



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Estudio del ciclo de vida de las fragatas clase “Álvaro de Bazán”
F-100*

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: Carmen Rocío Hernández Roca

DIRECTORES: Elena Arce Fariña
Guillermo Rey González
Ángel Fernández Rodríguez

CURSO ACADÉMICO: 2015-2016

Universida_{de}Vigo



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Estudio del ciclo de vida de las fragatas clase “Álvaro de Bazán”
F-100*

Grado en Ingeniería Mecánica
Intensificación en Tecnología Naval
Cuerpo General

Universida_{de}Vigo

RESUMEN

El presente Trabajo Fin de Grado es un estudio del Ciclo de Vida de las fragatas clase “Álvaro de Bazán” de la segunda serie, es decir, tipo F-105 “Cristóbal Colón”. Durante el desarrollo del TFG se expone en qué consiste el CV de un producto aplicado a un buque y se realiza el estudio del mismo desde un punto de vista económico; lo que se conoce como Coste de Ciclo de Vida (CCV). Luego el estudio se ha orientado a un Análisis del Coste del Ciclo de Vida (ACCV) de las fragatas. El TFG se ha llevado a cabo con vistas al nuevo proyecto de F-100, la F-106 “Juan de Austria”.

Durante el desarrollo del trabajo tendrá lugar la intervención de dos tipos de elementos en los costes: elementos conocidos y elementos obtenidos mediante relaciones de estimación de costes. El porcentaje de unos y otros depende de la fase en la que se realice la estimación. En el presente TFG se ha realizado un estudio del coste del ciclo de vida desde las primeras etapas de diseño, hasta su retirada o eliminación. Para ello, se ha utilizado el método de estimación paramétrico, con el uso de una herramienta informática y el método de estimación por analogía con otras fragatas de la clase.

Este estudio puede resultar útil con vista a los futuros proyectos de Defensa en la Armada, relativos a la construcción de nuevos buques tales como la sexta fragata F-106. Este proyecto de construcción de una segunda serie de fragatas fue impulsado, junto a la construcción de la segunda serie de los BAM, desde el Ministerio de Hacienda el 18 de febrero de 2014.

PALABRAS CLAVE

Análisis de Ciclo de Vida, fragata, coste, herramienta de cálculo, Coste de Ciclo de Vida.

AGRADECIMIENTOS

El poder escribir estas líneas se lo debo principalmente a mis padres Joaquín y M^a del Carmen, por su dedicación y apoyo durante toda mi vida y, de forma no menos cercana a pesar de la distancia, durante mi paso por la Escuela Naval Militar. Esto es fruto de la fortaleza y apoyo transmitidos por muchas personas, sobre todo de mi familia, en especial: mis abuelos; mis hermanos, Jose Joaquín, María, Belén, Silvia, Juanjo; a mis tías Antonia y Josefina Roca, mi tíos Fulgencio Cayuela y José Delgado; a mis primos Pablo y Jaime y mis amigas. Gracias Rebeca por tu fe incondicional. Gracias a todos por los valores transmitidos a lo que incluyo al Colegio de Fomento Nelva, por haber hecho esto posible.

Por último, quiero agradecerle a Elena su ayuda y su dedicación durante todo el desarrollo de este proyecto. Por su colaboración y apoyo también quiero dirigirles estas palabras a Guillermo y a Ángel.

Muchas gracias a todos.

ÍNDICE

Contenido	1
Índice de Figuras	4
Índice de Tablas.....	7
1 Introducción.....	8
2 Estado del arte	12
3 El Coste de Ciclo de Vida	14
3.1 Definición.....	14
3.1.1 El Ciclo de Vida de un Producto (CVP).....	14
3.1.2 El Coste del Ciclo de Vida (CCV).....	17
3.2 Estimación del coste del ciclo de vida	19
3.2.1 Elementos del coste del ciclo de vida	19
3.2.2 Métodos de estimación	21
3.2.3 Ajuste de los datos	23
4 Aplicaciones del coste del ciclo de vida en la Armada	25
4.1 La herramienta ANACONDA	25
4.1.1 Generalidades	25
4.1.2 Datos de entrada	26
4.1.3 Descripción de las opciones.....	29
4.2 Estructura de los módulos de coste que intervienen en el CV de un buque	31
4.3 Procedimiento de cálculo del coste total.....	33
4.3.1 Obtención de las relaciones de estimación	33
4.3.2 Estimación del Coste del Ciclo de Vida.	40
4.4 Generación de ficheros.....	41
5 Desarrollo del programa ANACONDA 2.0	42
5.1 Generalidades.....	42
5.2 Datos de entrada.....	43
5.3 Estructura de los módulos de coste que intervienen en el CCV.	48
5.4 Procedimiento de cálculo del coste total.....	51
5.4.1 Coste de Proyecto. Proyecto preliminar y proyecto de contrato	51
5.4.2 Coste de Adquisición.....	51
5.4.3 Coste de Operación y Mantenimiento	51
5.5 Coste de Retirada /Eliminación.....	53
6 Aplicación práctica a fragatas clase “Álvaro de Bazán”, F-100	55

6.1 Características generales de los buques	55
6.1.1 Dimensiones	57
6.1.2 Configuraciones	59
6.1.3 Dotación.....	59
6.1.4 Sistemas	60
7 Estudio del CCV para una F-100 de la segunda serie tipo “Cristóbal Colón”	73
7.1 Modelo de estimación del Coste del Ciclo de Vida (CCV)	73
7.2 Supuestos iniciales para la estimación de costes	74
7.3 Cálculo de Coste de Operación y Apoyo a Bordo	76
7.3.1 Personal.....	76
7.3.2 Material.....	79
7.3.3 Coste de Mantenimiento en Tierra	83
7.3.4 Coste en Modernizaciones	84
7.4 Calculo de Coste de Retirada o Eliminación	85
7.5 Cuadro resumen de los costes de cada partida del Ciclo de Vida.....	88
8 Conclusiones y líneas futuras	89
8.1 Líneas de mejora	89
8.2 Línea de investigación futura. Ecoeficiencia en la fase de Producción.	94
8.2.1 Técnicas para alcanzar la ecoeficiencia	94
9 Bibliografía.....	99

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Modelo de fragata clase “Álvaro de Bazán” F-100	8
Figura 1-2 Estructura de desglose de trabajo y de coste en la OTAN (ANEP 41) [1].....	9
Figura 1-3 Jerarquía de coste del ciclo de vida de un buque en la OTAN [1]	10
Figura 1-4 Elementos de Coste-Efectividad [3].	11
Figura 3-1 Fases del Ciclo de Vida de un Producto [27].	15
Figura 3-2 Características asociadas a cada Fase del Ciclo de Vida de un Producto [28].	16
Figura 3-3 Análisis del CVP desde una perspectiva ambiental [29].	17
Figura 3-4 Etapas en la Vida útil de un producto [30].	18
Figura 3-5 Punto de vista del productor (producción) y del usuario (posesión)	19
Figura 3-6 Elementos del Coste Total [3].	21
Figura 4-1 Captura de hoja EXCEL “Datos de entrada” ANACONDA 1.1	28
Figura 4-2 Captura de hoja EXCEL ANACONDA 1.1 “Opciones”	30
Figura 4-3 Captura de hoja EXCEL ANACONDA 1.1 “Opciones según el tipo de buque que se quiere estimar el coste de ciclo de vida”	30
Figura 4-4 Módulo de coste total.	31
Figura 4-5 Modelos del coste total.	32
Figura 4-6 Captura de hoja EXCEL ANACONDA 1.1 Opción “crear fichero”	41
Figura 5-1 Datos de entrada del usuario.....	45
Figura 5-2 Perfiles de navegación.	46
Figura 5-3 Consumos.	47
Figura 5-4 Diagrama de Costes de Proyecto y de Adquisición.....	49
Figura 5-5 Diagrama de Costes de Operación-Mantenimiento y Retirada.	50
Figura 6-1 Fragatas F-101, F-102, F-103 Y F-104 navegando juntas [34]	55
Figura 6-2 Radar SPY de las F-100 [35].	57
Figura 6-3 Hangar de la F-105 [35].	58
Figura 6-4 Cubierta de vuelo de una F-100 [35].	58
Figura 6-5 Consola S.I.C.P de la F-105 [35].	60
Figura 6-6 Sistema de propulsión de las F-100 [37]	61
Figura 6-7 Planta de Propulsión CODOG [37].	61
Figura 6-8 Motor Diésel Bravo 16 V de la F-105	62
Figura 6-9 Turbina de gas General Electric LM 2500 [38].	62
Figura 6-10 Configuración del engranaje reductor [37].	63
Figura 6-11 Versiones del Sistema de Combate AEGIS [39].	65
Figura 6-12 Sistema de Combate de la F-100 [39].	66

Figura 6-13 Elementos del Sistema de Guerra antiaérea [39].....	67
Figura 6-14 Sistema de lanzamiento vertical (VLS), MK-41 [35].....	68
Figura 6-15 Misiles antiaéreos de las F-100 [35].	68
Figura 6-16 Elementos del Sistema de Guerra antisuperficie [39].	69
Figura 6-17 Cañón MK-45 Mod 2 [35].....	70
Figura 6-18 Elementos del Sistema de Guerra antisubmarina [39].....	71
Figura 7-1 Distribución del personal en las diferentes categorías para F-100.	77
Figura 7-2 Ciclo de Mantenimiento Programado [35].	84
Figura 7-3 Cuadro resumen del CCV.....	88
Figura 8-1 Distribución de costes en la etapa de servicio del CV.....	90
Figura 8-2 Distribución de costes en la etapa de servicio según ANEP-49 [40].	91
Figura 8-3 La brecha de capacidad durante la fase de servicio [50].	93
Figura 8-4 Proceso de elaborado de acero.....	96
Figura 8-5 Línea de Previas.....	96

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4-1 Perfiles de utilización.....	27
Tabla 6-1 Características generales de las F-100 [35] [34].....	56
Tabla 6-2 Registro del consumo en función de los dos modos de propulsión.	64
Tabla 7-1 Distribución de costes de las partidas del Ciclo de Vida de	74
Tabla 7-2 Perfil operativo de la F-105.	74
Tabla 7-3 Perfil de velocidades de la F-105.....	75
Tabla 7-4 Perfil de utilización de la F-105 [43].	75
Tabla 7-5 Distribución de la dotación en los buques tipo fragata de la Armada Española.	76
Tabla 7-6 Retribuciones en el año 2015.	77
Tabla 7-7 Retribución básica unitaria por persona y año.	78
Tabla 7-8 Retribuciones derivadas de la operatividad.	78
Tabla 7-9 Pluses del personal militar profesional.	79
Tabla 7-10 Gasto total de aceite lubricante.	81
Tabla 7-11 Costes de repuestos, pertrechos y pinturas de 2005.....	81
Tabla 7-12 Gastos de Vida y Funcionamiento.	83
Tabla 7-13 Gastos del proceso de eliminación del buque.	87

1 INTRODUCCIÓN

El objetivo principal de este proyecto, es el estudio y desarrollo de mejoras para análisis del coste de ciclo de vida de una F-100, lo cual puede ser útil en caso de inversión en una sexta fragata de la clase “Álvaro de Bazán” (Figura 1-1), concretamente, la F-106 “Juan de Austria”.

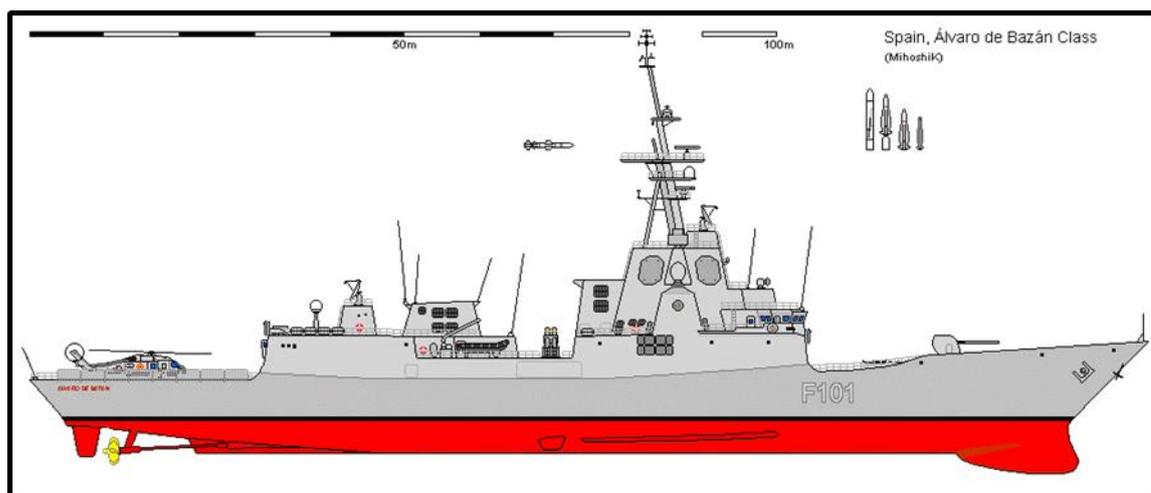


Figura 1-1 Modelo de fragata clase “Álvaro de Bazán” F-100

El diseño y adquisición de buques de guerra es un proceso complejo. El desarrollo de las estimaciones de costes asociadas, tanto para la adquisición inicial como para los generados durante la vida del buque de guerra, es una tarea que implica la asignación de valores a cientos de elementos de coste [1]. Además de esto, en un programa multinacional tenemos que [1]:

- Abordar cuestiones de coste compartido y de intercambio de trabajo, así como
- Analizar las diferentes formas de cálculo del presupuesto total de los buques que se llevan a la práctica a nivel nacional y que dificulta la comparativa con las estimaciones de costes elaboradas por diferentes países.

La resolución de estas dos cuestiones requiere un nivel de detalle suficiente en su correspondiente parte dentro de las estimaciones [1]. Por lo tanto, es esencial que los elementos de coste y la Estructura de Desglose de Trabajo y de Coste (CWBS, Cost/Work Breakdown Structure, (Figura 1-2) estén

claramente definidos en el inicio del desarrollo multinacional y programa de adquisición de tales buques [1].[1].

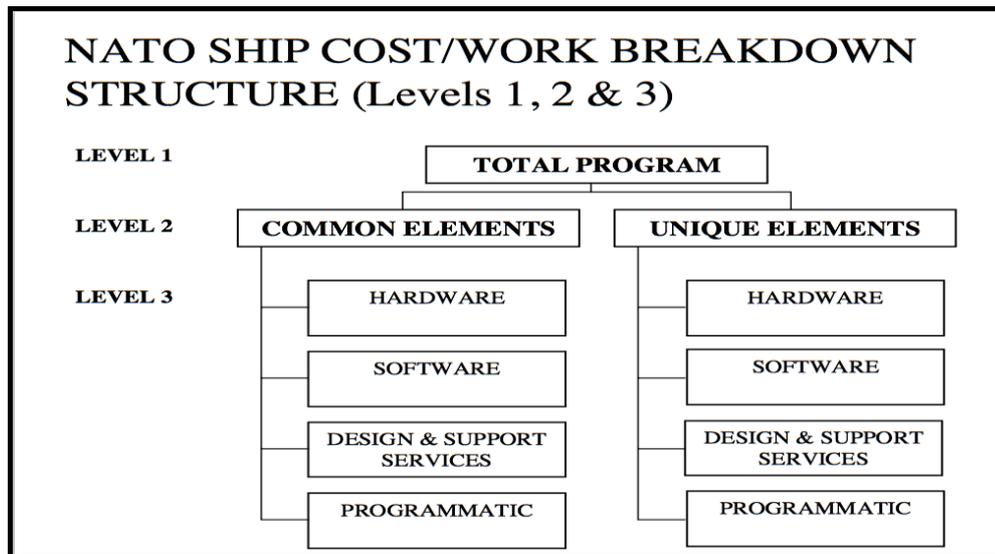


Figura 1-2 Estructura de desglose de trabajo y de coste en la OTAN (ANEP 41) [1].

Por esta razón primero se definen los elementos principales del proceso tales como: términos relacionados con el coste, la estructura en la que se se desglosan desglosan el coste y el trabajo, una metodología de cálculo de coste acordada y las consideraciones de programas multinacionales (coste compartido, trabajo compartido y conversión de moneda).

En cualquier programa de colaboración, el desglose genérico de costes y trabajo de la OTAN ya establecido en publicaciones como la ANEP 41 (Allied Naval Engineering Publication) debe ser el punto de partida en la definición total del proyecto.

El ciclo de vida de un buque se define como el intervalo de tiempo determinado por el momento en que se inicia el programa de obtención hasta su puesta fuera de servicio o retirada; integrando etapas de evaluación de necesidades, previabilidad, viabilidad, definición del proyecto, diseño y desarrollo, industrialización, producción, adquisición, utilización y mantenimiento del mismo. Por ello el estudio económico del ciclo de vida debe recoger la suma de los costes afrontados en cada una de estas etapas, obteniendo finalmente una estimación inicial del coste de operación y mantenimiento de la F-100. Es lo que se conoce como coste del ciclo de vida (Life-Cycle Cost, LCC).

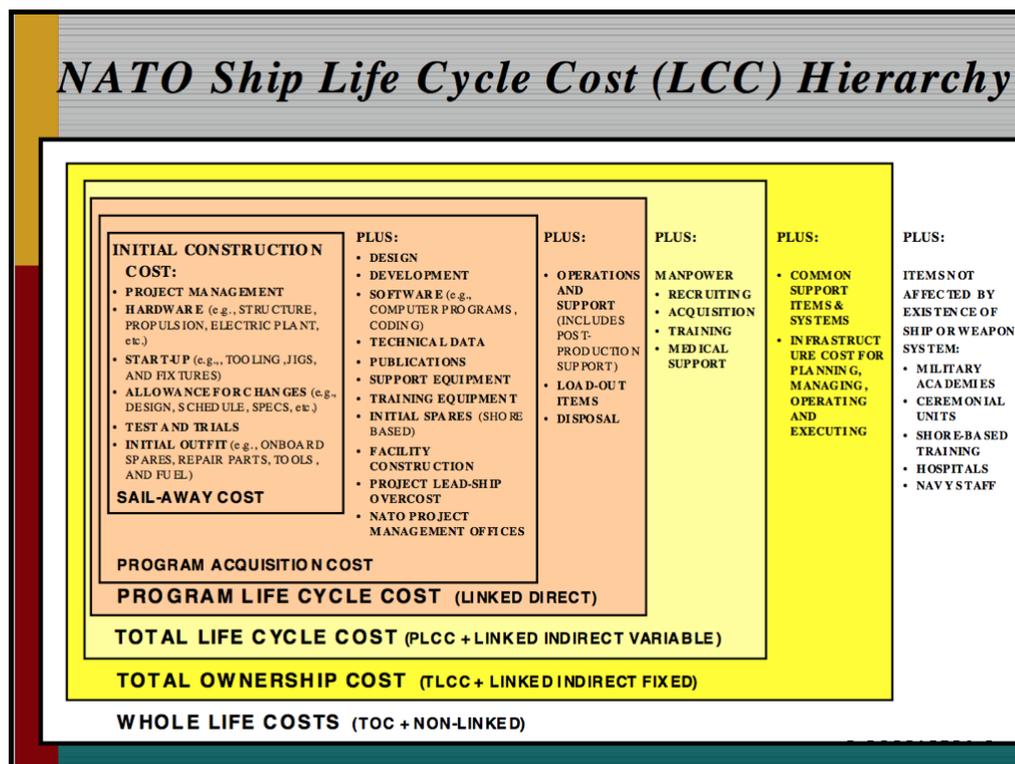


Figura 1-3 Jerarquía de coste del ciclo de vida de un buque en la OTAN [1]

A su vez, como en toda inversión, el cliente busca satisfacer una necesidad; por ejemplo, cuando la Armada proyecta un buque, una fragata en este caso, busca minimizar su coste de ciclo de vida durante sus años de servicio. Con este objetivo, la fiabilidad, mantenibilidad y soportabilidad del buque deben ser paralelos a las prestaciones, datos técnicos y seguridad del mismo. La Armada siempre tiene unas necesidades concretas y unos objetivos bien definidos que, en el grado de medida en el que se respeten y cumplan, el sistema de armas será más o menos efectivo, y lo que se busca es precisamente llegar al equilibrio entre coste y eficacia

Para lograr ese equilibrio entre coste y eficacia resulta muy útil realizar un análisis del coste de efectividad (Cost-Effectiveness Analysis, CEA). Este método de análisis deriva del análisis coste-beneficio, y existen muchas similitudes entre ambas técnicas.

El análisis de coste-beneficio se aplica en aquellos casos en que tanto los costes como los beneficios pueden expresarse en términos monetarios. Involucra un peso total de los gastos previstos en contra del total de los beneficios previstos de una o más acciones con el fin de seleccionar la opción más rentable [2]. Existen distintos indicadores que pueden calcularse una vez conocidos y determinados los costes y los beneficios, entre ellos la razón beneficio-coste, el periodo de recuperación del capital, el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno [2]. Este criterio es útil para decidir si realizar o no un proyecto, pero puede inducir a error cuando hay que elegir dos proyectos mutuamente excluyentes, ya que no existe una regla única para definir tanto el numerador como el denominador de esta relación [2].

El análisis de coste-efectividad, en cambio permite comparar los resultados independientemente de las unidades en las que se exprese. En este análisis, los costes se miden en unidades monetarias y los resultados (efectividad) en unidades no monetarias equivalentes para todas las alternativas. El CEA es una metodología que considera en paralelo el coste y la efectividad (entendida como grado de cumplimiento de la especificaciones), se aplica a la planificación y gestión de muchos tipos de actividades organizadas; comparando el coste de una intervención, programa o proyecto con el efecto que éste produce [2]. Es un proceso de razonamiento basado en el principio de obtener mayores y mejores resultados al menor esfuerzo invertido, tanto por eficiencia técnica como por motivación

humana. Este tipo de análisis se utiliza en los ámbitos de defensa y civil y muy especialmente, en el área médica, tanto a nivel militar como civil [2].

Por ejemplo, en la adquisición de carros de combate, por ejemplo, los diseños de la competencia se comparan no solo por el precio de compra sino también por factores tales como su radio de acción, velocidad, cadencia de tiro, protección de la armadura de sus armas, etc. Si el desempeño de un carro de combate en estas áreas es igual o ligeramente inferior al competidor, pero menos costoso y más fácil de producir, los planificadores militares pueden seleccionarlo como más rentable que el competidor [2].

Por tanto, al aplicar este análisis se debe buscar satisfacer tres requisitos. Primero, los sistemas candidatos que son evaluados deben tener los mismos objetivos [3]. Así, por ejemplo no sería válida una comparativa entre un buque de aprovisionamiento de combate y otros buques (como fragatas o anfibios), como tampoco lo sería comparar un destructor, cuyo fin principal es la defensa marítima, con otros buques con menor capacidad de defensa propia. En segundo lugar, deben establecerse criterios de evaluación para factores de interés: técnicos y no técnicos. Finalmente, se debe disponer de la mayoría de los detalles de los sistemas que se evalúan, con el fin de predecir los componentes de coste y efectividad de cada sistema candidato [3].

Para hacer una selección de los criterios de evaluación (Figura 1-4), deben compararse los aspectos de coste del ciclo de vida y los de efectividad de los sistemas estudiados. Entre las categorías de coste, podemos distinguir aquellas que surgen a lo largo del ciclo de vida del sistema; a las cuales se asocian costes de investigación y desarrollo, la ingeniería, diseño y desarrollo, la producción, la operación, el mantenimiento y la retirada. Esto se puede visualizar en la parte izquierda de la Figura 1-4.

Además de lo anterior, como cabe suponer, cada sistema tiene su propia finalidad, algunos de ellos poseen múltiples objetivos, lo que dificulta en mayor medida definir los criterios de evaluación [3]. De entre las categorías asociadas a la efectividad podemos distinguir: la utilidad, la aptitud, el beneficio, la ganancia... Son características difíciles de cuantificar, por lo que normalmente se usan criterios tales como: la movilidad, la mantenibilidad, la disponibilidad, la fiabilidad, etc., se muestran la parte derecha de la Figura 1-4. Aunque las bases de medida cuantitativas no son precisas, los criterios son igualmente útiles para la descripción de la efectividad del sistema.

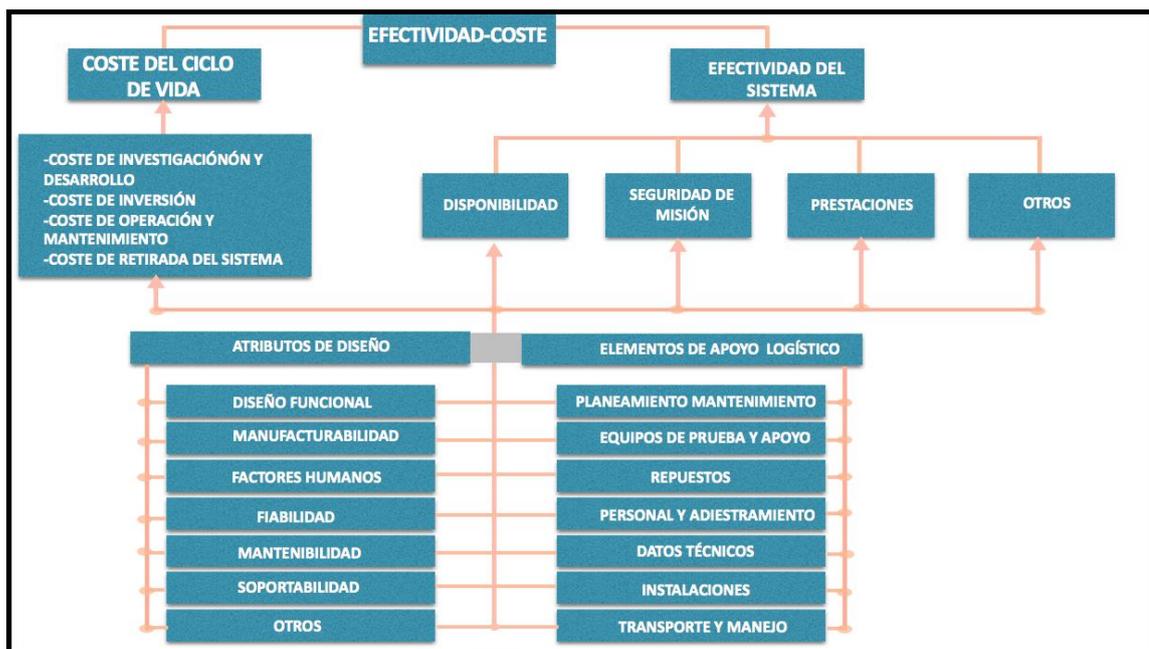


Figura 1-4 Elementos de Coste-Efectividad [3].

2 ESTADO DEL ARTE

El concepto de Análisis de Coste del Ciclo de Vida (ACCV) o LCC (Life Cycle Cost), por sus siglas en inglés, fue aplicado inicialmente por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos. Se estimuló su importancia en el Departamento de Defensa a raíz del descubrimiento de que el 75% del coste total estaba representado por los costes de operación y apoyo para sistemas de armas comunes [4]. Sin embargo, la mayoría de las metodologías desarrolladas por el Departamento de Defensa no estaban destinadas para el diseño sino para fines adquisitivos, es decir atendiendo al coste del proceso de Adquisición. Reconociendo la necesidad de aplicar de forma más extendida las metodologías de ingeniería económica en la planificación y control de los sistemas para la producción de bienes y servicios, la Fundación Nacional de Ciencia de Estados Unidos patrocinó una conferencia sobre la “conjunción” de universidad e industria en 1984 [5], donde treinta y cuatro oportunidades de investigación fueron descubiertas y priorizadas. Las dos áreas de investigación que recibieron las calificaciones más altas fueron la evaluación económica equilibrada del diseño a lo largo del ciclo de vida y CAE (computer-aided estimating) [5].

Como se ha mencionado, estudios e investigaciones sobre diseño de productos sugieren esta etapa del proceso tiene una influencia de entre un 70% y un 85% en el coste total de un producto [6]. Los diseñadores por tanto, se ven en la necesidad de buscar la reducción substancial del coste total del producto que diseñan, teniendo en consideración las consecuencias financieras de las decisiones que adoptan sobre el diseño [6].

El creciente reconocimiento de la competencia en costes, ha estimulado el desarrollo de metodologías tales como: diseño para el montaje, para la producibilidad, el mantenimiento y diseño de calidad. Hay dos formas de emplear el coste como un criterio de evaluación del diseño. Puede usarse tanto el diseño del coste, como el diseño para el coste. El diseño del coste es un proceso de ingeniería tecnológica para reducir el coste del ciclo de vida, mientras que el diseño para el coste obtiene un diseño que satisface los requerimientos funcionales de un coste determinado [7].

En general, los clientes suelen preocuparse por el coste del producto, que abarca toda la vida del mismo desde el momento de su concepción hasta su eliminación. Por el contrario, el fabricante suele priorizar la reducción del coste de adquisición de materiales, producción y logística. Con el fin de sobrevivir en el entorno competitivo, los fabricantes ahora tienen que considerar la reducción del coste de todo el ciclo de vida del producto (LCC) [8]. En el caso de un buque, el coste ciclo de vida lo constituye no solo el coste del proceso fabricación en el astillero sino también el de mantenimiento durante los años de servicio, así como el de inspección, reparación, pintura y finalmente el coste de retirada o eliminación [9].

Recientemente (2007-2009), se ha comenzado la implementación de métodos para la investigación de los costes económicos y ambientales dentro de un sistema marino [10] [11] [12]. Por tanto, el enfoque del LCC es una metodología con un gran potencial si se desea mantener la eficiencia de los

buques durante su vida en general. No obstante, se presentan dificultades que no pueden ser aludidas, producidas por la variedad de los niveles de producción y mantenimiento.

Con la finalidad de optimizar los costes y mejorar la rentabilidad de los procesos productivos, las denominadas organizaciones de categoría Clase Mundial, dedican enormes esfuerzos para visualizar, analizar, implantar y ejecutar estrategias para la solución de problemas, en áreas de alto impacto [13]: seguridad, medio ambiente, metas de producción, calidad de productos, costes de operación y mantenimiento. En los últimos años, especialistas en las áreas de Ingeniería de Valor, Diseño y Optimización de la Producción, han mejorado el proceso de cuantificación de los costes, incluyendo el uso de técnicas que cuantifican el factor Fiabilidad y el impacto de los eventos de fallos sobre los costes totales de un sistema de producción a lo largo de su Ciclo de Vida [14]. Estas mejoras han permitido disminuir la incertidumbre en el proceso de toma de decisiones de áreas de vital importancia tales como: diseño, desarrollo, sustitución y adquisición de activos de producción [15].

Es importante aclarar que en todo este proceso, existen muchas decisiones y acciones, tanto técnicas como no técnicas, que deben adoptarse a través de todo el período de uso de un activo industrial. La mayoría de estas acciones, particularmente las que corresponden a la fase de Diseño del Sistema de Producción, tienen un alto impacto en el Ciclo de Vida del activo e influyen en gran medida sobre los costes totales de producción [16]. Son de interés particular, aquellas decisiones relacionadas con el proceso de mejoramiento del factor “Fiabilidad”, entendida como la calidad la calidad del diseño, tecnología utilizada, complejidad técnica, frecuencia de fallos, costes de mantenimiento preventivo/correctivo, niveles de mantenibilidad y accesibilidad; ya que estos aspectos tienen una gran influencia sobre el coste total del ciclo de vida del activo, e influyen en gran medida sobre las posibles expectativas para extender la vida útil de los sistemas de producción a costes razonables [17] [18] [19] [16] [20] [21].

En cuanto a los antecedentes de las técnicas de Análisis de Ciclo de Vida, en los últimos años el área de investigación relacionada con el Análisis de Costes en el Ciclo de Vida, ha continuado su desarrollo, tanto a nivel académico como a nivel industrial. Es importante mencionar la existencia de otras metodologías que han venido surgiendo en el área de ACCV, tales como: Análisis de Costes de Ciclo de Vida e Impacto Ambiental, Análisis de Costes Totales de Activos de Producción, Modelo de Costes Basado en Actividades [22]. Estas metodologías tienen sus características particulares, aunque con respecto al proceso de estimación del impacto de los costes por eventos de fallos, las mismas, proponen análisis de Fiabilidad normalmente basados en tasa de fallos constantes [15].

3 EL COSTE DE CICLO DE VIDA

3.1 Definición

Un producto trata de satisfacer determinadas necesidades identificadas y/o cumplir ciertos objetivos definidos. La efectividad o eficacia es el grado en que se cumplen estas necesidades y objetivos. Ahora bien, esa satisfacción implica para el usuario un coste total a lo largo del ciclo de vida del producto, conocido como coste del ciclo de vida (Life-Cycle Cost, LCC) [3].

Una parte importante del coste del ciclo de vida proyectado para un producto, sistema o estructura dados, puede relacionarse con las decisiones tomadas durante las primeras etapas del diseño del sistema. Estas decisiones se refieren a requisitos operativos, factores de prestaciones y efectividad, configuración de diseño, concepto de mantenimiento, cantidad de producción, factores de utilización, apoyo logístico, retirada y eliminación [3]. Tales decisiones conforman el diseño detallado y las actividades de producción, las funciones de distribución del producto y los elementos de apoyo del sistema. Si hay que controlar el coste final del ciclo de vida, es esencial que se aplique un alto grado de atención al coste, durante el diseño y desarrollo del sistema [3].

3.1.1 El Ciclo de Vida de un Producto (CVP)

El ciclo de vida de un producto es un concepto al que se viene haciendo alusión de forma cada vez más recurrente, sobre todo en el ámbito de Contabilidad de Gestión, como consecuencia de la necesidad imperiosa que tienen las empresas de aplicar mecanismos de medición y de control de costes en todas sus áreas y productos [23]. El CVP puede adoptar diferentes acepciones; por esta razón se incluyen las siguientes definiciones propuestas de diversos expertos en temas de mercadotecnia [23]:

- Según Hair, Lamb y McDaniel [24], el ciclo de vida del producto es un concepto que proporciona una forma de rastrear las etapas de la aceptación de un producto, desde su introducción (nacimiento) hasta su declive (muerte).
- Para Stanton, Etzel y Walker [25], el ciclo de vida del producto consiste en la demanda agregada por un tiempo prolongado de todas las marcas que comprenden una categoría de producto genérico.
- Según Richard L. Sandhusen [26], el ciclo de vida del producto es un modelo que supone que los productos introducidos con éxito a los mercados competitivos pasan por un ciclo predecible con el transcurso del tiempo, el cual consta de una serie de etapas (introducción, crecimiento, madurez y declive), y cada etapa plantea riesgos y oportunidades que los comerciantes deben tomar en cuenta para asegurar que el producto rinde una utilidad.

En resumen, dentro del contexto de la contabilidad de gestión, el CVP representa el periodo de tiempo que transcurre desde que se diseña, hasta que las ventas empiezan a disminuir como

consecuencia del creciente rechazo o indiferencia por parte del mercado. Es por ello que en el ciclo de vida de un producto se suelen identificar cuatro etapas, como son: lanzamiento, crecimiento, madurez y declive [23]. Cada una de las cuales lleva asociada una determinada estructura de costes y de ingresos, y cuya prolongación temporal dependerá tanto de factores endógenos, como exógenos a la empresa, (Figura 3-1).

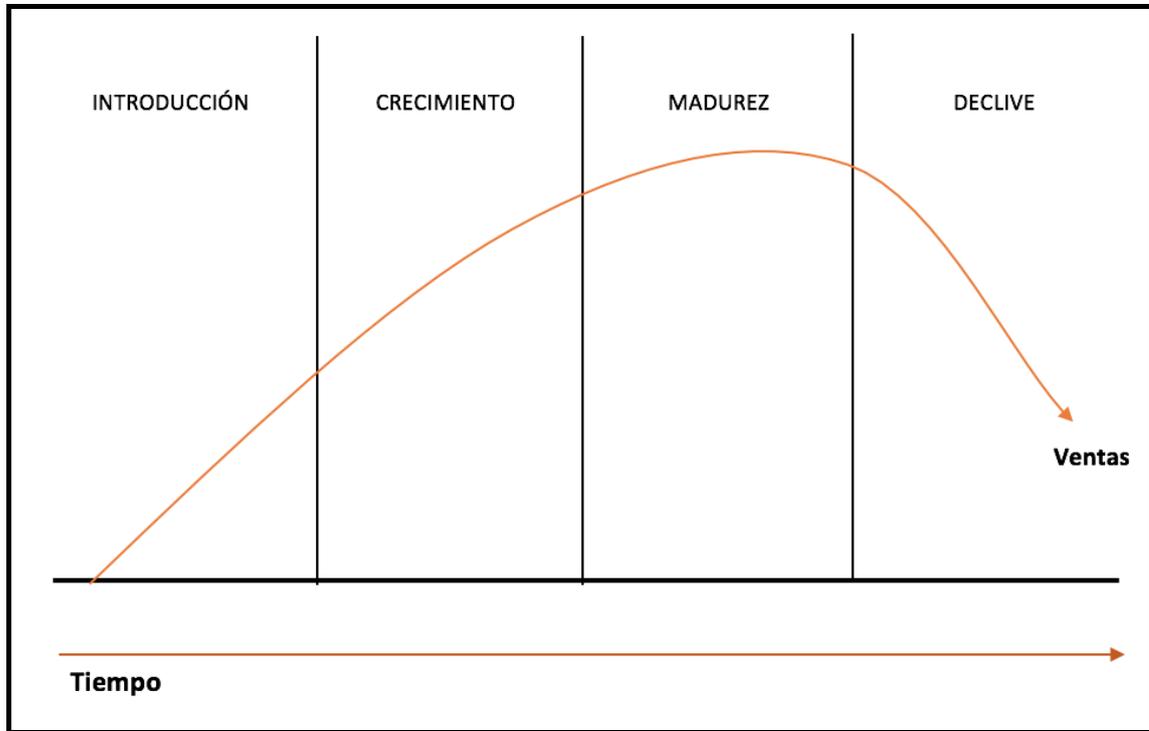


Figura 3-1 Fases del Ciclo de Vida de un Producto [27].

Dentro del contexto de la contabilidad de gestión, la estructura de costes de una empresa estará afectada, de forma directa, por la etapa concreta en la que se encuentre un determinado producto, supeditándose a ella los recursos financieros, humanos, técnicos, etc. de la empresa. Todo ello origina una estructura de costes claramente diferenciada [28].

Con un carácter general, se pueden establecer una serie de características comunes -en cuanto a la estructura de costes vinculada con cada etapa de su ciclo de vida- a la mayoría de los productos, y que aparecen recogidas en la Figura 3-2.

	LANZAMIENTO	CRECIMIENTO	MADUREZ	DECLIVE
Características del producto	Aún no definitivo; perfeccionamiento tecnológico	Mejora de las características. Aparición de modelos.	Productos similares. Cambios aplicados tan sólo por diferenciación.	Producto viejo. Simplificación de la gama.
Capacidad de producción	Reducida.	En aumento.	Economías de escala.	Exceso de capacidad.
Gama de productos	Estrecha.	Se amplía.	Progresiva estandarización.	Se reduce dejando la más rentable.
Costes de producción	Elevados.	Van disminuyendo por efecto de las economías de escala.	Estacionarios.	Tienden a aumentar.
Costes de venta y promoción	Altos, consecuencia del reparto de muestras, y de la colocación del producto en nuevos canales y nuevos puntos de venta	Moderados, para crear preferencia de marca.	Altos; se desarrollan técnicas de promoción.	Mínimos gastos.
Beneficio	Negativa; volumen de producción alto y elevados gastos de marketing.	Búsqueda del punto de equilibrio entre precios y demanda creciente.	Fuerte competencia; recorte de márgenes.	Descenso en ventas e incremento de los costes.

Figura 3-2 Características asociadas a cada Fase del Ciclo de Vida de un Producto [28].

Del contenido de la Figura 3-2 se podrían sacar las siguientes consideraciones relativas a cada etapa [28]:

- **Etapa de lanzamiento:** Su duración está normalmente condicionada, tanto por la complejidad del producto, así como por lo novedoso que pueda resultar, o bien por el grado de adaptación a las exigencias del consumidor. Los gastos de promoción representarán una proporción elevada en relación a la cifra de ventas.
- **Etapa de crecimiento:** Una vez se ha logrado que el comprador haya probado el producto, debe quedar perfectamente definida la estrategia y los métodos de comercialización, es decir, hacer llegar el producto al comprador en plazo, cantidad, momento y lugar adecuados.
- **Etapa de madurez:** Esta etapa está caracterizada por una sucesiva saturación de los mercados, apareciendo una fuerte competencia en los precios, y estando el producto técnicamente resuelto, lo cual permite una cierta estandarización. La relación calidad-precio es un aspecto fundamental dentro de la estrategia del producto. Los procesos de producción se mantienen estables y por ello no se producen grandes variaciones en los costes de producción.
- **Etapa de declive:** Dentro de la estructura de costes, adquieren especial significación los relativos a la comercialización (ventas, transportes y distribución), con el fin de mantener un determinado volumen de facturación, que inevitablemente tenderá a la baja.

Uno de los aspectos que deben tenerse en cuenta –desde la perspectiva de la Contabilidad de Gestión- a la hora de llevar a cabo un análisis del ciclo de vida del producto, consiste en efectuar un análisis del coste de obtención de dicho producto, identificando aquellos elementos que lo pudiesen encarecer de forma innecesaria [28]. El análisis deberá efectuarse por tanto, a partir de los distintos factores que integran el coste en el propio producto, tales como: materia prima, gastos de estructura, financieros, gastos de comercialización, amortizaciones, energía, mano de obra indirecta, etc. [28]. Por

ello se hace evidente en la etapa de análisis, la importancia y la necesidad de identificar aquellos elementos cuyo valor absoluto represente una proporción significativa en el coste total; en base a esto se tomarán las decisiones y medidas oportunas independientemente del momento en el que se hubieran originado.

No obstante, a todo producto, a lo largo de su ciclo de vida, desde su producción hasta su retirada, se le asocia una influencia en el medio ambiente, en consecuencia se entiende el ciclo de vida de forma diferente que dentro de un marco económico, se puede visualizar el la Figura 3-3. El producto produce una serie de efectos o impactos en el mismo, lo que se conoce como “Huella de Carbono”. Es por tanto importante señalar que el Análisis del Ciclo de Vida de un producto es una herramienta de gestión empresarial que no solo ayuda a la reducción de los costes de producción a una empresa, sino también propone una estrategia medioambiental acorde con cada línea de negocio con la finalidad de generar valor para la empresa disminuyendo los costes asociados a los consumos energéticos y de materiales [29].

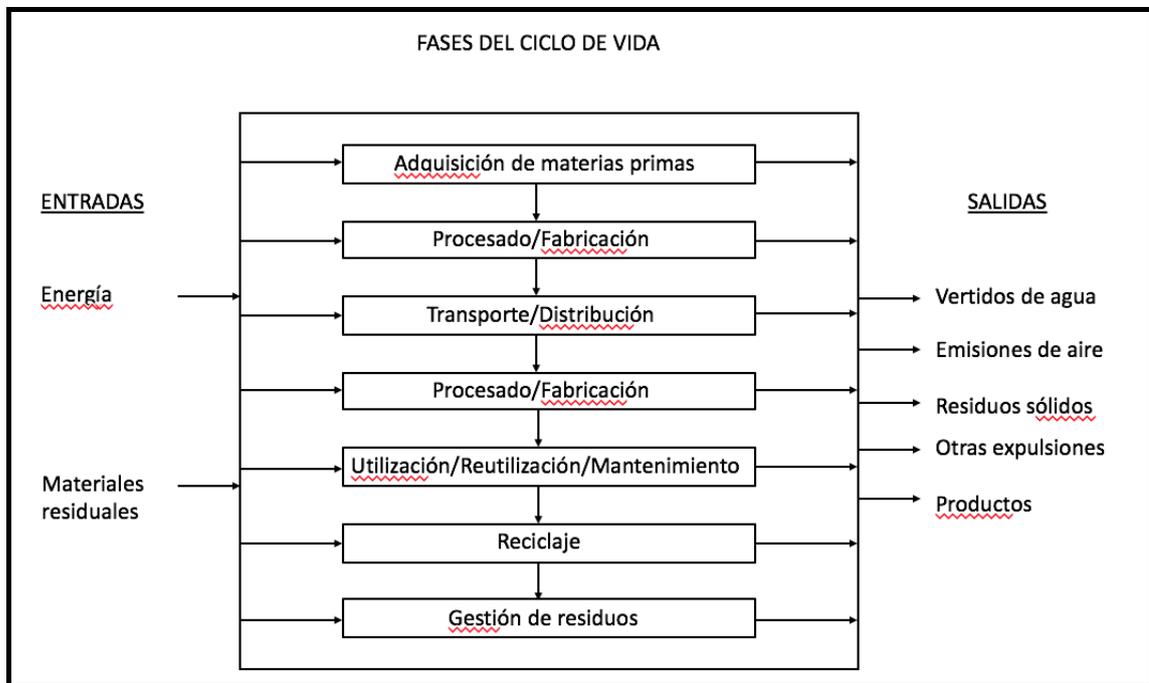


Figura 3-3 Análisis del CVP desde una perspectiva ambiental [29].

Aunque el presente Trabajo Fin de Grado se focaliza en el análisis del coste del ciclo de vida del producto, no está de más señalar que todo producto va a ejercer una influencia en el medio ambiente. Por ello, el Análisis del Ciclo de Vida provee a las empresas de un marco sistemático que ayude a identificar, cuantificar, interpretar y evaluar los impactos medioambientales de un producto, una función o servicio de manera ordenada. Se trata de una herramienta diagnóstica que puede ser utilizada para comparar productos o servicios existentes con otros o con normativas, pudiendo indicar áreas de mejora de productos existentes o ayudar en el diseño de nuevos productos.

3.1.2 El Coste del Ciclo de Vida (CCV)

El coste global hace referencia a un concepto sencillo que consiste en no tener en cuenta únicamente la dimensión de inversión del coste. Como ha sido mencionado anteriormente, se conoce como Life Cycle Cost (LCC), (coste del ciclo de vida), este enfoque extendido en Estados Unidos, se está desarrollando en países europeos como Francia con diferentes denominaciones: coste global de posesión, coste global de vida útil, coste total de posesión, coste unitario de utilización, coste global del programa, etc. [30].

Se trata de un enfoque de carácter general. Por ejemplo, la Asociación Francesa de Normalización (AFNOR) ha definido el término “coste global” como “el coste de adquisición y posesión de un producto durante un periodo de tiempo determinado de su ciclo de vida”; en la versión española de esta norma, sin embargo, se ha traducido como coste de ciclo de vida [30].

El concepto de coste global nos permite relacionar el presente y el futuro (véase Figura 3-3), ya que considera el tiempo al mostrar el coste total de los bienes duraderos durante su vida útil y permite incluir todos los gastos relativos a la adquisición, rendimiento, mantenimiento y, si es preciso, a la eliminación del producto.

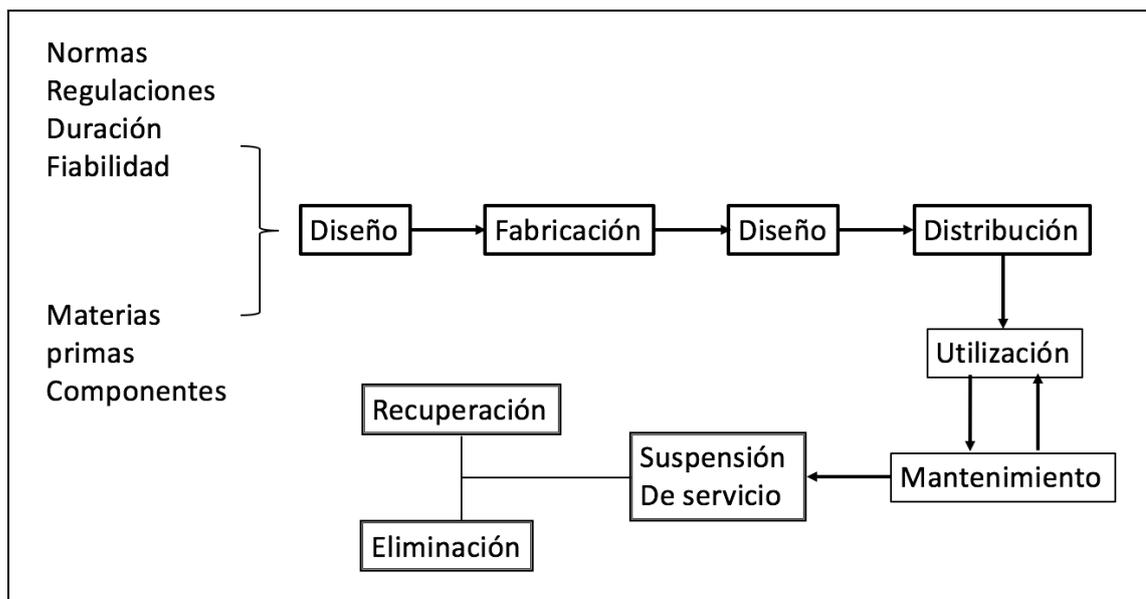


Figura 3-4 Etapas en la Vida útil de un producto [30].

El coste del ciclo de vida se determina identificando las funciones aplicables en cada una de sus fases, calculando el coste de las mismas y aplicando los costes apropiados durante toda la extensión del ciclo de vida. Para que esté completo, el coste del ciclo de vida debe incluir todos los costes del fabricante y del consumidor [3]. Se resumen los costes de cada fase del ciclo de vida del sistema en los siguientes [3]:

- **Diseño conceptual del sistema:** las magnitudes determinantes del coste, de acuerdo con las que se va a diseñar, probar, producir y apoyar el sistema o producto, deben establecerse en las etapas iniciales de planificación y diseño conceptual del sistema, cuando se están definiendo los requisitos. Se puede adoptar un objetivo de diseño “diseño según el coste” (Design-To-Cost, DTC) a fin de establecer el coste como restricción del diseño del sistema o producto, al igual que las prestaciones, efectividad, capacidad, precisión, tamaño, peso, fiabilidad, mantenibilidad, etc.
- **Diseño preliminar del sistema:** Una vez se establecen los requisitos cuantitativos del coste se realiza un proceso iterativo de síntesis, compromiso entre diversas opciones y optimización, y definición del sistema o producto. Los criterios definidos en el diseño conceptual del sistema se asignan o reparten inicialmente entre los diversos segmentos del sistema, a fin de establecer las pautas para el diseño y/o adquisición de los elementos necesarios.

A medida que evoluciona el desarrollo del sistema, se consideran diversos métodos que puedan conducir a seleccionar una configuración de preferencia. Se realizan análisis del coste del ciclo de vida evaluando cada posible candidato, asegurando que éste sea compatible con los objetivos establecidos de coste, y de determinar cuál de los distintos candidatos considerados es el preferible desde un punto de vista global de coste-efectividad.

Tras esto se hacen unos estudios de compromiso, utilizando el LCC como una herramienta de evaluación, hasta que se elige una configuración de diseño de preferencia. Se justifican las áreas de cumplimiento y se descartan las soluciones que no cumplen los requisitos.

- **Diseño detallado y desarrollo:** A medida que se profundiza en el diseño del sistema, se va implicando en el análisis del coste del ciclo de vida las siguientes consideraciones: la evaluación de características específicas del diseño; la predicción de fuentes generadoras de coste, la estimación de costes y la proyección del coste del ciclo de vida a fin de establecer el perfil del coste del ciclo de vida (Life-Cycle Cost Profile, LCCP). Los resultados se comparan con el requisito inicial y se toma una acción correctiva según sea necesario.
- **Producción, uso y apoyo:** Los aspectos de coste de las etapas de producción, uso y apoyo, retirada y eliminación en el CV del sistema o producto, se abordan mediante la recogida y el análisis de datos, y una función de evaluación de los mismos. Se identifican los costes elevados y se definen relaciones causa-efecto, para obtener y utilizar información valiosa con el objeto de mejorar del producto, mediante un nuevo diseño o un nuevo estudio de ingeniería. El objetivo es hacer estimaciones realistas de estos costes.
- **Retirada y eliminación:** Los costes que surgen de retirada y baja en servicio o retirada y eliminación del sistema y de sus componentes, se producen en un futuro lejano. Por ello son particularmente difíciles de estimar en el momento del diseño. Sin embargo, según la experiencia, los costes reales que se producirán, se compensarán en alguna forma con el valor en ese momento de los componentes recuperados y de los materiales reciclados.

3.2 Estimación del coste del ciclo de vida

Aunque la estimación en el entorno físico es mucho mejor y más preciso que en el económico, resulta útil una estimación inicial del coste total de un producto a lo largo de todo su ciclo de vida, tanto para el fabricante, (para conocer los costes de producción y reducirlos), como para su comprador a la hora de decidir si realizar o no la inversión.

3.2.1 Elementos del coste del ciclo de vida

Se puede definir el coste global como la suma de los siguientes costes: coste de desarrollo, coste de industrialización, coste de producción, coste de utilización, coste de mantenimiento y coste de eliminación [30]. O, de forma más esquemática, también se pueden agrupar estos elementos bajo los términos genéricos de producción y de posesión (véase la Figura 3-4).

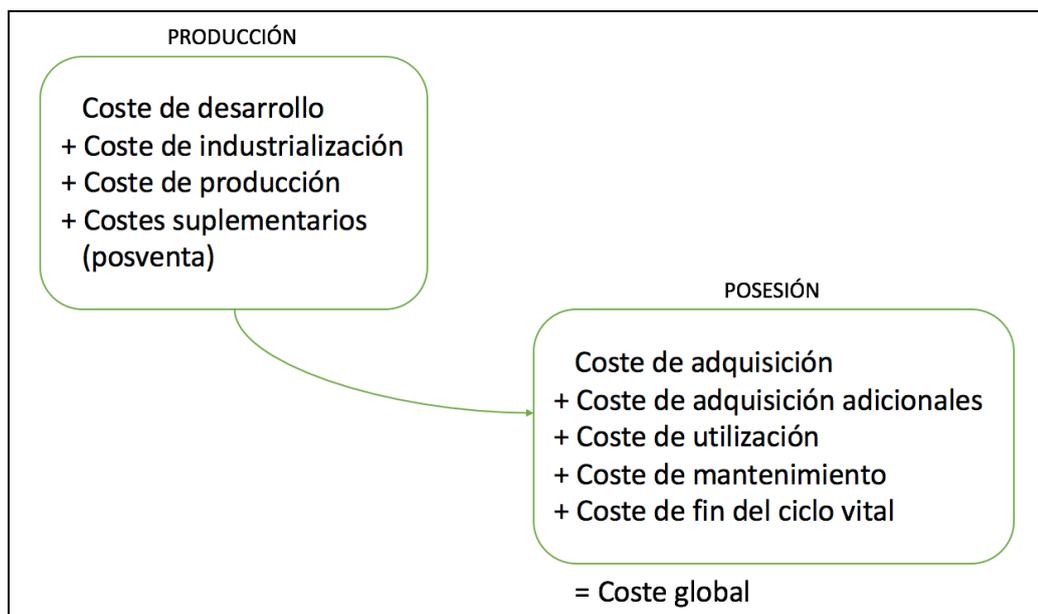


Figura 3-5 Punto de vista del productor (producción) y del usuario (posesión)

En esta descomposición del coste global quedan patentes dos posibles usos de este concepto [30]:

- A la hora de optar por una inversión, el coste global supone un elemento de valoración que ayuda a tomar una decisión. Durante el proceso de decisión de inversión de los clientes con la ayuda del coste global, éstos analizan los tres elementos principales del coste total: coste de desarrollo, de industrialización y producción; todos son agrupados bajo el término de coste de adquisición. También tienen en cuenta el coste de explotación, en el que se incluyen los costes de utilización, de mantenimiento y de fin de ciclo vital.
- Durante la etapa de diseño de un producto, el coste global nos permite elegir entre varias opciones conceptuales. En este nivel, el coste global se puede considerar como una extensión del estudio del coste total.

Este enfoque permite que el fabricante evalúe los costes y que, a partir de ahí, tome decisiones respecto a los mismos. Por tanto, el coste global es también una herramienta de comparación a largo plazo que no solo ofrece la posibilidad de comparar los costes de adquisición, sino también todos los elementos que están relacionados con el coste y que forman parte de la vida de un producto (mantenimiento, explotación, eliminación...).

Si desarrollamos los componentes del coste global, podremos distinguir rápidamente entre el coste que corre a cargo de los usuarios (adquisición, utilización y mantenimiento), y el coste que corre a cargo del fabricante (desarrollo, industrialización, producción). Estos últimos se suelen incluir en el coste total, determinado por el fabricante, o valor contable.

La diferencia normalmente entre el coste total (productor) y el coste de adquisición (usuario) radica normalmente en el margen de beneficios del productor.

Por otro lado, de acuerdo con la actividad organizativa necesaria para concebir un sistema o producto y desde una perspectiva general, los costes a lo largo del ciclo de vida se pueden dividir en categorías [3]. Estas categorías y sus elementos constituyentes componen una estructura de desglose o descomposición del coste (Cost Breakdown Structure, CBS) como ilustra la Figura 2-5. Las categorías principales de coste son [3]:

1. Coste de investigación y desarrollo: planificación inicial, análisis de mercado, investigación del producto, análisis de requisitos, diseño de ingeniería, datos y documentación de diseño, <<software>>, pruebas y evaluación de los modelos de ingeniería, y funciones de gestión asociada.
2. Coste de producción y construcción: ingeniería industrial y análisis de operaciones, producción (fabricación, montaje y pruebas), construcción de instalaciones, desarrollo del proceso, operaciones de producción, control de calidad y requisitos iniciales de apoyo a la logística (por ejemplo, apoyo inicial al cliente, producción de repuestos, producción de equipo de pruebas y apoyo, etc.).
3. Coste de operación y apoyo: operaciones del sistema o producto por parte del consumidor o usuario, distribución del producto (<<marketing>> y ventas, transporte y gestión de tránsito), mantenimiento y apoyo logístico durante el ciclo de vida del sistema o producto (por ejemplo, servicio al cliente, actividades de mantenimiento, apoyo de abastecimiento, equipos de prueba y apoyo, transporte y manejo, datos técnicos, instalaciones, modificaciones del sistema, etc.).
4. Coste de retirada y eliminación: eliminación de elementos no reparables a lo largo del ciclo de vida, retirada del sistema o producto, reciclaje de material y requisitos aplicables del apoyo logístico.

De este modo, el coste total del ciclo de vida, es el coste esperado durante toda su vida útil; es la suma del coste inicial de investigación y producción y los costes posteriores de mayor relevancia relacionados con la operación y el mantenimiento, así como los costes de eliminación. Los elementos del coste total vienen reflejados en la Figura 3-5, y está dado por la ecuación (1).

$$C=C_R+C_P+C_O+C_D \quad (1)$$

Donde C representa el coste total del ciclo de vida;

C_R - el coste de investigación y desarrollo;

C_P - coste de producción y construcción;

C_O - coste de operación y mantenimiento;

C_D ; coste de retirada y eliminación.

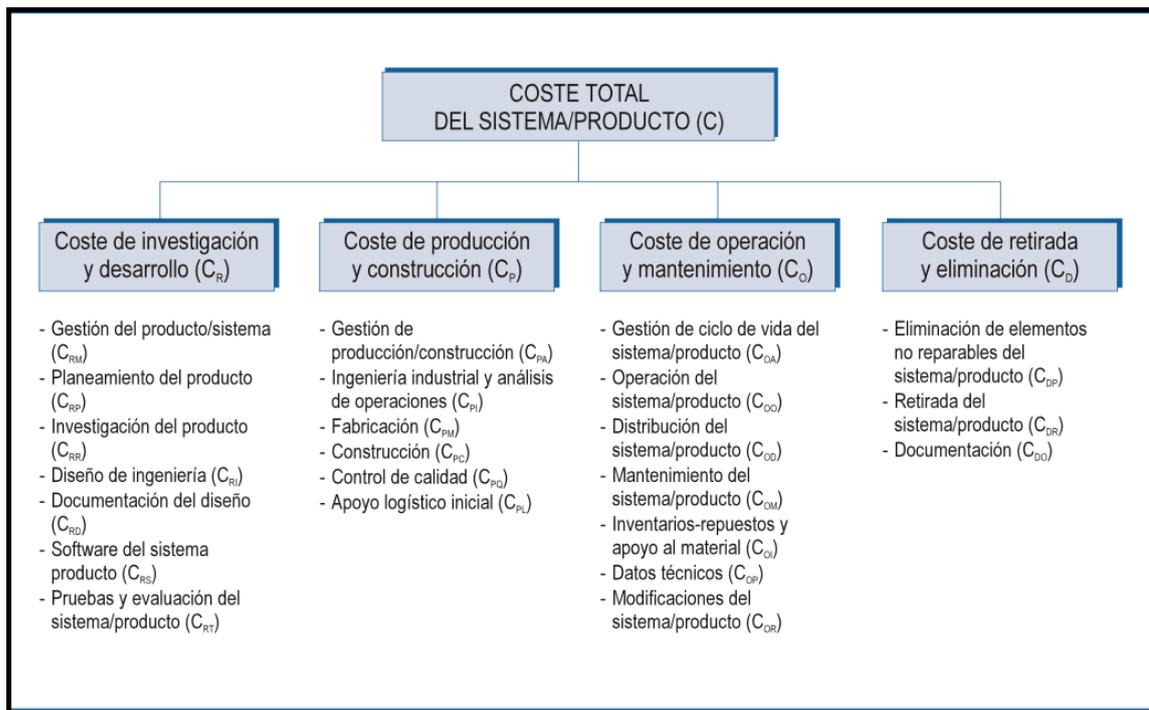


Figura 3-6 Elementos del Coste Total [3].

3.2.2 Métodos de estimación

Una estimación del coste es una valoración basada en el análisis y el buen juicio sobre el coste de un producto, sistema o servicio. Esta opinión puede alcanzarse de manera formal o informal mediante varios métodos que asumen que la experiencia es una buena base para predecir el futuro. En muchos casos, la relación entre la experiencia pasada y el resultado futuro es bastante directa y obvia; en otros casos es confusa, debido a que el producto, sistema o servicio propuesto difiere de sus predecesores de forma significativa [3]. El reto consiste en proyectar desde lo conocido, utilizando la experiencia adquirida con entidades existentes. Las técnicas usadas para la estimación del coste varían desde la intuición en un extremo, hasta el análisis matemático detallado del otro. Es decir, existen diferentes métodos para realizar la estimación del coste total [3]: estimación mediante procedimientos de ingeniería, por analogía y métodos paramétricos de estimación.

Por un lado, la estimación mediante procedimientos de ingeniería, implica el examen de elementos aislados con un nivel profundo de detalle. El estimador comienza con un diseño completo y especifica cada tarea de producción o construcción, el equipo y herramientas necesarias, y los requisitos de material. Después se asignan costes de cada elemento, con el mayor nivel de detalle [3]. Finalmente, se combinan esos costes para obtener un total para cada producto y sistema. En estos procedimientos, se pueden exigir más horas de trabajo y más datos de los que se disponen cuando se estudia el desarrollo

de algunos sistemas o productos. Además, la combinación de millares de estimaciones detalladas en una única estimación global puede desembocar en un resultado erróneo, ya que a menudo, el todo resulta ser mayor que la suma de sus partes; esto se debe a que el estimador trabaja a partir del croquis, planos o descripciones de algunos elementos que no han sido completamente diseñados, únicamente puede asignar costes a las actividades que conoce [3]. El efecto de estimaciones sin refinar puede agravarse, porque la estimación detallada se realiza únicamente sobre parte del trabajo. De este modo, errores pequeños en las estimaciones detalladas pueden conducir a errores grandes en la estimación total del coste.

Otra fuente de error, como es el caso objeto de estudio es la gran variabilidad que se produce en la fabricación de unidades sucesivas. Las series de producción de modelos similares pueden tener un tamaño limitado y a menudo estar sometidas a cambios de diseño. En el caso de sistemas de defensa, las tasas de producción varían con frecuencia y de forma inesperada. La proporción de componentes nuevos puede variar significativamente en los modelos de años sucesivos, a medida que el fabricante intenta adaptar un producto a las necesidades del mercado. A veces, el efecto de estos factores puede representarse mediante funciones matemáticas o estadísticas que describen el progreso tecnológico [3].

En cuanto a la estimación por analogía o Top-Down, puede ser muy útil cuando una empresa entra en una nueva área. Por ejemplo, las industrias aeronáuticas que competían en programas de misiles en los años 50 establecieron analogías entre aviones y misiles como base para la estimación, que es el método empleado del presente estudio, utilizando una comparativa entre las fragatas de la primera serie de F-100 y la segunda serie. Se realizaron los ajustes apropiados en lo que se refiere a las diferencias de tamaño, número de motores y prestaciones. Es un ejemplo de estimación por analogía, a nivel macroscópico. También puede darse a nivel microscópico. Las horas de mano de obra directa necesarias para fabricar un componente pueden estimarse recurriendo a las horas que fueron necesarias para trabajos similares. La base para la estimación es la similitud que existe entre el elemento conocido y la pieza propuesta. Algunos estimadores con experiencia, tales como mecánicos, fabricantes de herramientas o técnicos, pueden estimar los tiempos necesarios con mucha precisión. Por tanto, se les suele consultar cuando se necesita una estimación rápida [3].

Es un método que tiene muchas ventajas. Es razonablemente rápida, de bajo coste y, además, fácil de cambiar. Un inconveniente importante de la estimación por analogía es el grado de conocimientos exigido. Se necesita una considerable experiencia y pericia para identificar y usar las analogías apropiadas, y para hacer ajustes en las diferencias percibidas, mediante el análisis de procesos. Sin embargo, como el coste de la estimación por analogía es bajo, puede usarse como comprobación de otros métodos. A menudo es el único método que puede utilizarse, porque el producto, sistema o servicio está solo en una etapa preliminar del desarrollo [3].

Por último, el método paramétrico de estimación del coste, puede usar técnicas estadísticas que varían desde un simple ajuste gráfico de curvas hasta un análisis de correlación múltiple [3]. En cualquier caso, el objetivo es encontrar una relación funcional entre los cambios en el coste y el factor o factores de los que depende el coste, como la tasa de producción, el peso, el tamaño del lote, etc.

Esta técnica suele ser preferible en la mayoría de las situaciones, hay casos en que son precisos los métodos de ingeniería o la estimación por analogía porque no existen datos con una base histórica sistemática. No obstante, el método estadístico se considera suficiente en planificaciones a largo plazo [3]. El coste total puede estimarse directamente en función de la potencia, peso, metros cuadrados, volumen, etc. Se pueden tratar estadísticamente asociados al propio elemento [3].

Las técnicas paramétricas de estimación variarán según el objetivo de estudio y la información disponible. En el diseño conceptual, es deseable tener un procedimiento que dé el coste total esperado del producto o sistema, incluyendo las reservas para imprevistos que sirven para compensar los cambios que puedan surgir [3]. Posteriormente, a medida que el producto o sistema se acerca al diseño detallado, es deseable tener un procedimiento que ofrezca estimaciones de sus componentes. Entonces

pueden aplicarse esfuerzos de ingeniería adicionales que reduzcan el coste de aquellos componentes que resultan ser de alta contribución en el coste total [3].

3.2.3 Ajuste de los datos

Los datos deben ser coherentes y comparables si han de ser útiles para el procedimiento de estimación. A menudo puede darse incoherencia entre los datos de coste a causa de las diferencias entre las definiciones y los volúmenes de producción, ausencia de ciertos elementos de coste, inflaciones, etc. [3]. A continuación se mencionan algunos métodos que han demostrado ser útiles para enfrentarse con estas posibles incoherencias.

Las distintas organizaciones registran sus costes de maneras diferentes; a menudo se les exige remitir los costes a organismos de la Administración pública en categorías distintas de las usadas internamente, que también cambian de vez en cuando. Debido a estas diferencias de definición, el primer paso en la estimación del coste debe ser ajustar todos los datos a la definición en uso [3].

Asimismo se necesita consistencia en la definición de las características físicas y de las prestaciones [3]. El peso de un elemento depende de lo que se incluye en él. Por ejemplo, en los barcos se emplea el peso bruto, el peso neto y el peso de la estructura, diferenciándose cada término en su significado exacto. La velocidad puede definirse de muchas formas: velocidad máxima, velocidad de crucero, etc. Estas diferencias pueden conducir a estimaciones de coste erróneas cuando se obtienen estadísticamente en función de una característica física. Por el contrario, cuando los datos de coste se obtienen de varias fuentes es importante una adecuada interpretación tanto de las definiciones de las características físicas y de prestaciones como de los elementos del coste [3].

Otra área que exige una definición clara es la de los costes recurrentes y no recurrentes. A diferencia de los costes no recurrentes, los recurrentes son función del número de unidades producidas. Además del coste inicial necesario para construir o producir una nueva estructura o sistema, existen costes recurrentes de magnitud considerable asociados a la operación, el mantenimiento y la eliminación [3]. La energía, el combustible, los lubricantes, los recambios, el abastecimiento en general durante la vida operativa, la formación del usuario, la mano de obra de mantenimiento y el apoyo logístico son algunos de estos costes recurrentes. Cuando se multiplica la vida de muchos sistemas complejos por costes recurrentes de este tipo, encuentra un gasto total que puede ser grande comparado con el coste inicial. A menudo se aplica poca dedicación a la estimación de los costes asociados a la operación y al mantenimiento. Esto es un error, ya que el coste del ciclo de vida de la estructura o sistema es la única base correcta para juzgar acerca de su valor [3].

En lo que se refiere a los precios, el nivel de estos es fluctuante. El precio de los bienes y servicios de la mano de obra, de la materia prima y de la energía necesaria para su producción, cambia con el tiempo. La inflación ha aumentado el precio en la mayoría de los artículos, adquiriendo gran importancia en los últimos años, y los precios solo han descendido durante periodos muy cortos [3]. Por ello, es muy útil poder contar con métodos de valoración de inversiones tales como el Valor Actualizado Neto (VAN).

El VAN puede definirse como la diferencia entre el valor actualizado de los cobros y de los pagos generados por una inversión. Proporciona una medida de la rentabilidad del proyecto analizado en valor absoluto, es decir expresa la diferencia entre el valor actualizado de las unidades monetarias cobradas y pagadas, como se puede visualizar en la ecuación (2) [31]. Analíticamente se expresa como la diferencia entre el desembolso inicial (que no se actualiza ya que se genera en el momento actual) y el valor actualizado, al mismo momento, de los cobros y pagos futuros, a los que se denomina flujos de caja [31].

$$VAN = -A + \frac{Q_1}{(1+k)} + \frac{Q_2}{(1+k)^2} + \dots + \frac{Q_n}{(1+k)^n} = -A + \sum_{j=1}^n \left[\frac{Q_j}{(1+k)^j} \right] \quad (2)$$

Siendo:

- K = tipo de descuento.
- n =número de años, vida de la inversión.
- A = desembolso inicial.
- Q_1, Q_2, \dots, Q_n = flujos netos de caja de cada periodo.

En el caso de que los flujos de caja sean constantes, es decir $Q_1=Q_2=\dots=Q_n=Q$, el VAN se calcula mediante la siguiente expresión (3):

$$VAN = -A + Q \left[\frac{(1+k)^n - 1}{(1+k)^n + K} \right] \quad (3)$$

Si además de los flujos de caja constantes la inversión tiene una duración ilimitada la expresión que determina el VAN se obtiene aplicando a la expresión anterior al límite cuando “ n ” tiende a infinito, tal como se muestra en la expresión (4) [31]:

$$VAN = -A + \frac{Q}{K} \quad (4)$$

El VAN sirve para tomar dos tipos de decisiones: la efectividad y la jerarquización [31].

- Efectividad: interesa realizar aquellas inversiones que tengan un VAN más positivo, ya que en estos casos generan más cobros que pagos ($VAN > 0$).
- Jerarquización: Entre las inversiones efectivas son preferibles las que tengan un VAN más elevado.

No siempre es sencillo el ajuste de los datos de costes, para aumentar los precios con base en los índices. Mientras que la tasa media puede aumentar en un 6% en un año dado, la tasa de la mano de obra de una determinada empresa puede ser mayor o menor [31]. Además, puede no disponerse de los índices de materiales específicos o de ciertos componentes adquiridos. Un tercer problema surge cuando se realizan gastos durante un número de años para un proyecto de larga duración. En este caso, en los años iniciales los costes necesitarán menos ajustes que en los años finales [31].

Cuando se consideran cambios en el nivel de precios, debe considerarse el hecho de que el aumento en la productividad tiende a compensar los aumentos en los costes de mano de obra. No obstante, es un hecho reconocido en economía que el límite superior de los aumentos de salarios viene impuesto por el aumento alcanzable en la productividad, ya que si el aumento de los salarios exceden los aumentos en la productividad tienden a disminuir los beneficios y/o aumentar los precios, por lo que a su vez, aumenta la inflación [31].

El ajuste de los datos también puede llevarse a cabo en base a las mejoras debidas al aprendizaje. El aprendizaje lo realiza un individuo u organización en función del número de unidades producidas. La tendencia común es que el número de horas empleadas en completar una tarea se vean reducidas cada vez que ésta se repita [3].

Esta evidencia empírica que apoya el concepto de curva de aprendizaje, se detectó por primera vez en la industria aeronáutica, al observar la disminución de horas de mano de obra directa necesarias para la construcción de un avión y se comprobó que esta disminución era predecible [3]. De modo que la curva de aprendizaje se ha aplicado en otras industrias, por ejemplo en construcción naval ha resultado ser de gran utilidad en la innovación durante la construcción nuevos buques [31].

4 APLICACIONES DEL COSTE DEL CICLO DE VIDA EN LA ARMADA

El Análisis del Coste del Ciclo de Vida (ACCV) es una metodología que permite a la Armada seleccionar aquellos activos que generen los menores costes, ayudando de esta forma a maximizar la rentabilidad en el proceso de producción o de construcción de un buque, como es el caso que se trata en el presente TFG.

Según Woodhouse (1999), el ACCV es un proceso sistemático de evaluación técnico-económica, aplicada en el proceso de selección y reemplazo de sistemas de producción, que cuantifica el impacto real de todos los costes (incluyendo los costes por fallos) a lo largo del ciclo de vida de los activos (\$/año) [15]. [32]

Para llevar a cabo este análisis, la Armada cuenta con una herramienta o programa informático de cálculo de costes denominado Anaconda, sus generalidades se especificará, en el presente capítulo.

4.1 La herramienta ANACONDA

El programa Anaconda, fue desarrollado por la Empresa Naval Bazán, como una herramienta paramétrica para realizar la estimación del coste del ciclo de vida de los buques, en las fases de Previabilidad, viabilidad y Proyecto de Contrato de un programa de obtención de un buque [32].

Anaconda utiliza la información introducida por el usuario en el programa como base de cálculo del CCV, mediante las relaciones de estimación de costes (CER). Los elementos de costes que intervienen en el CCV serán de dos tipos; elementos conocidos y elementos obtenidos mediante los CER. Cuanto más avanzada sea la fase en que se realiza la estimación, más elementos serán conocidos y más fiables serán los resultados dados por las fórmulas de estimación de costes, obteniéndose cada vez un coste de ciclo de vida más convergente con el real [32].

El programa hace principalmente uso de “Excel”, aplicación de Microsoft Office, para obtener una primera estimación del ciclo de vida en las primeras etapas del proyecto, de una forma sencilla y rápida, sin necesidad de tener una información exhaustiva del presupuesto del buque.

4.1.1 Generalidades

Anaconda utiliza la información de costes de construcción básica del buque, como base para el cálculo de los capítulos que integran los costes relativos al Apoyo Logístico del buque y a su Operación y mantenimiento [32].

Mediante CER el programa establece el coste del “Hardware Only” instalado a bordo, partiendo de los datos introducidos por el usuario referentes a: suma de costes de materiales clasificados en diferentes grupos de costes (SWBS) numerados 100 a 700 y coste de la lista (A+C) [32].).

Una vez estimado el valor del concepto “Hardware Only” y basándose en este concepto, el programa estima, mediante las relaciones de estimación de costes establecidas, los costes de los conceptos de Apoyo Logístico y Operación y Mantenimiento. Adicionalmente, se asigna al resto de elementos de la estructura de costes, los costes introducidos como datos del programa [32].

Todos los costes, tanto los suministrados como los estimados, lo son en unidades monetarias constantes correspondientes a la fecha de actualización determinada por el usuario [32].

Para los costes de proyecto, el programa proporciona el coste total que calcula; para el programa de adquisición los valores medios de una serie de buques; para el concepto de operación y mantenimiento proporciona el coste por buque y año [32].

4.1.2 Datos de entrada

Los datos que se deben introducir en el programa para que realice una estimación completa del coste del ciclo de vida son los siguientes, se pueden visualizar en la Figura 3-1 [32]:

- Nombre del proyecto.
- Nº de buques de la serie.
- Suma de costes de materiales, grupos SWBS del 100 al 700 en millones de pesetas (ya que el programa es antiguo y trabaja con la moneda de aquel momento) del año de actualización, por buque.
- Coste del equipo entregado por el gobierno lista (A+C) en millones de pesetas del año de actualización, por buque.
- Mes y año al que se quiere actualizar el coste.
- Dotación, si no se conoce el programa tomará este dato por defecto.
- Coste anual por persona de la tripulación en millones de pesetas del año de actualización, si no se conoce, el programa tomará este dato por defecto.
- Precio combustible propulsión (ptas/tonelada) en millones de pesetas del año de actualización.
- Precio combustible generación (ptas/tonelada) en millones de pesetas del año de actualización.
- Consumo específico propulsión navegando (g/kW h).
- Consumo específico propulsión en puerto (g/ kW h).
- Consumo específico generadores (g/ kW h).
- Tiempo en la mar en %.
- Tiempo en puerto disponible <8h en %.
- Tiempo en puerto disponible >8h en %.
- Potencia consumida en puerto (kW).
- Potencia generadores en navegación (kW).
- Potencia generadores en puerto (kW).

Perfiles de utilización (Tabla 4-1):

Velocidad	%Tiempo	Potencia	Consumo específico (g/ kW h)
-	-	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-

Tabla 4-1 Perfiles de utilización

En caso de no saber el consumo específico para un determinado perfil de utilización, el programa tomará el dato de entrada; consumo específico propulsión navegando (g/ kW h) [32].).

- Coste proyecto preliminar del programa en millones de pesetas del año de actualización.
- Coste proyecto de contrato del programa en millones de pesetas del año de actualización.
- Coste mano de obra grupo SWBS 800 por buque en millones de pesetas del año de actualización.
- Coste material grupo SWBS 800 por buque en millones de pesetas del año de actualización.
- Coste gestión de calidad por buque en millones de pesetas del año de actualización.
- Coste desarrollo del software por buque en millones de pesetas del año de actualización.
- Coste mano de obra grupos SWBS 100 a 700 por buque en millones de pesetas del año de actualización.
- Coste mano de obra grupo SWBS 900 por buque en millones de pesetas del año de actualización.
- Coste material grupo SWBS 900 por buque en millones de pesetas del año de actualización.
- Coste centro de integración en tierra por buque en millones de pesetas del año de actualización.
- Coste centro de mantenimiento por buque en millones de pesetas del año de actualización.
- Coste centro de aprovisionamiento por buque en millones de pesetas del año de actualización.
- Coste centro de documentación por buque en millones de pesetas del año de actualización.
- Coste centro de adiestramiento por buque en millones de pesetas del año de actualización.
- Divisa objetivo (divisa en la que se quieren estimar los costes de ciclo de vida).
- Cambio de la divisa frente a la peseta en la fecha a la que se quiere actualizar el coste.

PROGRAMA PARA LA ESTIMACIÓN DEL COSTE DE CICLO DE VIDA DE UN BUQUE

DATOS DE ENTRADA

NOMBRE DEL PROYECTO	NFN
Nº DE BUQUES	5
SUMA DE COSTES DE MATERIALES GRUPOS SWBS 100 A 700 1º BUQUE(MPTAS):	18.688
COSTE EQUIPO ENTREGADO POR EL GOBIERNO (LISTA A+C) 1º BUQUE(MPTAS):	0
MES	
AÑO ACTUALIZACIÓN COSTE:	2000
DATOS TRIPULACIÓN	
DOTACIÓN:	120
COSTE ANUAL POR PERSONA TRIPULACIÓN (EN MPTAS):	6
COMBUSTIBLE	
PRECIO COMBUSTIBLE PROPULSIÓN (pts/tonelada):	29.000 pta
PRECIO COMBUSTIBLE GENERADORES (pts/tonelada):	29.000 pta
CONSUMO ESPECÍFICO PROPULSIÓN NAVEGANDO (gr/Kw.h):	160
CONSUMO ESPECÍFICO PROPULSIÓN EN PUERTO (gr/Kw.h):	160
CONSUMO ESPECÍFICO GENERADORES (gr/Kw.h):	226
PLAN DE USO	
TIEMPO EN LA MAR T1 %:	29%
TIEMPO EN PUERTO DISPONIBLE < 8 h T2 %:	0%
TIEMPO EN PUERTO DISPONIBLE > 8 h T3 %:	0%
TIEMPO INMOVILIZADO 100-T1-T2-T3 %:	72%

DATOS DE ENTRADA COSTES A FECHA DE ACTUALIZACIÓN

COSTE PROYECTO PRELIMINAR DEL PROGRAMA (MPTAS)	
COSTE PROYECTO DE CONTRATO DEL PROGRAMA (MPTAS)	
COSTE MANO DE OBRA GRUPO SWBS 800 POR BUQUE(MPTAS)	
COSTE MATERIAL GRUPO SWBS 800 POR BUQUE(MPTAS)	
COSTE GESTIÓN DE CALIDAD POR BUQUE(MPTAS)	
COSTE DESARROLLO DEL SOFTWARE POR BUQUE(MPTAS)	
COSTE MANO DE OBRA GRUPO SWBS 100 A 700 POR BUQUE(MPTAS)	
COSTE MANO DE OBRA GRUPO SWBS 900 POR BUQUE(MPTAS)	
COSTE MATERIAL GRUPO SWBS 900 POR BUQUE(MPTAS)	
COSTE CENTRO DE INTEGRACIÓN EN TIERRA POR BUQUE(MPTAS)	
COSTE CENTRO DE MANTENIMIENTO POR BUQUE(MPTAS)	
COSTE CENTRO DE APPROVISIONAMIENTO POR BUQUE (MPTAS)	
COSTE CENTRO DE DOCUMENTACIÓN POR BUQUE(MPTAS)	
COSTE CENTRO DE ADIESTRAMIENTO POR BUQUE(MPTAS)	
DIVISA OBJETIVO:	PESETA
CAMBIO DIVISA OBJETIVO vs PESETA:	1



OPCIONES

CLEAR IMPRIMIR DATOS ENTRADA SALIR

CALCULAR LCC

Figura 4-1 Captura de hoja EXCEL “Datos de entrada” ANACONDA1.1

4.1.3 Descripción de las opciones

El programa va ofreciendo distintas opciones en las diferentes pantallas que muestra al usuario. A continuación se muestran las funciones de cada opción [32]:

- COMENZAR: Muestra la pantalla de datos de entrada.
- CLEAR: Borra los datos de entrada. Figura 4-2.
- CLEAR PARÁMETROS: Borra los parámetros introducidos para la estimación del Coste de Ciclo de Vida.
- IMPRIMIR DATOS: Imprime los datos de entrada. Figura 4-2.
- IMPRIMIR PARÁMETROS: Imprime la tabla con los parámetros seleccionados para realizar la estimación de Coste de Ciclo de Vida.
- IMPRIMIR RESULTADO: Imprime la tabla de Coste de Ciclo de Vida, que se muestra en la pantalla.
- VOLVER DATOS DE ENTRADA: Muestra la pantalla de datos de entrada.
- VOLVER: Muestra la pantalla de Parámetros utilizados en la estimación del Coste de Ciclo de Vida.
- SALIR: Devuelve al usuario a la pantalla de comienzo. Figura 4-2.
- SALIR DE ANACONDA: Cierra la aplicación sin guardar los cambios realizados.
- CALCULAR LCC: Muestra la pantalla de elección de tipo de buque. Figura 4-2.
- FRAGATA: Muestra la tabla de Coste de Ciclo de Vida, de un buque tipo fragata, con las características de los datos de entrada. Figura 4-3.
- LPD: Muestra la tabla de Coste de Ciclo de Vida, de un buque tipo LPD, con las características de los datos de entrada. Figura 4-3.
- LSD: Muestra la tabla de Coste de Ciclo de Vida, de un buque tipo LSD, con las características de los datos de entrada. Figura 4-3.
- LST: Muestra la tabla de Coste de Ciclo de Vida, de un buque tipo LST, con las características de los datos de entrada. Figura 4-3.
- CAZAMINAS: Muestra la tabla de Coste de Ciclo de Vida, de un buque tipo cazaminas, con las características de los datos de entrada. Figura 4-3.
- AOR: Muestra la tabla de Coste de Ciclo de Vida, de un buque tipo AOR, con las características de los datos de entrada. Figura 4-3.
- OTRO TIPO: Muestra la tabla de los coeficientes a utilizar para realizar la estimación del coste de ciclo de vida. Figura 4-3.
- CREAR FICHERO: Genera un fichero “EXCEL”, que contiene los datos de entrada y los resultados obtenidos. En caso de no haber utilizado los parámetros de estimación de coste que tiene asignados el programa por defecto, este archivo también incluirá la tabla de parámetros utilizados. Ofrece la posibilidad de generar ficheros, que pueden ser manipulados por el usuario, con el fin de facilitar el manejo de la información obtenida del programa.



Figura 4-2 Captura de hoja EXCEL ANACONDA 1.1 “Opciones”

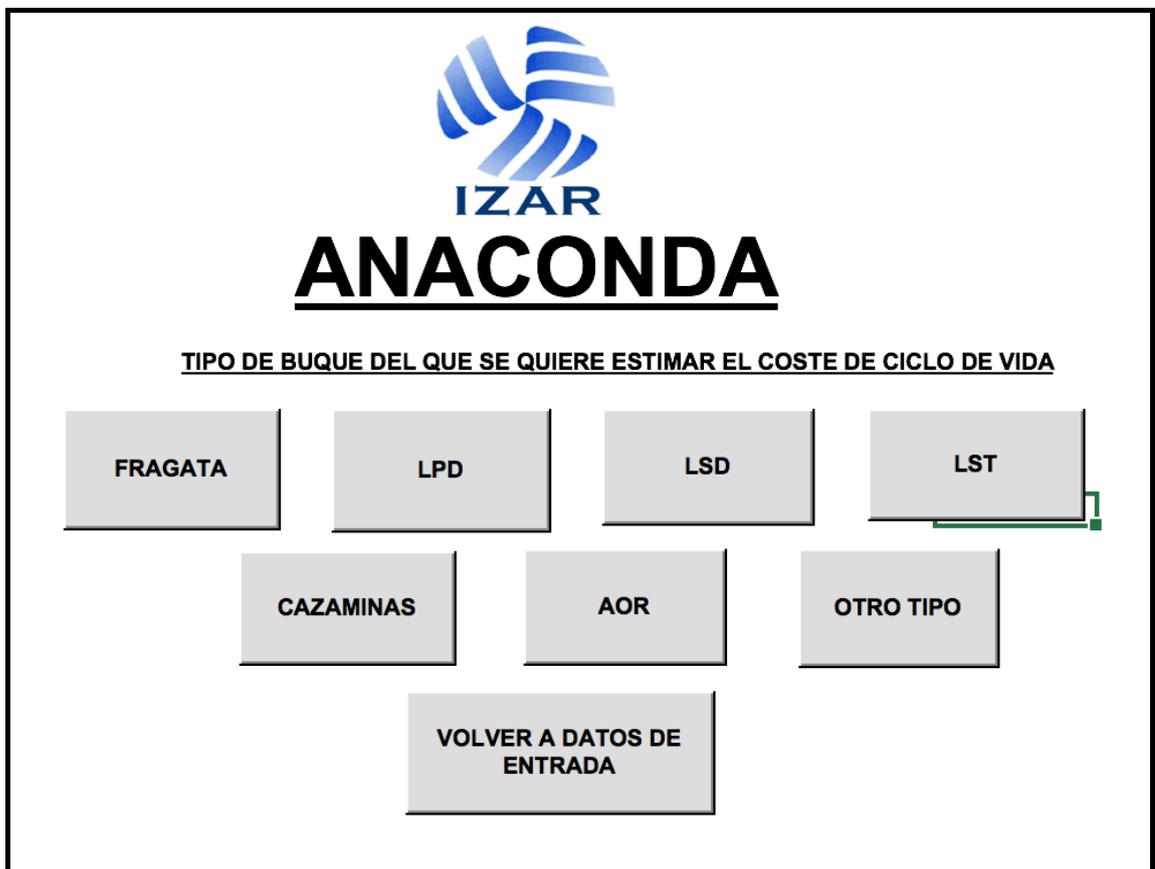


Figura 4-3 Captura de hoja EXCEL ANACONDA 1.1 “Opciones según el tipo de buque que se quiere estimar el coste de ciclo de vida”

4.2 Estructura de los módulos de coste que intervienen en el CV de un buque

Si el cliente deseara estimar el coste de ciclo de vida de una fragata, seleccionaría en opciones “FRAGATA”. A continuación, se abriría una hoja de Excel que presenta toda la estructura de los módulos de coste que intervienen en el ciclo de vida del buque.

Los tres grandes módulos de coste que configuran el coste total del ciclo de vida del buque son:

- Módulo de coste de Operación y Mantenimiento. (Figura 4-4)
- Módulo de coste de Proyecto. (Figura 4-5)
- Módulo de coste del Programa de Adquisición. (Figura 4-5)

Como cada uno de estos módulos de coste se puede descomponer a su vez en otros submódulos, se procede a definir y analizarlos, identificando la participación de los distintos elementos de costes (SWBS) que intervienen en cada uno de ellos.

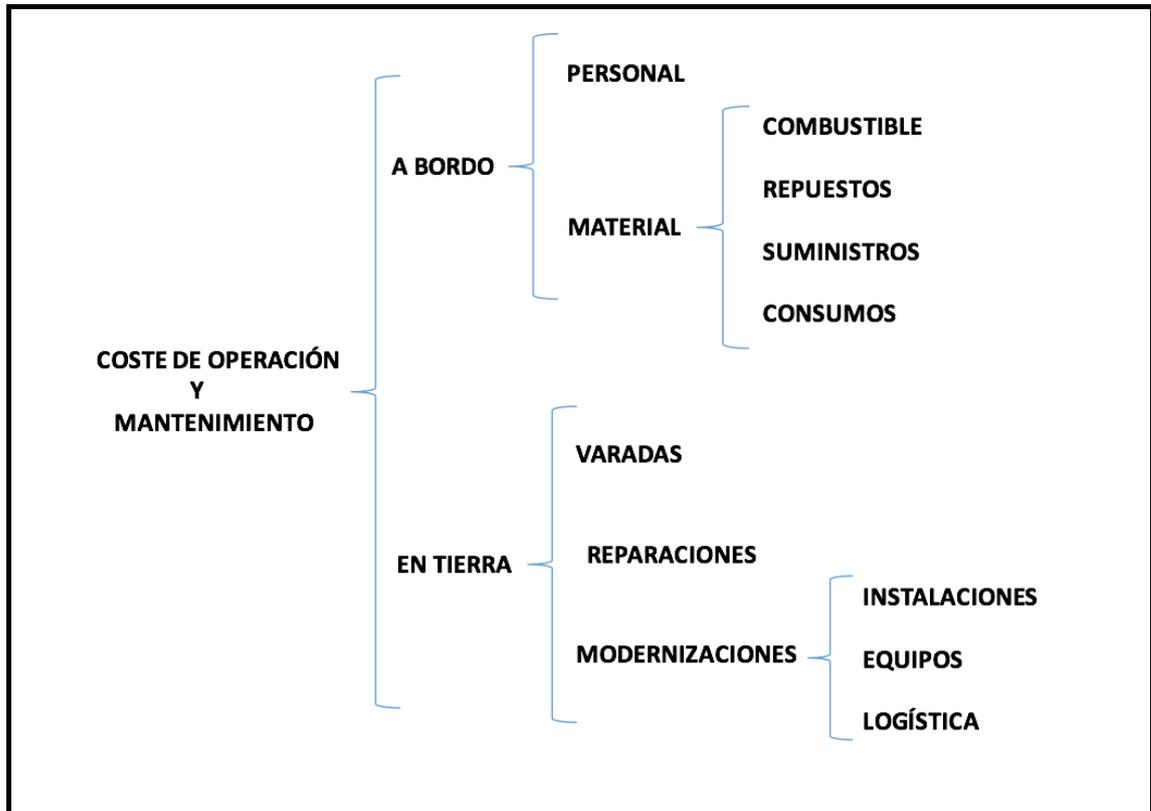


Figura 4-4 Módulo de coste total.

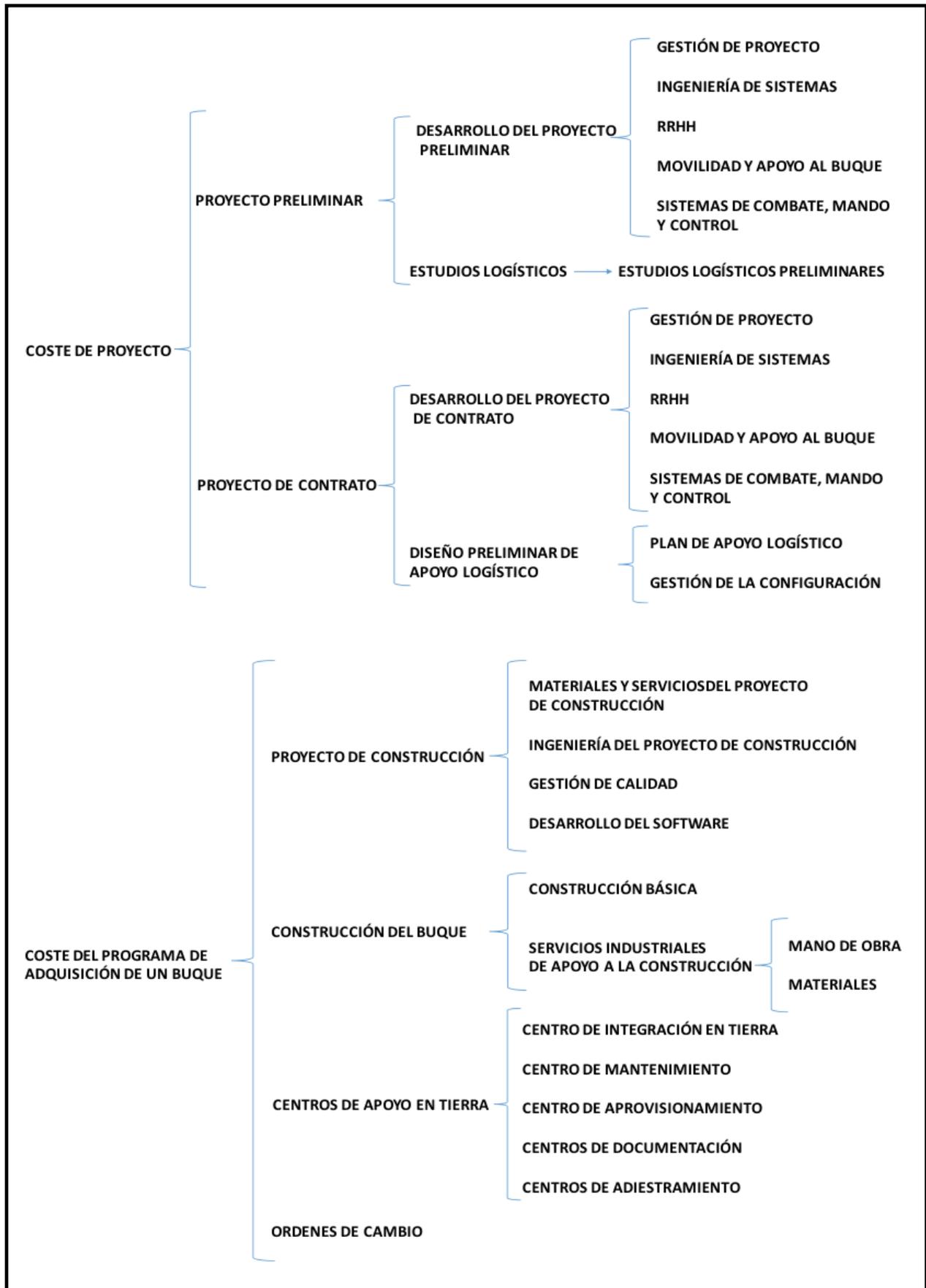


Figura 4-5 Modelos del coste total.

4.3 Procedimiento de cálculo del coste total

4.3.1 Obtención de las relaciones de estimación

A continuación se presenta la obtención matemática de los costes de mayor valor absoluto, y por tanto más relevantes.

4.3.1.1 Proyecto. Proyecto Preliminar y Proyecto de Contrato

Según la descomposición de costes realizada en el apartado 4.2, los costes de proyecto están formados por los costes de proyecto preliminar y los de proyecto de contrato [33].

Así mismo los costes del proyecto preliminar se dividen en [33]:

- Desarrollo de proyecto preliminar (97% del coste del proyecto preliminar).
- Estudios logísticos (3% del coste del proyecto preliminar).

Por otro lado, los costes de proyecto de contrato se dividen a su vez en [33]:

- Desarrollo del proyecto de contrato (98% del coste del proyecto de contrato).
- Diseño preliminar A.L. (2% del coste de proyecto de contrato).

4.3.1.2 Programa de Adquisición por buque

4.3.1.2.1 Apoyo logístico inicial

Según la estructura de costes desarrollada en el capítulo anterior, el módulo de Apoyo Logístico inicial se divide en [33]:

- Gestión de la configuración.
- Apoyo Logístico Integrado.

En lo referente a la gestión de la configuración, según estudios realizados por la DAI (International Development Company, compañía estadounidense de desarrollo global) el apoyo logístico inicial corresponde a un total de 19% de los costes del “Hardware only” del primer buque de la serie y del 12% para los siguientes buques de la serie [33].

El coste de gestión de la configuración para el buque medio de una serie de n buques, viene dada por la ecuación (5) [33]:

$$C_{GC} = \frac{0,01 \cdot C_{HW} + 0,005 \cdot C_{HWF} \cdot (n - 1)}{n} \quad (5)$$

Siendo:

C_{HW} : Coste del “Hardware only” del primer buque.

C_{HWF} : Coste del “Hardware only” del siguiente buque.

n: n° de buques que componen la serie.

Por otro lado, el apoyo logístico integrado, es un módulo que se subdivide en [33]:

- Mantenimiento (C_M).
- Aprovisionamiento (C_A).
- Transporte (C_T).
- Documentación (C_{DT}).
- Adiestramiento (C_{AD}).

El coste de mantenimiento, para un buque medio de una serie de n buques viene dado por (6) [33]:

$$C_M = \frac{0,016 \cdot C_{HW} + 0,008 \cdot C_{HWF} \cdot (n - 1)}{n} \quad (6)$$

Siendo:

C_{HW} : Coste del “Hardware only” del primer buque.

C_{HWF} : Coste del “Hardware only” del siguiente buque.

n : nº de buques que componen la serie.

El coste del concepto de aprovisionamiento para el buque medio de una serie de n buques, viene dado por (7) [33]:

$$C_A = \frac{0,107 \cdot C_{HW} + 0,087 \cdot C_{HWF} \cdot (n - 1)}{n} \quad (7)$$

Siendo:

C_{HW} : Coste del “Hardware only” del primer buque.

C_{HWF} : Coste del “Hardware only” del siguiente buque.

n : nº de buques que componen la serie.

El coste del concepto de transporte, para el buque medio de una serie de n buques, viene dado por (8) [33]:

$$C_T = \frac{0,008 \cdot C_{HW} + 0,006 \cdot C_{HWF} \cdot (n - 1)}{n} \quad (8)$$

Siendo:

C_{HW} : Coste del “Hardware only” del primer buque.

C_{HWF} : Coste del “Hardware only” del siguiente buque.

n : nº de buques que componen la serie.

El coste del concepto de documentación técnica, para el buque medio de una serie de n buques viene dado por (9) [33]:

$$C_{DT} = \frac{0,041 \cdot C_{HW} + 0,01 \cdot C_{HWF} \cdot (n - 1)}{n} \quad (9)$$

Siendo:

C_{HW} : Coste del “Hardware only” del primer buque.

C_{HWF} : Coste del “Hardware only” del siguiente buque.

n : nº de buques que componen la serie.

El coste del concepto de adiestramiento, para el buque medio de una serie de n buques viene dado por (10) [33]:

$$C_{AD} = \frac{0,008 \cdot C_{HW} + 0,004 \cdot C_{HWF} \cdot (n - 1)}{n} \quad (10)$$

Siendo:

C_{HW} : Coste del “Hardware only” del primer buque.

C_{HWF} : Coste del “Hardware only” del siguiente buque.

n : nº de buques que componen la serie.

4.3.1.2.2 Órdenes de cambio

El coste de órdenes de cambio (C_{OC}) se estiman en un 10% del coste de la construcción básica del primer buque y 5% para los siguientes. Viene dado por (11) [33]:

$$C_{OC} = \frac{0,10 \cdot C_{HW} + 0,05 \cdot C_{HWF} \cdot (n - 1)}{n} \cdot C_{BB} \quad (11)$$

Siendo:

C_{HW} : Coste del “Hardware only” del primer buque.

C_{HWF} : Coste del “Hardware only” del siguiente buque.

C_{BB} : Coste de construcción básica del buque.

n: n° de buques que componen la serie.

4.3.1.2.3 Coste de Operación y Mantenimiento

El módulo de operación y mantenimiento se divide en [33]:

- Operación y mantenimiento a bordo.
- Mantenimiento en tierra.

4.3.1.2.3.1 A bordo

Los costes de operación y mantenimiento a bordo, incluyen los costes asociados con personal, materiales y servicios. El coste de personal, por un lado, es el coste devengado por el personal embarcado; incluye sueldos, comisiones, seguridad social, complementos de cada oficial, suboficial, marinero u hombre asignado al buque. También incluye los costes de manutención y uniformes [33].

El coste por persona a bordo, aumenta con el número de oficiales embarcados y disminuye con el tamaño de la dotación. Como el número de personas de la dotación puede ser determinado durante la fase de proyecto, los costes correspondientes a la fase de operación y mantenimiento de esta partida pueden ser estimados mediante la siguiente fórmula (12) [33]:

$$C_{PE} = P \times D \text{ (en unidades monetarias)} \quad (12)$$

Siendo:

C_{PE} = Coste anual de personal en millones de pesetas.

P: Coeficiente dependiente del tipo de buque.

D: Dotación.

Los cálculos realizados para la F-100 arrojan un coste de 1,5 MPTA/hombre para el año 92. La conversión de los datos facilitados en el estudio de la DAI, en Dólares americanos de 1.991, se ha hecho mediante PPP del año 91 (110ptas/Dólar) [33].

En cuanto a los materiales, este coste incluye el de material utilizado o consumido por el buque, incluyendo: el coste de combustible, piezas de repuesto, suministros y consumibles. El coste de combustible, por un lado, incluye el de lubricantes, aceites y combustible propiamente dicho. El coste del combustible depende de factores tales como: el perfil de navegación del buque; el tiempo de navegación, el sistema de propulsión utilizado y el precio de la tonelada de combustible [33].

A continuación se desarrolla la fórmula para el cálculo de coste de combustible anual (14). Se considera el combustible consumido por la propulsión y generadores. Para la propulsión se supone un plan de uso conocido [33]:

- Tiempo en la mar T_1 %.

- Tiempo en puerto disponible < 8h T₂ %.
- Tiempo en puerto disponible > 8h T₃ %.
- Tiempo inmovilizado 100- T₁ -T₂ - T₃ %.

Se supone que también es conocido el perfil de navegación (velocidad-%tiempo). De la curva de velocidad-potencia se obtienen las potencias correspondientes. Perfil de navegación (Tabla 4-2). En el modelo se pueden tomar hasta 10 perfiles de navegación [33].

<u>PERFIL</u>	<u>VELOCIDAD</u>	<u>%TIEMPO</u>	<u>POTENCIA (kW)</u>
1	V ₁ -V ₂	t ₁	P ₁
2	V ₂ -V ₃	t ₂	P ₂
...

Tabla 4-2 Relación Velocidad-%Tiempo y potencia por perfil de navegación

- Consumo anual en navegación de combustible de propulsión (13) [33]:

$$\begin{aligned}
 Q_C &= \sum_{i=1}^{i=n} \left(ce_i \cdot \frac{T_i}{100} \cdot \frac{t_i}{100} \cdot P_i \cdot 8760 \cdot 10^{-6} \right) \\
 &= \sum_{i=1}^{i=n} \left(ce_i \cdot \frac{T_i}{100} \cdot \frac{t_i}{100} \cdot P_i \cdot 8760 \cdot 10^{-6} \right) \text{ (Toneladas)}
 \end{aligned}
 \tag{13}$$

$$C_{CN} = Q_{CN} \cdot P_{TC} \text{ (en unidades monetarias)} \tag{14}$$

Siendo:

C_{CN}: Coste de combustible en navegación.

P_i: Potencia en kW consumida para un determinado perfil de utilización.

C_{ei}: Consumo específico de combustible en g/Kw h, para un perfil de navegación determinado, en caso de no conocerlo el modelo toma por defecto el consumo específico genérico dado para la condición de propulsión navegando.

P_{TC}: Precio/Tonelada (en PTA) del combustible de propulsión.

T_i: Tiempo en la mar.

t_i: Porcentaje de tiempo de navegación en función del perfil de navegación.

En lo referente al coste de combustible para los generadores (16), su consumo anual en navegación viene dado por (15) [33]:

$$Q_{GN} = Ce_G \cdot \frac{T_1}{100} \cdot P_{DGN} \cdot 8760 \cdot 10^{-6} \text{ (Toneladas)} \tag{15}$$

$$C_{GN} = Q_{GN} \cdot P_G \text{ (en unidades monetarias)} \quad (16)$$

Siendo:

C_{GN} : Coste del combustible para generadores en navegación por año en PTA.

P_{GN} : Potencia en kW consumida por los generadores en navegación.

C_{eG} : Consumo específico de combustible en g/kWh, de los generadores.

P_G : precio/Tonelada (en PTA) del combustible generadores.

Por otra parte, el coste de combustible para los generadores viene dado por la ecuación (17) y su consumo anual en navegación viene dado por (18) [33]:

$$Q_{GP} = c_{eG} \cdot \frac{T_2 + T_3}{100} \cdot P_{DGN} \cdot 8760 \cdot 10^{-6} \text{ (Toneladas)} \quad (17)$$

$$C_{GN} = Q_{GN} \cdot P_G \text{ (en unidades monetarias)} \quad (18)$$

Siendo:

C_{GP} : Coste del combustible para generadores en puerto por año en PTA.

P_{GN} : Potencia en kW consumida por los generadores en puerto.

C_{eG} : Consumo específico de combustible en g/kWh, de los generadores.

P_G : precio/Tn (en PTA) del combustible generadores.

Por tanto, el coste total de consumo de combustible viene dado por (19) [33]:

$$C_C = (C_{CN} + C_{CP} + C_{GN} + C_{GP})(1 + \gamma) \quad (19)$$

Siendo γ = % aceites y lubricantes, que en ANACONDA se ha tomado como un 1% según la base de datos de la DAI.

En cuanto lo que se refiere a repuestos, su coste incluye los módulos reparables consumidos por el buque para el mantenimiento de los equipos instalados a bordo. Dependerá también de la complejidad de los equipos que se lleven a bordo. El coste anual se puede estimar mediante la fórmula (20) [33]:

$$C_{RP} = R \cdot C_{HW} \quad (20)$$

Donde:

C_{HW} : Coste del Hardware Only instalado (del primer buque en caso de que la serie se componga de un buque y del “follow ship” si el programa se compone de varios buques).

R : Parámetro dependiente de la edad y complejidad del buque.

Según estudios realizados por DAE el valor de R correspondiente a una fragata sería equivalente a 0,008 [33].

En el coste de material también se incluye el coste de todos los suministros al buque que no sean para mantenimiento ni modernizaciones y equipo usado por el buque. El coste anual de los suministros se puede estimar mediante la fórmula (21) [33]:

$$C_{SP} = S \cdot D \cdot 10^{-6} \text{ (en unidades monetarias)} \quad (21)$$

Donde:

S: Parámetro de PTA. Según estudios realizados por DAI, el valor de S para una fragata es de 172.100. La conversión del dato se ha hecho mediante PPP año 91 (110 PTA/Dólar).

D: Dotación del buque.

Por otro lado, el coste de material incluye además el de los consumibles depositados en los pañoles del buque como pueden ser, municiones, pirotécnica, misiles de adiestramiento, etc. Utilizados por el buque en operaciones no tácticas. Este coste puede ser muy variado dependiendo del tipo de buque. Según los estudios de DAI a un buque tipo fragata le correspondería un valor C_{CO} DE 68,2 [33].

Por último, dentro del coste de material solo queda mencionar el coste de servicios de compra tales como, impresoras, programas de ordenador, alquiler o compra de ordenadores y otras utilidades. El coste anual de los servicios se puede estimar mediante la fórmula (22) [33]:

$$C_{SE} = F \cdot D \cdot 10^{-6} \text{ (en unidades monetarias)} \quad (22)$$

Donde:

F: Parámetro en PTA. Según DAI el valor de F para un buque de tipo fragata sería 289,960 (PTA año 91) [33].

D: Dotación del buque.

4.3.1.2.3.2 En tierra

En esta partida se incluyen los costes de todo el astillero, mano de obra y materiales requeridos para llevar a cabo las varadas, modernizaciones o reparaciones que sufra el buque [33].

El coste de varadas es el coste del astillero incluyendo mano de obra y materiales para llevar a cabo las varadas/mantenimientos preventivos del buque. Sin embargo, las varadas que se utilizan para llevar a cabo los mantenimientos preventivos del buque, pueden llevar consigo algunas fases de inspección de las reparaciones y algunos trabajos de modernización que estaban programados previamente a la varada. Por este motivo, los costes de varada no estaban desarrollados en profundidad. Además, estas varadas pueden suceder fuera de la base del buque, en otros astilleros públicos o privados, por lo que la estructura de estos costes de varada no ha sido investigada. Se descompone en dos módulos principales: materiales y mano de obra [33]. El coste anual de las varadas puede estimarse mediante la fórmula (23) [33]:

$$C_V = V \cdot C_{HW} \cdot 10^{-6} \text{ (en unidades monetarias)} \quad (23)$$

Donde:

V: Parámetro dependiente del tipo de buque. El valor correspondiente a una fragata según los estudios realizados por DAI sería 0,012.

En cuanto al coste de reparaciones, representa el coste de la mano de obra del astillero y del material para realizar las reparaciones/mantenimientos correctivos del buque.

A su vez también se descompone en dos módulos principales [33]:

- Materiales (40%).
- Mano de obra (60%).

El coste medio anual de las reparaciones se puede estimar mediante la fórmula (24) [33]:

$$C_R = E \cdot C_{HW} \cdot 10^{-6} \text{ (en unidades monetarias)} \quad (24)$$

Donde:

E: Parámetro dependiente del tipo de buque. El valor correspondiente a una fragata según los estudios realizados por DAI sería 0,004.

En cuanto al coste de modernización, es el coste correspondiente a la mano de obra y materiales a instalar en el buque para hacer frente a las modernizaciones y reformas que sufra, incluyendo también los costes logísticos derivados, el coste de instalación por otras organizaciones que no sean propias del astillero y el coste de habilitación y repuestos debido a la instalación del material de las modernizaciones. Este módulo se compone a su vez de 3 partidas: instalación, equipos y sistemas, logística [33].

El coste medio anual por el concepto de modernizaciones se puede estimar mediante la fórmula (23) [33]:

$$C_M = M \cdot C_{HW} \cdot 10^{-6} \text{ (en unidades monetarias)} \quad (23)$$

M: Parámetro dependiente del tipo de buque. El valor correspondiente a una fragata según los estudios realizados por DAI sería 0,021.

Los costes de modernización se pueden desglosar en [33]:

- Equipos y sistemas: 0,63 C_M
- Instalación: 0,28 C_M
- Logística: 0,09 C_M

En definitiva, el coste anual de operación y mantenimiento (C_{AOM}), se obtiene sumando las distintas partidas estudiadas en los apartados anteriores [33]:

$$C_{AOM} = C_{PE} + C_C + C_{RP} + C_S + C_{CO} + C_{SE} + C_V + C_R + C_M \quad (24)$$

El coste total de operación y mantenimiento es, por tanto (25) [33]:

$$C_{OM} = N \cdot C_{AOM} \quad (25)$$

El coste del “Hardware Only” es el coste de la parte física de los equipos instalados a bordo y que es susceptible a un mantenimiento. Por tanto, no incluye los costes asociados a la ingeniería, software,

servicios de asistencia técnica, manuales, repuestos, elementos de instalación, etc. de los propios equipos [33].

El procedimiento para la obtención del coste del Hardware es el siguiente [33]:

- De los datos de entrada se obtiene el coste total de los materiales.
- C_{MAT} es la suma del coste de los materiales de todos los elementos de coste de los grupos 100 al 700 (sin incluir la lista A+C) del primer buque de la serie.
- El coste de equipos y sistemas del primer buque de la serie es (26):

$$C_{ES} = \delta \cdot C_{MAT} + LISTA (A + C) \quad (26)$$

Siendo δ un coeficiente dependiente del tipo de buque. Según DAI el coeficiente que correspondería a una fragata sería 0,58 [33].

El coste del hardware C_{HW} del primer buque de la serie es según DAI (27) [33]:

$$C_{HW} = \frac{C_{ES}}{\sigma_1} \text{ (Siendo } \sigma_1 = 1,5) \quad (27)$$

El coste del hardware C_{HWF} de los siguientes buques de la serie es, según DAI (28):

$$C_{HWF} = \frac{C_{ES}}{1,1} \quad (28)$$

4.3.2 Estimación del Coste del Ciclo de Vida.

El coste del ciclo de vida viene dado por (29) [33]:

$$CCV = C_{PP} + C_{PC} + C_{PA} + C_{OM} \quad (29)$$

Siendo:

C_{PP} = Coste del proyecto preliminar.

C_{PC} = Coste del proyecto de contrato.

C_{PA} = Coste del programa de adquisición.

C_{OM} = Coste de operación y mantenimiento.

El informe que genera “ANACONDA” y tal como se ha mostrado anterior mente en las Figuras 3.4 y 3.5, separa los costes del ciclo de vida en estos 4 conceptos.

4.3.2.1 Coste del Proyecto Preliminar

Este coste es un dato conocido, por lo que se tomará como uno de los datos de entrada del programa. A partir de este dato, “ANACONDA” estima, por medio de los CER anteriormente expuestas, los Costes de desarrollo del proyecto preliminar y los Costes de los estudios logísticos del proyecto preliminar. Este coste es un coste global de todo el programa [33].

4.3.2.2 Coste del Programa de Adquisición

4.4 Generación de ficheros

El programa ANACONDA ofrece la posibilidad de generar ficheros, que posteriormente puedan ser manipulados por el usuario, con el fin de facilitar el manejo de la información obtenida del programa [32].

Una vez se han introducido los datos de entrada y se ha elegido el tipo de buque del cual se quieren estimar los Costes de Ciclo de Vida, el programa muestra en pantalla los resultados obtenidos. En la pantalla de resultados se muestra la opción “crear fichero” Figura 3.6. Al seleccionar esta opción el programa generará un fichero que contiene los datos de entrada y los resultados obtenidos, en caso de no haber utilizado los parámetros de estimación de coste que tiene asignados el programa por defecto. También contendrá la tabla de parámetros utilizados, si se crea el fichero desde la tabla de resultados del Coste de Ciclo de Vida de la opción “Otro Tipo”. Una vez generado el fichero, el programa muestra la pantalla de datos del fichero generado [32].

The screenshot displays the ANACONDA software interface, which is designed to look like an Excel spreadsheet. At the top, there is a menu bar with options like 'Datos', 'Revisar', and 'Ver'. Below the menu is a toolbar with various icons for text adjustment, alignment, and formatting. The main area shows a spreadsheet titled 'ESTIMACIÓN DEL COSTE DE CICLO DE VIDA POR BUQUE TIPO FRAGATA'. The spreadsheet has columns for 'PROYECTO', 'DIVISA', and 'PESETA'. The data is organized into several sections, with the 'CREAR FICHERO' button highlighted in red in the sidebar on the right. Other buttons in the sidebar include 'IMPRIMIR RESULTADO' and 'VOLVER A DATOS DE ENTRADA'. The ANACONDA logo is visible at the bottom right of the interface.

Figura 4-6 Captura de hoja EXCEL ANACONDA 1.1 Opción “crear fichero”.

5 DESARROLLO DEL PROGRAMA ANACONDA 2.0

El objeto de esta partida es estimar el coste de ciclo de vida de una F-100 de la segunda serie, determinando el coste de proyecto, el coste de adquisición del buque, el coste de operación y mantenimiento y el coste del ciclo de vida. Se utilizará para este mismo fin, una herramienta de apoyo (ANACONDA 2.0) inspirada en el programa de ANACONDA 1.0 desarrollado por la U.S. NAVY en 1991. Esta última se explicó con detalle en el apartado anterior, y en la actualidad ha quedado completamente obsoleta, ya que las empresas de ingeniería no pueden disponer de los datos de entrada que dicho programa requiere para el cálculo de coste del ciclo de vida, (ya sea porque se considera información clasificada de la Armada el proporcionar dichos datos o por falta de recursos para que sean adecuadamente registrados y almacenados), y porque los coeficientes utilizados por el programa para la estimación del coste de operación y mantenimiento no están actualizados.

La novedad de este programa, es que integra no solo el cálculo de costes de Proyecto, Adquisición y Mantenimiento, sino también de Retirada del buque. De manera que puede resultar muy útil para un estudio de viabilidad económica, cuando el Estado se interesa en la construcción de una nueva fragata F-100 de la segunda serie. Solo se ha desarrollado para que sea aplicable a un buque tipo destructor, el programa puede ser sometido a más estudios y ampliarse su campo de aplicación a otros buques partiendo de la línea de cálculo de coste de ciclo de vida en la que está basado.

Como se apreciará, las fórmulas no dependen de coeficientes a los que cualquier empresa de ingeniería naval española o la misma Armada no puedan tener acceso a la hora de actualizarlos, como es el caso del IPC (Índice de Precios al Consumo). Si es bien cierto que será necesario la cooperación entre Armada y Navantia para tener disposición de todos los datos que el usuario debe introducir para hacer una fiable estimación del coste.

5.1 Generalidades

ANACONDA 2.0 utiliza la estructuración de costes en la que se basa la empresa de ingeniería NAVANTIA para realizar los estudios de CCV, como base para el cálculo de los capítulos que integran los costes relativos al Apoyo Logístico y a su Operación y Mantenimiento.

En cuanto al coste de Producción y el coste de Adquisición, se sigue la línea de cálculo paramétrico del programa inicial ANACONDA 1.0, excluyendo aquellos elementos que para NAVANTIA han quedado obsoletos, su peso económico es despreciable y además dependen de una base de datos y de unos coeficientes que están desactualizados y cuya actualización no son competencia española, sino del país que desarrolló dicho programa; y que desde hace años dejó de proporcionar. Los datos o valores monetarios que debe introducir el usuario, tal como se indica en el programa, deben estar actualizados a fecha en que se realiza el estudio.

En lo que se refiere al coste de retirada, se ha aplicado el método de analogía con el desguace de la fragata “Balears”, para hacer la estimación del coste de su eliminación en el posterior estudio de

CCV y para descomponerlo en las diferentes partidas que resultan más importantes para el mismo y que han sido incluidas en el programa.

5.2 Datos de entrada

Los datos que se deben introducir en el programa para que realice una estimación completa del coste del ciclo de vida son los siguientes, se pueden visualizar en la Figura 5-1:

- Coste de proyecto preliminar del programa por buque (MEUR).
- Coste de proyecto de contrato del programa por buque (MEUR).
- Coste de mano de obra de construcción básica por buque (MEUR).
- Coste de material y servicios del proyecto de construcción por buque (MEUR).
- Coste de gestión de calidad por buque (MEUR).
- Coste de mano de obra de construcción básica por buque (MEUR).
- Coste de material de construcción básica (EUR).
- Coste de mano de obra de servicios industriales de apoyo logístico (EUR).
- Coste de materiales de servicios industriales de apoyo logístico (EUR).
- Coste de mantenimiento de apoyo logístico.
- Coste de aprovisionamiento de apoyo logístico.
- Coste de transporte de apoyo logístico.
- Coste de documentación técnica.
- Coste de adiestramiento.
- Coste de centro de integración en tierra por buque (MEUR).
- Coste de centro de mantenimiento por buque (MEUR).
- Coste de centro de aprovisionamiento por buque (MEUR).
- Coste de centro de documentación por buque (MEUR).
- Coste de centro de adiestramiento por buque (MEUR).
- Coste de pertrechos, repuestos, pinturas.
- Coste fijo de alimentación.
- Coste de alimentación derivado de la operatividad.
- Coste de vestuario.
- Coste de municiones.
- Coste de otros gastos de vida y funcionamiento fijos.
- Coste de otros gastos de vida y funcionamiento derivados de la operatividad.
- Coste de tareas programadas.
- Coste de PIP (Periodos de Inmovilización Programados) y varadas.
- Coste de modernización en instalaciones.
- Coste de modernización en equipos y sistemas.
- Coste de modernización en logística.
- Coste de mantenimiento programado.
- Coste de mantenimiento no programado.
- Precio de subasta.
- Coste de remolcador.
- Coste de alquiler de instalaciones.
- Coste de amarradores.
- Coste de trabajos submarinos.
- Coste de mano de obra de eliminación.
- Coste de atraque por día/fracción estadía en el muelle.
- Coste de instalación de escalas de acceso.
- Coste de primer certificado de desgasificación.
- Coste de certificados de desgasificación subsiguientes.
- Coste de corriente eléctrica (50Hz).
- Coste de grúa 15 Tm.

- Coste de grúa 125 Tm.
- Coste de consumo de aire comprimido. (euros/día).
- Repartidora de 4 tomas, conexión/desconexión de uso esporádico.
- Coste del servicio C.I. (euros/día).
- Coste de conexión/desconexión a la red del astillero.
- Coste del servicio de bomberos. (euros/día).
- Coste de mantenimiento de la iluminación. (euros/día).
- Coste de conexión/desconexión lumínica por área.

También será necesario introducir los datos referentes a la dotación a bordo:

- N° de tripulantes.
- Coste de retribución básica por persona y año.
- Coste de retribuciones derivado de la operatividad.
- Coste del personal militar y profesional.

En cuanto al combustible, en esta partida se tiene en cuenta tanto los precios como los consumos correspondientes tanto al combustible como a los lubricantes más importantes y de uso común:

- Precio de los lubricantes: O-156; O-278; Motores BRAVO 16. (euros/litro).
- Precio del combustible de propulsión y de los DDGG. (euros/litro).

En lo que se refiere a coste de eliminación, es necesario introducir los siguientes datos, tanto para el cálculo del coste de retirada como el beneficio obtenido:

- N° operarios.
- Peso en toneladas de acero que arroja el buque.
- N° de visitas de especialista.
- Consumo eléctrico. (euros/h).
- Días de uso del compresor.
- Coste del acero. (euros/Tonelada).
- N° días de uso del servicio C.I. (Contra Incendios).
- N° días del servicio de bomberos.

ANACONDA 2		PROGRAMA PARA LA ESTIMACIÓN DEL COSTE TOTAL DEL CICLO DE VIDA DE LAS FRAGATAS F-100		PROGRAMA PARA LA ESTIMACIÓN DEL COSTE TOTAL DEL CICLO DE VIDA DE LAS FRAGATAS F-100	
A	B	C	D	E	F
DATOS DE ENTRADA		CCV F-100	DATOS DE ENTRADA DE COSTES A FECHA DE ACTUALIZACIÓN		
NOMBRE DEL PROYECTO			COSTE PROYECTO PRELIMINAR DEL PROGRAMA POR BUQUE (MEUR)		
NÚMERO DE BUQUES QUE COMPONEN LA SERIE		5	COSTE PROYECTO DE CONTRATO DEL PROGRAMA POR BUQUE (MEUR)		
AÑO DE ACTUALIZACIÓN DEL COSTE		2015	COSTE MATERIAL Y SERVICIOS DEL PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN POR BUQUE		
DATOS DE DOTACIÓN A BORDO			COSTE MANO DE OBRERA DE CONSTRUCCIÓN BÁSICA POR BUQUE (MEUR)		
		200	COSTE DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN BÁSICA		
		26452	COSTE DE MANDO DE OBRA DE SERVICIOS INDUSTRIALES DE APOYO LOGÍSTICO		
		52,5	COSTE DE MATERIALES DE LOS SERVICIOS INDUSTRIALES DE APOYO LOGÍSTICO		
		883,32	COSTE DE MANTENIMIENTO DE APOYO LOGÍSTICO		
COMBUSTIBLE			COSTE DE APROVISIONAMIENTO DE APOYO LOGÍSTICO		
		13,189	COSTE DE TRANSPORTE DE APOYO LOGÍSTICO		
		1,5587	COSTE DE DOCUMENTACIÓN TÉCNICA		
		1,5587	COSTE DE ADIESTRAMIENTO		
		719,4	COSTE CENTRO DE INTEGRACIÓN EN TIERRA POR BUQUE (MEUR)		
		719,4	COSTE CENTRO DE MANTENIMIENTO POR BUQUE (MEUR)		
		10872,59846	COSTE CENTRO DE APROVISIONAMIENTO POR BUQUE (MEUR)		
		0	COSTE CENTRO DE DOCUMENTACIÓN POR BUQUE (MEUR)		
		1179,36	COSTE CENTRO DE ADIESTRAMIENTO POR BUQUE (MEUR)		
		4880	COSTE DE PERTRECHOS, REPESTOS Y PINTURAS		
		11243,232	COSTE FILO DE ALIMENTACIÓN		
		7574,829613	COSTE DE ALIMENTACIÓN DERIVADO DE LA OPERATIVIDAD (Euros/día)		
PLAN DE USO			COSTE EN VESTUARIO		
		182	COSTE DE MUNICIONES		
		128	COSTE DE OTROS GASTOS DE VIDA Y FUNCIONAMIENTO FIJOS		
		55	COSTES DE VIDA Y FUNCIONAMIENTO DERIVADOS DE OPERATIVIDAD (Euros/día)		
ELIMINACIÓN			COSTE DE TAREAS PROGRAMADAS		
		10	COSTE DE PIP Y VARADAS		
		4000	COSTE DE MODERNIZACIÓN EN INSTALACIONES		
		1	COSTE DE MODERNIZACIÓN DE EQUIPOS Y SISTEMAS		
		0,32	COSTE DE MODERNIZACIÓN EN LOGÍSTICA		
			COSTE MANTENIMIENTO NO PROGRAMADO (Euros/día)		
		300	PRECIO DE SUBASTA		
		240	COSTE DE REMOLCADOR		
		240	COSTE DE ALQUILER DE INSTALACIONES		
		240	COSTE AMARRADORES		
		1208000	COSTE DE TRABAJOS SUBMARINOS (CORTE DOMO)		
		803765280,03	COSTE DE MANDO DE OBRA DE ELIMINACIÓN		
BENEFICIO TRAS LA ELIMINACIÓN			COSTE DE ATRQUE POR DÍAFRACCIÓN ESTADIA EN EL MUELLE		
			COSTE DE INSTALACIÓN DE ESCALAS DE ACCESO		
			COSTE DE PRIMER CERTIFICADO DE DESGASIFICACIÓN		
			COSTE DE CERTIFICADOS DE DESGASIFICACIÓN SUBSIGUIENTES		
			COSTE DE CORRIENTE ELÉCTRICA (50Hz)		
			COSTE DE GRÚA 15 Tm		
			COSTE DE GRÚA DE 135 Tm		
			COSTE DEL CONSUMO DE AIRE COMPRIMIDO (Euros/día)		
			REPARTIDORA DE 4 TOMAS, CONEXIÓN/DESCONEXIÓN DE USO ESPORÁDICO		
			COSTE DEL SERVICIO CONTRA INCENDIOS (Euros/día)		
			CONEXIÓN/DESCONEXIÓN A LA RED DEL ASTILLERO		
			COSTE DE SERVICIO DE BOMBERO (Euros/día)		
			COSTE DE MANTENIMIENTO DE LA ILUMINACIÓN (Euros/día)		
			COSTE DE CONEXIÓN/DESCONEXIÓN LUMÍNICA POR ÁREA		

Figura 5-1 Datos de entrada del usuario.

Por otro lado, se incluye el plan de uso de buque. Para la estimación del plan de uso de buque es necesario introducir tres datos: n° de días en navegación, en puerto y destinados al mantenimiento. Así pues, también se incluye una tabla donde se registran los diferentes perfiles de navegación del buque, para hallar el consumo de propulsión y de los DDGG, teniendo en cuenta si se navega con turbinas o con motores diésel. (Véase Figura 5.2).

PERFILES DE NAVEGACIÓN		
N° DE PERFIL/PALANCA		VELOCIDAD
PERFIL	PALANCA	
1	15	0-3 nudos
2	25	3-6 nudos
3	35	6-9 nudos
4	40	10 nudos
5	50	12-13 nudos
6	55/60	15 nudos
7	65	17 nudos
8	64	21-22 nudos
9	75	25-26 nudos
10	95	27-28 nudos
TOTAL		

Figura 5-2 Perfiles de navegación.

Para realizar el cálculo tanto analítico como paramétrico, se ha utilizado el modelo registro de combustible en función del régimen de velocidades de la Fragata “Almirante Juan de Borbón”. (Véase Figura 5-3).

ANACONDA 2						
Inicio Insertar Diseño de página Fórmulas Datos Revisar						
Pegar		Fuente	Alineación	Número	Formato condicional Dar formato como tabla Estilos de celda	
A46 fx						
A	B	C	D	E	F	
MODO TURBINA						
MINIMO OPERATIVO				50% (376.000 LTS.)	20% (150.400 LTS.)	
VELOCIDAD	CONSUMO HORA	X 2	CONSUMO DIA	AUTONOMÍA DIAS	AUTONOMÍA DIAS	
0-3 nudos	830	1660	39840	8	14	
3-6 nudos	990	1980	47520	7	12	
6-9 nudos	1.100	2200	52800	6	11	
10 nudos	1.300	2600	62400	5	9	
12/13 nudos	1400	2800	67200	5	8	
15 nudos	1500	3000	72000	4	8	
17 nudos	2300	4600	110400	3	5	
21/22 nudos	2900	5800	139200	2	4	
25/26 nudos	4000	8000	192000	1	3	
27/28 nudos	4600	9200	220800	1	3	
TABLA DE MODO TURBINA NO INCLUYE LOS CONSUMOS DE LOS DIESEL GENERADORES (2 GENERADORES 7200 LTS. AL DIA)						
MODO DIESEL						
VELOCIDAD	CONSUMO HORA	X 2	CONSUMO DIA	AUTONOMÍA DIAS	AUTONOMÍA DIAS	
0-3 nudos	396	792	19008	20	30	
3-6 nudos	416	832	19968	19	28	
6-9 nudos	446	892	21408	17,5	26	
10 nudos	496	992	23808	16	24	
12/13 nudos	596	1192	28608	13	20	
15 nudos	696	1392	33408	10,5	16	
17 nudos	846	1692	40608	9	14	
21/22 nudos	1196	2392	57408	6,5	10	
25/26 nudos	1346	2692	64608	6	9	
27/28 nudos	-	-	-	-	-	
TABLA DE MODO DIESEL INCLUYE LOS CONSUMOS DE LOS DIESEL GENERADORES (2 GENERADORES 7200 LTS. AL DIA)						
MODO DIESEL						
VELOCIDAD	CONSUMO HORA	X 2	CONSUMO DIA	<p>Hay que considerar que las cantidades parten del 95% de combustible y la cantidad a consumir está entre éste y el 50% ó el 20%, dependiendo del caso.</p>		
0-3 nudos	-	-	-			
3-6 nudos	-	-	-			
6-9 nudos	-	-	-			
10 nudos	250	500	12000			
12/13 nudos	350	700	16800			
15 nudos	550	1100	26400			
17 nudos	1050	2100	50400			
21/22 nudos	1200	2400	57600			
25/26 nudos	-	-	-			
27/28 nudos	-	-	-			

Figura 5-3 Consumos.

5.3 Estructura de los módulos de coste que intervienen en el CCV.

El programa está constituido por varias hojas de Excel como la anteriormente ilustrada. Son un total de seis hojas:

- Datos de entrada del usuario.
- Consumos.
- Coste de Proyecto. (Figura 5-4).
- Coste de Adquisición por buque. (Figura 5-4).
- Coste de Operación y Mantenimiento. (Figura 5-5).
- Coste de Eliminación. (Figura 5-5).

Los cuatro grandes módulos de coste que configuran el coste total del ciclo de vida son los de: proyecto, adquisición, operación y mantenimiento y retirada o eliminación. Estos módulos se pueden descomponer en submódulos. Por ello se va a proceder a definirlos y analizarlos, identificando la participación de los distintos elementos de costes que intervienen en cada uno de ellos.

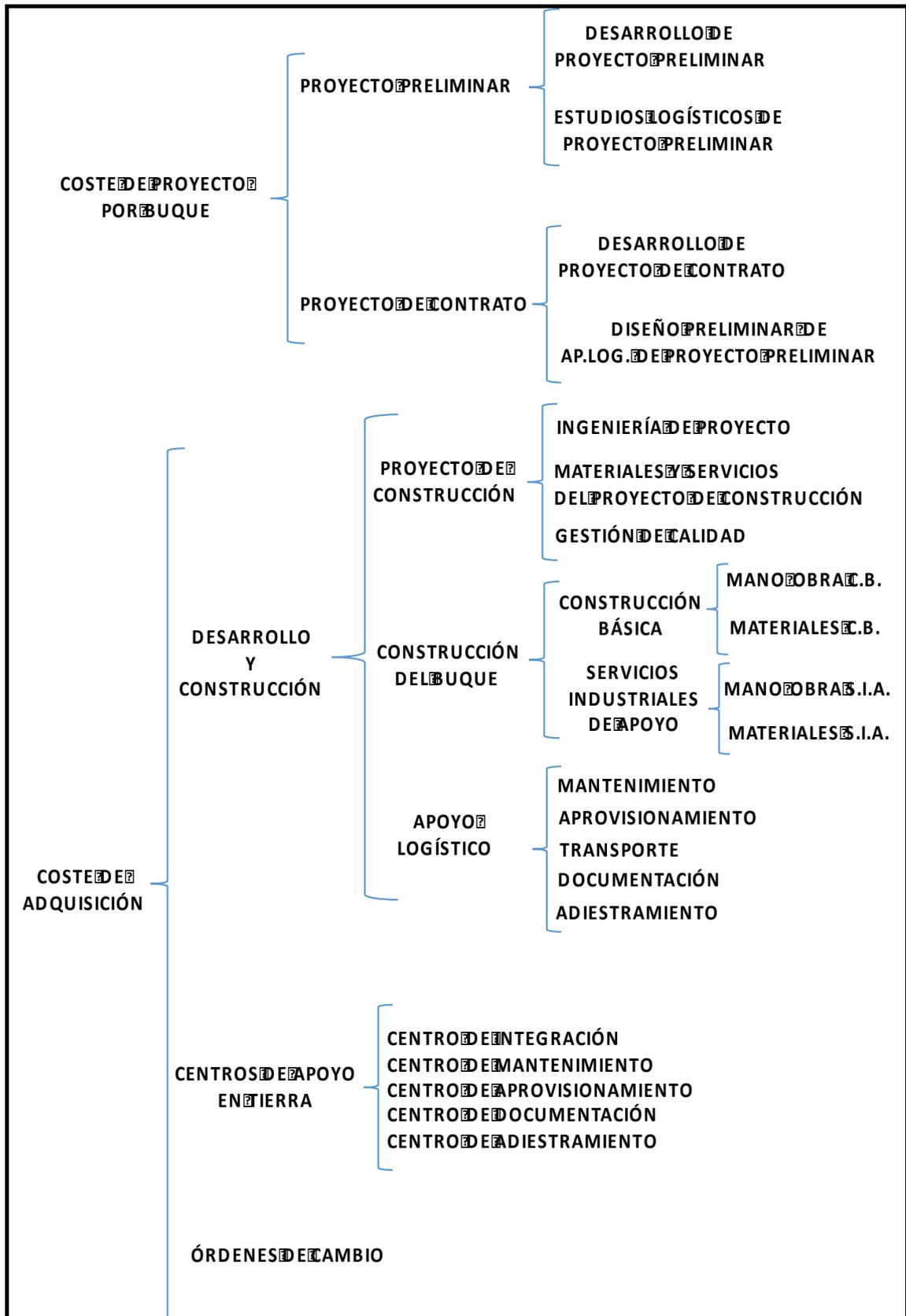


Figura 5-4 Diagrama de Costes de Proyecto y de Adquisición.

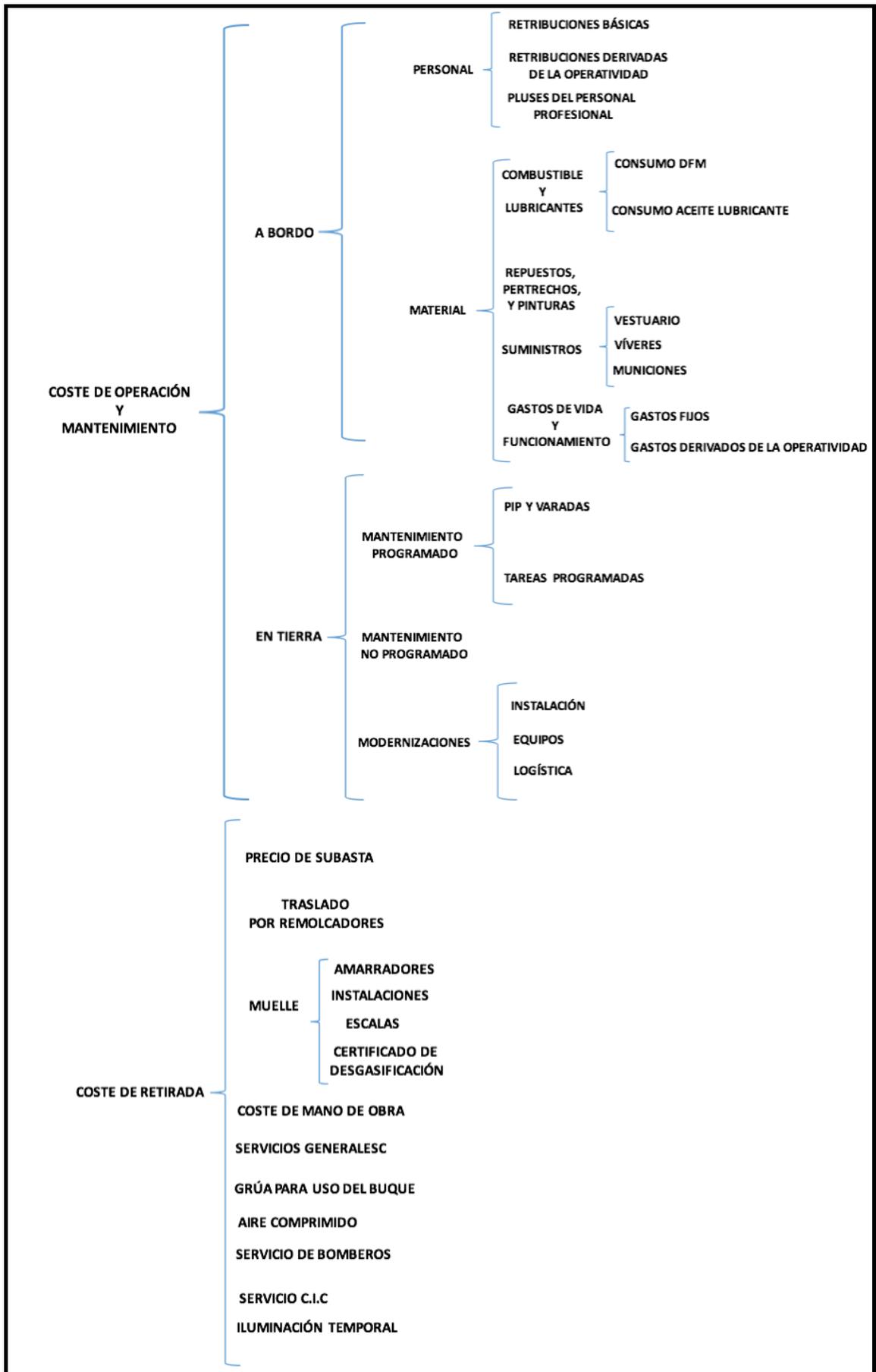


Figura 5-5 Diagrama de Costes de Operación-Mantenimiento y Retirada.

5.4 Procedimiento de cálculo del coste total.

En la siguiente partida se muestran los costes de mayor valor absoluto y, por tanto, más importantes.

5.4.1 Coste de Proyecto. Proyecto preliminar y proyecto de contrato

Según la descomposición de costes realizada en el apartado 4.3, los costes de proyecto (C_P) están formados por los costes de proyecto preliminar y los de proyecto de contrato.

Así mismo los costes de proyecto preliminar (C_{PP}) se dividen en:

- Desarrollo de proyecto preliminar, (C_{DP}).
- Estudios logísticos, (C_{EL}).

Siendo:

$$C_{PP} = C_{DP} + C_{EL} (\text{€})$$

Por otro lado, los costes de proyecto de contrato (C_{PC}) se dividen a su vez en:

- Desarrollo del proyecto de contrato, (C_{DC}).
- Desarrollo preliminar de apoyo logístico de proyecto preliminar, (C_{AL}).

Siendo:

$$C_{PC} = C_{DC} + C_{AL} (\text{€})$$

Por tanto:

$$C_P = C_{PP} + C_{PC} (\text{€})$$

5.4.2 Coste de Adquisición

Según la estructura de costes desarrollada en el capítulo anterior, el coste de Adquisición (C_{AD}) se divide en:

- Coste de desarrollo y construcción, (C_{DC}).
- Centros de apoyo en tierra, (C_{AT}).
- Órdenes de cambio, (C_{OC}).

Siendo:

$$C_{AD} = C_{DC} + C_{AT} + C_{OC} (\text{€})$$

Cada uno de estos módulos está integrado por la suma de varios submódulos, que el usuario debe introducir en “Datos de entrada del usuario”.

5.4.3 Coste de Operación y Mantenimiento

El módulo de operación y mantenimiento se divide en:

- Operación y mantenimiento a bordo.
- Operación y mantenimiento en tierra.

5.4.3.1 A bordo

Los costes de operación y mantenimiento a bordo, como ya se mencionó, incluyen costes asociados a personal (C_{PE}), material y servicios. En lo que se refiere a personal, se trata del personal embarcado y se tienen en cuenta: las retribuciones básicas (C_{RB}) retribuciones derivadas de la operatividad (C_{RO}) y pluses del personal militar profesional (C_{PI}). Estos costes varían de forma directamente proporcional al número de miembros de la dotación.

Siendo:

$$C_{RB} = C_{RB} (\text{persona y año}) \times N^{\circ} \text{ dotación} \times IPC_{2015}$$

$$C_{RO} = C_{RO} \times N^{\circ} \text{ Dotación} \times N^{\circ} \text{ días navegación} \times IPC_{2015}$$

$C_{PI} = \text{Pluses del personal militar profesional} \times N^{\circ} \text{Dotación} \times IPC_{2015}$

Por tanto:

$C_{PE} = C_{RB} + C_{RO} + C_{PI} (\text{€})$

En cuanto a los materiales, este coste incluye el de material utilizado/consumido por el buque, es decir: combustible DFM; aceites lubricantes; repuestos, pertrechos y pinturas; suministros, incluyendo vestuario, víveres y municiones; y diversos gastos de vida y funcionamiento. Con los precios actualizados por el IPC_{2015} .

Para el cálculo del coste de combustible se ha empleado la siguiente fórmula (30):

$$\text{Consumo}_{\text{régimen}} = \frac{\text{Litros}_{\text{combustible}}}{\text{hora}} \times \% \text{tiempo}_{\text{navegando}} \times \% \text{tiempo}_{\text{en ese perfil}} \times 8760 \quad (30)$$

Es utilizada teniendo en cuenta el combustible consumido (litros/año) tanto por los motores BRAVO 16, como los motores DDGG y las turbinas LM 2500 según su uso en función del perfil de velocidades, véase Figura 5-2.

En lo que se refiere a aceites lubricantes, las F-100 hacen uso en gran medida del O-156 (para turbina), O-278 (para motor) y del lubricante de los motores BRAVO 16.

El consumo de aceite lubricante O-156 viene dado por la ecuación (31):

$$\text{Consumo}_{O-156} = n^{\circ} \text{ turbinas} \times \frac{\text{Litros}_{O-156}}{\text{día}} \times n^{\circ} \text{ días de uso} \quad (31)$$

Por otro lado, el consumo de aceite lubricante O-278 (litros/año) de los motores DDGG, viene dado por la ecuación (32):

$$\text{Consumo}_{O-278} = \frac{[\text{Potencia} \times n^{\circ} \text{ días de navegación/año} \times 24\text{h/día} \times \text{consumo específico}]}{\text{densidad}} \quad (32)$$

Siendo el consumo específico 1,1 g/kWh.

En cuanto al consumo del aceite lubricante (litros/año) de los motores diésel propulsores, viene dado por la ecuación (33):

$$\text{Consumo}_{\text{aceite}} = \frac{[\text{Potencia} \times n^{\circ} \text{ días de navegación} \times 24\text{h/día} \times \text{consumo específico}]}{\text{densidad}} \quad (33)$$

Siendo el consumo específico 0,6 g/kWh.

En lo que se refiere al coste de repuestos, pertrechos y pinturas (C_R), los costes varían según el tipo de misión, los equipos a bordo, incluye también los módulos reparables consumidos por el buque para el mantenimiento de dichos equipos. Los datos son introducidos por el usuario en “Datos de entrada del usuario”, en su correspondiente celda.

Siendo:

$$C_R = C_{REPUESTOS} + C_{PERTRECHOS} + C_{PINTURAS} (\text{€})$$

Sucede lo mismo con los costes en suministros (C_S), esta partida incluye: vestuario, víveres y municiones, cuyos precios estarán actualizados con el IPC del año en que se realiza el estudio.

Siendo:

$$C_S = C_{VESTUARIO} + C_{VÍVERES} + C_{MUNICIONES} (\text{€})$$

Por último, los gastos de vida y funcionamiento (C_{VF}) (que se explicarán con mayor detalle más adelante), corresponden a los gastos anuales que se asumen para el día a día del buque, en tierra o navegando. Se consideran dos partidas diferentes, la de aquellos gastos fijos (G_F), y la de los que son derivados de la operatividad (G_{OP}) del buque.

Siendo:

$$C_S = G_F + G_{OP} (\text{€})$$

5.4.3.2 En tierra

El coste de Mantenimiento en tierra (C_M) lo integran: el mantenimiento programado (C_{MP}), no programado (C_{NP}) y las modernizaciones (C_{MD}).

El coste de mantenimiento programado tiene en cuenta tanto los periodos de inmovilización programada (PIP), como los periodos de varada. El mantenimiento no programado se refiere al requerido tras los incidentes a bordo del buque. Las modernizaciones son referidas a las que se va a someter el buque durante la etapa de servicio para mantener su rentabilidad y eficacia con el paso de los años, aunque las necesidades de la misión o la misión en sí, varíen durante su servicio activo.

De este modo:

$$C_M = C_{MP} + C_{NP} + C_{MD} (\text{€})$$

5.5 Coste de Retirada /Eliminación

El módulo del coste de retirada lo integran varios submódulos tales como: precio de subasta (P_S), remolcadores (R), gastos del muelle (G_M), mano de obra (M_O), servicios generales (S_G), grúa (P_G), gasto de aire comprimido (G_{AC}), servicio contraincendios (S_{CI}), servicio de bomberos (S_B), el gasto en iluminación (G_I). Todos son datos que la empresa encargada del desguace debe proporcionar al cliente. De este modo el usuario podrá introducirlos en el programa.

Siendo:

$$G_M = G_{AMARRADORES} + G_{INSTALACIONES} + G_{ESCALAS} + G_{CERTIFICADO DE DESGASIFICACIÓN}$$

$$G_{INSTALACIONES} = \text{Precio de alquiler de las instalaciones} \times N^{\circ} \text{ meses en el muelle}$$

$G_{CERTIFICADO DE DESGASIFICACIÓN}$ (dependiendo de si el certificado es posible obtenerlo tras la primera visita del especialista o en ocasiones subsiguientes).

$M_O = N^{\circ} \text{ Operarios} \times \text{coste mensual} \times N^{\circ} \text{ meses (8 meses)}$

$S_G = \text{Consumo eléctrico (Euros/día)} \times N^{\circ} \text{ horas de consumo} \times \text{Coste de corriente eléctrica (50 Hz)}$.

$P_G = \text{Coste de grúa 15 Tm} + \text{Coste de grúa 150 Tm}$

$G_{AC} = N^{\circ} \text{ Días de consumo funcionamiento del compresor} \times \text{Coste de consumo de AC (Euros/día)}$
 $+ \text{Coste del repartidor de 4 tomas}$

$S_{CI} = N^{\circ} \text{ Días de uso del servicio C.I.} \times \text{Coste del servicio C.I} \times \text{conexión/desconexión a la red del}$
 $\text{astillero (Euros/día)}$

$S_B = N^{\circ} \text{ Días uso servicio bomberos} \times \text{Coste del servicio de Bomberos (Euros/ día)}$

$G_I = C_{\text{Conexión/Desconexión}} + (N^{\circ} \text{ horas de consumo} \times C_{\text{consumo eléctrico Euros/día}}) + [(\text{Coste de mantenimiento}$
 $\text{de iluminación} \times N^{\circ} \text{ horas de consumo})] / 24$

6 APLICACIÓN PRÁCTICA A FRAGATAS CLASE “ÁLVARO DE BAZÁN”, F-100

6.1 Características generales de los buques

Las Fragatas clase Álvaro de Bazán, o F-100, constituyen hoy en día lo más avanzado en tecnología naval, no solo de la Armada Española, sino también de toda la OTAN. Dotadas del sistema de combate AEGIS, las F-100 se han convertido en todo un referente de la construcción naval en fragatas/destructores de tipo medio, y ya han sido examinadas por varias marinas, interesadas en adquirir este tipo de buques.

Para España, las F-100 supusieron un reto en materia de arquitectura naval, sabiendo dar de modo adecuado un soporte para un sistema como el AEGIS, siendo la primera vez que este sistema era instalado en un buque de las dimensiones de una fragata.

El diseño de las F-100 y la integración en ellas del sistema AEGIS ya ha despertado el interés de varias marinas, teniendo ya pedidos por parte de la Armada de Noruega que ha encargado cinco fragatas de la clase F-310.



Figura 6-1 Fragatas F-101, F-102, F-103 Y F-104 navegando juntas [34]

El Plan “Altamar”, elaborado por el Estado Mayor de la Armada Española a mediados de la década de los 80, fijaba la tipología y características de los buques de la Armada, F-100 [35]. Estos barcos deberían tener las siguientes características operativas (Tabla 6-1) [35]:

- Ser capaces de ejercer como buque de mando en situaciones de crisis, proporcionando cobertura a fuerzas expedicionarias.
- Desarrollar capacidad operativa cerca del litoral.
- Disponer de elevada capacidad antiaérea.
- Ser capaz de actuar como buque insignia para fuerzas operativas tanto nacionales como aliadas.
- Disponer de capacidad antisubmarina y antisuperficie.
- Proporcionar capacidad antimisil para unidades de alto valor y protección a larga distancia para las fuerzas operativa.
- Capacidad de interoperabilidad con fuerzas aliadas.

También debían cumplir los siguientes requisitos técnicos [35]:

- La capacidad antiaérea/antimisil estaría basada en el sistema AEGIS.
- Gran capacidad de supervivencia.
- Protección contra fragmentación.
- Sistema de control de daños y de defensa NBQ (Nuclear, Biológico y Químico).
- Firma radárica, acústica y magnética muy bajas.

CARACTERÍSTICAS	VALORES	CARACTERÍSTICAS	VALORES
DESPLAZAMIENTO	5800 Tns.	DOTACIÓN	201+36 TRIPULANTES
ESLORA	147 mts.	ARMAMENTO	Lanzador vertical Mk-41 para misiles Standard SM-2 y ESSM. El lanzador puede albergar también misiles TOMAHAWK.
MANGA	18.5 mts.		Dos lanzadores cuádruples de misiles Harpoon.
PUNTAL	9.8 mts.		Cañón de 5" Mk-45 con dirección de tiro DORNA
CALADO	7.2 mts		Dos ametralladoras OERLIKON de 20 mm y 4 Browning de 12,7mm.
PROPULSIÓN	Diesel o turbina (CODOG), con 2 hélices	SENSORES	Dos lanzadores dobles de torpedos Mk-32, para torpedos MK-46.
	Altas velocidades, 2 Turbinas de Gas LM-2500.		Radar SPY-1D con capacidad adicional de seguimiento de misiles balísticos.
POTENCIA	Menos de 18 nudos, 2 Motores Diesel Bazán Bravo-12		Superficie: AN/SPS-67
PLANTA ELÉCTRICA	2x23500 HP (turbinas) + 2x6000 HP (diesel).		Navegación: AN/SPS-73
VELOCIDADES	4x1100 KW		Sonar DE-1160 LF (I)
AERONAVES	Velocidad de Crucero 18 nudos	OTROS	Equipos de Guerra Electrónica ALDEBARÁN y REGULUS. Link-11 y Link-16.
	Velocidad Máxima 28 nudos.		Sonar de casco (activo): AN/SQS-56.
	Capacidad para embarcar un Sikorsky SH-60B "Seahawk" con capacidad de lanzamiento de misiles Penguin y torpedos		

Tabla 6-1 Características generales de las F-100 [35] [34].

A diferencia de la primera serie de fragatas F-100, la primera fragata de la segunda serie, la F-105 Cristóbal Colón contempla varias mejoras respecto al diseño original de la clase. Incorpora nuevos motores Bravo 16V que aumentan su velocidad máxima y un empujador de proa de 850 kW para operaciones en puerto. En el armamento y sistemas de combate, se añaden dos cañones Mk-38 de 25 mm para defensa cercana, un nuevo sistema de control de guerra electrónica y submarina, un radar Aries de vigilancia de superficie, mejoras en el radar SPY-1D, y mejoras en los sistemas de

comunicaciones y Mando y Control. Además, podrá operar con helicópteros NH 90 al ampliar el hangar y la cubierta de vuelo [35].

6.1.1 Dimensiones

La arquitectura de las F-100 españolas, al adoptarse el sistema AEGIS, fue evolucionando hacia la de los destructores americanos de la clase DDG-51 Arleigh Burke [35].

Lo más destacable de su figura es el bloque troncopiramidal situado tras el puente (Figura 6-2), y que hace de soporte de los mástiles de antenas y de las antenas de apertura sintética: las figuras octogonales que se aprecian en las superficies verticales [35]. Delante del puente están los alvéolos del sistema de lanzamiento vertical MK 41 versión larga, que actúa como lanzador del arma principal del buque: el misil antiaéreo SM-2 block III. Estas dos estructuras (lanzador de misiles y dimensión del “mastack” de antena) imponen el tamaño de la manga del buque y, en consecuencia, determinan en parte el desplazamiento [35].



Figura 6-2 Radar SPY de las F-100 [35].

La estructura piramidal soporte de las antenas tiene una ventaja adicional, y es que conforma una ciudadela que alberga la mayor parte electrónica y del sistema de mando y control del buque, por lo que la protección NBQ se hace más sencilla, puesto que las zonas a proteger están muy agrupadas entre sí. La superestructura del buque es de acero de alta resistencia y los locales operativos, como medida de protección pasiva, disponen de protección balística adicional [35].

En el resto del buque también se han evitado formas diédricas y triédricas y las formas del casco por encima de la flotación están inclinadas 8° para evitar reflexiones directas de ondas incidentes con cero grados [36]. El resto de la forma del barco está condicionada por la cubierta por la cubierta de vuelo con su hangar (Figura 6-3) para un helicóptero Sikorsky SH-60 B Seahawk (Figura 6-4) y por la necesidad operativa de disponer de una reducida firma radar. También es de destacar la ausencia de secciones redondas en los mástiles, que han sido sustituidas por secciones de forma romboidal.



Figura 6-3 Hangar de la F-105 [35].



Figura 6-4 Cubierta de vuelo de una F-100 [35].

En cuanto a su disposición general, interiormente el buque está dividido en trece secciones estancas y cuatro zonas de control de daños separadas por mamparos con retardadores de fuego. Los mamparos estancos transversales, los mamparos estancos longitudinales, el casco y la cubierta principal constituyen el espacio total y las subdivisiones estancas, que permiten al buque mantener la integridad estanca y sobrevivir a grandes averías por debajo de la flotación [35] [36].

El buque obedece al concepto de cuatro cubiertas (techo de tanques, primera plataforma, segunda cubierta y cubierta principal), siendo la cubierta principal la Cubierta de Compartimentado y la segunda cubierta la Cubierta de Control de Averías [36].

Se divide en cuatro zonas de fuego verticales, utilizando los mamparos principales de subdivisión. La distancia entre mamparos que limitan zonas de fuego es siempre inferior a 40 metros [36].

Como medidas de protección adicionales y poco convencionales, se ha tenido en cuenta la protección ante pulsos electromagnéticos de todos los compartimentos en los que van equipos susceptibles de verse afectados por los mismos [35]. No se ha olvidado la reducción de firma magnética para lo cual se dispone de un sistema del tipo “degaussing” con tres bobinas [35].

6.1.2 Configuraciones

6.1.2.1 Materiales de construcción

La estructura utiliza acero de alta resistencia (H-36) para el casco y la superestructura y acero de muy alta resistencia (DH-55) para las zonas especiales, como son la traca de cinta, el trancañil y el pantoque.

6.1.2.2 Espacios de habilitación

Los espacios de habilitación o acomodación de la fragata F-100 han sido cuidados desde las primeras etapas del proyecto, para dotar a estos buques de un estándar más elevado que buques precedentes de la Armada Española [36].

De este modo, la habilitación de la fragata se dimensionó de acuerdo con la norma más extendida en el ámbito de la OTAN (ANEP 24), intentando proporcionar en todos los casos incluso estándares más altos de los recomendados en la norma, para acercar el proyecto del "hotel" a los requisitos actuales que conlleva la profesionalización de los ejércitos [36].

El proyecto decorativo de la fragata se realizó con la ayuda de firmas especializadas e incluye el mobiliario metálico estandarizado por IZAR [36]. El estándar utilizado para la distribución del personal en el buque, es como sigue [36]:

Los oficiales se alojan en camarotes o cabinas dobles (dos literas), que incluyen aseo y disponen de espacios comunes en la segunda cubierta, comprendiendo sala de estar y comedor.

Los suboficiales se alojan en camarotes cuádruples (literas de dos alturas), que incluyen aseo y disponen de espacios comunes en la segunda cubierta, comprendiendo sala de estar y comedor.

La mayor parte de estos camarotes obedecen a un proyecto de cabina modular, realizado por IZAR Ferrol y construidos en el propio astillero.

Los cabos se alojan en diversos sollados de 8, 6 y 4 literas de dos alturas. Los sollados disponen de espacios sanitarios comunes, mientras que los sollados para personal femenino disponen de aseos independientes.

La marinería se aloja en sollados de 9 literas en tres alturas. Los sollados disponen de espacios sanitarios comunes, mientras que los sollados para personal femenino disponen de aseos independientes.

En la segunda cubierta, el buque dispone tanto de salas de estar como de comedor para cabos y marinería. Los espacios comunes se completan con una biblioteca y un gimnasio.

Para apoyo del servicio de hotel, el buque dispone de una moderna cocina, capaz de preparar la comida para toda la dotación, reposterías de oficiales y suboficiales y espacios del lavaplatos, así como lavandería, peluquería, oficina de correos, almacén y oficinas.

Finalmente, el buque dispone de una enfermería en la cubierta principal, provista de despacho para el médico y sala de reconocimiento y tratamiento.

6.1.3 Dotación

La dotación es muy reducida para un buque de estas dimensiones, debido a la automatización de muchos equipos. Quizás en este aspecto hay que resaltar el desarrollo por parte de la división Izar Sistemas de Cartagena del Sistema Integrado de Control de Plataforma (S.I.C.P.) [35], véase la Figura 6-5. La dotación total es de 202 personas, con una disponibilidad de 11 plazas para el personal de

vuelo y 16 plazas para el Estado Mayor/Plana Mayor embarcados [35]. Los alojamientos están divididos entre proa y popa para aumentar la supervivencia de la dotación. La reserva de desplazamiento para futuras modernizaciones o instalación de nuevos equipos es de 450 Tm [35].



Figura 6-5 Consola S.I.C.P de la F-105 [35].

6.1.4 Sistemas

De los sistemas que integran las fragatas de la primera y la segunda serie a destacar por su relevancia son:

- Sistema de Propulsión.
- Sistema de combate y armamento.
- Sistema de comunicaciones.

6.1.4.1 Sistema de Propulsión

6.1.4.1.1 Características generales

El buque dispone de un sistema de propulsión CODOG, accionando dos hélices de paso regulable. Cada una de estas hélices es accionada, a través de la línea de ejes correspondiente, por una planta CODOG, compuesta por una turbina de gas General Electric LM2500, un motor diésel IZAR BRAVO y un engranaje reductor de Royal Schelde [36].

El sistema de propulsión es capaz de funcionar de forma estable en cualquier condición comprendida entre toda fuerza avante y toda fuerza atrás [36]. Los engranajes reductores, embragues, acoplamientos, ejes, chumaceras y hélices están dimensionados para soportar pares ocasionales del 130 % de las cargas de diseño [36].

El sistema de propulsión del buque puede utilizarse en dos modos de propulsión diferentes (Figura 6-6) La potencia propulsiva hasta la máxima velocidad de crucero se proporciona en modo diésel, mientras que por encima de esta velocidad se desarrolla en modo turbinas de gas [36]:

- Modo diésel: La potencia propulsiva la proporcionan dos motores diésel, cada uno accionando un eje a través del engranaje reductor correspondiente.
- Modo turbinas de gas: La potencia propulsiva la proporcionan dos turbinas de gas, cada una accionando un eje a través del engranaje reductor correspondiente.

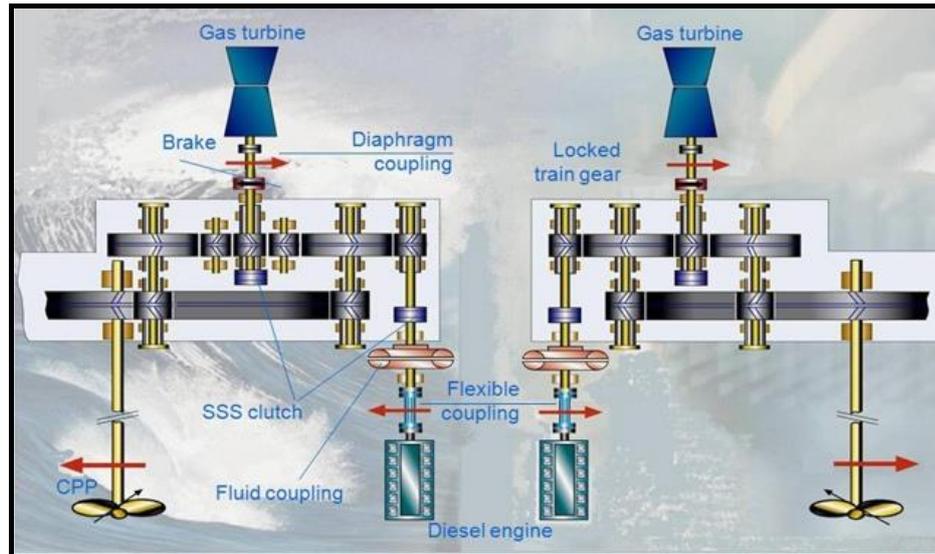


Figura 6-6 Sistema de propulsión de las F-100 [37]

La disposición de planta propulsora consiste en dos Cámaras de Máquinas de Propulsión (nº 1 y nº 2), que cada una alberga una planta de propulsión CODOG con sus auxiliares, y una Cámara de Máquinas Auxiliares, instalada entre las dos Cámaras de Máquinas de Propulsión, que aloja plantas auxiliares independientes y que ayuda a separar las cámaras de propulsión, tal como se muestra en la Figura 6-7 [36].

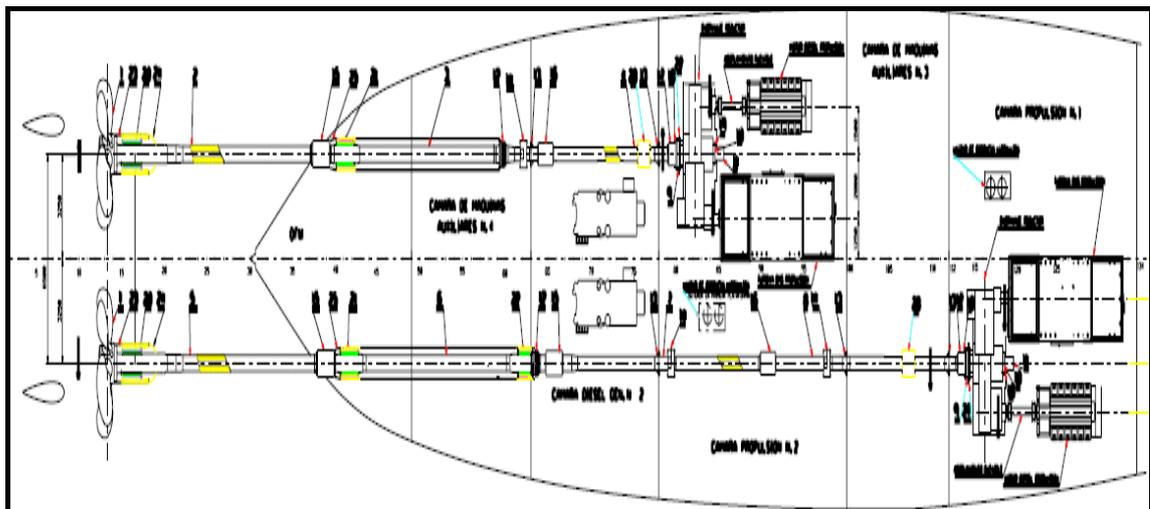


Figura 6-7 Planta de Propulsión CODOG [37].

La planta de maquinaria se diseña de acuerdo con el concepto de cámaras de máquinas desatendidas y las funciones de control y supervisión se desarrollan mediante el Sistema Integrado de Control de Plataforma (SICP) [36].

El sistema de propulsión incorpora dos motores diésel de cuatro tiempos IZAR BRAVO 12 de 4500 kW de potencia continua (en la primera serie), Bravo 16 en la segunda, no reversibles, de inyección directa, turboalimentados con refrigeración del aire de carga y configuración de los cilindros en V. (Véase la Figura 6-8).



Figura 6-8 Motor Diésel Bravo 16 V de la F-105

Cada motor gira según las agujas del reloj, cuando se mira la brida del eje de salida, va instalado sobre montajes elásticos, incorpora todas las bombas arrastradas necesarias para su funcionamiento, así como el regulador electrónico y dispone del acoplamiento elástico a incorporar en su interfaz con el engranaje reductor, así como de los sistemas de precalentamiento y de arranque [36].

El sistema de propulsión también incorpora dos turbinas de gas General Electric LM2500, incorporadas en módulos, véase Figura 6-9. Cada turbina produce 17.500 kW de potencia, a una velocidad de 3.600 rpm e incorpora el eje acoplamiento de salida para su conexión con el engranaje reductor. El desmontaje de la turbina se realiza a través del conducto de aire de admisión. El módulo de la turbina incluye montajes elásticos para su conexión al polín del buque, así como un sistema automático de detección de incendios y un sistema de extinción de incendios por CO [36].

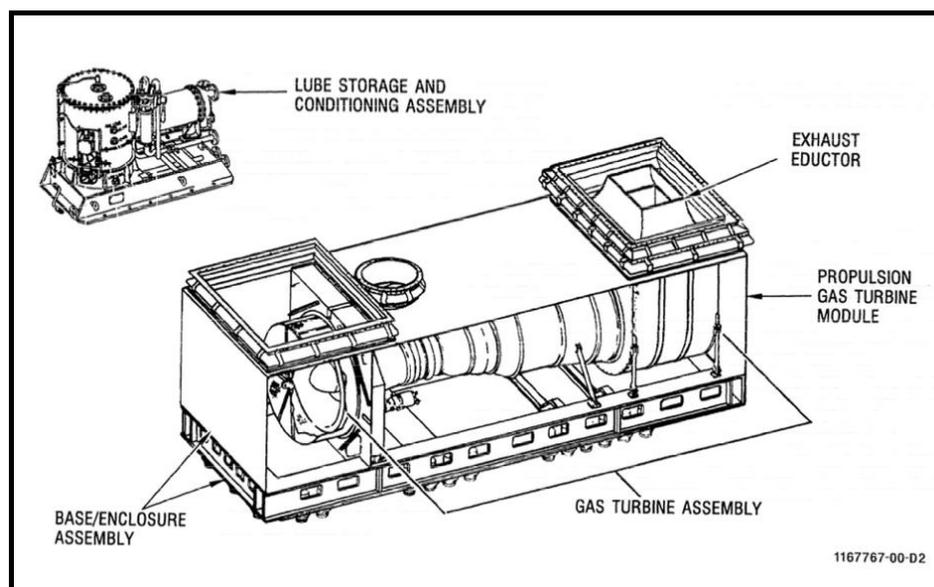


Figura 6-9 Turbina de gas General Electric LM 2500 [38].

El paquete propulsivo asociado a cada eje se completa con un engranaje reductor, con configuración de tren cerrado en el lado de la turbina de gas. Cada engranaje reductor, suministrado

por Royal Schelde, incorpora embragues en los lados de ambas máquinas para permitir el cambio de modo sin interrumpir la transmisión de potencia [36]. Los embragues de la turbina de gas y del motor diésel son de tipo auto-sincronizable (SSS) y van incorporados en el engranaje reductor. El lado del motor diésel también incorpora un acoplamiento hidráulico [36]. Los engranajes reductores son de diseño “muy bajo en ruido” y van instalados rígidamente al polín [36]. La Figura 6-10 muestra la configuración de uno de los engranajes reductores.

Las hélices tienen un diámetro de 4,5 metros, cinco palas y paso regulable, giran a 180 rpm y son suministradas por ACB Lips. Cada hélice incorpora un sistema electrónico de realimentación del paso (EPFB), para proporcionar una indicación ajustada y fina del paso real de la hélice, y un conjunto de paso de emergencia, para fijar

La posición de paso “todo avante” en caso de tallo completo de suministro de potencia hidráulica de ambas bombas.

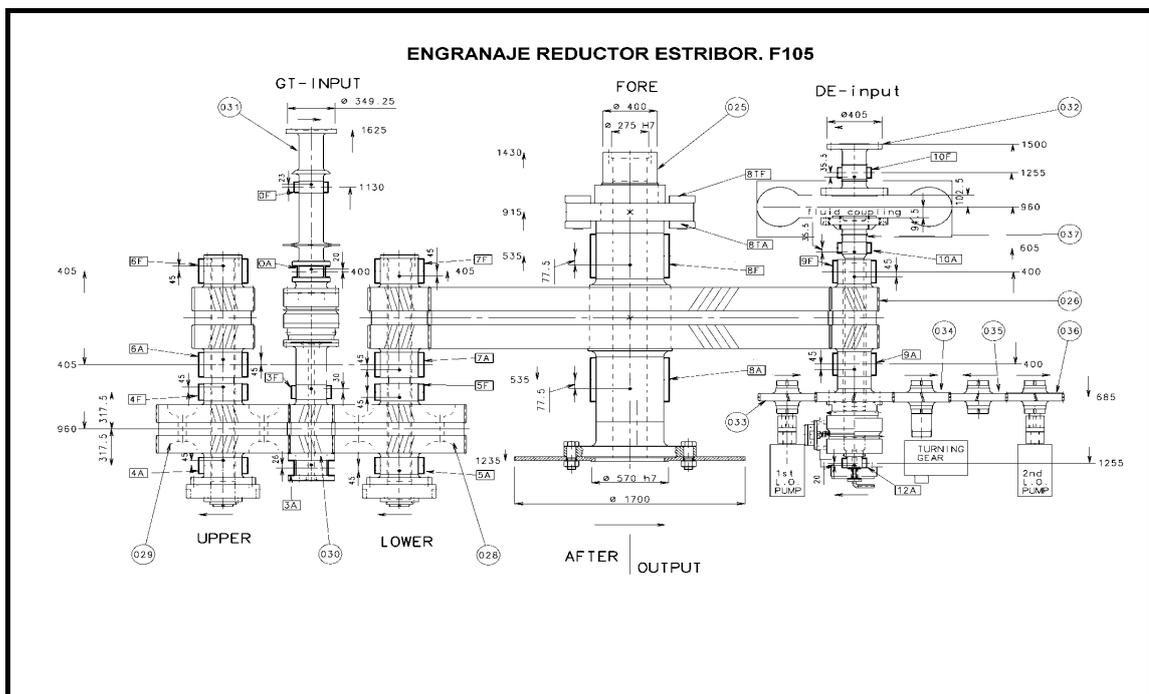


Figura 6-10 Configuración del engranaje reductor [37].

6.1.4.1.2 Régimen de funcionamiento

Como se mencionó anteriormente, existen dos modos diferentes de propulsión a bordo de las fragatas F-100: propulsión DDGG (Motores diésel Bravo 12/16); propulsión por turbina (LM 2500). Cada modo de propulsión está sujeto a unas velocidades específicas, asociadas a unos fines operativos determinados. Según el tipo de propulsión y el régimen de velocidades, llevan asociado un consumo. En la Tabla 4 están registrados los consumos por día y por hora según el régimen de velocidades, asociados a cada tipo de propulsión.

Normalmente, para velocidades de crucero se navega con propulsión diésel, ya que el consumo es menor. Por otro lado, cuando la misión requiere que se supere la velocidad máxima de crucero, se procede al cambio a propulsión por turbina.

Se deduce de este registro (Tabla 4), que la propulsión con una turbina acoplada y un eje arrastrado no representa prácticamente ningún problema para la maniobrabilidad del buque y se pueden alcanzar velocidades de hasta 20 nudos. No obstante, a partir de los 12 o 13, dependiendo de las condiciones meteorológicas (palanca entre 6 y 7) el consumo se dispara, por lo que no es recomendable a más de 12 o 13 nudos.

Para el margen de velocidades entre 12 o 13 nudos y 20 nudos, parece más recomendable la propulsión mixta, ya que la ayuda que le aporta el motor a la turbina, hace que esta trabaje en la zona de consumos aceptables.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	MODO TURBINA							
2					MINIMO OPERATIVO → 50% (376.000 LTS.)		20% (150.400 LTS.)	
3	PALANCA	VELOCIDAD	CONSUMO HORA	X 2	CONSUMO DIA	AUTONOMÍA DIAS	AUTONOMÍA DIAS	LTS/MILLA
4	1		830	1660	39.900	8	14	
5	2		990	1980	47.520	7	12	
6	3		1.100	2.200	52.800	6	11	
7	4	10 Knts.	1.300	2.600	62.400	5	9	216
8	5	12/13 Knts.	1.400	2.800	67.200	5	8	233
9	6	15 Knts.	1.500	3.000	72.000	4	8	200
10	7	17 Knts.	2.300	4.600	110.400	3	5	271
11	8	21/22 Knts.	2.900	5.800	139.200	2	4	276
12	9	25/26 Knts.	4.000	8.000	192.000	1	3	320
13	10	27/28 Knts.	4.600	9.200	220.800	1	3	341
14								
15								
16	LA TABLA DE MODO TURBINA NO INCLUYE LOS CONSUMOS DE LOS DIESEL GENERADORES (2 GENERADORES 7200 LTS. AL DÍA)							
17	MODO DIESEL							
18	PALANCA	VELOCIDAD	CONSUMO HORA	X 2	CONSUMO DIA	AUTONOMÍA DIAS	AUTONOMÍA DIAS	LTS/MILLA
19	42	10 Knts	396	792	19.000	20	30	79,2
20		11 Knts	416	832	19.960	19	28	76
21	52	12 Knts	446	892	21.400	17,5	26	74
22		13 Knts	496	992	23.800	16	24	76
23	55	14 Knts	596	1.192	28.600	13	20	85
24		15 Knts	696	1.392	35.600	10,5	16	93
25	63	16 Knts	846	1.692	40.600	9	14	106
26		17 Knts	1.196	2.392	57.400	6,5	10	141
27	72	18 Knts	1.346	2.692	64.400	6	9	150
28								
29								
30								
31	LA DE MODO DIESEL ES CON LOS 2 GERENERADORES INCLUSIVE							
32								
33								
34	Hay que considerar que las cantidades parten del 95% de combustible y la cantidad a consumir está entre este y el 50% ó							
35	el 20% , dependiendo del caso.							
36	MINIMO OPERATIVO 20% (150.400 LTS.)							
37								
38	PALANCA	VELOCIDAD	CONSUMO HORA	X 2	CONSUMO DIA			
39		10	250	500	12.000			
40		11	270	540	12.960			
41	52	12	300	600	14.400			
42		13	350	700	16.800			
43	55	14	450	900	21.600			
44		15	550	1.100	26.400			
45	63	16	700	1.400	33.600			
46		17	1.050	2.100	50.400			
47	72	18	1.200	2.400	57.600			
48								
49	LA UTIMA TABLA ES SOLO CON LOS MOTORES PROPULSORES							

Tabla 6-2 Registro del consumo en función de los dos modos de propulsión.

6.1.4.2 Sistema de combate y armamento

El proyecto de Sistema de Combate de la fragata F-100 ha sido desarrollado para cumplir las especificaciones de la Armada Española en los campos de guerra antiaérea, guerra antisubmarina, guerra de superficie, guerra electrónica y navegación y comunicaciones [35] [36]. El elemento principal es el sistema AAW (Anti Air Warfare) AEGIS; las capacidades de la guerra antisubmarina, de superficie y de guerra electrónica se organizan entorno a los llamados Sensores y Armas Nacionales. Este sistema de combate actúa como elemento integrador de todos los subsistemas de

armas. Para lograrlo, ha sido necesario desarrollar un sistema de Mando y Control específico (CDS), en el cual se integra como un subsistema más el ACS del AEGIS, suministrando así un sistema de mando y control completo del buque [35].

El Sistema de Combate AEGIS fue desarrollado por U.S.NAVY en respuesta a la amenaza soviética de ataques de saturación con misiles contra los grupos de combate de portaaviones. Se diseñó como un sistema completo que integra sistema radar y misiles, que tuvo como resultado el sistema de combate naval más moderno, altamente integrado con capacidad para afrontar diversas amenazas y en diferentes frentes como los mencionados anteriormente. El proyecto nace en 1965, mediante el Advance Surface Missile System (ASMS) y pasa a denominarse sistema AEGIS en 1969, siendo el radar SPY-1 el pilar y corazón del sistema. Se le otorga este nombre de griego AIGÍS (Égida), uno de los elementos de la armadura de Zeus y de Atenea, símbolo de la invulnerabilidad garantizada por los dioses y actualmente el escudo de la Flota [39].

6.1.4.2.1 Versiones del Sistema de Combate AEGIS

El Sistema de combate AEGIS ha sufrido por diferentes etapas de desarrollo tecnológico y de mejoras desde su primera versión en el año 1980. Las versiones “BIL 6 Ph I” (1994-1999) y tras una serie de modernizaciones “BIL 6 Ph III” (1997-2001) corresponden al SC de la primera serie de F-100; la versión BIL 7 Phase II (AEGIS Open Architecture) corresponde al SC de la segunda serie de fragatas F-100 (F-105) [39]. Véase Figura 6-11.

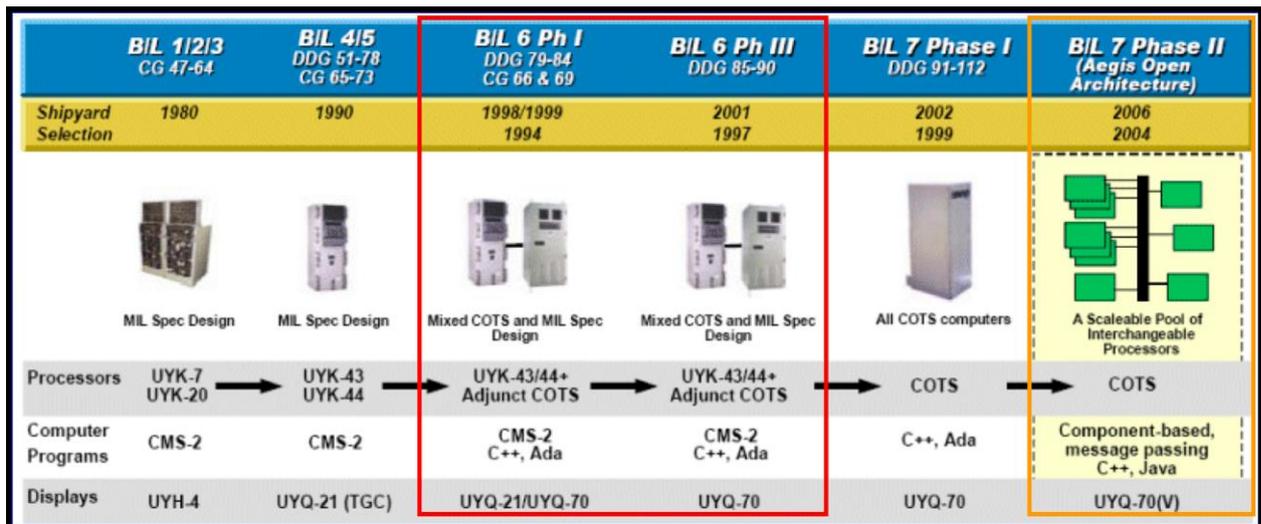


Figura 6-11 Versiones del Sistema de Combate AEGIS [39].

La versión “BIL 6 Ph I” introduce elementos COTS (Commercial-Off-The-Self), por sus altas prestaciones y la fase II introduce la defensa antimisiles balísticos, la fase III es la suma que integra las fases I y II. La versión “BIL 7 Ph II”, permiten una nueva capacidad de misión integrada y hacen de estos buques de combate los mejores dotados para combates en zonas litorales; incluye mejoras tales como: actualización del radar AN/SPY-1D al AN/SPY-1D (V), integrado en la F-105; capacidad de enfrentamiento cooperativo, “Cooperative Engagement Capability” (CEC) y táctica de defensa contra misiles balísticos, “Tactical Ballistic Missile Defense” (TBMD) [39].

6.1.4.2.2 Sistema de Combate AEGIS

Los factores de diseño que ofrece este sistema de combate son [39]:

- Disminuir el tiempo de reacción. (Doctrinas).
- Potencia de fuego.
- Resistencia a las contramedidas.
- Adaptable a las condiciones ambientales.
- Fiabilidad.

Las reacciones automáticas preprogramadas, son una herramienta para conseguir reducir los tiempos de reacción, descargar de trabajo a los operadores y evitar la saturación. Permiten poner un misil en el aire en menos de 12.5 segundos desde la primera detección el contacto en el radar SPY. Por todas las características mencionadas el ACS (AEGIS Combat System), va a proporcionar capacidad única en defensa antiaérea y antimisil [39].

El sistema de sensores y armas está desarrollado alrededor del sistema AEGIS (Figura 6-12), con lo cual se dispone de una gran capacidad en AAW. Las capacidades de ASW, ASUW y EW se organizan entorno a los llamados Sensores y Armas Nacionales en los que tiene gran presencia la industria nacional, que están controlados por el sistema de mando y control (Combat Decision System, CDS) desarrollado por IZAR-FABA [39].

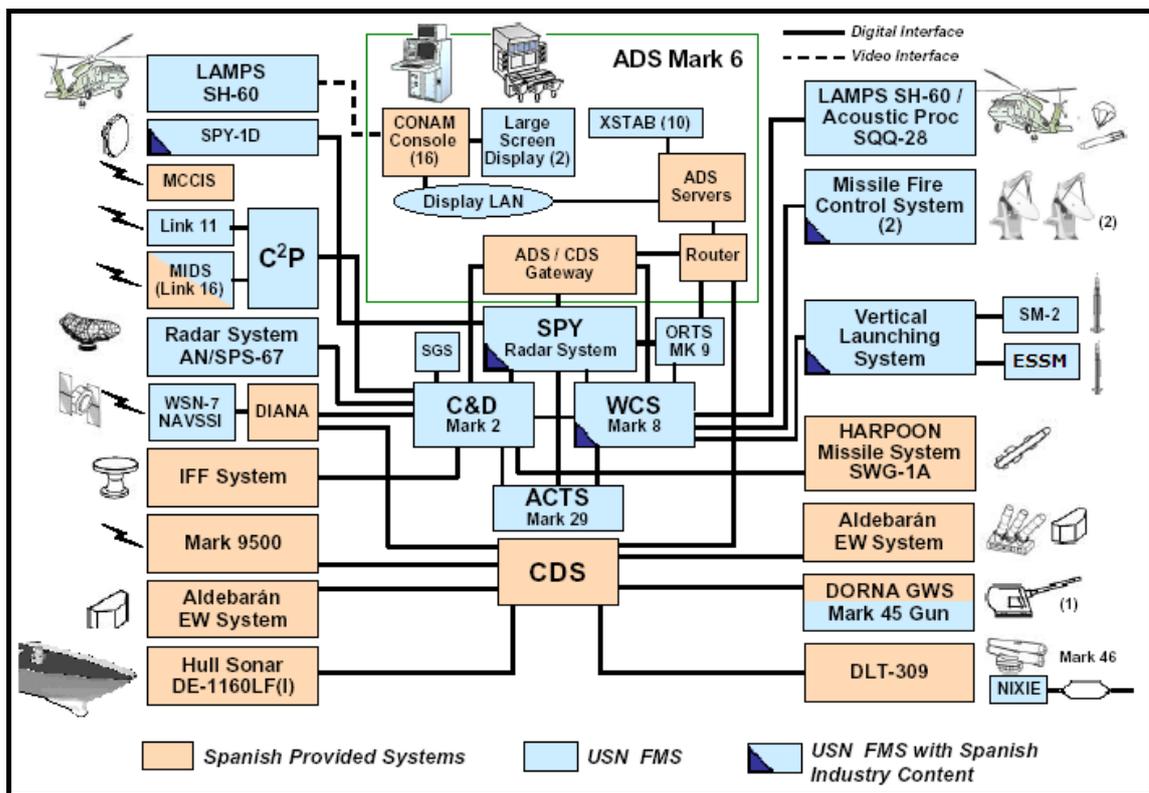


Figura 6-12 Sistema de Combate de la F-100 [39].

En lo que se refiere a su capacidad antiaérea (véase Figura 6-13), la F-100 cuenta con [39]:

- Radar SPY-1D.
- Sistema de Combate AEGIS.
- Sistema de Lanzamiento Vertical (VLS), MK-41.
- Misiles Standard SM2-ESSM.
- Iluminadores MK-99.

En las fragatas F-100, el radar SPY-1D es el responsable de efectuar la exploración, seguimiento y funciones de apoyo interceptación, guiando a los misiles antiaéreos y garantizando la

plena operatividad del misil SM-2 block III A y del ESSM. La iluminación del blanco corre a cargo de los dos iluminadores MK-99 [35]. Este radar permite efectuar la exploración omnidireccional hasta 250 millas náuticas (450 Km), con capacidad de seguimiento automático de hasta 600 blancos, así como permite disponer de un elevado número de canales de fuego [35]. Esta información adecuadamente procesada permite determinar los blancos más peligrosos en función de su posición, altura, rumbo, y velocidad; y así gestionar el sistema de armas que actuará en consecuencia. Todo esto tiene dos objetivos finales: reducir los tiempos de reacción y optimizar el empleo de los medios disponibles [39].

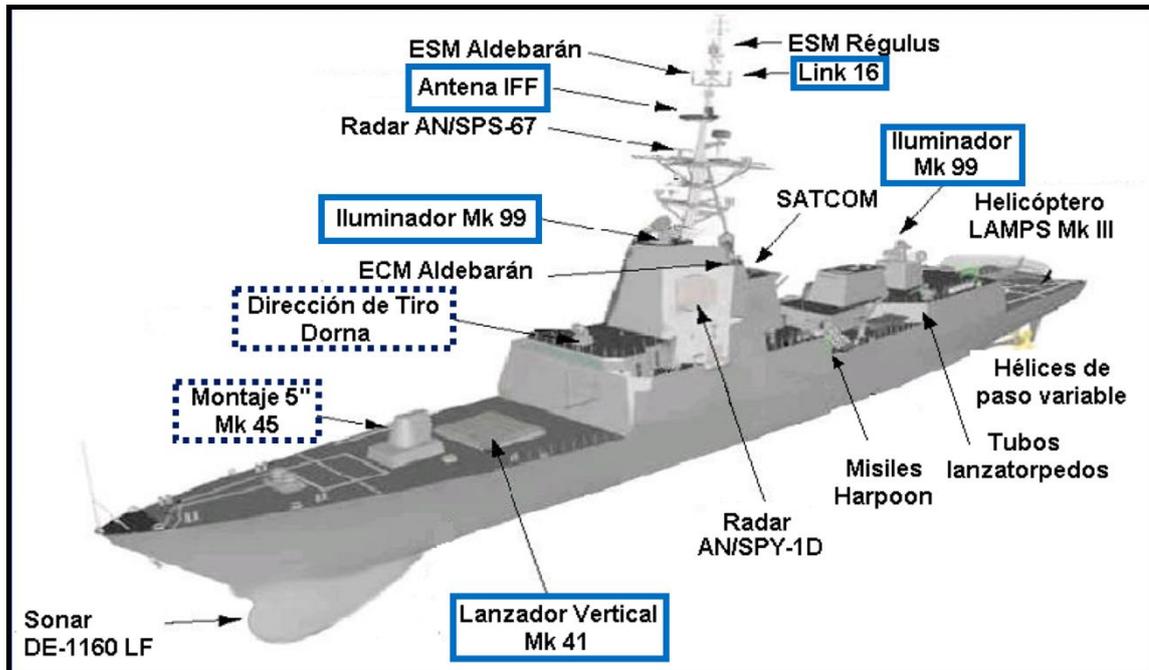


Figura 6-13 Elementos del Sistema de Guerra anti-aérea [39].

Durante la fase inicial de vuelo, tanto el misil SM-2 como el ESSM están controlados en lazo cerrado por el sistema de control de armas y el SPY mediante link [35]. La iluminación continua del misil no es necesaria hasta los últimos momentos de la interceptación para dirigir con la máxima precisión al misil hacia el blanco. De este trabajo se encargan los dos iluminadores MK-99 para los SM-2, operando los radares SPG-62 [35]. Esta disposición permite un empleo compartido de los iluminadores, así como un uso muy selectivo de éstos, lo cual hace al sistema especialmente apto para hacer frente a ataques que pretendan la saturación de las defensas aéreas [35].

El lanzador de misiles es de tipo vertical MK-41 (véase Figura 6-14) con 48 celdas (de las cuales solo se utilizan 45, las tres restantes las ocupan los sistemas de control propios del lanzador), que puede lanzar misiles SM-2 a razón de uno por tubo o ESSM a razón de cuatro por tubo [35]. Las F-100 embarcan 48 misiles de un nuevo modelo -SM2 block III A- (véase figura 6-15) dotado de mayor alcance y fiabilidad, que el SM-1 de las primeras F-80 [35].



Figura 6-14 Sistema de lanzamiento vertical (VLS), MK-41 [35].

El misil RIM-7T o Evolved Sea Sparrow Missile (ESSM) tiene la ventaja adicional de instalarse en montajes de cuatro unidades (quadpacked) ocupando una sola celda del lanzador de misiles, es decir, en 8 celdas se podrían instalar 32 misiles ESSM [35]. (Véase Figura 6.15).

Las F-100 son los únicos buques en la Armada Española que, al no disponerse de antenas de radar giratorias, cuentan con un IFF 100 FR que opera una antena independiente de barrido electrónico y emisión direccional fabricado por INDRA [35]. Para defensa de punto (CIWS) la Armada ha considerado diferentes opciones, desde el sistema Meroka al RAM (Rolling Airfram Missile System), aunque dadas las excelentes prestaciones del misil ESSM, no se ha estimado instalar un arma independiente para dicha defensa.

MISILES ANTIAÉREOS DE LAS F-100		
DENOMINACIÓN	STANDARD SM-2	RIM-7T-Evolved Sea Sparrow Missile (ESSM)
TIPO	Anti-aéreo de largo alcance	Defensa de área
ALCANCE	80 Km	30 Km
VELOCIDAD	Mach 2	Mach 3
PESO	700 Kg	280 Kg
LONGITUD	4,72 m,	3,70 m
DIÁMETRO	0.34 m	0,25 m
SISTEMA DE GUIADO	Radar semiactivo	Radar semiactivo
FABRICANTE	Raytheon	Hughes y Raytheon,
STATUS	En fase de producción	En fase de producción

Figura 6-15 Misiles antiaéreos de las F-100 [35]. .

Por último, también las piezas de artillería montadas en las fragatas tienen capacidad para hacer tiro antiaéreo, aunque su principal misión sea el fuego antisuperficie. Otro componente importante de su capacidad de defensa antimisil son sus medios de contramedidas electrónicas; las F-100 cuentan con el equipo “Aldebarán” asociado a los lanzadores de señuelos MK-36 para cartucho chaff e IR [35].

En cuanto a la guerra antisuperficie, el principal sensor de contactos de superficie es el radar AN/SPS-67, cuyo alcance máximo puede variar entre 25 y 39 millas, y en todo caso limitado al

horizonte, (véase la Figura 6-16) también cuenta con el radar SPY-1D. Para aprovechar el radio de acción máximo de los misiles superficie-superficie (Harpoon Block 1C), se hace necesario el empleo de un sensor externo al propio buque lanzador que cumpla las características OTHT (Over The Horizont) [35].

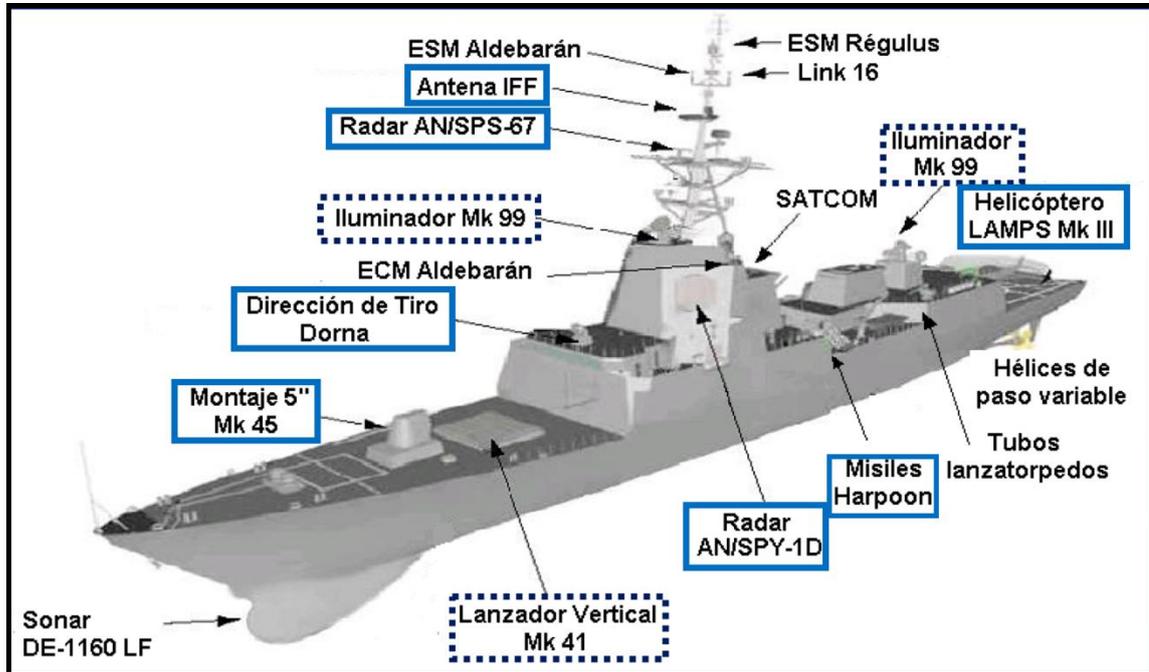


Figura 6-16 Elementos del Sistema de Guerra antisuperficie [39].

En el caso de estos buques no siempre será necesario recurrir al OTHT, ya que se puede visualizar desde las pantallas del CIC, en el propio buque, los resultados de la exploración del radar AN/SPS 124 del helicóptero Sikorsky SH-60B “Seahawk” y que cuenta con un sistema link, por lo que el lanzamiento de misiles se convierte en un lanzamiento directo aunque el blanco se encuentre hasta el límite de las 75 millas del lanzador [35]. Al mismo tiempo, se garantiza la discreción del enlace y la supervivencia del helicóptero al ser un enlace direccional y cifrado. El radar SPY también se considera un sensor de superficie pues, aunque no diseñado específicamente para ello, tiene capacidad de detección en este ambiente.

El misil Harpoon (véase la Figura 6-16) es del tipo rozaolas, con una gran capacidad para el vuelo a baja y muy baja altura, muy resistente a las ECM enemigas, poca superficie radar equivalente y gran discreción hasta la fase final del ataque, que sumado al alcance máximo ya apuntado, lo hacen uno de los mejores SSM del mercado actual. Las F- 100 dispone de ocho de ellos dispuestos en canastas dobles o cuádruples en la cubierta 01, detrás de la estructura que aloja el radar SPY [35].

Finalmente, otra característica no perceptible, pero definitiva en cuanto a la capacidad de las F-100, es la utilización de la versión táctica o larga del lanzador MK-41, lo que las convierte en el único buque del ámbito europeo con capacidad real para la adopción de misiles tácticos de ataque contra objetivos terrestres TLAM (Tactical Land-Attack Missiles), como los Tomahawk, lo que le permite atacar blancos en tierra [35].

Para proporcionar capacidad de fuego contra blancos de superficie, tiro de costa y, en cierta medida, fuego antiaéreo, se seleccionó un cañón MK-45 Mod 2 (véase Figura 6-17) de cinco pulgadas (127 mm) y 64 calibres de longitud [35]. Este cañón tiene asociada una dirección de tiro óptica DORNA, de fabricación española, que permite realizar un control total del arma mediante la adquisición y seguimiento de los blancos y la transmisión de los datos al arma [35]. Para ello dispone de sensores radar, infrarrojos, TV de bajo nivel y un telemetro láser para el seguimiento de los blancos. La dirección de tiro también puede recibir datos del radar SPY [35].



Figura 6-17 Cañón MK-45 Mod 2 [35].

Como sensores antisubmarinos dispone de un sonar DE-1160 LF (véase Figura 6-15), actualmente en su versión mejorada Improve (I), desarrollado en España y fabricado por INDRA, y desde hace unos años en servicio en las fragatas Baleares; este sonar, al ser de baja frecuencia, permite la detección activa por zona de convergencia con muy buenos resultados. Simultáneamente, permite mantener capacidad de detección pasiva antitorpedo, y asociado a un sistema SIMAS AN/UYQ 25 para el procesamiento de señales sonar [35].

Como sensor remolcado se descartó un sensor pasivo por varias razones: su alto costo, porque la Armada ya cuenta con seis buques operativos con este tipo de sensor y por las limitaciones de ellos sobre todo en operaciones próximas a la costa y ante submarinos convencionales. Por todo ello, se cuenta con instalar un sensor activo remolcado ATAS, sin estar decidido cual será; no obstante, ya se ha previsto la correspondiente reserva de espacio y desplazamiento [35].

Otro sensor antisubmarino que forma parte del sistema LAMPS III (Figura 6-18) es el lanzador y procesador de sonoboyas AN/SSQ-25 del helicóptero, el cual puede transportar un máximo de 25 sonoboyas de los tipos: pasiva omnidireccional (DIFAR), activa omnidireccional a la orden (DICASS), batitermográfica (BATHY), de medición de ruido ambiente (ANM) y de hidrófonos verticales (VLAD). Estas sonoboyas, lanzadas y posicionadas por el helicóptero, pueden ser procesadas tanto por el helicóptero como por el buque. El buque dispone de dos lanzadores dobles MK-32 mod 9 de torpedos ligeros antisubmarinos para torpedos Mk-46 mod. 5 y están controlados desde el CIC por la dirección de tiro de torpedos [35].

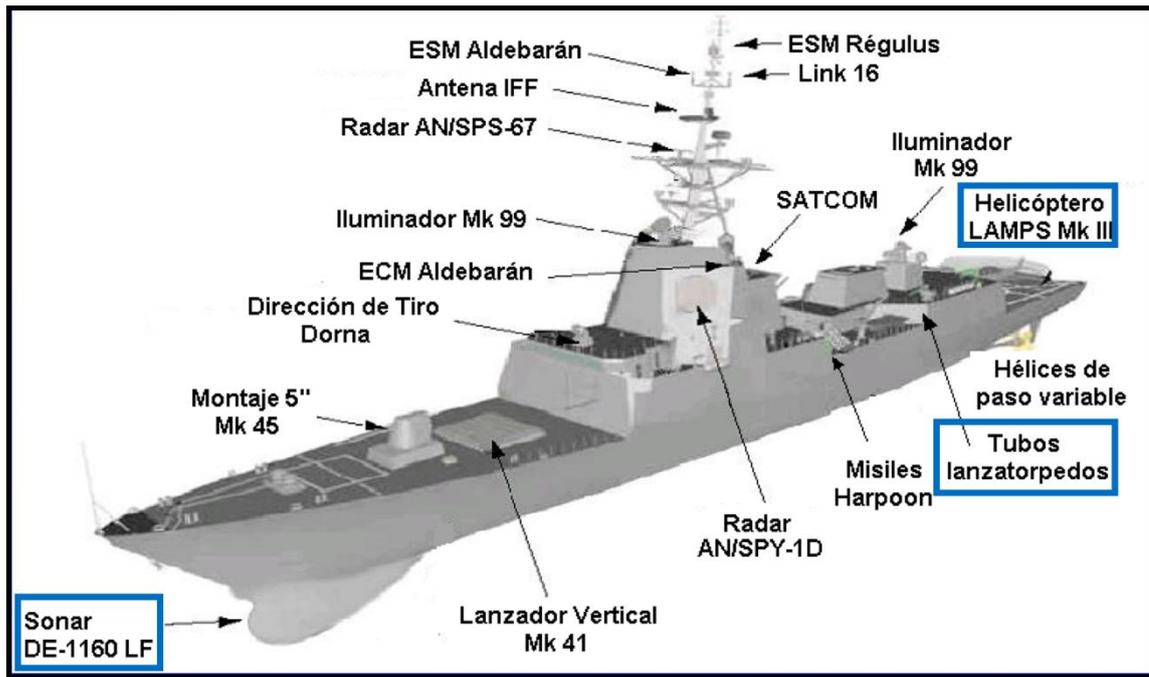


Figura 6-18 Elementos del Sistema de Guerra antisubmarina [39].

La F-100 dispone de un sistema de armas antisubmarinas además de equipos auxiliares como: teléfono submarino, batitermógrafo y sistema de predicción acústica SIMAS. Por último, en lo que se refiere a la capacidad de defensa ASW, el buque cuenta con un sistema de contramedidas de torpedos acústicos del tipo AN/SLQ-25 Nixie [35].

El equipo de guerra electrónica "Aldebarán" es el encargado de detectar, analizar y en su caso perturbar, las señales radar ajenas al barco. Tiene capacidades para realizar tareas de seguimiento de señales (SIGINT) e inteligencia electrónica (ELINT). En estas funciones se complementa con el equipo de guerra de comunicaciones "Elnath", desarrollado por INDRA, con capacidad de vigilancia del espectro de comunicaciones, inteligencia y capacidad activa. Disponen de un equipo de posicionamiento GPS y de navegación inercial [35].

El sistema de enlace cifrado de datos tácticos Link-11 es un sistema de media velocidad para intercambio de datos y difusión de órdenes de mando y control, y es capaz de interoperar con terminales en tierra o embarcados en aeronaves. Adicionalmente, se ha instalado un sistema de enlace Link-16, que permite el autocifrado en tiempo real y es muy resistente a las ECM. De una forma multiplexada permite el intercambio de información entre unidades y centros de mando en tierra, así como la coordinación de armas y la difusión de órdenes de mando y control. Como equipo Link 16, las F-100 serán las primeras unidades del mundo en llevar el sistema MIDS (Multifunctional Information Distribution System) integrado en un sistema AEGIS [35]. El sistema MIDS, denominado en la variante para la Armada sistema MOS (MIDS On Ship), fabricado por INDRA, permite el intercambio de información digital entre plataformas tácticas aéreas, navales terrestres y espaciales distribuidas en una amplia zona geográfica y añade una aplastante superioridad en el dominio de la información [35].

6.1.4.3 Sistema de comunicaciones

El buque dispone de un sistema integrado de comunicaciones, que proporciona la capacidad de comunicación tanto dentro del buque como del mismo con el exterior, desde un gran número de puestos a bordo [36].

Este sistema integra subsistemas de Comunicaciones Interiores, Comunicaciones Exteriores y el Sistema de Manejo de Mensajes (MHS) y está formado por una matriz de conmutación compuesta de nodos interconectados mediante fibra óptica a los que se conectan los diferentes elementos, ya sean

usuarios o equipos terminales de radio [36]. La matriz garantiza la separación de los circuitos con clasificación de seguridad, llamados ROJOS, de aquellos sin clasificación, llamados NEGROS [36].

Los subsistemas de comunicaciones interiores son [36]:

- Sistema de teléfonos autoexcitados, con capacidad de comunicación sin necesidad de alimentación eléctrica.
- Sistema de Intercomunicadores, con capacidad de establecer comunicaciones punto a punto mediante la llamada al punto de destino y de establecer Redes Tácticas con un número determinado de terminales asociados dependiendo de la operación a realizar. El sistema tiene algunas redes definidas pero se podrían definir otras de forma dinámica.
- Sistema de comunicaciones sin cable (hilo radiante), basado en la existencia de estaciones fijas y portátiles que se comunican mediante un cable radiante tendido por ciertas áreas del buque.
- Sistema de órdenes generales, encargado de transmitir órdenes y alarmas a la dotación mediante un sistema de amplificadores y altavoces. Los circuitos establecidos son: IMC Ordenes generales, 5MC Ordenes a la cubierta de vuelo, 6MC Ordenes entre buques y 75 MC Ordenes en las estaciones de descontaminación.
- Sistemas de entretenimiento de radio y televisión (15 TV), con capacidad para distribuir señales de radio y televisión, de tierra y de satélite a los espacios de habitación y descanso en el buque.
- Sistema de distribución de vídeo (3TV) para vigilancia de diversas áreas del buque y adiestramiento del personal, dispone de 36 cámaras de vídeo y posibilidad de presentar dicho vídeo en unos treinta puntos, desde el puente de gobierno hasta la cámara de control.

Los sistemas de comunicaciones exteriores permiten establecer contacto con el exterior del buque mediante el empleo de equipos trabajando en bandas de VLF, MF, HF, VHF, UHF y SHF [36].

Se instalan 16 receptores en la banda VLF, MF, HF, asociados a 4 antenas que pueden ser seleccionadas por el operador. La transmisión de la banda de HF se efectúa por medio de 8 equipos de banda estrecha con su antena asociada y 4 equipos que forman un sistema de banda ancha que trabaja con un conjunto de tres antenas, necesarias para cubrir toda la banda de trabajo. El buque dispone además de los elementos asociados al sistema GMDSS de seguridad en la mar [36].

La banda de VHF se cubre con dos equipos del Servicio móvil naval, dos del servicio móvil marítimo y uno del servicio móvil aeronáutico, cada uno con su correspondiente antena.

La banda de UHF, utilizada con profusión en las comunicaciones tácticas en la flota y con las aeronaves, utiliza 14 transceptores, algunos de ellos con capacidad de salto de frecuencia. Se instala también un sistema de comunicaciones digitales LINK- 16, para comunicaciones tácticas entre buques, aeronaves y fuerzas de tierra con capacidad para transmisión de voz y datos mediante un sistema de transmisión omnidireccional con espacios de tiempo asignados a cada usuario [36].

La banda de SHF, transmisión vía satélite, se cubre mediante el uso de dos sistemas, uno comercial a través de los satélites INMARSAT y otro militar a través de los satélites HISPAST y NATO IV [36].

Por último, el buque dispone también de un sistema de comunicaciones submarinas que le permite mantener comunicación con submarinos, otros buques, buceadores, etc.

7 ESTUDIO DEL CCV PARA UNA F-100 DE LA SEGUNDA SERIE TIPO “CRISTÓBAL COLÓN”

Se parte del estudio del coste de ciclo de vida del ciclo de vida de la F-105 para hacer una estimación del coste de Proyecto y de Adquisición del buque. El coste de Operación y Mantenimiento se realizará partiendo de la estructura de costes y metodología basadas en la publicación OTAN, ANEP-41, de febrero de 1991, lo que permitirá análisis comparativos directos con datos similares de otros buques de la OTAN [40]. Esta publicación es utilizada a día de hoy por empresas de ingeniería como Navantia, también se hará la estimación en base a la información suministrada por la Armada española de buques considerados como referencia.

7.1 Modelo de estimación del Coste del Ciclo de Vida (CCV)

La estimación del CCV es siempre compleja para cualquier tipo de sistema. Existen varios métodos para la estimación y muchas variantes de los mismos. En el caso del Coste de Proyecto y de Adquisición, los costes están constituidos por lo que se denomina los costes “visibles” [40]. A falta de datos reales suficientes, se realizará una estimación por el método analógico o “Top Down”. Consiste en [40]:

- Seleccionar un sistema similar existente y determinar su CCV.
- Determinar las diferencias de configuración que puedan afectar al CCV.
- Determinar los porcentajes de los elementos de la estructura del CCV.
- Determinar el CCV del nuevo sistema por combinación de los obtenidos anteriormente.

Para esta partida en concreto, coste de Proyecto y de Adquisición del buque, se tomará como sistema de referencia la F-105, en el supuesto de que el Estado decidiese sacar adelante el proyecto de construcción de una segunda fragata de la segunda serie de F-100 de la clase “Álvaro de Bazán”.

Según estudios previos como el realizado para el CCV de la F-105 y la CBS (Cost Breakdown Structure), el coste de Adquisición de un buque tipo F-100, se estima en un 40% [41]. Conociéndose que el coste de adquisición de la F-105 fue de 800.000.000 € [42], a partir de este dato y los resultados del estudio de CCV (apartado 7.5) se puede conocer la distribución de porcentajes entre las diferentes etapas que definen el CV de una fragata. (Véase Tabla 7-1).

TIPO DE COSTE	PORCENTAJE
Coste de Proyecto	19,59%
Coste de Adquisición	40,00%
Coste de Operación y Mantenimiento	40,10%
Coste de Eliminación	0,31%

Tabla 7-1 Distribución de costes de las partidas del Ciclo de Vida de un Buque.

En base a lo anterior y a los datos a los que se ha tenido acceso durante el desarrollo del presente TFG se decidió, que la partida de costes de Operación y Mantenimiento sea la más desarrollada; haciendo uso principalmente del método analógico de estimación de costes y el paramétrico con el apoyo de ANACONDA 2.0. Para ello, se utilizará información suministrada por la Armada Española relativa a los gastos anuales en el periodo 2002-2005 y, en algunos casos, durante el pasado 2015, para los siguientes buques:

- Fragata F-101 “Álvaro de Bazán”
- Fragata F-102 “Almirante Juan de Borbón”
- Fragata F-103 “Blas de Lezo”
- Fragata F-105 “Cristóbal Colón”

Por último, el coste de eliminación se obtendrá por el modelo paramétrico y por analogía con el proceso de desguace de la fragata “Balears”, tanto la definición de los costes del proceso como el beneficio obtenido del mismo. Los datos de la fragata “Balears” fueron facilitados por la empresa Aqua Servicios de Prevención. Las fragatas de la clase F-100, son los buques más similares por sus características al modelo de fragata del proyecto F-106 “Juan de Austria”, cuya aprobación está pendiente, y es idéntico al buque F-105, perteneciente a la segunda serie de fragatas. Este proyecto será el campo de aplicación práctica del programa.

Cuando ha sido posible, en virtud de la calidad y cantidad de los datos disponibles, se ha realizado la estimación técnica del coste por cálculo directo. Este procedimiento se ha utilizado para estimar los costes de combustible y lubricantes y el coste de eliminación.

7.2 Supuestos iniciales para la estimación de costes

En este apartado se definen los supuestos que se emplearán en la estimación de los costes de Operación y Mantenimiento de la fragata F-106. Se considerará el grado de utilización de la fragata durante tiempo de paz; considerando que la vida operativa de la fragata será de 30 años. También se tomará como perfil operativo el de la F-105 durante el periodo 2005-2010, es el siguiente (Tabla 7-2):

Condición	Porcentaje
Navegando	50%
En puerto	35%
Mantenimiento	15%
Total	100%

Tabla 7-2 Perfil operativo de la F-105.

Se estima que la F-106 hará una media anual de 182 días en navegación, 128 días en puerto y 55 días corresponderán al tiempo de mantenimiento. El perfil de velocidades, será el siguiente en tiempo de paz (Tabla 7-3):

PERFIL	PALANCA	VELOCIDAD	% TIEMPO (Anual)
1	15	0-3 nudos	2.00%
2	25	3-6 nudos	2.50%
3	35	6-9 nudos	4.00%
4	40	10 nudos	16.00%
5	50	12-13 nudos	20.00%
6	55/60	15 nudos	21.50%
7	65	17 nudos	16.00%
8	64	21-22 nudos	9.50%
9	75	25-26 nudos	6.00%
10	95	27-28 nudos	2.50%

Tabla 7-3 Perfil de velocidades de la F-105.

El perfil de utilización usado para el cálculo del consumo de DFM (Diesel Fuel Marine) es el siguiente, véase Tabla 7-4:

Situación	Días	%	Motor Diesel (Nº)	Turbina de Gas (Nº)	DDGG (Nº)
Navegando	182	50	-	-	2
0-12 nudos	45	12	2	-	-
12-18 nudos	76	21	2	-	-
18-máx. nudos	61	17	-	2	-
En Puerto	128	35	-	-	0
Mantenimiento	55	15	-	-	-

Tabla 7-4 Perfil de utilización de la F-105 [43].

- Para cuando el buque esté atracado en su base en puerto, se ha supuesto que será alimentado desde las instalaciones de tierra, excepto el agua caliente para la calefacción, que deberá ser generada por medios propios; como se supuso en el Estudio del CCV de la F-105 realizado por Navantia [42].
- Se ha estimado un consumo eléctrico medio diario de 2106 kW/día [42].

- Un consumo medio de aceite lubricante O-156 para cada una de las turbinas de gas LM2500 de 90 g/h.
- Un consumo específico de aceite lubricante O-278 de cada diesel generador de un 1% del consumo de combustible [42].
- Para el cálculo del gasto en combustibles y lubricantes se utilizarán los siguientes precios para el año 2015:
 - Combustible DFM: 719,4 €/Tm
 - Aceite Lubricante O-278: 1,56 €/litro
 - Aceite Lubricante O-156: 13,19 €/litro
- La distribución de la dotación será como sigue [42]:
 - Comandante: 1
 - Segundo: 1
 - Jefes de Servicio: 4
 - Oficiales: 14+1(TTE/ALF SAN)
 - Suboficiales: 34
 - Dotación: 145
 - Total: 200
- Para la actualización de los valores de coste, se usará el índice de precios al consumo para el periodo comprendido entre mayo de 2005 y Diciembre de 2015, el cual es del 19,9% según el INE (Instituto Nacional de Estadística) [44].

7.3 Cálculo de Coste de Operación y Apoyo a Bordo

7.3.1 Personal

Para el cálculo de esta partida de coste se ha utilizado los datos de costes de personal de varios buques de la Armada Española, que se han tomado como referencia para este estudio y que fueron mencionados con anterioridad en este capítulo (véase apartado 7.1). En la Tabla 7-5 aparecen los datos de la dotación de dichos buques.

Buque	Oficiales	Suboficiales	Marineros	Total
Álvaro de Bazán	21	34	145	200
Almirante Juan de Borbón	21	34	145	200
Blas de Lezo	21	34	145	200
Cristóbal Colón	21	34	145	200

Tabla 7-5 Distribución de la dotación en los buques tipo fragata de la Armada Española.

En la Figura 7-1 se muestra la distribución del personal en las distintas categorías para buques tipo fragata de la clase “Álvaro de Bazán”.

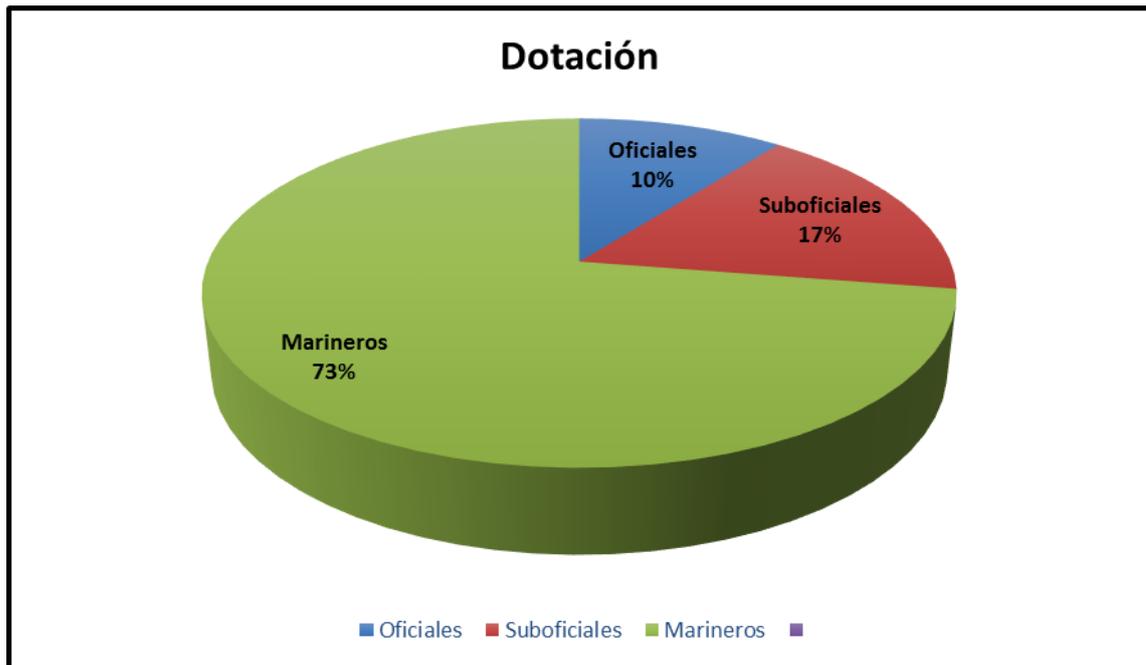


Figura 7-1 Distribución del personal en las diferentes categorías para F-100.

En base a la información del año 2005, la siguiente tabla (Tabla 7-6) muestra las retribuciones en el año 2015 de los buques que se han tomado como referencia:

Retribuciones (Año 2015) (€)

Buque	Dotación	Días de			
		Mar 24h	Básicas	Operatividad	Pluses
“Álvaro de Bazán”	200	182	4.941.502,25	1.666.111,22	105.769,78
“Almirante Juan de Borbón”	200	101	4.896.210,02	884.598,22	297.655,35
“Blas de Lezo”	200	148	5.103.334,87	961.783,85	172.530,11
“Cristóbal Colón”	200	80	6.364.700,08	1.309.308	179.130,80

Tabla 7-6 Retribuciones en el año 2015.

El total de las retribuciones de la dotación están divididas en tres conceptos:

- Retribuciones básicas, que dependen únicamente del número de miembros de la dotación y de la distribución en oficiales, suboficiales y marineros
- Retribuciones derivadas de la operatividad, que dependerá del número de días de mar, además del número de personas de dotación
- Pluses del personal profesional, que dependerá del número de miembros de la dotación.

7.3.1.1 Retribuciones básicas

Las retribuciones básicas por persona y año, para el año 2015, se muestran en la tabla siguiente (Tabla 7-7), en la que también se incluye el porcentaje de oficiales y suboficiales respecto al total de la dotación.

Buque	%Oficiales + Suboficiales	Retribución Básica € pers. y año
“Álvaro de Bazán”	27	33.567,20
“Almirante Juan de Borbón”	27	30.392,25
“Blas de Lezo”	27	31.188,39
“Cristóbal Colón”	27	31.823,86

Tabla 7-7 Retribución básica unitaria por persona y año.

En el caso de una sexta fragata de la segunda serie, F106, la proporción de oficiales y suboficiales respecto al total de la dotación es del 27%, con lo cual se puede estimar que la retribución básica unitaria estará comprendida entre 30.392,25 euros por persona y año y 33.567,20 euros por persona y año (valores del año 2015). Se tomará la media de las cuatro fragatas F-100 que corresponde a 31.742,93 euros por persona y año (precios año 2015), como retribución básica unitaria para la F-106

Esto supone un total de

31.742,93 euros/persona y año x 200 personas= **6.348.585 €/año**

7.3.1.2 Retribuciones derivadas de la operatividad

Las retribuciones derivadas de la operatividad serán función de:

- Número de personas que componen la dotación.
- Número de días de mar.

Para el año 2005, los valores obtenidos de los buques tomados como referencia para el estudio son los siguientes (Tabla 7-8):

Buque	Total	Días de Mar 24h	Retribuciones Operatividad	Coste Medio (€) por persona y día de mar
“Álvaro de Bazán”	200	221	1.389.584	31
“Almirante Juan de Borbón”	200	183	737.780	20
“Blas de Lezo”	200	111	802.155	36
“Cristóbal Colón”	200	182	1.092.000	30

Tabla 7-8 Retribuciones derivadas de la operatividad.

Tomando el coste medio de 29,25 € por persona y día de mar y refiriéndolo a valores de diciembre de 2015, obtendríamos que el valor estimado de este concepto sería de:

29,25 €/persona y día x 182 días de mar x 200 personas x 1,199 [44] = **1.276.575,3 €**

7.3.1.3 Pluses de personal militar profesional

Los pluses del personal militar serán en función del número de personas que componen la dotación. Los valores obtenidos de los buques tomados como referencia son los siguientes (Tabla 7-9).

Buque	Dotación	Pluses(€)
“Álvaro de Bazán”	200	88.215
“Almirante Juan de Borbón”	200	248.253
“Blas de Lezo”	200	143.895
“Cristóbal Colón”	200	149.400

Tabla 7-9 Pluses del personal militar profesional.

El valor medio que se obtiene es de 787,2 €/persona y año (precios 2005). Refiriéndolo a precios de Diciembre de 2015 nos quedaría un valor estimado de:

787,2 €/persona y año x 200 personas x 1,199= **188.770,56 €/año.**

7.3.2 Material

7.3.2.1 Combustibles y lubricantes

7.3.2.1.1 Consumo DFM

En base a los datos de consumos de combustible facilitados por los buques, en función de las diferentes velocidades a las que ha navegado el buque, se ha confeccionado una tabla de rangos de velocidades, a partir de la cual se han creado diez perfiles de velocidades (Tabla 7).

El consumo en litros para cada uno de los diez perfiles se calculó en base a la siguiente ecuación (30):

$$\text{Consumo}_{\text{régimen}} = \frac{\text{Litros}_{\text{combustible}}}{\text{hora}} \times \% \text{tiempo}_{\text{navegando}} \times \% \text{tiempo}_{\text{en ese perfil}} \times 8760 \quad (30)$$

Para el caso concreto de la F-105 se obtuvo un consumo total anual de 10.872,6 t, siendo el 27,79 % del consumo el correspondiente a los dos motores diésel y el 72,21% restante de las turbinas. Por tanto, partiendo del precio del gasóleo (DFM) en España que era de 600 €/t (precios año 2005) y el incremento del IPC de un 19,9% para Diciembre de 2015, nos quedaría un valor estimado de **7.821.747,34 €.**

7.3.2.1.2 Consumo de aceite lubricante

Los consumidores de aceite lubricante más importantes del buque son las turbinas de gas, los diésel generadores (DDGG), y los motores propulsores, por tanto, son los que se tomarán en consideración para el cálculo:

Turbinas de gas:

El consumo de aceite lubricante O-156 de la turbina de gas LM2500, según los datos proporcionados por la Armada Española, es de 40 litros/día.

Por ello el consumo estimado de aceite lubricante, teniendo en cuenta que el buque opera 61 días de los 182 días de navegación al año con turbina de gas, se calculará en base a la siguiente ecuación (31):

$$\text{Consumo}_{\text{O-156}} = n^{\circ} \text{ turbinas} \times \frac{\text{Litros}_{\text{O-156}}}{\text{día}} \times n^{\circ} \text{ días de uso} \quad (31)$$

Será por tanto:

$$2 \times 40 \text{ litros/día} \times 61 \text{ días/año} = 4.880 \text{ litros/año.}$$

El coste anual estimado siendo el precio de aceite lubricante O-156 de 13,189 €/litro (precios año 2015) será de:

$$4.880 \text{ litros/año} \times 13,189 \text{ €/litro} = \mathbf{64.362,32 \text{ €.}}$$

Motores DDGG

El consumo específico del aceite lubricante O-278 de los motores diesel generadores es de 1,1 g/kWh [45]; por lo tanto, el consumo de aceite lubricante de los diesel generadores vendrá dado por la ecuación (32):

$$\text{Consumo}_{\text{O-278}} = \frac{[\text{Potencia} \times \text{n}^{\circ} \text{ días de navegación} \times 24\text{h/día} \times \text{consumo específico}]}{\text{densidad}} \quad (32)$$

Será por tanto:

$$(2106 \text{ kW} \times 182 \text{ días} \times 24 \text{ h/día} \times 1,1 \text{ g/kWh})/1000 = 10.119 \text{ (kg/año)}/ 0,905 \text{ (kg/l)} = 11.243 \text{ litros/año}$$

Siendo 0,905 kg/l la densidad del aceite lubricante O-278.

El coste anual estimado siendo el precio del aceite lubricante O-278 de 1,56 €/litro (precios año 2015) será de:

$$11.243 \text{ litros/año} \times 1,56 \text{ €/litro} = \mathbf{17.539,08 \text{ €.}}$$

Motores Diesel Propulsores

El consumo específico de aceite lubricante de los motores propulsores BRAVO 16 es de 0,6 g/kW.h al 100% de carga; por tanto, teniendo en cuenta el perfil de utilización (Tabla 8) y que la potencia a una velocidad 12-18 nudos es de 1860 kW y para velocidad máxima es de 5162 kW, el consumo de aceite lubricante viene dado por la ecuación (33):

$$\text{Consumo}_{\text{aceite}} = \frac{[\text{Potencia} \times \text{n}^{\circ} \text{ días de navegación} \times 24\text{h/día} \times \text{consumo específico}]}{\text{densidad}} \quad (33)$$

Será por tanto:

$$[(1861 \text{ kW} \times 45 \text{ días} \times 24 \text{ h/día} \times 0,6 \text{ g/kWh}) + (5162 \text{ kW} \times 76 \text{ días} \times 24 \text{ h/día} \times 0,6 \text{ g/kWh})] / 1.000 = 6.821 \text{ (kg/año)}/ 0,900 \text{ (kg/l)} = 7.579 \text{ litros/año}$$

Siendo 0,900 kg/l la densidad del aceite lubricante.

El coste anual estimado siendo el precio del aceite lubricante de 1,56 €/litro (precios año 2015) será de:

$$7.579 \text{ litros/año} \times 1,56 \text{ €/litro} = \mathbf{11.823,24 \text{ €.}}$$

Gasto Total de Aceite Lubricante

El gasto total anual estimado asociado al consumo de aceite lubricante se muestra en la Tabla 7-10:

Sistema	Coste Anual (□/añõ)
Turbina de Gas	64.362,32
Motores Diesel Propulsores	17.539,08
Diesel Generadores	11.823,24
Total	93.724,64

Tabla 7-10 Gasto total de aceite lubricante.

7.3.2.2 Repuestos, pertrechos y pinturas

Los datos de los consumos de repuestos, pertrechos y pinturas referidos a precios del 2005, para las fragatas clase “Álvaro de Bazán”, se muestran en la Tabla 7-11:

Buque	Repuestos, Pertrechos, y Pinturas Año 2005 (€)
“Álvaro de Bazán”	303.898
“Almirante Juan de Borbón”	593.069
“Blas de Lezo”	408.921
“Cristóbal Colón”	436.296

Tabla 7-11 Costes de repuestos, pertrechos y pinturas de 2005.

Utilizando la media entre los cuatro buques tomados como referencia obtenemos que el gasto anual medio en repuestos, pertrechos y pinturas, a precios del año 2005 es de 435.546 €. Si este dato es referido a precios de Diciembre del año 2015 el gasto anual que obtenemos tras un aumento del IPC de un 19,9% es **522.219,65 €**.

Aquí se deberá tener en cuenta que la Armada Española cuenta con un Contrato de Mantenimiento Centralizado para el suministro de pinturas.

7.3.2.3 Suministros

Esta partida de coste incluye los siguientes conceptos:

- Vestuario
- Víveres
- Municiones

7.3.2.3.1 Vestuario

Para calcular esta partida, se utilizará el valor medio obtenido en el periodo comprendido entre los años 2002 y 2005, para los buques de la Armada Española Álvaro de Bazán y Almirante Juan de Borbón.

A partir de estos valores se obtiene un gasto medio para vestuario de 35.643 euros (precios de año 2005), con lo cual el gasto medio para vestuario, actualizado a precios de Diciembre de 2015, será de **42.736 €**.

7.3.2.3.2 Víveres

El gasto de alimentación se compone de dos partes, una fija y otra parte que depende de la operatividad del buque. La parte fija de los gastos de alimentación ascendió, en el año 2005, para las fragatas de la clase “Álvaro de Bazán”, a un total de 169.442 €, mientras que la parte derivada de la operatividad ascendió a un total de 148.875 € para 146 días de navegación de media (1020 euros/día). Por tanto los gastos estimados en alimentación, referidos a Diciembre de 2015 serán:

$$[169.442 + (1.020 \times 182)] \times 1,199 = 425.743,32 \text{ €}$$

7.3.2.3.3 Municiones

El gasto medio en municiones en el año 2005 de las fragatas clase “Álvaro de Bazán” ha sido de 334.852 €. Actualizando el gasto en municiones a Diciembre del 2015, obtenemos un valor estimado para el consumo de municiones de **401.487,55 €**.

7.3.2.3.4 Otros gastos de vida y funcionamiento

Esta partida corresponde a todos los gastos anuales que se asumen para el día a día a bordo del buque tales como [46]:

- Gastos de comunicación y transporte: correspondencia y envío de paquetería; gastos de locomoción cuando no tengan consideración de indemnización por razón de servicio o no se disponga de vehículo oficial.
- Material de oficina y publicaciones.
- Reparaciones de equipos de oficina.
- Funcionamiento de los servicios:
 - Efectos de dibujo.
 - Material de alumbrado y electricidad.
 - Materiales de limpieza, pintado y conservación.
 - Efectos de mesas y cama de camarotes, cámaras, camarotes y sollados.
 - Material y efectos de cocinas, despensas, frigoríficos y panaderías.
 - Enseres de rancho de marinería.
 - Efectos de las embarcaciones menores u equipos de las balsas salvavidas.
 - Útiles de coser.
 - Cristales y materiales de vidrio o porcelana.
- Ocio de las dotaciones:
 - Prensa.
 - Películas, videos, juegos y otros gastos de esparcimiento.
 - Trofeos y reposición de material de deportes.
- Apoyo al personal:
 - Medicamentos, y otras prestaciones sanitarias.
 - Premios en metálico a militares de reemplazo.
 - Gastos por fallecimiento de personal.

Independientemente de los gastos anteriores, de forma excepcional cuando surjan circunstancias extraordinarias, se podrán imputar al concepto 229 “Otros Gastos de Vida y Funcionamiento” los suministros menores que hayan de adquirirse directamente en establecimientos abiertos al público, de los bienes y servicios necesarios para el desarrollo de la actividad normal del B.U.I. [46]

Se entiende como actividad normal del B.U.I. al conjunto de operaciones y trabajos que le permitan desarrollar las siguientes acciones [46]:

- Mantener al B.U.I. en perfecto estado de policía.

- Desarrollar los trabajos técnicos y administrativos encomendados.
- Garantizar las actividades que conllevan la vida diaria y acomodo de las dotaciones.

Se considerarán a estos efectos que concurren circunstancias extraordinarias en las siguientes situaciones de los BUI [46]:

- Durante las estancias de los buques en puertos extranjeros.
- Durante las estancias de los buques en puertos nacionales alejados de sus Bases de Apoyo.
- Unidades desplazadas con motivo de operaciones, ejercicios, maniobras y durante el tiempo que las realicen.
- Ubicación de las Unidades e Instalaciones Navales en Centros alejados de las cabeceras de Zona Marítima o Bases de Apoyo.

Para calcular esta partida, se utilizarán los valores medios obtenidos en el periodo comprendido entre los años de 2002 y 2005 para las fragatas de la clase “Álvaro de Bazán”. Véase Tabla 7-12:

Otros Gastos de Vida y Funcionamiento Media Años 2002-2005
(precios año 2005, €)

Buque	Media Días		
	De Mar	Fija	Operatividad
Álvaro de Bazán	221	19.874	44.404
Almirante Juan de Borbón	183	19.217	52.695
Blas de Lezo	111	19.217	40.825
Cristóbal Colón	182	19.436	51.978

Tabla 7-12 Gastos de Vida y Funcionamiento.

Considerando que la parte fija de esta partida estará relacionada con la dotación total del buque, y que ésta es similar entre fragatas de la misma clase obtenemos un valor de 19.436 € a fecha de 2005, que actualizando a Diciembre del 2015 será **23.303,76 €**.

Teniendo en consideración que la parte derivada de la operatividad estará relacionada además de con la dotación total, con el número de días de mar, la medida que se obtiene en de 286 € por día de navegación, precios de año 2005. Refiriendo este valor a precios de Diciembre del 2015, obtenemos 343 € por día de navegación, lo que supone un total para la parte derivada de la operatividad de:

$$182 \text{ días de mar} \times 343 \text{ €/día} = \mathbf{62.410,35 \text{ €}}$$

Con lo cual, el total de este concepto supone **85.714,1 €**.

7.3.3 Coste de Mantenimiento en Tierra

Los costes de mantenimiento en tierra están compuestos por tres conceptos principales:

- Mantenimiento Programado.
- Mantenimiento No Programado o Incidental.
- Modernizaciones.

7.3.3.1 Coste de Mantenimiento Programado

El ciclo de mantenimiento de una nueva fragata F-106 sería el mismo que el ya implantado en la primera serie de fragatas de la Clase “Álvaro de Bazán”, véase Figura 7-2.

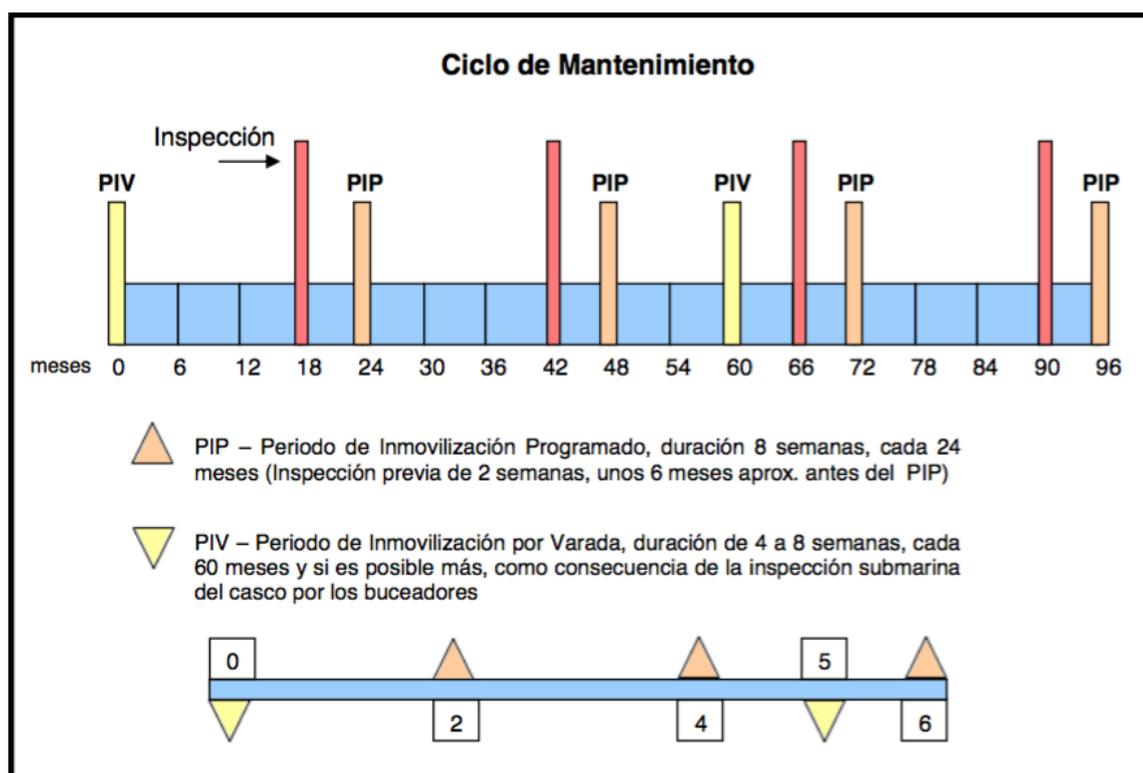


Figura 7-2 Ciclo de Mantenimiento Programado [35].

Este ciclo de mantenimiento consta de [35]:

- Periodos de Inmovilización Programada (PIP), de 8 semanas máximo de duración, cada 24 meses, precedidos de un periodo de inspección previo de dos semanas, que tiene lugar seis meses antes de la inmovilización.
- Periodos de varada de 4 a 8 semanas de duración, cada 60 meses.

Se estima un gasto anual por estos conceptos de 1.684.920 € (precios de 2005). Adicionalmente existen una serie de tareas programadas que están cubiertas por Contratos de Externalización suscritos por la DIMAN (Dirección de Mantenimiento) para ciertos sistemas, tales como recorrido de Motores Diesel, recorrido de Turbinas e gas, mantenimiento e inspección del casco, tomas de espesores, pintado del buque, etc., cuya imputación al buque, se ha estimado en 1.513.425 €/año (precios 2005).

Por tanto el gasto estimado anual, a precios del 2015, del mantenimiento programado es de **3.834.815,65 €/año**.

7.3.3.2 Coste de Mantenimiento No Programado

El mantenimiento no programado o incidental consta de [35]:

- Obras incidentales que puedan surgir durante el año en que se realiza el PIP.
- Obras incidentales que puedan surgir durante el año en el que no corresponda realizar el PIP.
- Obras incidentales que se resuelven mediante los Contratos Centralizados de Mantenimiento y que se imputan al buque.

Se estima un gasto anual de mantenimiento no programado de 1.684.920 €/año (precios de 2005), lo que a precios de 2015 se traduce en **2.020.219 €/año**.

7.3.4 Coste en Modernizaciones

El plan de modernización de los buques AEGIS de la Marina de los Estados Unidos incluye la modernización de los equipos/sistemas del casco, mecánicos y eléctrico (HM&E), y la modernización de sus sistemas de combate. En ambas áreas, la Marina de los Estados Unidos tiene previsto instalar nuevos sistemas o componentes que sean más capaces que los que se van a reemplazar [47]. Algunos de

los cambios previstos están destinados a permitir que los barcos sean operados con una menor dotación, reduciendo así sus gastos de operación anual. Los cambios previstos en los sistemas de combate Aegis de los buques están destinados, entre otras cosas, a empezar a evolucionar el hardware y software del sistema Aegis hacia una arquitectura más abierta, es decir, es decir utilizar hardware y software no propietario, que permita actualizar el sistema con mayor facilidad y menor costo durante el resto de su vida operativa. También la Marina de los Estados Unidos tiene previsto instalar, en algunos de los buques Aegis, la capacidad BMD (Ballistic Missile Defense) [47].

La actualización de un buque Aegis a una configuración básica BMD, identificada como Aegis BMD 3.6, cuesta alrededor de 10,5 millones de dólares (año 2009), mientras que la actualización del sistema a una versión más avanzada, denominada Aegis BMD 4.0.1, supone unos 45 millones de dólares (año 2009) [48].

En base a estos datos, se ha estimado un coste total de modernización para un buque tipo F-100 de 101,1 millones de euros (año 2005) durante su ciclo de vida, lo cual supone 3.369.840 €/año a precios del año 2005, que se estima en **4.040.438 €/año** (precios de 2015).

7.4 Calculo de Coste de Retirada o Eliminación

Para la estimación del coste de esta partida, se ha tomado de referencia el proceso de desguace de la fragata “Balears” con datos aportados por la empresa contratada “Aqua Servicios de Prevención”. Para desguazar un buque se debe llevar a cabo la realización de un estudio o proyecto del mismo; ya que dependiendo de en qué instalaciones se lleve a cabo el trabajo, parte del mismo podría ser realizado a flote con el consiguiente estudio de cargas retiradas y resistencia de estructuras (estudio de estabilidad), elaborado por una oficina técnica y otra parte en seco.

En el caso de ser realizado totalmente en seco, dichos costes se verían reducidos en el punto anteriormente indicado, pero incrementaríamos el coste final, al ampliarse de forma significativa el tiempo de desguace realizado en dique (coste dique).

La elección del método utilizado para el desguace es fundamental, ya que gran parte de los costes asociados a este trabajo derivan del alquiler de unas instalaciones a terceros.

La empresa que realiza el desguace tiene que contratar los servicios de un “Gestor de residuos”, ej. MARPOOL, para el tratamiento de los combustibles, aguas grises, aguas contaminadas, etc. a tener en cuenta en el proyecto.

En el caso de una fragata como la “Balears”, la presencia de revestimientos de Amianto en ciertas zonas del buque, implican el tratamiento de dichos residuos de forma especial, lo que supondría un coste adicional, formado por un Estudio y la consiguiente retirada del mismo, en la forma que la ley lo indique.

Gastos conocidos:

- PrecioSubasta.....376.000 €.
- Traslados de Ferrol a Vigo (remolcadores)..... 10.000 €.
- Amarradores..... 1.000 €.
- Alquiler instalaciones/servicios (indicados en nota adjunta) 100.000€ mensuales x 8 meses.....800.000 €.
- Trabajos submarinos (Corte domo).....100.000 €.
- Mano de obra, 10 operarios con un coste mensual de 2,000 € x 8 meses..... 160.000 €.

A estos gastos se pueden sumar los reflejados en la Tabla 7-13, siendo el coste de retirada o Eliminación a precios de 2015 aproximadamente de **1.600.051 €**.

La Fragata F-105 tiene una capacidad de desplazamiento de 4.439 toneladas, dato proporcionado por la empresa de ingeniería Navantia. La Tm de chatarra, dependiendo del tipo, se establece en 300 € a precios de 2015, suponiendo que una F-100 arroje 4.000 Tm de chatarra estándar (dato totalmente aleatorio), nos aportaría un beneficio **1.200.000 €**.

Concepto	Precios (€)
Muelle	
Por cada día/fracción de estadía en muelle. Trifas portuarias NO incluidas.	890,00
Amarradores. por cada servicio de asistencia desde tierra a la tripulación del buque en cada movimiento de amarre y desamarre.	200,00
Escalas de acceso. Por cada colocación y retirada de escalas de acceso.	300,00
Certificado de desgasificación. Primera visita del especialista.	535,00
Certificado de desgasificación. Visitas subsiguientes del especialista	230,00
Servicios generales	
Corriente eléctrica (50 Hz). Conexión / desconexión.	95,00
Consumo por kWh de contador.	0,32
Grúa para el uso del buque	
Coste por hora o fracción de grúa para servicio al buque:	
-Grúa de 15 Tm. Horario normal de trabajo (07:00 a 15:00, Lunes-Viernes).	87,00
-Grúa de 125 Tm. Horario normal de trabajo (07:00 a 15:00, Lunes-Viernes)	190,00
Aire Comprimido	
-Repartidora de 4 tomas. Conexión/desconexión. Solo uso esporádico.	77,00
-Repartidora de 4 tomas. Consumo/día de compresor. Solo uso esporádico.	63,00
Servicio contra incendios	
Conexión/desconexión a la red del Astillero. Si se requiere la fabricación/adaptación de algún conexionado especial, se facturará aparte.	135,00
Mantenimiento de la presión en línea. Precio/día de servicio.	102,00
Bombero	
Precio por día y turno de trabajo de 8h diarias en horario normal	240,00
Iluminación temporal	
Conexión/desconexión por área, a requerimiento	87,00
Coste de mantenimiento por día	82,00

Tabla 7-13 Gastos del proceso de eliminación del buque.

7.5 Cuadro resumen de los costes de cada partida del Ciclo de Vida

COSTES DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO (ANUAL)	
1. COSTE DE OPERACIÓN Y APOYO A BORDO	16.843.368 €
1.1 PERSONAL	7.450.078 €
1.1.1 RETRIBUCIONES BÁSICAS	5.343.304 €
1.1.2 RETRIBUCIONES DEBIDAS A LA OPERATIVIDAD	1.930.110 €
1.1.3 PLUSES DEL PERSONAL MILITAR	176.664 €
1.2 MATERIAL	9.393.290 €
1.2.1 COMBUSTIBLES Y LUBRICANTES	7.915.441 €
1.2.2 REPUESTOS, PERTRECHOS Y PINTURAS	522.219 €
1.2.3 SUMINISTROS	869.899 €
1.2.3.1 VESTUARIO	42.736 €
1.2.3.2 VÍVERES	425.676 €
1.2.3.3 MUNICIONES	401.487 €
1.3 OTROS GASTOS DE VIDA Y FUNCIONAMIENTO	85.729 €
2. COSTE MANTENIMIENTO EN TIERRA	9.895.472 €
2.1 MANTENIMIENTO PROGRAMADO	3.834.815 €
2.2 MANTENIMIENTO NO PROGRAMADO	2.020.219 €
2.3 MODERNIZACIONES	4.040.438 €
COSTE TOTAL	26.738.840 €
COSTE TOTAL EN 30 AÑOS DE CV (93% C_{AD})	802.165.200 €
COSTE DE RETIRADA O ELIMINACIÓN	
1. SUBASTA	376.000 €
2. TRASLADO DEL BUQUE POR REMOLCADORES	10.000 €
3. MUELLE	801.835 €
3.1 AMARRADORES	1.000 €
3.2 ALQUILER DE INSTALACIONES	800.000 €
3.3 ESCALAS	300 €
3.4 CERTIFICADO DE DESGASIFICACIÓN	535 €
4. COSTE DE MANO DE OBRA	200.000 €
5. SERVICIOS GENERALES	95 €
6. GRÚA PARA USO DEL BUQUE	277 €
7. AIRE COMPRIMIDO	77 €
8. SERVICIO C.I.	192.000 €
9. SERVICIO DE BOMBEROS	19.680 €
10. ILUMINACIÓN TEMPORAL	87 €
COSTE TOTAL	6.285.171 €
COSTE DE PROYECTO	391.832.373 €
COSTE DE ADQUISICIÓN DEL BUQUE	800.000.000 €
COSTE TOTAL DE CV	2.000.165.251 €

Figura 7-3 Cuadro resumen del CCV.

8 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

8.1 Líneas de mejora

Como se puede observar en el apartado 7.5, hay dos fases del ciclo de vida donde el coste es notablemente más elevado al resto de etapas; se trata de la etapa de Adquisición del buque y la etapa de Operación y Mantenimiento. En el presente apartado se explica el porqué de estos resultados y se proponen una serie de técnicas para la reducción del coste.

La gestión del coste debe ser implementada a lo largo de todo el CV del buque, no solo en la fase de producción, aunque el máximo esfuerzo debe hacerse en la definición del proyecto y las fases de Diseño y Desarrollo. Una vez dichas fases se han completado, el CCV de un buque, se puede entender como la integración de dos costes principales: coste de Adquisición, que resulta ser más o menos fijo; y coste Operativo y de Apoyo, de carácter variable y, a menudo, difícil de estimar y predecir.

En lo que se refiere al coste de Adquisición del buque, éste depende fundamentalmente de las necesidades de la misión. Una vez se determinan las necesidades de la misión de una nación, los medios para llevar a cabo dicha misión deben establecerse en forma de requisitos (e.g. un nuevo sistema de armas, la actualización de un sistema existente, el compromiso de cooperación entre los servicios militares de una nación o los esfuerzos coordinados entre dos o más naciones) [40]. Las necesidades militares nacionales generalmente se determinan mediante planes de defensa a largo y medio plazo [40]. Algunos factores influyentes son: la doctrina militar (publicaciones), tácticas, formación, infraestructuras, deficiencias existentes y capacidad operativa adicional deseada [40].

Se mencionó con anterioridad que aproximadamente un 80% del coste de adquisición del buque depende de la etapa de diseño del mismo. Durante dicha etapa, se hacen estudios sobre las innovaciones tecnológicas necesarias para cumplir con los requisitos de la misión, así como las modernizaciones de la tecnología ya existente pero obsoleta por el paso de los años y la evolución de las circunstancias o el tipo de misión en las que el buque se ve o se verá envuelto. No obstante, a la par que se hacen estudios de innovación tecnológica, también se realizan estudios de reducción de costes a través de la misma [40].

Las oportunidades para la reducción de costes asociados a los avances tecnológicos incluyen [40]: nuevos materiales; tecnologías de la información; diseño, ingeniería, fabricación y apoyo logístico asistidos por ordenador; así como técnicas avanzadas de producción y automatización del buque; que pertenecen a las primeras etapas del CV del buque. La aplicación de tecnología de la información y la automatización, es importante para la futura reducción de costes en la fase de servicio [40]. El uso de simulación y el prototipado virtual (SBD & VP); reducen los riesgos y minimizan los costes en todas las fases del ciclo de vida [40]. Un ejemplo de aplicación de la ingeniería de la información y la automatización es la iniciativa de Industria 4.0, anunciada este verano por el

Ministerio de Industria, Energía y Turismo; se trata de un proyecto para impulsar la transformación de la industria española, incrementando el valor añadido industrial y el empleo cualificado en el sector, así como favoreciendo el modelo español para la industria del futuro y la oferta local, y mejorando también la competitividad para impulsar exportaciones [49].

Para lograr especificaciones más asequibles, es necesaria una mayor interacción entre el diseñador y el cliente, para así establecer una mejor relación entre los costes y esos requisitos. Si se llevase a cabo este proceder, (aplicando normas y prácticas comerciales), el ahorro del coste sería de un 30% en la adquisición y del 15% en todo el ciclo de vida [40]. También existen oportunidades de reducción de costes en las áreas de [40]: eficiencia de la producción, reduciendo al mínimo los cambios de diseño; ingeniería de valor; estandarización de la producción y el procesado, o la interoperabilidad y flexibilidad a través de su vida útil.

A lo largo del proceso de adquisición, es importante tener en cuenta una serie de técnicas de gestión que son muy eficaces para controlar los costes y riesgos técnicos. Técnicas tales como [40]: revisiones de diseño, revisión de costes, análisis de opciones, los controles de recursos, retorno de la inversión y el análisis coste-beneficio, control de cambios y control de configuración. Otros métodos de gestión efectiva de los costes durante la fase de producción son: los incentivos de contratos o el sistema estadístico de control del proceso y de medición del rendimiento del contratista. Por otro lado, definir un plan de apoyo logístico integrado desde el inicio del programa, es la clave para una gestión eficaz de costes durante la fase posterior de servicio.

En cuanto a la distribución de costes del buque durante su etapa de servicio (30 años), en la Figura 8-1 se puede visualizar tal distribución, en base a los resultados obtenidos del estudio realizado del coste de ciclo de vida. En la Figura 8-2 se muestra la distribución de dichos costes según la ANEP-49 [40]. Si comparamos ambos gráficos, comprobamos que los datos de la ANEP-49 para los porcentajes de personal, mantenimiento y material coinciden con lo obtenido para el caso de estudio. No obstante, los datos obtenidos de la experiencia a bordo de los buques sometidos a estudio hasta día de hoy, muestran que los porcentajes de material, personal y mantenimiento son un poco más elevados, especialmente, los costes de material y mantenimiento [40] [42].

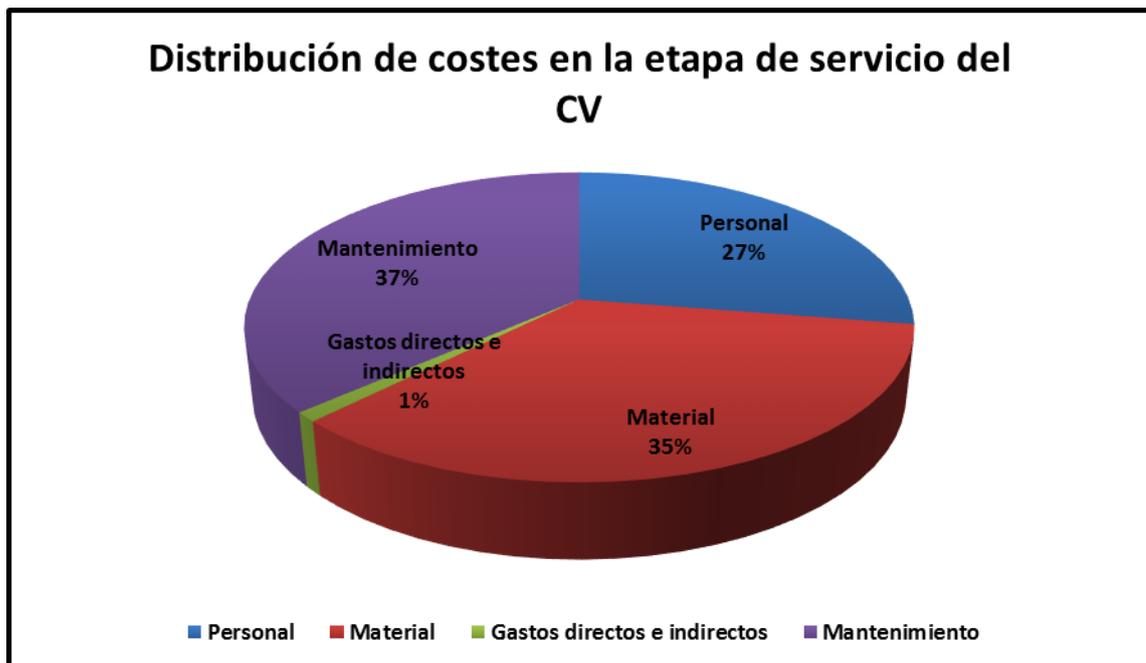


Figura 8-1 Distribución de costes en la etapa de servicio del CV.

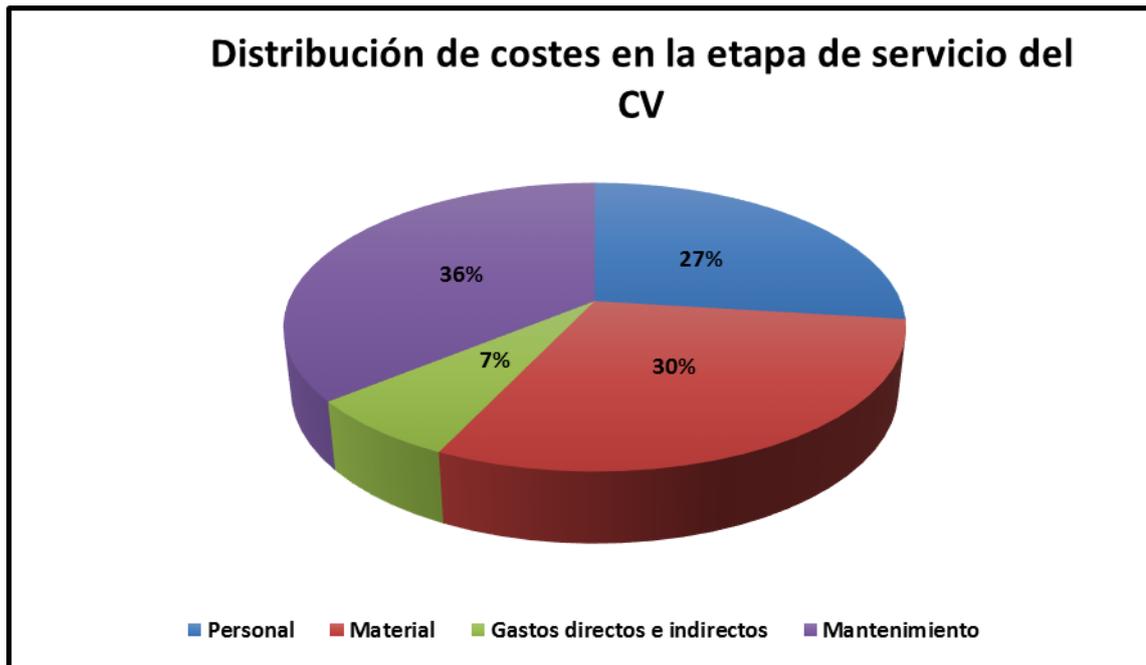


Figura 8-2 Distribución de costes en la etapa de servicio según ANEP-49 [40].

Actualmente, las empresas de ingeniería, como Navantia, aplican durante el ACV un eje de actuación del sostenimiento dentro del ámbito de gestión integrada denominado “Mantenimiento Racional”. Su objetivo es racionalizar el mantenimiento para aumentar la eficacia y reducir el coste. Para conseguir este objetivo aplican una serie de medidas, tales como [40]:

- Uso de metodologías de Mantenimiento Basado en la Fiabilidad tales como: RCM (Reliability Centered Maintenance) y RCS (Reliability Centered Spares)
- Evolucionar del mantenimiento basado en el tiempo al mantenimiento basado en la condición. Mantenimiento Preventivo vs. Mantenimiento Predictivo.
- Uso de sistemas avanzados de supervisión.
- Potenciar los centros de diagnóstico.

El mantenimiento racional, necesita de una mejora en el desarrollo de herramientas y en el adiestramiento [40]. Con esto se consigue optimizar el plan de mantenimiento, se cuenta con asistencia técnica y se evitan grandes averías, lo que supone una reducción importante del coste.

En casi todos los casos, la capacidad de ahorro es el resultado de una mayor inversión (coste añadido) en las primeras fases de investigación, ingeniería y desarrollo de fabricación. Se han definido ocho áreas donde la reducción del coste es más significativa [40]:

- Materiales
- CAD/CAE/CAM
- Software
- Técnicas de diseño y construcción
- Futura tecnología
- Cooperación internacional

No obstante, en general las nuevas tecnologías, son las que han mostrado mayor potencial a la hora de reducir los costes de los buques; además ofrecen soluciones mucho más efectivas ante problemas tecnológicos. La elevada reducción del coste asociada a innovaciones tecnológicas, existe en todas las fases del CV. Se espera una continuación en avances tecnológicos en todas las etapas de diseño, donde todos los avances técnicos en informática han resultado muy beneficiosos; al igual que en la fase de producción. En particular, es en la fase de producción y fabricación donde los esfuerzos del diseño han mostrado mayor beneficio.

La etapa de servicio dentro del CV, permite la posibilidad de reducir notablemente el coste del buque mediante la aplicación de la tecnología. La cooperación internacional en el ámbito de la tecnología está ganando en popularidad por sus beneficios en la reducción de costes y la mejora de los productos asociados con la Adquisición, Operación y Apoyo del buque.

Los programas cooperativos internacionales durante las fases iniciales de previabilidad, viabilidad, diseño, desarrollo y producción, hacen que sea posible beneficiarse de la tecnología disponible de los diferentes socios en virtud de un acuerdo de intercambio de datos.

La innovación tecnológica se basa en [40]:

- Innovación con el fin de mejorar las capacidades, mejorar el rendimiento y reducir los costes.
- Estandarización de soluciones eficaces.
- Interoperabilidad y gestión de la información.
- Desafíos tecnológicos, por ejemplo a la hora de encontrar solución a problemas particulares.
- Mejoras en la producción y en la fabricación.
- Requisitos ambientales, necesidades en seguridad y salud.
- Velocidad de procesamiento.
- Mejora de la calidad del producto.
- Objetivos nacionales y necesidades de defensa.
- Competencia.
- Reducción del coste.

La innovación tecnológica contribuye en la eficiencia del diseño; reduce el coste durante el proceso de producción a la par que mejora la calidad y reduce el coste de Operación y Mantenimiento.

Al igual que el Mantenimiento Racional, otro eje de acción relacionado con el mantenimiento sostenible son los Programas de Refresco de Tecnología (Véase Figura 8-3). De no aplicarse estos programas de refresco tecnológico, el buque no podría cumplir con las necesidades de la misión; son aplicados debido a obsolescencias o a brechas en las capacidades del buque debido a variaciones de los requisitos o de las prestaciones [50]. Estos programas se definen como el esfuerzo orientado a la inserción y/o el reemplazo continuo de elementos disponibles comercialmente, conocidos como Commercial-Off-The-Shelf (COTS), para asegurar una eficaz y eficiente soportabilidad del sistema durante su vida operativa [50]. En total son tres tipos de programas [50]:

- Actualización de la tecnología, cambio que incorpora un nuevo producto para evitar problemas de obsolescencia por fin de vida.
- Mejora de la tecnología, cambio que incorpora la nueva generación de un producto y que mejora la efectividad del sistema.

Inserción de tecnología, cambio que incorpora un nuevo producto y con ello una nueva capacidad.

- Los costes en personal militar son un elemento importante durante la etapa de servicio del buque de guerra. Las Armadas deben promover la construcción de buques que no requieran tanta tripulación para ser manejados, con el fin de disminuir el coste de mano de obra y personal a bordo. El objetivo debe ser conseguir “el tamaño adecuado”, que se ajuste a la tripulación que se ha determinado como adecuada para reducir el coste, manteniendo las capacidades operativas y sin comprometer la seguridad.
- Realizar una gestión eficaz de costes y de medidas de control de costes; y promover la mejora continua en todas las etapas del ciclo de vida para asegurar la reducción de los mismos.
- Inversiones en sistemas de contabilidad de costes, que son costosos pero resultan muy útiles en la industria, resultan fundamentales en el desarrollo de las bases de datos necesarias para realizar evaluaciones económicas efectivas.
- La cooperación internacional ofrece una significativa reducción del coste en todas las fases del ciclo de vida de un buque, aunque el proceso de colaboración en sí suponga ya un coste añadido.

8.2 Línea de investigación futura. Ecoeficiencia en la fase de Producción.

Actualmente en el mundo empresarial, en las empresas dedicadas a la producción, la construcción, etc. buscan que su actividad se comprometa con el concepto de ecoeficiencia. Esto es el uso racional de la energía y los materiales en las empresas sin verse como una actuación aislada sino que debe ir ligada a una disminución del impacto medioambiental, una conservación de los recursos naturales, una reducción de nuestra dependencia energética del exterior y una mejora en la calidad de vida de la sociedad [51].

Hoy en día la evolución de la tecnología pone al alcance de las empresas nuevos medios con los que conseguir una importante reducción del consumo de recursos y mejorar la eficiencia de los equipos e instalaciones, todo ello manteniendo las prestaciones de las actividades y procesos productivos, y disminuyendo los costes económicos.

La conciencia medioambiental es fundamental a la hora de gestionar cualquier empresa de forma medioambientalmente sostenible. Los recursos consumidos y los residuos producidos, deben minimizarse, con la intención de reducir el impacto sobre el medioambiente, consiguiendo además al mismo tiempo, una reducción en los costes económicos de explotación de la empresa. A este concepto se le denomina ecoeficiencia.

Según el Consejo Mundial de Empresas para el Desarrollo Sostenible (WBCSD) una empresa se puede considerar ecoeficiente “cuando es capaz de ofertar productos y servicios a un precio competitivo, que satisfacen necesidades humanas, incrementando su calidad de vida, reduciendo progresivamente el impacto medioambiental y la intensidad del uso de recursos a lo largo de su ciclo de vida, al menos hasta el nivel de capacidad de carga del planeta”, es decir, cuando es capaz de producir más con menos [51].

8.2.1 Técnicas para alcanzar la ecoeficiencia

8.2.1.1 Sistemas de Gestión Medioambiental (SGMA)

Un sistema de gestión medioambiental es una herramienta de trabajo para sistematizar las buenas prácticas realizadas hasta el momento y asegurar una mejora paulatina [51]. Permite incorporar el medio ambiente a la gestión de la empresa, dándole un valor estratégico y una ventaja competitiva.

Los SGMA permiten obtener múltiples beneficios, entre los cuales se destacan [51]:

- Mejora de la gestión empresarial y del grado de competitividad de la empresa dentro del sector.
- Disminución de los costes a través del control y reducción de materias primas, recursos y energía, pudiendo obtener ingresos adicionales por la venta de subproductos y residuos generados.

- Diagnóstico y corrección de ineficiencias en los distintos equipos y procesos, optimizando su rendimiento energético.
- Optimización de los recursos energéticos y de materiales en la empresa con el consiguiente ahorro de energía y materias primas, disminuyendo así los costes asociados.
- Impulso de las estrategias de marketing para la diferenciación del producto a través de la consecución del etiquetado ecológico.
- Anticipación al mercado y a las exigencias futuras, especialmente en lo referente al cumplimiento de la legislación medioambiental.
- Aumento de la motivación de los empleados.

8.2.1.2 El Análisis de Ciclo de Vida (huella de carbono)

Para minimizar el impacto ambiental, la gestión empresarial debe realizarse teniendo una visión global del proceso, desde su diseño hasta la retirada o eliminación, de manera que se conozcan los recursos consumidos por unidad de producto y los residuos que se generan.

El análisis de ciclo de vida desde una perspectiva ambiental, es un proceso objetivo para evaluar las cargas ambientales asociadas a un producto, proceso y actividad [51]. Esto se lleva a término identificando la energía y materia utilizadas, además de los residuos vertidos al medio, determinando el impacto de este desde uso de energía y materias y de las descargas al medio o evaluando e implementando prácticas de mejora ambiental. El análisis incluye el estudio del CV completo del producto, proceso o actividad, y comprende las etapas de extracción y procesado de materias primas; manufactura, transporte y distribución; uso, reutilización y mantenimiento; reciclaje y destino final de la fracción de residuos [51].

8.2.1.3 El ecodiseño

El ecodiseño puede definirse como el conjunto de acciones orientadas a la mejora medioambiental de un producto en la etapa de diseño, mediante la mejora de su función desempeñada, la selección de materiales menos impactantes para su fabricación, la aplicación de procesos de mínimo impacto ambiental, la mejora en el transporte y en el uso del producto, y la minimización de los impactos en la disposición final del producto [51].

Su objetivo es reducir el impacto ambiental de un producto a lo largo de su ciclo de vida. El ACV constituye la base para selección de los materiales utilizados en la elaboración de un producto ya que permite detectar y eliminar el uso de materiales y procesos tóxicos así como reducir el número de componentes y materiales distintos empleados en la fabricación de un producto, lo que se conoce como desmaterialización del producto [51].

8.2.1.4 Aplicación práctica

Durante el proceso de construcción de un buque que se lleva a cabo en los astilleros, se desarrollan una serie de actividades que como se ha dicho ejercen su propio impacto sobre el medio ambiente. Sus repercusiones no solo pueden afectar al ambiente sino también a la propia seguridad física, a la salud de los trabajadores durante la construcción del mismo. Es por esto interesante realizar un estudio de ecoeficiencia de la fase de producción o construcción del buque, buscando una disminución de malas repercusiones ambientales, de salud y una mejora en la reducción del coste y en el prestigio de la empresa constructora por su respeto y colaboración en el cuidado del medioambiente.

Por ejemplo, en el caso del proceso de paneles y uniones soldadas para el casco de un buque se estructura, en función de los productos básicos (chapas y perfiles) en los siguientes pasos (véase Figura 8-4).

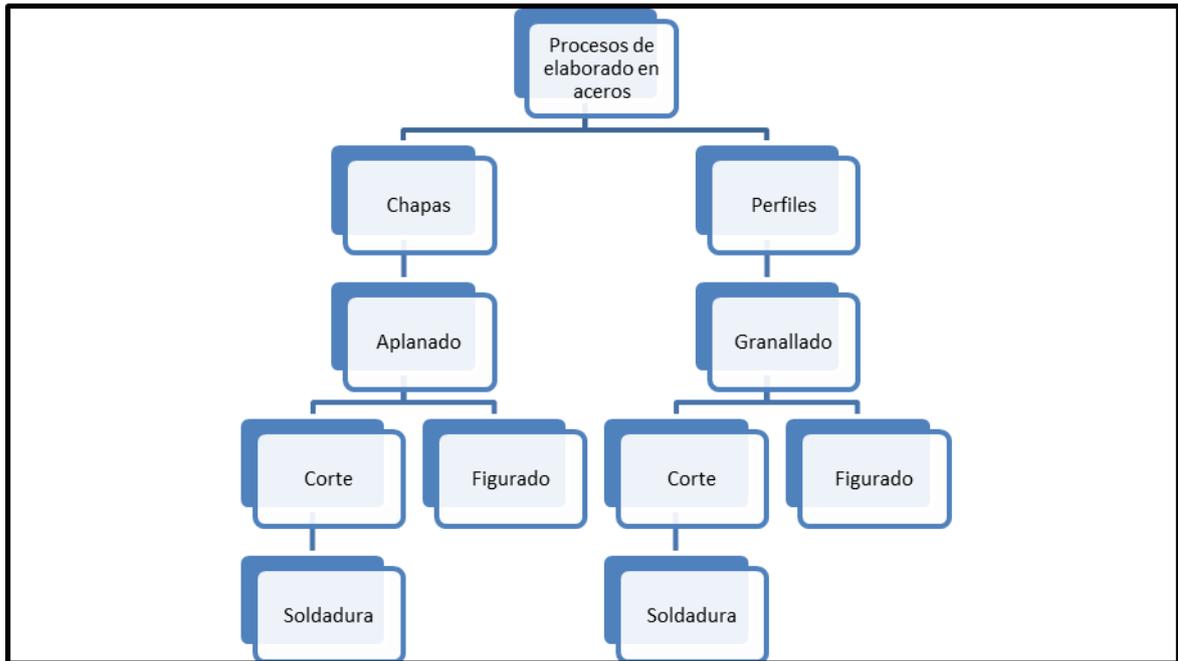


Figura 8-4 Proceso de elaborado de acero.

Las siguientes imágenes (cedidas por el taller de Elaborado U.P. Navantia Ferrol), muestran un plano del taller de Aceros con los hitos principales del proceso constructivo, véase Figura 8-5.

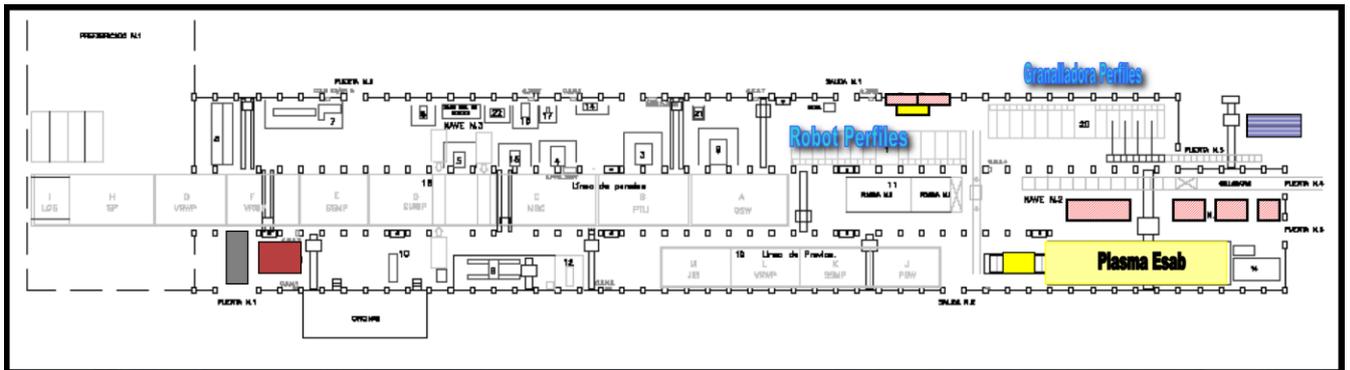


Figura 8-5 Línea de Previas.

A modo de ejemplo, para ilustrar cómo sería este análisis se ha seleccionado una máquina que se considera crítica dentro de este proceso, en concreto, la máquina de corte por plasma. El corte por plasma es un proceso que se utiliza para cortar el acero y otros metales de diferentes espesores (en ocasiones se cortan otros materiales) con una antorcha de plasma. En este proceso, un gas inerte es soplado a alta velocidad de una boquilla, al mismo tiempo un arco eléctrico que se forma a través de la boquilla hace posible que el gas lo pase al cuarto estado de la materia, el plasma, el cual logra el corte del metal. El plasma es lo suficientemente caliente para derretir metal haciendo un corte sobre el mismo.

El equipo necesario para aportar esta energía consiste en un generador de alta frecuencia alimentado de energía eléctrica, gas para generar la llama de calentamiento (argón, hidrógeno, nitrógeno), y un portaelectrodos y electrodo que dependiendo del gas puede ser de tungsteno, hafnio o circonio.

Los elementos de esta máquina que podrían resultar perjudiciales tanto para la salud, como para el medio ambiente son los gases.

En el caso del argón la sustancia puede ser absorbida por el cuerpo por inhalación. En caso de escape en el contenedor este líquido se evapora muy rápidamente provocando supersaturación del aire con grave peligro de asfixia cuando esto ocurre en un recinto cerrado. Sus efectos sobre el operario serían: mareos, pesadez, dolor de cabeza, asfixia, congelación de la piel o los ojos en contacto con el líquido [52].

Este gas es inerte y está clasificado como un asfixiante simple. La inhalación de éste en concentraciones excesivas puede resultar en mareos, náuseas, vómitos, pérdida de consciencia y muerte. La muerte puede resultar de errores de juicio, confusión, o pérdida de la consciencia, que impiden el auto-rescate. A bajas concentraciones de oxígeno, la pérdida de consciencia y la muerte pueden ocurrir en segundos sin ninguna advertencia [52].

En cuanto a los efectos del argón sobre el medio ambiente, no son destacables. No se conocen efectos ambientales negativos causados por el argón ni se esperan consecuencias ambientales adversas. El argón se da naturalmente en el medio ambiente. El gas se disipará rápidamente en áreas bien ventiladas. Actualmente no se conocen los efectos del argón en plantas y animales. No se espera que perjudique a los organismos acuáticos. El argón no contiene ningún material que deteriore la capa de ozono y no está incluido en la lista de contaminantes marinos del DOT (Departamento de Transportes, E.E.U.U.) [52].

Por otro lado el hidrógeno, al ser más ligero que el aire, es extremadamente inflamable si se expone al fuego, su mezcla con el aire es explosiva, se pueden producir combustiones violentas con el aire y también con el oxígeno, halógenos y oxidantes fuertes. La sustancia puede ser absorbida por el cuerpo por inhalación, lo cual a altas concentraciones pueden causar un ambiente deficiente de oxígeno. Los individuos pueden experimentar síntomas parecidos a los que provoca el argón: pitido de oídos, somnolencia, mareos, náuseas, vómitos, y depresión de todos los sentidos [52].

En lo referente a su repercusión ambiental, tampoco es destacable, ya que existe naturalmente en la atmósfera y se disipará rápidamente en áreas bien ventiladas, evitando riesgos derivados de la deficiencia de oxígeno [52]

El nitrógeno, sin embargo, es conocido por causar varios efectos sobre la salud relacionados con la sangre. Puede reaccionar con la hemoglobina causando una disminución del operario en su capacidad de transporte de oxígeno en sangre; disminución del funcionamiento de la glándula tiroidea; bajo almacenamiento de vitamina A; y producción de nitrosaminas, las cuales son conocidas como una de las causas más comunes de cáncer [52].

La adición del nitrógeno enlazado en el ambiente tiene varios efectos: puede cambiar la composición de ciertas especies debido a la susceptibilidad de ciertos organismos.

El tungsteno, es un elemento natural, metálico, que según estudios de salud realizados en Estados Unidos se ha demostrado que puede duplicar el riesgo del operario a sufrir un derrame cerebral. Se ha observado en dichos estudios que las altas concentraciones de tungsteno medidas en la orina, están fuertemente vinculadas con el aumento de incidencias cerebrovasculares duplicando las posibilidades de padecer una enfermedad de este tipo. En cuanto a sus repercusiones ambientales, no se conocen datos específicos relativos a la ecotoxicidad.

El hafnio no presenta repercusiones destacables en la salud ni en el medio ambiente. Por experiencias con animales se ha observado que la toxicidad del hafnio metálico o su polvo provocan irritaciones en la piel, los ojos, la membrana mucosa y daños hepáticos.

Por último el circonio, es uno de los radionucleidos implicados en las pruebas atmosféricas de armas nucleares. Está entre los radionucleidos que han producido y continuarán produciendo elevación de los riesgos de cáncer, durante las décadas y siglos venideros; alteraciones genéticas (no solo en seres humanos, también en animales y plantas) y toxicidad del sistema nervioso. Sus altas concentraciones en el medio ambiente pueden producir contaminación local: del agua, los suelos, el

aire, la flora y la fauna; y a efectos globales pérdida de la capa de ozono, efecto invernadero, y pérdida de la biodiversidad [53].

8.2.1.5 Medidas de seguridad

Las máquinas llevan consigo un manual donde se enumeran las diferentes medidas de seguridad que se deben tener en cuenta a la hora de trabajar con las mismas. Algunas de éstas son [54] [55]:

- En el caso de esta máquina, todos los espacios indispensables para el manejo, el mantenimiento y la reparación de la máquina deben permanecer siempre libres y accesibles.
- La máquina debe situarse de modo que deje un espacio libre de 500 mm como mínimo hacia todos los lados.
- Mantener limpio y sin obstáculos el entorno de trabajo.
- Apagar la máquina de oxicorte y cortar el suministro de corriente, gas y otros medios ya sea antes de abandonar la máquina o antes de iniciar tareas de mantenimiento y limpieza.
- Los operadores de las máquinas están obligados a llevar el cabello recogido, ropa ceñida y quitarse las joyas, anillos y relojes incluidos. De lo contrario, correrá el riesgo de lesionarse al quedar enganchado en las piezas móviles de la máquina.
- Para realizar trabajos de oxicorte es obligatorio llevar puesto el equipo de protección individual.
- No dejar que salga gas por ningún soplete antes de encender la llama.
- No combinar nunca sopletes y boquillas de marcas diferentes. Dichas combinaciones podrían provocar explosiones.

9 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Agency, NATO Standardization, ANEP-41 ship costing, 4 ed., 2006.
- [2] R. O. Maturana y D. A. N. GALERA, Una propuesta metodológica para la estimación del coste del ciclo de vida en inversiones militares., Granada: Editorial de la Universidad de Granada, 2008.
- [3] W. J. Fabrycky, Análisis del coste del ciclo de vida de los sistemas., Isdefe, 1997.
- [4] Y. P. Gupta, «Life cycle cost models and associated uncertainties,» de *Electronic Systems Effectiveness and Life Cycle Costing*, 1983, pp. 535-549.
- [5] Y. Asiedu y P. Gu, «Product life cycle cost analysis: state of the art review,» *International Journal of Production Research*, vol. 36, nº 4, pp. 883-908, 1998.
- [6] S. Dowlatshahi, «Product design in a concurrent engineering environment: an optimization approach,» *Journal of Production research*, vol. 30, nº 8, pp. 1803-1818, 1992.
- [7] E. B. Dean y R. Unal, «Elements of designing for cost. In proceedings of AIAA,» de *Aerospace design conference*, 1992.
- [8] K.-K. Seo, J.-H. Park, D.-S. Jang y D. Wallace, «Approximate estimation of the product life cycle cost using artificial neural networks in conceptual design,» vol. 19, pp. 461-471, 2002.
- [9] J.-D. Caprace y P. Rigo, «Towards a short time “feature-based costing” for ship design,» *Journal of marine science and technology*, vol. 17, nº 2, pp. 216-230, 2012.
- [10] M. Landamore, R. Birmingham y M. Downie, «Establishing the economic and environmental life-cycle costs of marine systems: A case study from the recreational craft sector,» *Marine of Technology*, vol. 44, nº 2, pp. 106-117, 2007.
- [11] O. Turan, A. Ölçer, I. Lazakis, P. Rigo y J.-D. Caprace, «Maintenance/repair and production-oriented life cycle cost/earning model for ship structural optimisation during conceptual design stage,» *Ships of Offshore Structure*, vol. 4, nº 2, pp. 107-125, 2009.
- [12] G. Gratsos y P. Zachariadis, «Life cycle cost of maintaining the effectiveness of a ship’s structure and environmental impact of ship design parameters,» *Hellenic chamber of shipping*, 2007.
- [13] J. Mackenzie, «Turn your company’s strategy into reality,» *Manufacturing Management*, pp. 6-8, 1997.
- [14] J. Woodhouse, «Managing Industrial Risk.,» *Chapman Hill Inc*, pp. 200-241, 1993.

- [15] C. Parra, A. C. Márquez, P. C. Moreno y S. Fygueroa, «Ingeniería de fiabilidad aplicada al proceso de análisis de coste de ciclo de vida (accv). Revisión de modelos básicos.,» n° 47, pp. 31-43, 2006.
- [16] T. Markeset y U. Kumar, «R&M and risk-analysis tools in product design, to reduce life-cycle cost and improve attractiveness,» de *Reliability and Maintainability Symposium, 2001. Proceedings. Annual*, 2001.
- [17] B. Blanchard, «Maintenance and support: a critical element in the system life cycle,» de *Proceedings of the International Conference of Maintenance Societies, paper*, 2001.
- [18] B. S. Benjamin y W. Fabrycky, *Systems engineering and Analysis*, 3 ed., Prentice-Hall, upper Saddle River, NJ., 1998.
- [19] D. G. Woodward, «Life cycle costing—theory, information acquisition and application,» *International Journal of Project Management*, vol. 15, n° 6, pp. 335-334, 1997.
- [20] C. Smith y J. Knezevic, «Achieving quality through supportability-part I: concepts and principles,» vol. 2, n° 2, pp. 21-29, 1996.
- [21] K. Goffin, «Design for supportability: essential component of new product development,» vol. 43, n° 2, p. 40, 2000.
- [22] S. K. Durairaj, S. K. Ong, A. Y. Nee y R. B. Tan, «Evaluation of life cycle cost analysis methodologies,» vol. 9, n° 1, pp. 30-39, 2002.
- [23] I. Thompson, «El ciclo de vida del producto,» 2006.
- [24] H. J. M. C. Lamb Charles, *Marketing*, 6 ed., International Thomson Editores S.A., 2002, p.333.
- [25] E. M. y W. B. Stanon William, *Fundamentos de Marketing*, 13 ed., M. G. Hill, Ed., 2004.
- [26] S. L. Richard, *Mercadotecnia*, 1 ed., C. E. Continental, Ed., 2002, pp. 389-393.
- [27] Mercadeoypublicidad.com, «Mercadeoypublicidad.com,» 1999. [En línea]. Available: <http://mercadeoypublicidad.com/Secciones/Biblioteca/DetalleBiblioteca.php?recordID=6410>. [Último acceso: 14 Enero 2016].
- [28] E. C. Taliani y J. L. Alvarez, «Los costes del ciclo de vida del producto: marco conceptual en la nueva contabilidad de gestion,» pp. 929-955, 1994.
- [29] Comisión Europea, [En línea]. Available: http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=home.showFile&rep=file&fil=ECOIL_Ciclo_de_Vida.pdf;. [Último acceso: 14 Enero 2016].
- [30] C. Gorman, *El Coste del Ciclo de Vida*, AENOR. Asociación Española de Normalización y Certificación, 2004.
- [31] «Diario Oficial de la Unión Europea,» 14 12 2011. [En línea]. Available: https://www.gernaval.org/Ayudas_CN/marcodeayudas_2012_2013.pdf;. [Último acceso: 16 01 2016].
- [32] Madrid, Bazán D.I.T., *Programa para la estimación del coste del ciclo de vida de un buque de guerra. ANACONDA 1.1*, Madrid, 1991.
- [33] Madrid, Bazán D.I.T., *Especificaciones del modelo de estimación del Coste de Ciclo de Vida de buques de guerra. "ANACONDA 1.1"*, Madrid, 1991.
- [34] Armada Española, «Armada Española,» [En línea]. Available: <http://www.armada.mde.es/>;. [Último acceso: 01 02 2016].

- [35] [En línea]. Available: <http://www.taringa.net/post/imagenes/18868226/Fragata-F-105-Cristobal-Colon-en-Barcelona.html>; [Último acceso: 01 02 2016].
- [36] Asociación de Milicias Militares Universitarias, «Fragata Álvaro de Bazán: la primera fragata de la Armada Española del siglo XXI,» *Revista de Ingeniería Naval*, 2002. [En línea]. Available: http://www.mnu.es/amnu_rin2.htm#5disposicion; [Último acceso: 01 02 2016].
- [37] D. Rioseco, *Curso Interno engranajes reductores. Navantia U.P. Turbinas*, Ferrol, 2015.
- [38] GE Marine Engines, Technical manual. Propulsion gas turbine system., Vols. %1 de %2GEK 50500-23, Cincinnati, Ohio.
- [39] Escuela Naval Militar. Jefatura de Estudios, *Táctica Naval III. Generalidades del sistema de combate de las F-100*, Marín, Pontevedra, 2016.
- [40] (MAS), Military Agency for Standardization, ANEP-49 Ways to reduce costs of ships, 2 ed., 2001.
- [41] Asociación de Fabricantes de armamento y material de Defensa y Seguridad, CALS para empresas, 1995.
- [42] Madrid, Navantia, *Fragata F-105. Fase de Desarrollo y Producción.*, Vols. %1 de %2DOCUMENTO N°: 814-9-14-001, Madrid, 2012.
- [43] Navantia, Balance eléctrico y dimensionamiento de la Planta Eléctrica, vol. 3003000001RD.
- [44] Instituto Nacional de Estadística, «www.ine.es,» [En línea]. Available: <http://www.ine.es>. [Último acceso: 2016].
- [45] Navantia, Diesel Generator Sets P.T.S., D ed., Vols. %1 de %2DOCUMENTO N°: 311-32-001-0T, 2009.
- [46] E. y. A. E. N. M. Departamento de Logística, *Gestión de Economía. Justificación de gastos.*, 2014.
- [47] R. O'Rourke, *Navy Aegis Cruiser and Destroyer Modernization: Background and Issues for Congress*, DIANE Publishing, 2010.
- [48] R. O'Rourke, *Sea-Based Ballistic Missile Defense-Background and Issues for Congress*, 2009.
- [49] R. V. Caro, «[exponav.org](http://www.exponav.org),» 23 Octubre 2015. [En línea]. Available: <http://www.exponav.org/la-industria-inteligente-el-astillero-4-0/>. [Último acceso: 2016].
- [50] Navantia;, *6NSS Ankara. Through life support. Sustaining the capability after acquisition*, 2015.
- [51] A. Aranda, I. Zabalza, A. Martínez, A. Valero y S. Scarpellini, *El análisis del ciclo de vida como herramienta de gestión empresarial*, Madrid, 2006.
- [52] «[Lenntech](http://www.lenntech.com),» [En línea]. Available: <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/zr.htm>.
- [53] «[istas.com](http://www.istas.com),» [En línea]. Available: <http://www.istas.net/web/index.asp?idpagina=3461>.
- [54] ESAB, Manual de instrucciones. Máquina de corte TELEREX TXB., Vols. %1 de %20.401.006-E.
- [55] ESAB, Manual de instrucciones máquina de plasma Complejo nuevo Bloques Curvos. Anexo B.