más el valor de su **Early Start**. Sirva como ejemplo de aplicación de la ecuación 8 en la tabla 7.

Ecuación 8 Ecuación Early Finish (aplicada)

$$\begin{aligned} \text{Early Finish} &= \text{Durac.} + \text{Early Start} \rightarrow \text{Early Finish} [A] \\ &= \text{Durac.} [A] + \text{Early Start} [A] \end{aligned}$$

- **Last Start:** es el valor correspondiente a la resta del valor de **Last Finish** menos la duración de la actividad. Sirva como ejemplo de aplicación de la ecuación 9 en la tabla 8.

Ecuación 9 Ecuación Last Start (aplicada).

$$\begin{aligned} \text{Last Start} &= \text{Last Finish} - \text{Durac.} \rightarrow \text{Last Start } [A] \\ &= \text{Last Finish } [A] - \text{Durac. } [A] \end{aligned}$$

Tabla 8 Tabla de cálculo de Last Start y Last Finish (demostración). Autor: Enzo Giménez (alumno)

Actividad	Prelación Inv.	Duración	Last Start	Last Finish
Start	A	0	0	0
A	B-F,I,AH,AP	0.2	0.2-0.2 = 0	MIN Last Start [B-F,I,AH,AP] = 0.2
B	O	5	14.4-5 = 9.4	14.4
C	Finish	6	39.4-6 = 33.4	39.4
D	G,H,J,AC	2	4.4-2 = 2.4	MIN Last Start[G,H,J,AC] = 4.4
E	Finish	2	39.4-2 = 37.4	39.4
F	N	2	29.4-2 = 27.4	29.4

- **Last Finish:** es el valor correspondiente al valor de **Last Start** de la actividad siguiente (según el grafo representado en la ilustración 6). Otra forma de averiguar cuál es la actividad de la que tomar el valor de **Last Start** es recorrer visualmente el grafo en sentido inverso (es decir, empezando en el estado **FINISH**).

Ecuación 10 Ecuación Last Finish (aplicada).

$$\begin{aligned} \text{Last Finish} &= \text{Last Start} (\text{act. siguiente}) \rightarrow \text{Last Finish } [A] \\ &= \text{MIN Last Start } [B - F; I; AH; AP] \end{aligned}$$

En el caso de actividades que sean predecesoras de otras simultáneamente, se debe tomar el valor mínimo de todos los valores de **Last Start** de las actividades implicadas. Un ejemplo manifiesto de esta situación es la ecuación 10, aplicada en la tabla 8. El valor de **Last Finish** de la actividad A es el mínimo valor de **Last Start** correspondientes a las actividades B a F, I, AH y AP.

- **Slacks (Holguras):** es el valor correspondiente a la resta del valor de **Last Start** menos **Early Start** de cada actividad. Sirva como ejemplo de aplicación de la ecuación 11 en la tabla 9.

Ecuación 11 Ecuación de Holgura (aplicada).

$$\text{Slack} = \text{Last Start} - \text{Early Start} \rightarrow \text{Slack } [A] = \text{Last Start } [A] - \text{Early Start } [A]$$

Tabla 9 Tabla de cálculo de Holguras (demostración). Autor: Enzo Giménez (alumno).

Actividad	Prelación	Last Start	Early Start	Slack
Start	—	0	0	0
A	Start	0	0	$0 - 0 = 0$
B	A	9.4	0.2	$9.4 - 0.2 = 9.2$
C	A	33.4	0.2	$33.4 - 0.2 = 33.2$
D	A	2.4	0.2	$2.4 - 0.2 = 2.2$
E	A	37.4	0.2	$37.4 - 0.2 = 37.2$
F	A	27.4	0.2	$27.4 - 0.2 = 27.2$

Cabe destacar que, en aquellas actividades cuya holgura el resultado sea igual a cero, serán consideradas como críticas (marcando el ritmo de desarrollo del proyecto).

7.5.- Personal

Conocer el número de personas necesarias para completar el proyecto a tiempo es un dato importante tanto para la naviera como para el astillero. En el caso del primero, para estimar cuánto de su presupuesto es invertido en personal extra y; en el caso del segundo para organizar sus recursos humanos más eficazmente en los diversos proyectos que se lleven a cabo en sus instalaciones.

7.5.1.- Aplicación de SOLVER

Como se ha mencionado en el capítulo 5 de este trabajo, para conocer el número estimado de personal necesario y gestionar el mismo, se utiliza la macro SOLVER. Aplicando la metodología de SOLVER, se establece el objetivo (un valor mínimo) y el área de valores que compondrán el flujo. A continuación, se imponen las restricciones para poder realizar los cálculos pertinentes con esta herramienta:

- Los cálculos serán solo con números enteros.
- La suma diaria de personas disponibles de cada turno será igual o superior al número de personas requeridas cada día (ilustración 5).
- Los trabajadores del dique se organizan en 7 turnos semanales de 5 días laborables y 2 días libres (ilustración 4).
- Se desconoce el número máximo de personas por turno de trabajo.
- Se cuenta con el apoyo de la marinería de a bordo para realizar las actividades (14 personas).

- Se presupone un escenario optimista (Ilustración 7.- Diagrama de Gantt Early Start).

F.Objetivo

62

Flujo

4
20
16
6
3
10
3

Ilustración 3 Función Objetivo y celdas de Flujo. Autor: Enzo Giménez (alumno). La Función Objetivo es la suma de los valores del Flujo. Los Flujos los determina la macro SOLVER aplicando las restricciones insertadas.

Turno 1	4	4	4	4	4		
Turno 2		20	20	20	20	20	
Turno 3			16	16	16	16	16
Turno 4	6			6	6	6	6
Turno 5	3	3			3	3	3
Turno 6	10	10	10			10	10
Turno 7	3	3	3	3			3

Ilustración 4 Reparto de personas según turno. Autor: Enzo Giménez (alumno). Los valores del número de personas de cada turno vienen determinados por las restricciones insertadas en la macro SOLVER.

Turno 1	4	4	4	4	4		
Turno 2		20	20	20	20	20	
Turno 3			16	16	16	16	16
Turno 4	6			6	6	6	6
Turno 5	3	3			3	3	3
Turno 6	10	10	10			10	10
Turno 7	3	3	3	3			3
Personal Dique Disponible	26	40	53	49	49	55	38
	>=	>=	>=	>=	>=	>=	>=
Personal Dique Necesario	24	39	53	49	49	55	37

Ilustración 5 Personal disponible y requerido para una semana de trabajo de acuerdo con el turno establecido. Autor: Enzo Giménez (alumno).

Con estas restricciones, la macro SOLVER trabaja y calcula las personas que se requieren de cada turno cada día del proyecto:

- Turno 1 (L - V): 4 personas
- Turno 2 (M - S): 20 personas
- Turno 3 (X - D): 16 personas
- Turno 4 (J - L): 6 personas
- Turno 5 (V - M): 3 personas
- Turno 6 (S - X): 10 personas
- Turno 7 (D - J): 3 personas

El número de personas asignadas a cada turno, componen el Flujo; por tanto, sumando todas ellas, se obtiene el valor de la Función Objetivo. Esto es, la solución aportada por la macro SOLVER (cumpliendo con las restricciones impuestas) es un grupo de 62 personas repartidas en los turnos expuestos.

Lógicamente, al cambiar las restricciones, el resultado varía. Por ejemplo, si se cambia la restricción del escenario, es decir, estimar el personal necesario con el escenario pesimista (Ilustración 8 Diagrama de Gantt Last Start), el resultado cambia considerablemente. Se aumenta de un grupo de 62 personas a uno compuesto por 99 personas, con el consecuente sobrecoste. Los turnos antes expuestos también se verían modificados, quedando repartidos de la siguiente forma:

- Turno 1 (L - V): 13 personas
- Turno 2 (M - S): 2 personas
- Turno 3 (X - D): 16 personas
- Turno 4 (J - L): 30 personas
- Turno 5 (V - M): 11 personas
- Turno 6 (S - X): 27 personas
- Turno 7 (D - J): —

Hay que destacar que en ninguno de los dos supuestos se ha impuesto o establecido ningún máximo de personal, aunque es posible. Un turno puede estar compuesto por más personas de las necesarias, pero como ya se ha mencionado, en un dique existen varios proyectos al mismo tiempo, por lo que los turnos nunca quedan descompensados. Simplemente, se deriva el personal.

Teniendo en cuenta que el buque dispondrá de 14 tripulantes que ayudarán o realizarán algunas de las tareas y según lo indicado en la tabla anexa 10 y las ilustraciones 4 y 7; se estima que será necesario el personal extra que se refleja en la tabla 12. Es necesario recordar que los datos mostrados en la tabla 12 son una estimación. Por lo tanto, su exactitud o acierto depende en gran medida de que la Varada se desarrolle según lo estimado en la ilustración anexa 7.

7.6.- Costes

Una vez realizados todos los cálculos y analizados los resultados, se debe estimar el coste que supone llevar a cabo todas las actividades. Para ello, las navieras contactan con los agentes de diversos diques y comparan ofertas. En este proyecto, se ha podido realizar una estimación parcial de dicho coste.

Atendiendo a los resultados de la tabla anexa 11, se concluye que el buque permanecerá un mínimo de 39 días en dique. Con este importante dato y consultando diversas fuentes, se estiman los costes fijos (los correspondientes al dique). A estos costes fijos se le suman posteriormente otros que pueden ser más variables (materiales, equipos extra, asistencias externas, etc.).

7.6.1.- Costes Fijos

Son aquellos que no se ven modificados automáticamente cuando se altera el nivel de actividad (Kentucky, 1997). Por ende, se puede afirmar que son los gastos que la mayoría de los diques incluyen en sus tarifas. Entre ellos se pueden encontrar los costes semifijos (son constantes e independientes dentro de unos márgenes de actividad) y los costes de inactividad o paro (se generan, aunque la actividad sea nula) (Salvador, 2003). En este caso práctico son los siguientes:

- Maniobras de Varada y Botadura $\approx 2800-3400\text{€}$ por cada maniobra (según astillero). En este concepto no entran practicaje ni remolcadores, que son gestionados por el agente del buque.
- Asistencia de buzos durante la maniobra de Varada $\approx 2000\text{€}$.
- Estadías en muelle (día anterior y posterior a la varada si fuera necesario) $\approx 550\text{€}$ por día.
- Estadías en dique $\approx 470 - 2200\text{€}$ por día. Sin incluir los días de Varada y Botadura.
- Elaboración de plan de seguridad $\approx 1500\text{€}$.
- Arriado de botes de sus pescantes $\approx 500\text{€}$ por bote. El buque dispone de 4 en total (2 salvavidas y 2 de rescate).
- Servicio de seguridad mientras el buque esté en grada $\approx 460 - 750\text{€}$ por día.
- Conexión de línea C.I. $\approx 90\text{€}$ por movimiento (conexión y desconexión).
- Conexión eléctrica (normalmente 400V) $\approx 120 - 250\text{€}$ por conexión.
- Conexión de aire comprimido $\approx 90 - 110\text{€}$ por movimiento (conexión y desconexión).
- Instalación y retirada de escala de acceso al buque $\approx 320 - 480\text{€}$ (según astillero).
- Conexión de línea de agua para refrigeración $\approx 90 - 240\text{€}$ por movimiento (conexión y desconexión).
- Conexión de línea de agua dulce/sanitaria $\approx 130 - 200\text{€}$ por movimiento (conexión y desconexión).

- Conexión de aguas grises $\approx 200 - 800\text{€}$ por movimiento (conexión desconexión).
- Conexión de descarga de lodos y aguas de sentinas $\approx 300\text{€}$ por movimiento (conexión y desconexión).
- Limpieza de dique tras maniobra de Varada $\approx 1500\text{€}$ (normalmente obligatoria).
- Limpieza de dique previa a la maniobra de Botadura $\approx 2500\text{€}$ (obligatoria). Se aprecia en la ilustración 13.
- Limpieza del casco, en su obra viva $\approx 20\text{€}$ por metro cuadrado. En este caso, el área a tratar es de 3959 m^2 (desde el fondo hasta el calado máximo).
- Limpieza de obra viva con agua a alta presión previa al tratamiento de pintura $\approx 3,70\text{€}$ por metro cuadrado.
- Primera y segunda mano de pintura para la obra viva $\approx 2,40\text{€}$ por metro cuadrado.
- Tercera mano y sucesivas $\approx 2,10\text{€}$ por metro cuadrado y mano. En este caso se han dado un total de 4 capas de pintura.
- Mano de pintura para la obra muerta $\approx 1,20\text{€}$ por metro cuadrado y mano. En este caso se han dado 4 manos sobre una superficie de 4000 m^2 aproximadamente.
- Perfilado de línea divisoria entre obra viva y obra muerta $\approx 4,80\text{€}$ por metro lineal. En este caso son 380 mlin .
- Pintado de nombre y puerto de registro del buque $\approx 1200\text{€}$.
- Pintado de marcas de tanques (venteos, límites, descargas, etc.) $\approx 1400\text{€}$.
- Pintado de marcas de calado y disco Plimsoll $\approx 180\text{€}$ por cada marca o disco. En este caso son 4 marcas de calado y 2 discos.
- Reemplazo de ánodos de sacrificio $\approx 55\text{€}$ por cada ánodo. En total, en este buque se cambian 73 ánodos.
- Instalación y/o reparación de rejillas de las tomas de mar $\approx 460\text{€}$ por cada toma. En este buque se hacen 4 tomas de mar.
- Limpieza y pintado de las tomas de mar $\approx 850\text{€}$ por cada toma. En este buque se hacen 4 tomas de mar.
- Anclas (extensión de cadenas en dique, limpieza, pintado y marcado de grilletes) $\approx 2500\text{€}$ por ancla (ilustración 12). En este buque se hacen dos.
- Limpieza y pulido de las hélices propulsoras del buque $\approx 1950\text{€}$ por cada hélice (ilustración 9). El buque dispone de dos hélices propulsoras.
- Comprobar el desgaste de los ejes de cola $\approx 580\text{€}$ por cada uno de los ejes.

- Limpieza y pulido de las hélices de maniobra del buque $\approx 910\text{€}$ por cada hélice. El buque dispone de dos hélices de maniobra en la proa.
- Empaquetaduras de los timones $\approx 990\text{€}$ por cada timón. El buque dispone de dos timones.
- Medición de holguras de los timones $\approx 580\text{€}$ por cada timón.
- Revisión completa de estabilizadores $\approx 50400\text{€}$ (todos los estabilizadores).

Haciendo una suma estimada de todos estos conceptos, se establece un primer precio mínimo o primera aproximación al coste de la operación de Varada. En el caso particular del buque de este proyecto, es $\approx 273107 - 351597$ euros (estadía del buque de 39 días, según la tabla anexa 11). En promedio ≈ 312352 euros. Hay que destacar que en estas primeras cifras no se incluyen gastos como la mano de obra y los consumos del buque (agua, electricidad o materiales); sólo se contemplan los servicios básicos de una varada cualquiera.

7.6.2.- Costes Variables

Son aquellos que se modifican automáticamente cuando la actividad realizada también lo hace (y viceversa). Entre ellos se pueden encontrar los costes variables progresivos (en los que sólo aumenta el coste de la actividad - por ejemplo: horas extras) y los costes variables digresivos (en los que el mayor volumen de actividad abarata el coste en recursos - por ejemplo: compras al por mayor o el consumo eléctrico) (Salvador, 2003).

A continuación, se exponen los gastos que pueden sufrir mayores modificaciones. Estos son los asociados y/o derivados de los que se enumeran en la subsección anterior (7.6.1) y que dependen del desarrollo de la Varada. También se incluyen servicios específicos para este buque y que no se ofertan en todas las varadas:

- Cargo por acceso de personal al dique $\approx 7\text{€}$ por persona. Se estiman emitir 45 autorizaciones de acceso.
- Presión de la Línea Contra Incendios (mantener la línea presurizada) $\approx 45 - 160\text{€}$ por día. Se estiman 39 días de Varada.
- Suministro eléctrico $\approx 0,60\text{€}$ por kilovatio consumido. Se estiman consumir 80000 kW .
- Suministro de aire comprimido $\approx 35-50\text{€}$ por día u hora (según astillero). Se estiman 10 días de uso o 260 horas.
- Suministro de agua para refrigeración $\approx 90 - 350\text{€}$ por día y bomba (según astillero). Se estiman 2 bombas durante los 39 días de varada.
- Suministro de agua dulce/sanitaria $\approx 4\text{€}$ por metro cúbico consumido. Se estiman consumir 500 m^3 .
- Descarga de aguas grises a instalaciones del astillero $\approx 10\text{€}$ por cada m^3 . Se estiman descargar 200 m^3 .
- Descarga de lodos y aguas de sentinas $\approx 150\text{€}$ por cada m^3 . Se estiman descargar 25 m^3 .
- Uso de robots para la limpieza de la obra viva $\approx 4800\text{€}$ por robot (figura anexa B.3). Incluyendo operarios especializados y material que se necesite para realizar esta actividad. Se estima el uso de 4 equipos.
- Emisión de permisos de trabajos en caliente que deban realizarse $\approx 90\text{€}$ por permiso emitido. Según programación en la tabla anexa 10 se estiman 40 - 45 permisos (algunos de ellos serán simultáneos).
- Recogida de residuos secos $\approx 55 - 98\text{€}$ por cada m^3 o día de servicio (según astillero). Se estiman generar 30 m^3 de residuos.
- Recogida de residuos especiales o contaminados $\approx 350\text{€}$ por cada m^3 . Se estiman generar 40 m^3 .
- Recogida de residuos de gambuza (comida) $\approx 75\text{€}$ por cada m^3 . Se estiman generar 8 m^3 .

- Uso de grúas y plataformas elevadoras en horario habitual (normalmente entre las 08:00 y las 18:00) $\approx 65 - 230\text{€}$ por hora (según tipo de equipo requerido). Se estima el uso de diferentes tipos de equipos durante 350 horas.
- Uso de grúas y plataformas elevadoras fuera de horario habitual $\approx 95 - 260\text{€}$ por hora (según tipo de equipo requerido). Se estima el uso de diferentes equipos durante 140 horas.
- Personal de dique dentro de horario habitual $\approx 45 - 60\text{€}$ por hora (varía según especialidad: soldador, operador de grúa, mecánico, etc.). Según la información de la tabla anexa 12 y la ilustración 4, se estiman unas 20 personas diarias en este horario.
- Personal de dique en horas extra (desde las 06:00/18:00 hasta las 08:00/20:00) $\approx 55 - 110\text{€}$ por hora. Según la información de la tabla anexa 12 y la ilustración 4, se estiman unas 10 personas durante 10 días en este horario.
- Personal de dique en horas nocturnas (desde las 20:00 hasta las 06:00) $\approx 80 - 130\text{€}$ por hora. Según la información de la tabla anexa 12 y la ilustración 4, se estiman unas 10 personas durante 10 días en este horario.
- Bomberos (personal de guardia en los trabajos calientes) $\approx 35\text{€}$ por hora. Se estiman 50 horas.
- Instalación de alumbrado temporal $\approx 800\text{€}$ por cada foco. Se estima el uso de 8 focos.
- Inspección y reparaciones de válvulas de las tomas de mar $\approx 190 - 1785\text{€}$ por cada válvula (incluyendo las válvulas del aire comprimido que accionan las válvulas). Se estiman 12 válvulas.
- Inspección y reparaciones de las válvulas de descarga al mar $\approx 240 - 785\text{€}$ por válvula (válvulas antirretornos incluidas). Se estiman 30 válvulas.
- Inspección y reparación de las válvulas de tormenta $\approx 550\text{€}$ por cada válvula. Se estiman 16 válvulas.
- Comprobación/calibración del paso cero de las hélices de proa $\approx 610\text{€}$ por cada hélice.
- Apertura y cierre de entradas a tanques y espacios vacíos para inspección y/o reparaciones $\approx 350\text{€}$ por cada espacio. Se estima la inspección de 20 espacios.
- Limpieza de tanques (retirada de sedimentos y fangos) $\approx 45,50\text{€}$ por cada m^3 . Se estima la retirada de $50 m^3$.

- Limpieza de tanques de Planta Séptica $\approx 66\text{€}$ por cada m^3 de residuos. Se estiman retirar $50 m^3$.
- Limpieza de tanques con agua dulce a presión $\approx 2,10\text{€}$ por metro cuadrado. Se estiman limpiar $1600 m^2$ (superficie total de espacios a limpiar).
- Saneamiento de tanques (eliminar puntos y áreas de óxido) $\approx 65\text{€}$ por hora. Se estiman 120 horas de trabajo.
- Suministro de nitrógeno (en racks de botellas) $\approx 1290\text{€}$.
- Suministro de equipo de corte de acero (oxígeno y acetileno) $\approx 310\text{€}$ por día (para realizar las cesáreas necesarias e instalar los mamparos y tuberías del nuevo sistema de GNL). Se estima utilizar este equipo durante 25 días.

Estos gastos deben ser monitorizados y/o controlados con especial atención, pues pueden suponer un sobre coste muy importante para la naviera. Igualmente se puede hacer una estimación asumiendo que esta es mucho más probable que varíe.

Teniendo en cuenta que el buque estará un total de 39 días en dique, el personal que se necesitará en esos días (sección 7.5) y las estimaciones expuestas para cada servicio; se calcula una segunda aproximación de costes variables de $\approx 324565 - 609010$ euros. En promedio $\approx 466787,5$ euros.

Esta última cantidad, sumada a la expuesta en la subsección 7.6.1 hacen un presupuesto total de ≈ 779139 euros. A los cuales todavía habría que sumar conceptos como materiales (por ejemplo, la pintura utilizada para la obra viva se valora en aproximadamente 118000 euros) y asistencias o talleres externos/especializados (por ejemplo, la asistencia de técnicos especializados en la instalación o adaptación de motores que funcionen con GNL se valora en 30000 euros).

Conclusiones

Una vez aclarados todos los conceptos, la teoría relacionada con la planificación de una varada y expuesto un caso práctico, se pueden establecer unas conclusiones.

La primera conclusión es la complejidad del proyecto en sí. Responder a cuestiones como el número de actividades, el orden de ejecución y la prioridad de cada una de estas no es algo sencillo. Desarrollar métodos genéricos que permitan elaborar gráficos esclarecedores (o que permitan una mayor comprensión) y jerarquizar actividades en proyectos de gran magnitud (como puede ser el caso de este proyecto) requiere de un cierto nivel de conocimiento por parte de la persona/equipo encargado de llevarlo a cabo.

Con la ayuda de métodos como el PERT/CTM, se pueden desarrollar sin excesiva dificultad proyectos de gran envergadura. Sin embargo, es necesario recordar que, este método es el resultado de muchos cálculos y proyectos previos fallidos o con resultados poco satisfactorios. Todos ellos enfocados en buscar la máxima eficacia y el aprovechamiento de recursos.

La segunda conclusión es la importancia que alcanza el tiempo como variable de desarrollo del proyecto. En el sector marítimo, el tiempo es un recurso muy preciado y que conlleva un alto coste si se descontrola (especialmente en proyectos como este). Todo debe llevarse a cabo en el menor tiempo posible y con el mejor resultado posible (siempre garantizando la seguridad de los recursos humanos implicados). Cada actividad, a nivel individual, debe completarse en el tiempo estimado para que la siguiente pueda realizarse y, por ende, culminar el proyecto en el tiempo requerido.

Como este trabajo es una planificación o proyección de una obra, es de esperar que este no se desarrolle exactamente como se plasma sobre el papel. Es por esto que se planifica siempre en base a dos escenarios básicos: uno optimista (en el que todo se desarrolla sin novedad) y otro pesimista (en el que todo se desarrolla con mayor lentitud). El resultado de estos escenarios son los diferentes Diagramas de Gantt, que ayudan a ver, de forma simplificada, cómo se puede desarrollar todo el proyecto (tanto si va bien como no tan bien).

Una tercera conclusión que destacar es la cuestión económica. Aunque es cierto que las reparaciones de un solo buque puede no ser un gasto importante en las cuentas globales de una naviera, no deja de ser una cantidad de dinero considerable. Cantidad que puede

aumentar de forma exponencial si no se controla de forma eficaz. El retraso de salida de un buque del astillero puede llevar al esperado incremento de costes y de forma indirecta a la pérdida de negocio (contratos incumplidos, indemnizaciones, sorpaso de la competencia, etc.).

Con estas conclusiones se puede decir que planificar la varada de un buque es una tarea complicada. Sin embargo, con las herramientas adecuadas (PERT/CTM, Gantt o Excel), es posible elaborar planificaciones detalladas. Ofreciendo información como, por ejemplo: la duración de la varada, priorización de actividades, previsión de personal, previsión de costes, etc.

Del caso de estudio del capítulo 7, se obtienen algunos resultados que sirven como apoyo a estas conclusiones. El primero de ellos es la duración de la Varada, de 39.4 días. En estos días se reparten las diferentes actividades seleccionadas y expuestas en la tabla anexa 10. De entre todas ellas, existen algunas cuyo desarrollo marca el devenir del proyecto (actividades críticas), marcadas en el grafo de la ilustración anexa 6. En función del buen o mal desarrollo de las actividades, se estima un orden de ejecución mostrado en los diagramas de Gantt (ilustraciones anexas 7 y 8), que nunca excederán los 39.4 días. Siguiendo el desarrollo mostrado en los diagramas, se estiman el personal necesario (a diario y para cada tarea) en las tablas anexas 10 y 12. En la subsección 7.5.1 se estima un personal de dique necesario de entre 60 y 100 personas; según el escenario de referencia (optimista o pesimista). Por último, siguiendo el desarrollo mostrado en los diagramas, se estima un presupuesto de 779.000 euros (a los que habría que sumar los presupuestos de talleres externos y materiales que se necesiten para llevar a cabo las actividades).

Bibliografía

- Albornoz, A. (2021). *Gestión de proyectos y metodologías de proyectos*. Obtenido de Appvizer. Revista de empresa.: <https://www.appvizer.es/revista/organizacion-planificacion/gestion-proyectos/metodologias-de-proyectos>
- Barreras, A. H. (2009). *Ship's Particulars S/F Bahama Mama*. Vigo, España: Astilleros H.J. Barreras.
- Fernández, S. P. (1995). *PERT y CPM: Programación y Control de Proyectos*. Madrid: Universidad Complutense de Madrid.
- HANDKE, K. (2020). *Businessinsider*. Obtenido de Cementerios de barcos por el mundo: <https://www.businessinsider.es/cementerios-barcos-acaban-cruceros-petroleros-769047>
- INC, W. (2023). *Diccionario Online: wordreference*. Obtenido de Wordreference: <http://www.wordreference.com>
- Kentucky, U. o. (1997). *Linear Programming*. Obtenido de University of Kentucky website: <https://www.uky.edu/dsianita/300/online/LP.pdf>
- Library, B. (2006). *People: Henry. L Gantt*. Obtenido de British Libray Website: <https://www.bl.uk./people/henry/laurence-gantt>
- Martins, J. (2022). *Daigrama de Gantt*. Obtenido de Asana website: <https://asana.com/es/resources/gantt-chart-basics>
- Navarro, F. (2023). *Revista digital INESEM*. Obtenido de INESEM Business School: <https://www.inesem.es/revistadigital/gestion-empresarial/tecnicas-de-planificacion-de-proyectos/>
- Portugal, G. D. (1966). *CPM y PERT Métodos de Planeación, Programación y Control*. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería: Facultad de Ingeniería Industrial.
- Profesional, N. (2023). *Los 10 principales astilleros del mundo*. Obtenido de Nautica Profesional: <https://nauticaprofesional.com/principales-astilleros-del-mundo>
- R.A.E. (2022). *REAL ACADEMIA ESPAÑOLA DE LA LENGUA Online*. Obtenido de Web de la RAE: <https://dle.rae.es>

Salvador, V. S. (2003). *Contabilidad de Costes. Cálculo, Análisis y Control*. Tirant Lo Blanch.

Stillian, G. N. (1964). *PERT Un Nuevo Instrumento de Planificación y Control*. Ediciones Deusto.

Wikipedia. (2023). *Karol Adamiecki*. Obtenido de Wikipedia website:
<https://es.wikipedia.org/wiki/Karol-Adamiecki>

Anexo A.- Grafos y Diagramas de Gantt

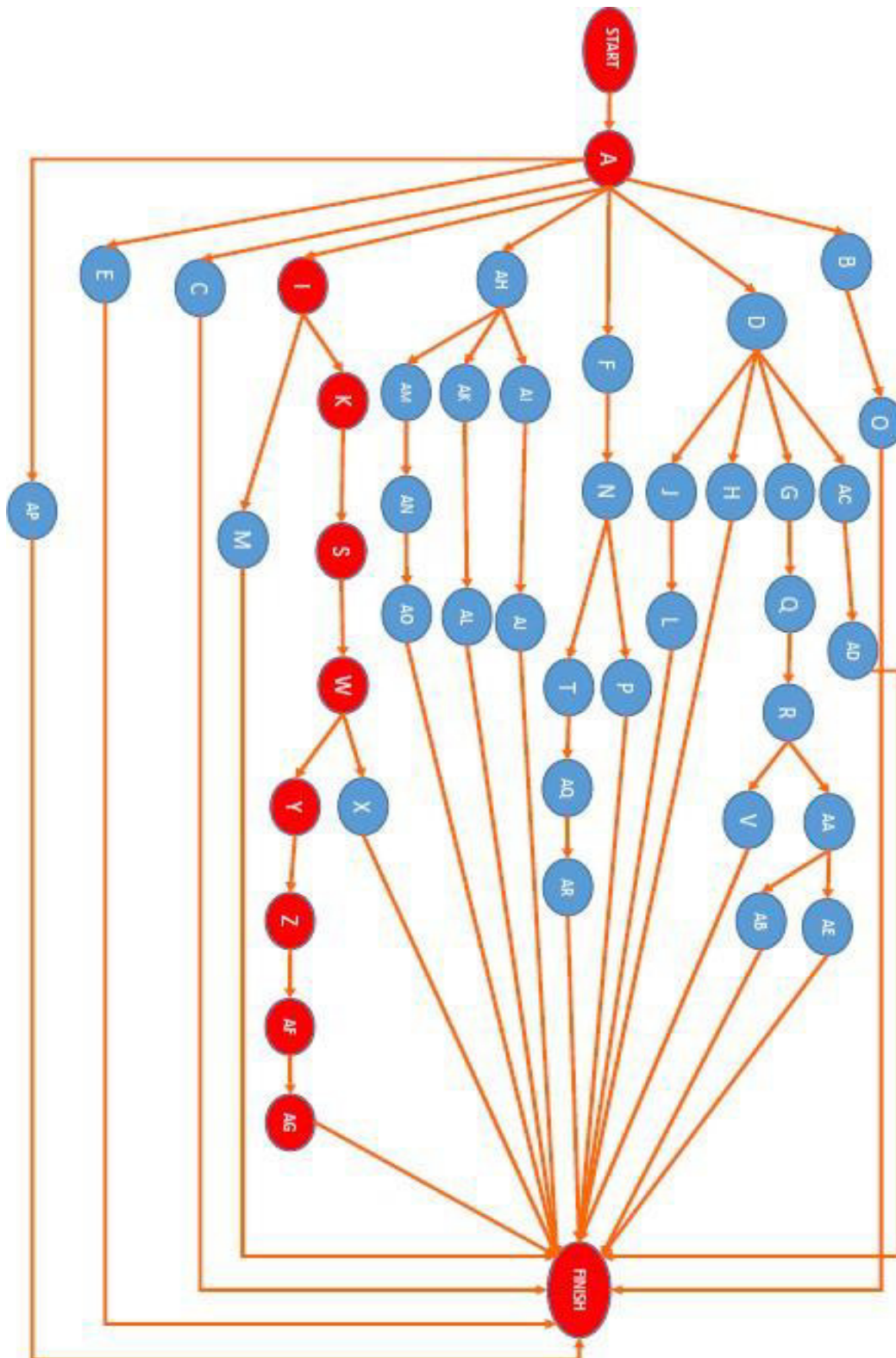


Ilustración 6 Grafo del proyecto. Autor: Enzo Giménez (alumno). Este es el GRAFO resultante del proyecto de varada que se trata en este documento.

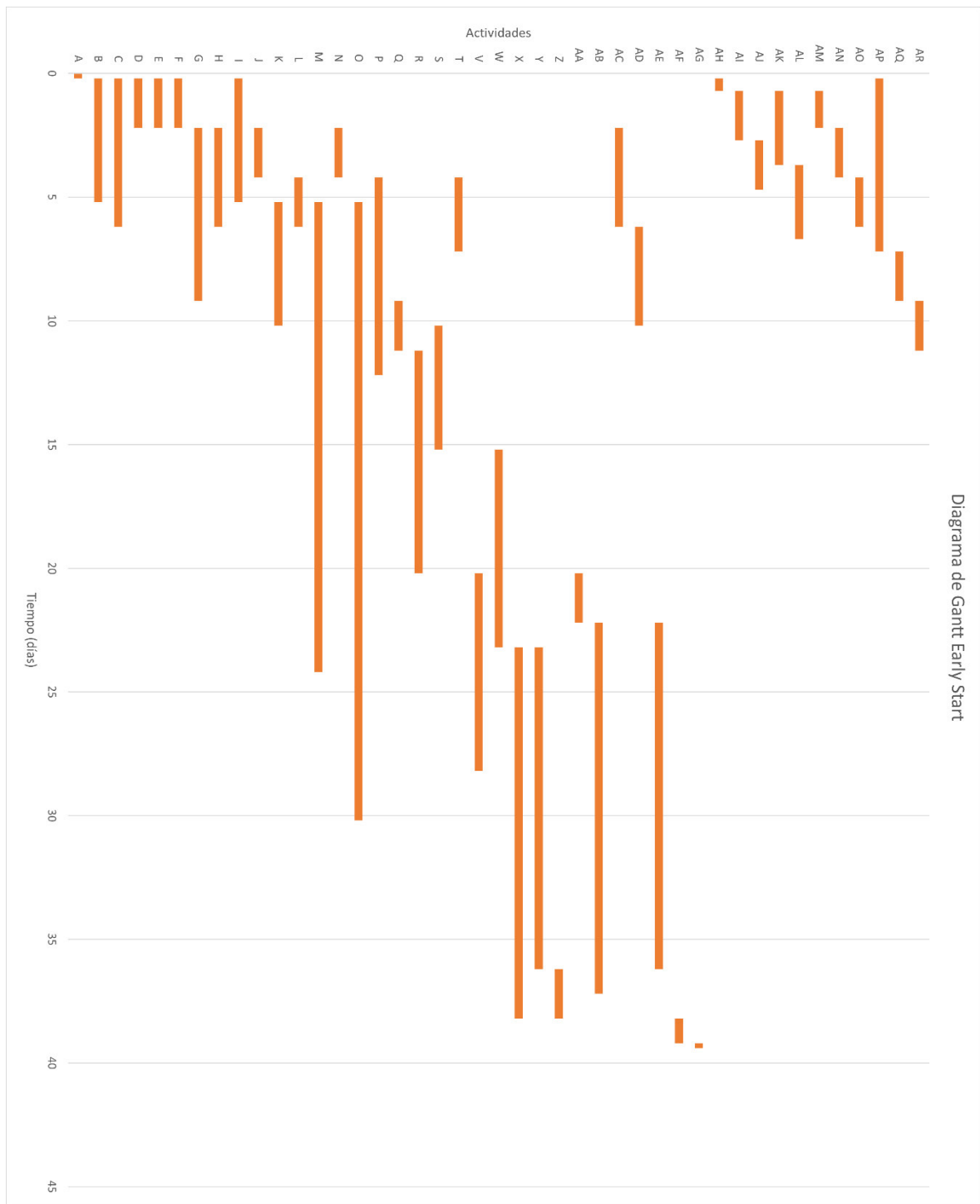


Ilustración 7 Diagrama de Gantt Early Start. Autor: Enzo Giménez (alumno). Este es el Diagrama de Gantt que representa la evolución de la varada si todas las tareas se inician lo más pronto posible.

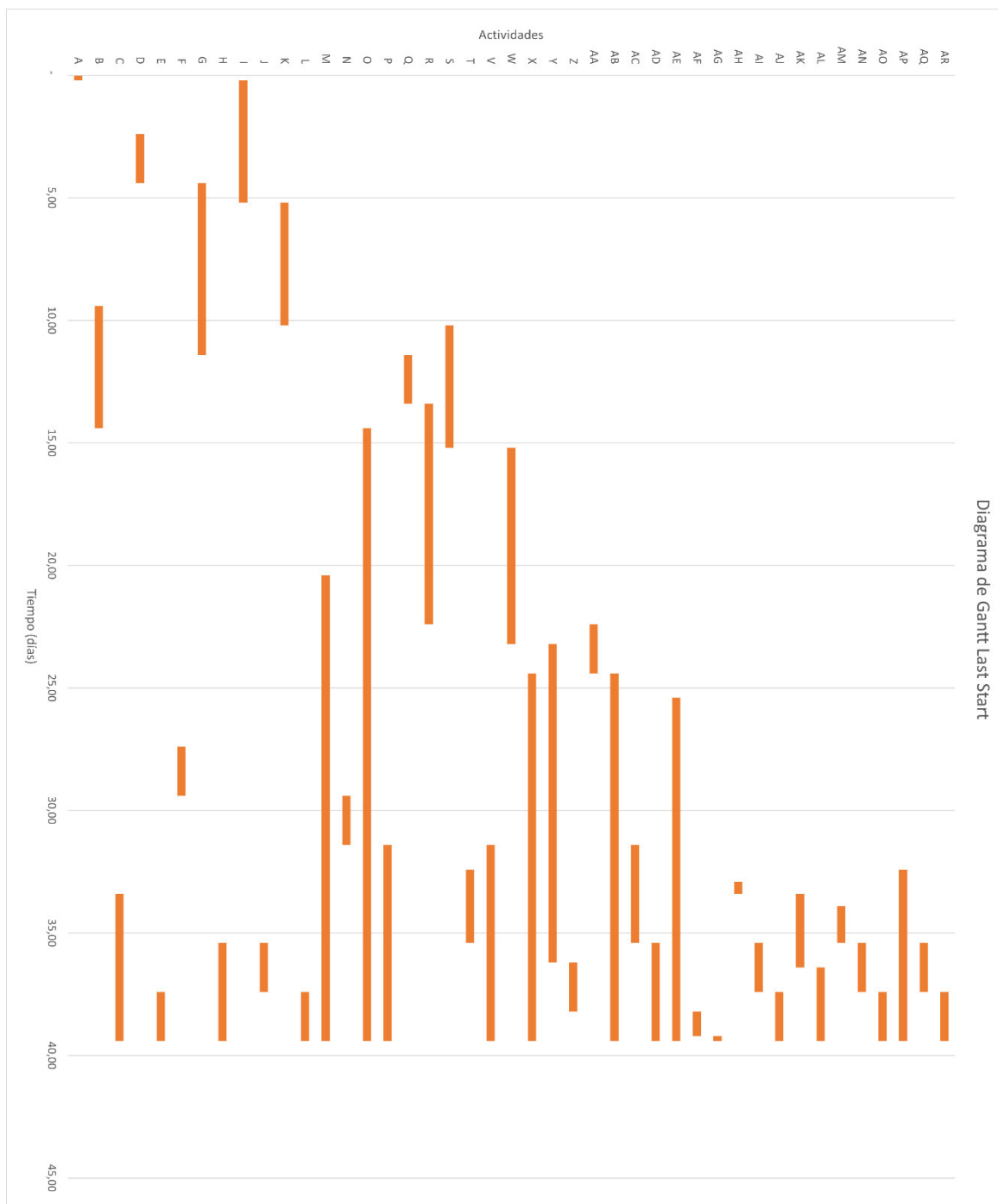


Ilustración 8 Diagrama de Gantt Last Start. Autor: Enzo Giménez (alumno). Este es el Diagrama de Gantt que representa la evolución de la varada si todas las tareas se inician lo más tarde posible.

Anexo B.- Tablas

A continuación, se muestran las tablas elaboradas por el alumno, las cuales se mencionan en el capítulo 7.

Tabla 10 Tabla de actividades de la varada del S/F Bahama Mama. Autor: Enzo Giménez (alumno).

Actividad	Descripción	Prelación	Duración	Personal
A	Varada	—	0.2	—
B	Candeleros (picar y pintar)	A	5	3
C	Helideck (picar, pintar y montar candeleros)	A	6	3
D	Quitar rejillas Cub. 3	A	2	2
E	Técnicos Smartship	A	2	2
F	Baldeo Cub. 8	A	2	2
G	Quitar y sanear rejillas Cub. 4	D	7	2
H	Drencher	D	4	4
I	Cesárea Cub. 4	A	5	8
J	Cesárea Cub. 3	D	2	8
K	Mamparo de TCS	I	5	8
L	Cableado Cubs. 3-4	J	2	4
M	Refuerzo de cuadernas	I	19	8
N	Imbornales de Gambuza	F	2	3
O	Venteos y pasamanos (saneado)	B	25	5
P	Sanear Cub. Magistral	N	8	2
Q	Quitar y lijar pasamanos Cub. 8	G	2	5
R	Pintar barandillas Cub. 8	Q	9	3
S	Cesárea en Bunker y Máquinas Principales (MM.PP.)	K	5	8
T	Sistema de Vacío	N	3	4
V	Paravientos	R	8	4
W	Cierre y pintado de cesáreas	S	8	8
X	Forraje Contra Incendios (C.I.) de mamparos en Cub. 4	W	15	6
Y	Tuberías Cub. 4	W	13	5
Z	Pruebas con Nitrógeno y Glicol	Y	2	6
AA	Regalas	R	2	5
AB	Trabajos de pintura y saneado en Cub. 8	AA	15	4
AC	Inspección de Tanques y Voids	D	4	3
AD	Tanque Sist. Sprinkler	AC	4	2
AE	Costados del buque (limpieza y saneado)	AA	14	10
AF	Cierres de fondo y comprobaciones de equipos	Z	1	6
AG	Puesta a flote y cambio de atraque	AF	0.2	—
AH	Apertura de grifos de fondo y escotillas de mar	A	0.5	4
AI	Ánodos de sacrificio (sustitución)	AH	2	8
AJ	Trabajos en las hélices de proa	AI	2	4
AK	Trabajos en las hélices de popa	AH	3	6
AL	Trabajos en los timones	AK	3	6
AM	Rejillas de tomas de mar (limpieza y saneado)	AH	1.5	5
AN	Válvulas de tormenta y tomas de mar	AM	2	5
AO	Estabilizadores	AN	2	6
AP	Limpieza de tanques de combustible	A	7	8
AQ	Limpieza de Planta Séptica	T	2	6
AR	Instalación de tanque auxiliar en Planta Séptica	AQ	2	6

Tabla 11 Tabla determinante de Camino Crítico para la varada del S/F Bahama Mama.
Autor: Enzo Giménez (alumno).

Actividad	Early Start	Early Finish	Last Start	Last Finish	Holgura	Resultado
Start	0	0	0	0	0	Crítico
A	0	0.2	0	0.2	0	Crítico
B	0.2	5.2	9.4	14.4	9.20	NO Crítico
C	0.2	6.2	33.4	33.9	33.2	NO Crítico
D	0.2	2.2	2.4	4.4	2.2	NO Crítico
E	0.2	2.2	37.4	39.4	37.2	NO Crítico
F	0.2	2.2	27.4	29.4	27.2	NO Crítico
G	2.2	9.2	4.4	11.4	2.20	NO Crítico
H	2.2	6.2	35.4	39.4	33.20	NO Crítico
I	0.2	5.2	0.2	5.2	0	Crítico
J	2.2	4.2	35.4	35.7	33.2	NO Crítico
K	5.2	10.2	5.2	10.2	0	Crítico
L	4.2	6.2	37.4	39.4	33.2	NO Crítico
M	5.2	24.2	20.4	39.4	15.2	NO Crítico
N	2.2	4.2	29.4	31.4	27.2	NO Crítico
O	5.2	30.2	14.4	39.4	9.20	NO Crítico
P	4.2	12.2	31.4	39.4	27.2	NO Crítico
Q	9.2	11.2	11.4	13.4	2.20	NO Crítico
R	11.2	20.2	13.4	22.4	2.20	NO Crítico
S	10.2	15.2	10.2	15.2	0	Crítico
T	4.2	7.2	32.4	35.4	28.2	NO Crítico
V	20.2	28.2	31.4	39.4	11.2	NO Crítico
W	15.2	23.2	15.2	23.2	0	Crítico
X	23.2	38.2	24.4	39.4	1.20	NO Crítico
Y	23.2	36.2	23.2	36.2	0	Crítico
Z	36.2	38.2	36.2	38.2	0	Crítico
AA	20.2	22.2	22.4	24.4	2.20	NO Crítico
AB	22.2	37.2	24.4	39.4	2.20	NO Crítico
AC	2.2	6.2	31.4	35.4	29.2	NO Crítico
AD	6.2	10.2	35.4	39.4	29.2	NO Crítico
AE	22.2	36.2	25.4	39.4	3.20	NO Crítico
AF	38.2	39.2	38.2	39.2	0	Crítico
AG	39.2	39.4	39.2	39.4	0	Crítico
AH	0.2	0.7	32.9	33.4	32.7	NO Crítico
AI	0.7	2.7	35.4	37.4	34.7	NO Crítico
AJ	2.7	4.7	37.4	39.4	34.7	NO Crítico
AK	0.7	3.7	33.4	36.4	32.7	NO Crítico
AL	3.7	6.7	36.4	39.4	32.7	NO Crítico
AM	0.7	2.2	33.9	35.4	33.2	NO Crítico
AN	2.2	4.2	35.4	37.4	33.2	NO Crítico
AO	4.2	6.2	37.4	39.4	33.2	NO Crítico
AP	0.2	7.2	32.4	39.4	32.2	NO Crítico
AQ	7.2	9.2	35.4	37.4	28.2	NO Crítico
AR	9.2	11.2	37.4	39.4	28.2	NO Crítico
Finish	39.4	39.4	39.4	39.4	0	Crítico

Tabla 12 Tabla de personal necesario para la Varada del S/F Bahama Mama. Autor: Enzo Giménez (alumno).

Día	Tripulación	Personal de dique	Personal total
1	14	18	32
2	14	33	47
3	14	47	61
4	14	43	57
5	14	43	57
6	14	49	63
7	14	31	45
8	14	19	33
9	14	19	33
10	14	22	36
11	14	20	34
12	14	12	26
13	14	10	24
14	14	10	24
15	14	10	24
16	14	10	24
17	14	10	24
18	14	10	24
19	14	10	24
20	14	10	24
21	14	16	30
22	14	16	30
23	14	25	39
24	14	28	42
25	14	20	34
26	14	20	34
27	14	20	34
28	14	20	34
29	14	16	30
30	14	16	30
31	14	11	25
32	14	11	25
33	14	11	25
34	14	11	25
35	14	11	25
36	14	11	25
37	14	2	16
38	14	—	14
39	14	—	14

Anexo C.- Imágenes del buque S/F Bahama Mama en dique



Ilustración 9 Vista de popa con rampa de babor abierta por trabajos en el interior de la bodega. Fotografía tomada por el alumno durante la Varada del S/F Bahama Mama en 2022.



Ilustración 10 Vista de proa en el primer día de dique, tras la maniobra de Varada. Fotografía tomada por el alumno durante la Varada del S/F Bahama Mama en 2022.

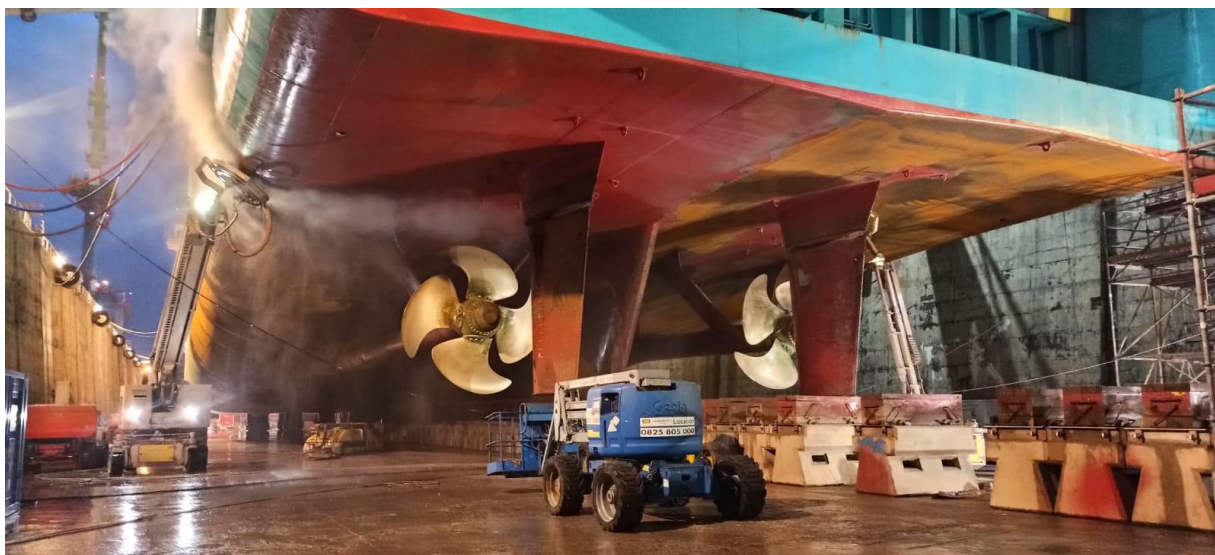


Ilustración 12 Robot limpiando el casco para aplicar la pintura posteriormente. Fotografía tomada por el alumno durante la Varada del S/F Bahama Mama en 2022.

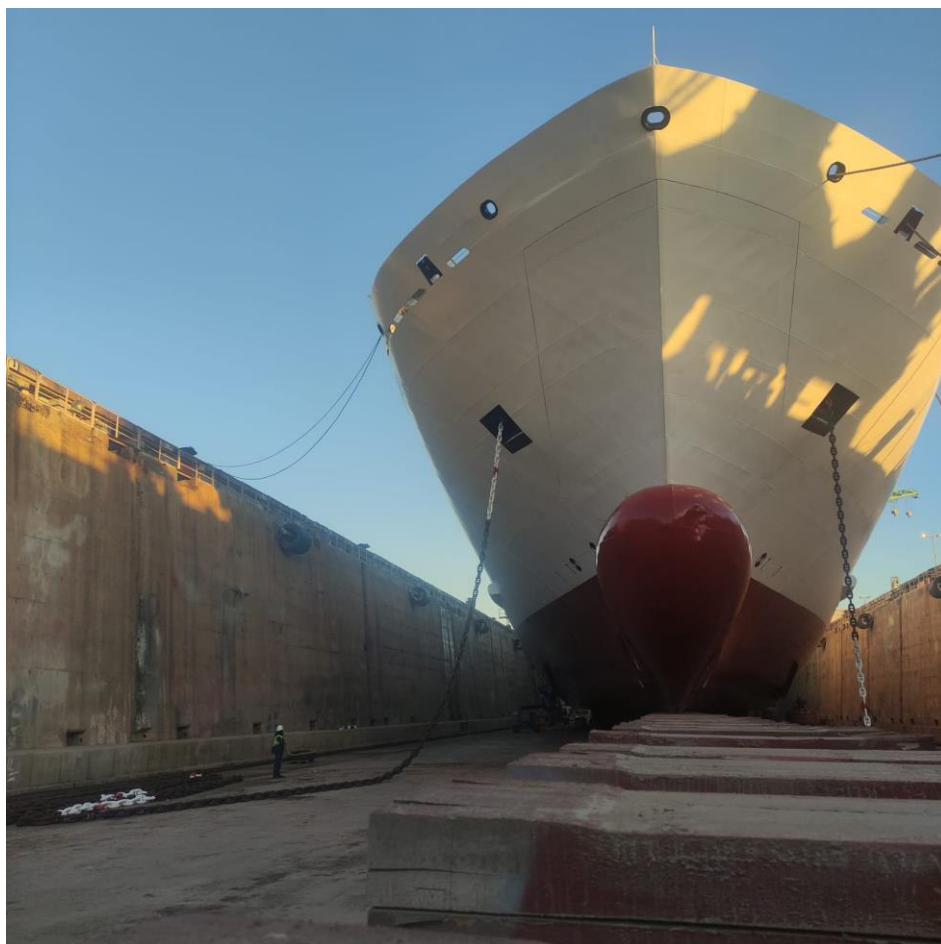


Ilustración 11 Vista de proa con las cadenas saneadas y marcadas. Fotografía tomada por el alumno durante la Varada del S/F Bahama Mama en 2022



Ilustración 13 Vista de proa el último día, horas antes de la maniobra de Botadura. Fotografía tomada por el alumno durante la Varada del S/F Bahama Mama en 2022.