

Trabajo Fin de Máster

Ingeniería Industrial

Cálculo del Ciclo de Vida de un motor diésel

Autor: Ana María González García
Tutor: Antonio Sánchez Herguedas

Dpto. de Organización Industrial y Gestión de Empresas I
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2021



Trabajo Fin de Máster
Ingeniería Industrial

Cálculo del Ciclo de Vida de un motor diésel

Autora:
Ana María González García

Tutor:
Antonio Sánchez Herguedas
Profesor Contratado Doctor

Dpto. de Organización Industrial y Gestión de Empresas I
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla
Sevilla, 2021

Trabajo Fin de Máster: Cálculo del Ciclo de Vida de un motor diésel

Autor: Ana María González García

Tutor: Antonio Sánchez Herguedas

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2021

El Secretario del Tribunal

Agradecimientos

A mi tutor Antonio, por todo lo que me ha enseñado durante este proceso.

A mis padres, por el apoyo incondicional.

A mi hermano, por todos sus consejos y ayuda.

A Mauri, por creer siempre en mí.

Gracias, sin vosotros no hubiera sido posible.

Resumen

En la actualidad se exige que la fiabilidad sea una característica intrínseca de los productos. Además, éstos deben desempeñar sus funciones de forma segura, sin excesivo impacto en el medioambiente y ser fáciles de mantener durante su vida útil. Por tanto, la decisión de compra de un producto no puede estar basada solamente en el coste de adquisición, sino también en los costes de operación y mantenimiento (coste de propiedad) previstos durante su Ciclo de Vida y el coste de eliminación.

El análisis del Coste del Ciclo de Vida es proceso de recolección, interpretación, análisis de datos, aplicación de herramientas y técnicas cuantitativas para predecir los recursos necesarios en cualquier paso del Ciclo de Vida de un sistema de interés. Está destinado a evaluar y cuantificar el coste total de un artículo durante su Ciclo de Vida o parte del mismo. También permite analizar los costes de un producto desde diferentes perspectivas, como son la del productor y la del consumidor.

Tal y como se indica en el título del presente proyecto, con él se pretende cuantificar los costes totales de la fase de utilización de un motor diésel de altas prestaciones. Para ello, se definirán las tareas de mantenimiento, recursos y variables que intervienen durante el periodo de operación y mantenimiento del motor. Asimismo, se evaluará el impacto económico de los costes, proponiéndose medidas para reducirlos.

Abstract

Reliability is now required to be an intrinsic feature of products. In addition, they must perform their functions safely, without excessive impact on the environment and be easy to maintain during their useful life. Therefore, the decision to purchase a product cannot be based only on the acquisition cost, but also on the operation and maintenance costs (cost ownership) expected during its Life Cycle and the cost of disposal.

The Life Cycle Cost analysis is the process of collecting, interpreting, analyzing data, applying tools and quantitative techniques to predict the necessary resources at any step in the Life Cycle of a system of interest. It is intended to evaluate and quantify the total cost of an item during its Life Cycle or part of it. Analysing the costs of a product from different perspectives, such as the producer and the consumer, is also allowed.

As indicated in the title of this project, it is intended to quantify the total costs of the use phase of a high-performance diesel engine. For this, the maintenance tasks, resources and variables that intervene during the period of operation and maintenance of the engine will be defined. Likewise, the economic impact of costs will be evaluated, proposing measures to reduce them.

Agradecimientos	vi
Resumen	viii
Abstract	ix
Índice	xi
Índice de Tablas	xiv
Índice de Figuras	xvi
Notación	i
1 Introducción	11
1.1 <i>Introducción al Coste del Ciclo de Vida</i>	11
1.2 <i>Objetivo del proyecto</i>	12
2 Antecedentes al Coste del Ciclo de Vida	13
2.1 <i>Evolución histórica del Análisis del Coste del Ciclo de Vida</i>	13
3 Análisis del Coste del Ciclo de Vida según UNE-EN 60300	15
3.1 <i>Objetivo del cálculo del Coste del Ciclo de Vida</i>	15
3.2 <i>Fases del Ciclo de Vida del producto y Coste del Ciclo de Vida</i>	16
3.3 <i>Proceso de Coste del Ciclo de Vida</i>	18
3.3.1 <i>Establecer el contexto organizacional</i>	18
3.3.1.1 <i>Formular el contexto</i>	18
3.3.1.2 <i>Identificar alternativas</i>	18
3.3.2 <i>Planificar el análisis</i>	19
3.3.2.1 <i>Definir el alcance y objetivos del análisis</i>	19
3.3.2.2 <i>Definir tareas de análisis e identificar al personal que contribuye</i>	19
3.3.2.3 <i>Identificar restricciones</i>	20
3.3.2.4 <i>Identificar parámetros financieros relevantes</i>	20
3.3.3 <i>Definir el enfoque de análisis</i>	20
3.3.3.1 <i>Establecer reglas / metodología</i>	20
3.3.3.2 <i>Seleccionar o desarrollar un modelo del Coste del Ciclo de Vida</i>	21
3.3.3.3 <i>Definir la estructura de desglose de costes</i>	21
3.3.3.4 <i>Identificar áreas de incertidumbre</i>	23
3.3.4 <i>Realizar el análisis</i>	24
3.3.4.1 <i>Establecer métodos para estimar elementos de coste</i>	24
3.3.4.2 <i>Recopilar datos de costes</i>	24
3.3.4.3 <i>Coste agregado por artículo para cada etapa o período de tiempo</i>	24
3.3.4.4 <i>Realizar el Análisis del Coste del Ciclo de Vida y análisis de sensibilidad</i>	25
3.3.4.5 <i>Análisis de revisión</i>	25
3.3.4.6 <i>Evaluar el logro de los objetivos del análisis</i>	25
3.3.5 <i>Finalizar el análisis</i>	26
3.3.5.1 <i>Identificar acciones de seguimiento</i>	26
3.3.5.2 <i>Análisis de documentos</i>	26
3.4 <i>Estructura de desglose de costes por etapa del Ciclo de Vida</i>	26

3.4.1	Elemento de coste de las etapas del Ciclo de Vida.....	27
3.4.1.1	Concepto.....	27
3.4.1.2	Desarrollo.....	27
3.4.1.3	Realización.....	27
3.4.1.4	Utilización.....	28
3.4.1.5	Mejora.....	29
3.4.1.6	Retirada.....	29
3.4.2	Explicación de la clase de coste.....	29
3.4.2.1	Gestión de proyectos.....	29
3.4.2.2	Ingeniería.....	30
3.4.2.3	Ingeniería y planificación de la producibilidad.....	30
3.4.2.4	Fabricación.....	30
3.4.2.5	Instalaciones.....	30
3.4.2.6	Equipo de prueba y soporte.....	30
3.4.2.7	Formación inicial.....	30
3.4.2.8	Repuestos iniciales y piezas de reparación.....	30
3.4.2.9	Consumibles.....	30
3.4.2.10	Servicios de contratistas.....	31
3.5	<i>Modelos del coste del del Ciclo de Vida.....</i>	31
4	El motor diésel.....	33
4.1	<i>Introducción al motor diésel.....</i>	33
4.2	<i>El motor diésel objeto de estudio.....</i>	34
4.3	<i>Sistemas auxiliares del motor diésel.....</i>	35
4.3.1	Sistema de alimentación y de encendido.....	35
4.3.2	Sistema de admisión.....	35
4.3.3	Sistema de distribución.....	36
4.3.4	Sistema de escape.....	36
4.3.5	Sistema de lubricación.....	36
4.3.6	Sistema de refrigeración.....	36
4.4	<i>Partes principales del motor diésel.....</i>	36
4.5	<i>Descripción del mantenimiento.....</i>	37
4.5.1	Política y concepto de mantenimiento.....	38
4.5.2	Niveles de contrato.....	38
4.5.3	Escalones de mantenimiento.....	39
4.5.4	Mantenimiento preventivo y correctivo.....	39
4.5.5	Descripción de la logística de mantenimiento.....	40
4.6	<i>Tareas de mantenimiento del motor diésel.....</i>	41
4.6.1	Identificación de tareas de mantenimiento.....	41
4.6.2	Análisis de las tareas de mantenimiento.....	41
4.6.3	Tipos de tareas de mantenimiento.....	41
4.6.4	Preparación del mantenimiento.....	42
4.6.5	Ejecución del mantenimiento.....	42
5	Análisis del Coste del Ciclo de Vida de un motor diésel.....	44
5.1	<i>Fase del Ciclo de Vida del motor diésel y Coste del Ciclo de Vida.....</i>	44
5.2	<i>Proceso de Coste del Ciclo de Vida del motor diésel.....</i>	44
5.2.1	Establecer el contexto.....	44
5.2.2	Planificar el análisis.....	44
5.2.2.1	Definir el alcance y objetivos del análisis.....	44
5.2.2.2	Definir tareas de análisis e identificar al personal que contribuye.....	45

5.2.3	Definir el enfoque de análisis.....	50
5.2.3.1	Seleccionar un modelo del Coste del Ciclo de Vida.....	50
5.2.3.2	Definir la estructura de desglose de costes.....	52
5.2.3.3	Identificar áreas de incertidumbre.....	52
5.2.4	Realizar el análisis	53
6	Coste del Ciclo de Vida de un motor diésel.....	54
6.1	<i>Introducción al Coste del Ciclo de Vida de un motor de combustión diésel.....</i>	<i>54</i>
6.1.1	Coste y tiempo empleado en el mantenimiento preventivo y correctivo	54
6.1.1.1	Matenimiento Preventivo QL1	55
6.1.1.2	Mantenimiento de los componentes de las tareas QL3.....	57
6.1.1.3	Mantenimiento extendido de los componentes de tareas QL4	59
6.1.1.4	Mantenimiento Correctivo	60
6.1.1.5	Horas de servicio al año sin supervisor	62
6.1.2	Coste de propiedad del motor	62
6.1.2.1	Coste de mano de obra	63
6.1.2.2	Coste del material	65
6.1.2.3	Coste de transporte y alojamiento.....	66
6.1.2.4	Coste del cambio de refrigerante.....	68
6.1.2.5	Coste del cambio de aceite.....	69
6.1.2.6	Coste de apoyo al proyecto.....	70
6.1.2.7	Coste total del motor al año.....	71
6.1.2.8	Coste anual por hora de funcionamiento.....	72
6.1.3	Coste específico del motor por hora de funcionamiento	73
6.1.3.1	Coste específico del mantenimiento preventivo por hora de funcionamiento..	74
6.1.3.2	Coste específico del mantenimiento correctivo por hora de funcionamiento..	75
6.1.3.3	Coste específico del apoyo al proyecto por hora de funcionamiento.....	76
6.1.3.4	Coste específico del cambio de aceite por hora de funcionamiento	76
6.1.3.5	Coste específico del cambio de refrigerante por hora de funcionamiento.....	77
6.1.4	Coste del Ciclo de Vida del motor	78
6.1.4.1	Coste del Mantenimiento Preventivo	79
6.1.4.2	Coste del Mantenimiento Correctivo	79
6.1.4.3	Coste de adquisición del motor	80
6.1.4.4	Coste del consumo de combustible y aceite	80
6.1.4.5	Coste del cambio de aceite.....	81
6.1.4.6	Coste del cambio de refrigerante	81
7	Conclusiones.....	82
	Referencias	83
	Anexos	86

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1. Dimensiones del motor MTU 16V 2000G26F [11].....	35
Tabla 5.1. Tareas de mantenimiento del motor diésel.	45
Tabla 6.1. Coste del mantenimiento realizado al motor durante el periodo de operación.....	54
Tabla 6.2. Tiempo empleado en las tareas de mantenimiento durante el periodo de operación del motor.	55
Tabla 6.3. Datos para el cálculo del coste del mantenimiento preventivo de las tareas QL1.....	55
Tabla 6.4. Datos para el cálculo del tiempo empleado en el mantenimiento preventivo de las tareas QL1.....	56
Tabla 6.5. Datos para el cálculo del coste del mantenimiento de los componentes de tareas QL3.	57
Tabla 6.6. Datos para el cálculo del tiempo empleado en el mantenimiento de los componentes de las tareas QL3.....	58
Tabla 6.7. Datos para el cálculo del coste del mantenimiento extendido de los componentes de las tareas QL4.....	59
Tabla 6.8. Datos para el cálculo del tiempo empleado en el mantenimiento extendido de los componentes de las tareas QL4.....	60
Tabla 6.9. Datos para el cálculo del coste del mantenimiento correctivo.....	61
Tabla 6.10. Datos para el cálculo del tiempo empleado en el mantenimiento correctivo.....	61
Tabla 6.11. Datos para el cálculo de las horas de servicio al año sin supervisor.....	62
Tabla 6.12. Coste de propiedad del motor durante el periodo de operación.....	63
Tabla 6.13. Datos para el cálculo del coste de mano de obra.	64
Tabla 6.14. Datos para el cálculo del coste de material.	65
Tabla 6.15. Datos para el cálculo del coste de transporte y alojamiento.	67
Tabla 6.16. Datos para el cálculo del coste del cambio de refrigerante.....	68
Tabla 6.17. Datos para el cálculo del coste de cambio de aceite.	69
Tabla 6.18. Datos para el cálculo del coste de apoyo al proyecto.	70
Tabla 6.19. Datos para el cálculo del coste del supervisor.	71
Tabla 6.20. Datos para el cálculo del coste total por año y motor.	72
Tabla 6.21. Datos para el cálculo del coste anual por hora de operación.	73
Tabla 6.22. Coste específico del motor por hora de funcionamiento.	74
Tabla 6.23. Datos para el cálculo del coste del mantenimiento preventivo por hora de funcionamiento.....	74
Tabla 6.24. Datos para el cálculo del coste del mantenimiento correctivo por hora de funcionamiento.....	75
Tabla 6.25. Datos para el cálculo del coste del apoyo al proyecto por hora de funcionamiento..	76
Tabla 6.26. Datos para el cálculo del coste del cambio de aceite por hora de funcionamiento....	77
Tabla 6.27. Datos para el cálculo del coste del cambio de refrigerante por hora de funcionamiento.....	77
Tabla 6.28. Coste del Ciclo de Vida del motor.	78
Tabla 6.29. Datos para el cálculo del coste del consumo de combustible y aceite.....	80
Tabla 0.1. Datos para el cálculo del coste de los repuestos para el Mantenimiento Correctivo... 86	
Tabla 0.2. Datos para el cálculo del coste de los repuestos durante el primer año de funcionamiento del motor.	10

Tabla 0.3. Datos para el cálculo del coste de los repuestos durante el segundo año de funcionamiento del motor.	13
Tabla 0.4. Datos para el cálculo del coste de los repuestos durante el tercer año de funcionamiento del motor.	16
Tabla 0.5. Datos para el cálculo del coste de mano de obra y los costes de transporte y desplazamiento.	19
Tabla 0.6. Datos para el cálculo del coste del consumo de combustible y del consumo de aceite.	24

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Ciclo de Vida de un producto [3]	11
Figura 3-1. Análisis típico del Ciclo de Vida de un producto [1].....	17
Figura 3-2. Consumo de coste en cada fase del Coste del Ciclo de Vida [8].	18
Figura 3-3. Concepto de estructura de desglose de costes.	22
Figura 4-1. Motor diésel MTU 16V 2000G26F [11].	34
Figura 4-2. Dimensiones principales del motor MTU 16V 2000G26F [11].	35
Figura 4-3. Interrelación de los términos de mantenimiento [13].....	38
Figura 4-4. Tipos de tareas de mantenimiento [13].	40
Figura 5-1. Modelo propuesto del proceso de Gestión de Mantenimiento [17].	51
Figura 5-2. Estructura de desglose de costes del motor diésel.....	52
Figura 6-1. Gráfica del coste de propiedad del motor por año.	63
Figura 6-2. Gráfico del Coste del Ciclo de Vida del motor.	79

Notación

LCC	Life Cycle Cost
TCO	Total Cost Ownership
RadLab	Massachusetts Institute of Technology Radiation Laboratory - USA
NIST	National Institute of Standards and Technology
ACCV	Análisis del Coste del Ciclo de Vida
CBS	Cost Breakdown Structure
IVA	Impuesto sobre el Valor Añadido
MTBF	Mean Operational Time Between Failures
MTTF	Mean Time To Failure
RCM	Mantenimiento centrado en la fiabilidad
AMFEC	Análisis de modos de fallo, de sus efectos y de su criticidad

1 INTRODUCCIÓN

“There is a driving force more powerful than steam, electricity and nuclear power: the will”.

-Albert Einstein-

Hoy en día se exige que los productos sean fiables. Éstos deben desempeñar sus funciones de forma segura, sin excesivo impacto en el medioambiente y ser fáciles de mantener durante su vida útil. La decisión de compra de un producto no solo está condicionada por el coste inicial (coste de adquisición) sino también por la previsión de coste de operación y mantenimiento del producto durante su vida (coste de propiedad (TCO, *Total Cost Ownership*)) y por el coste de eliminación. Para lograr la satisfacción del cliente, el reto de los fabricantes es lograr productos que cumplan los requisitos, sean fiables y tengan un coste competitivo mediante la optimización de los costes de adquisición, propiedad y eliminación. Todas las decisiones que se tomen relativas al diseño y fabricación del producto pueden afectar a su funcionamiento, seguridad, fiabilidad, mantenibilidad, mantenimiento, requisitos de soporte, etc., y finalmente determinar su precio y costes de propiedad y eliminación [1].

1.1 Introducción al Coste del Ciclo de Vida

El Análisis del Coste del Ciclo de Vida es el proceso de análisis económico que valora el coste total de adquisición, propiedad y eliminación de un producto. Los fabricantes pueden evaluar diferentes estrategias de operación, mantenimiento y eliminación para optimizar el Coste del Ciclo de Vida (LCC, *Life Cycle Cost*). Dicho coste también se emplea para evaluar el coste de un artículo durante una parte, o todo, de su ciclo de vida con el fin de tomar decisiones que minimizarán el coste total de propiedad, sin dejar de cumplir con los requisitos de las partes interesadas. Por lo general, es posible que una organización solo pueda, o necesite, evaluar el coste de una parte de la vida útil total de un artículo [1] [2].

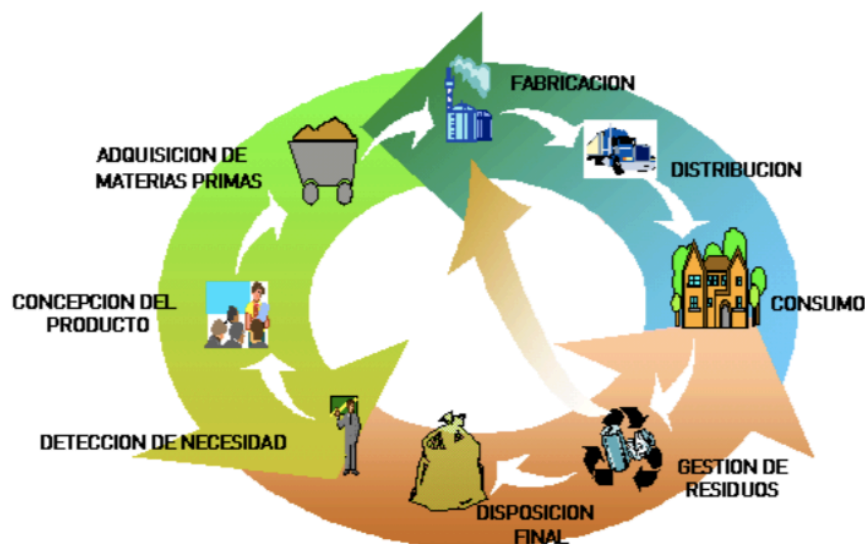


Figura 1-1. Ciclo de Vida de un producto [3]

Los costes de un producto/servicio a lo largo de su ciclo de vida pueden ser fácilmente visibles como son los costes directos de la producción (costes de materias primas, energía y mano de obra) o pueden tener una menor visibilidad, como son los costes indirectos para el fabricante (pérdida de productividad debida a los residuos) o los costes para la sociedad (problemas de salud por la contaminación). Adicionalmente, ciertas fases del ciclo de vida pueden presentar costes con una alta visibilidad (producción y distribución) y los incurridos en otras fases quedar más ocultos (fin de vida del producto), aunque a posteriori puedan tener un gran impacto sobre la organización.

El LCC, por tanto, incluye todos los flujos monetarios asociados a un producto durante toda su vida. En el caso de un motor, el LCC consideraría el coste del motor, el refrigerante, el aceite, los repuestos, así como el desprenderse del motor al final de su vida, aspecto que puede ser coste o ingreso.

El LCC también permite analizar los costes de un producto desde diferentes perspectivas, fundamentalmente las del productor y el consumidor. En el motor, los diseñadores utilizan en la práctica el parámetro de los costes de producción, mientras los consumidores atienden al precio de compra, incluidos los impuestos. Superar la observación del precio de compra como único foco, permite a los usuarios comprender que un precio inicial más alto puede significar un producto más barato en el ciclo completo de utilización, ya que, normalmente, el mayor coste de un producto/servicio viene asociado a la fase de uso y es asumido por el consumidor final [4].

El Coste del Ciclo de Vida es una forma de pensar en la que se presta atención a los costes totales que se producen durante todo el ciclo de vida de un producto. Los costes totales pueden observarse desde diversos puntos de vista, por ejemplo, desde el punto de vista del proveedor del producto o del usuario o propietario del producto, o incluso más ampliamente, desde el punto de vista de la sociedad. Los costes que son causados por la adquisición, operación y mantenimiento de un producto son el foco principal del Coste del Ciclo de Vida cuando el punto de vista es el del comprador del producto. Los Costes del Ciclo de Vida percibidos por el cliente comienzan con la adquisición del producto y generalmente terminan cuando el producto ya no se usa [5].

1.2 Objetivo del proyecto

El objetivo principal del presente proyecto es el cálculo del Coste del Ciclo de Vida del motor de combustión diésel de cuatro tiempos MTU 16V 2000G26F en su fase de utilización, incluyéndose en esta fase la operación y el mantenimiento del mismo. Dicho motor tiene un periodo de funcionamiento de 16.001 horas de operación durante 3 años (5.334 h cada año), siendo su principal función la generación de potencia eléctrica.

2 ANTECEDENTES AL COSTE DEL CICLO DE VIDA

“If there is no struggle, there is no progress”.

-Frederick Douglass-

2.1 Evolución histórica del Análisis del Coste del Ciclo de Vida

Los primeros antecedentes relacionados con la aplicación del LCC surgen en Estados Unidos durante la Segunda Guerra Mundial, a partir de las actividades de investigación del *Massachusetts Institute of Technology Radiation Laboratory* - USA (RadLab) [2]. En 1945, los directivos del RadLab crearon e implementaron diferentes procesos de diseño de sistemas para facilitar el desarrollo de radares de microondas para su empleo militar, entre los cuales estaba el Análisis del Coste del Ciclo de Vida [6]. Pero es en la década de los 70 del siglo XX cuando se desarrolla y se comienza a aplicar el LCC a las decisiones de inversión, especialmente en el sector de la construcción. Aunque fue utilizado por primera vez en el año 1960 por el Ministerio de Defensa de Estados Unidos, que determinó que el coste de utilización y mantenimiento de los sistemas de armas representaba el 75% del coste incurrido durante todo el ciclo de vida. Así, el *Logistics Management Institute* en 1965, por encargo de la entonces Subsecretaria de Defensa para Instalaciones y Logística de los Estados Unidos, publicó un informe, que dio una amplia difusión al concepto “Coste del Ciclo de Vida”. Como resultado de este informe, a través del Departamento de Defensa se emitieron tres documentos directrices [6]:

- Guía de Adquisiciones mediante el LCC.
- Estudio de Casos para el LCC en Adquisiciones de Equipamiento.
- Guía del LCC para el Sistema de Adquisiciones de Equipamiento.

Lo anterior, se complementó con la publicación en 1971 de la Directiva 5000.1 “Adquisición de Sistemas Principales de Defensa”, donde se estableció como requisito de adquisición que los futuros sistemas debían considerar el análisis LCC. Posteriormente, en 1975 los Ministerios, Sanidad, Educación y Bienestar de Estados Unidos, desarrollaron el proyecto titulado “Presupuestario y Costes del Ciclo de Vida en apoyo a la Toma de Decisiones”. En 1978, el Congreso de Estados Unidos promulgó el Acta Política Nacional de Conservación Energética, mediante la cual se estableció que la construcción de todos los edificios públicos debería considerar la evaluación del LCC [6].

En 1987, en un primer intento de normalizar los procesos que han de ser acometidos durante su ejecución, el *National Institute of Standards and Technology* (NIST) norteamericano publicó el documento titulado *Life-Cycle Costing for the Federal Management Program*, actualizado en 1995, que anualmente se complementa mediante la publicación de los índices de precios de la energía y tasas de descuento para la realización del Análisis del Coste del Ciclo de Vida [2] [6] [7]. En noviembre de 2002 se publica la original ISO/IEC 15288, que fue el primer estándar internacional que facilitaba un conjunto de procesos y fases comprensibles del ciclo de vida de los sistemas [2].

A partir de los años 80 hubo un aumento de investigaciones sobre el tema, en distintas áreas de la industria. Además, en 1989 ya había más de 500 publicaciones sobre diversos aspectos del ciclo de vida de costes [6].

En la actualidad, España ha editado la versión oficial de la norma europea EN-60300 en la norma UNE-EN-60300-3-3:2017: “Gestión de la confiabilidad. Cálculo del coste del ciclo de vida” que proporciona una introducción general al concepto del análisis del coste de este ciclo y cubre todas sus aplicaciones [2].

3 ANÁLISIS DEL COSTE DEL CICLO DE VIDA SEGÚN UNE-EN 60300

“All progress takes place outside the comfort zone”.

-Michael John Bobak-

3.1 Objetivo del cálculo del Coste del Ciclo de Vida

El objetivo principal del cálculo del Coste del Ciclo de Vida es proporcionar criterios para la toma de decisiones en cualquiera o todas las fases del ciclo de vida de un producto. El análisis del coste del ciclo de vida solo agrega valor cuando informa la toma de decisiones.

Un objetivo importante en la preparación de los modelos de LCC es identificar los costes que pueden tener una mayor influencia en el LCC o pueden ser de especial interés para esa aplicación específica. Igualmente importante es identificar los costes que sólo tienen una pequeña influencia en el LCC [1].

La técnica del LCC es el proceso de recolección, interpretación, análisis de datos, aplicación de herramientas y técnicas cuantitativas para predecir los recursos necesarios en cualquier paso del ciclo de vida de un sistema de interés. Los costes del ciclo de vida serán el resultado de este proceso.

En términos de tiempo, esfuerzo y recursos consumidos, la recolección de datos es la mayor parte de cualquier estudio del LCC. El LCC es un proceso de conducción de datos como la cantidad, calidad y otras características de los datos disponibles; estos frecuentemente definen qué métodos y modelos pueden ser aplicados, qué análisis pueden ser ejecutados y los resultados que pueden ser logrados [2].

Los tipos más comunes de decisiones en las cuales el proceso de LCC proporciona una aportación incluyen:

- Evaluación y comparación de enfoques alternativos de diseño y opciones tecnológicas de eliminación.
- Valoración de la viabilidad económica de los proyectos/productos.
- Identificación de los contribuyentes de coste y de mejoras efectivas de coste.
- Evaluación y comparación de estrategias alternativas para el uso, operación, pruebas, inspección, mantenimiento, etc. del producto.
- Evaluación y comparación de los diferentes enfoques para la sustitución, rehabilitación/extensión de vida o retirada de los equipos envejecidos.
- Asignación de los recursos disponibles entre las diferentes prioridades de desarrollo o mejora de un producto.
- Valoración de los criterios de garantía del producto mediante pruebas de verificación y sus compromisos.

- Planificación de la financiación a largo plazo.
- El cálculo del coste del ciclo de vida proporciona entradas para el análisis de soporte logístico integrado [1] [2].

3.2 Fases del Ciclo de Vida del producto y Coste del Ciclo de Vida

Es fundamental para el concepto del cálculo del Coste del Ciclo de Vida una comprensión básica del ciclo de vida de un producto y de las actividades a realizar durante esas fases.

Hay seis fases principales en el ciclo de vida de un producto [1] [6]:

- a) Concepción
- b) Diseño y desarrollo
- c) Realización
- d) Utilización
- e) Mejora
- f) Eliminación

Las primeras tres etapas constituyen el coste de adquisición del artículo y las tres últimas etapas son el coste de propiedad. Dentro de estas etapas:

- La etapa de realización incluye la adquisición, fabricación, inspección y prueba, envío e instalación.
- La etapa de utilización incluye tanto la operación como el mantenimiento.
- La etapa de mejora, si es necesario, incluye todos los aspectos del diseño y la adquisición asociados con la mejora [1].

Las etapas apropiadas del ciclo de vida, o partes o combinaciones de estas etapas, deben seleccionarse para satisfacer las necesidades especiales de cada análisis específico. De manera general, los costes totales incurridos durante las etapas anteriores también se pueden dividir en coste de adquisición y coste de propiedad.

Los costes de adquisición son generalmente visibles y se pueden evaluar fácilmente antes de tomar la decisión de adquisición y pueden incluir o no el coste de instalación.

Los costes de propiedad, que a menudo son un componente importante del LCC, en muchos casos, superan los costes de adquisición y no son fácilmente visibles. Estos costes son difíciles de predecir y también pueden incluir el coste asociado con la instalación.

Los costes de retiro o desmantelamiento pueden representar una proporción significativa del LCC total. La legislación puede requerir actividades durante la etapa de eliminación que, para proyectos importantes, por ejemplo, centrales nucleares, implican un gasto significativo.

El Análisis del Coste del Ciclo de Vida puede abordar todas las etapas, algunas etapas, una sola etapa o una parte de una sola etapa.

La Figura 3-1 muestra las etapas del Ciclo de Vida de un producto junto con algunos de los aspectos que deben tenerse en cuenta en un estudio de coste del ciclo de vida [1].

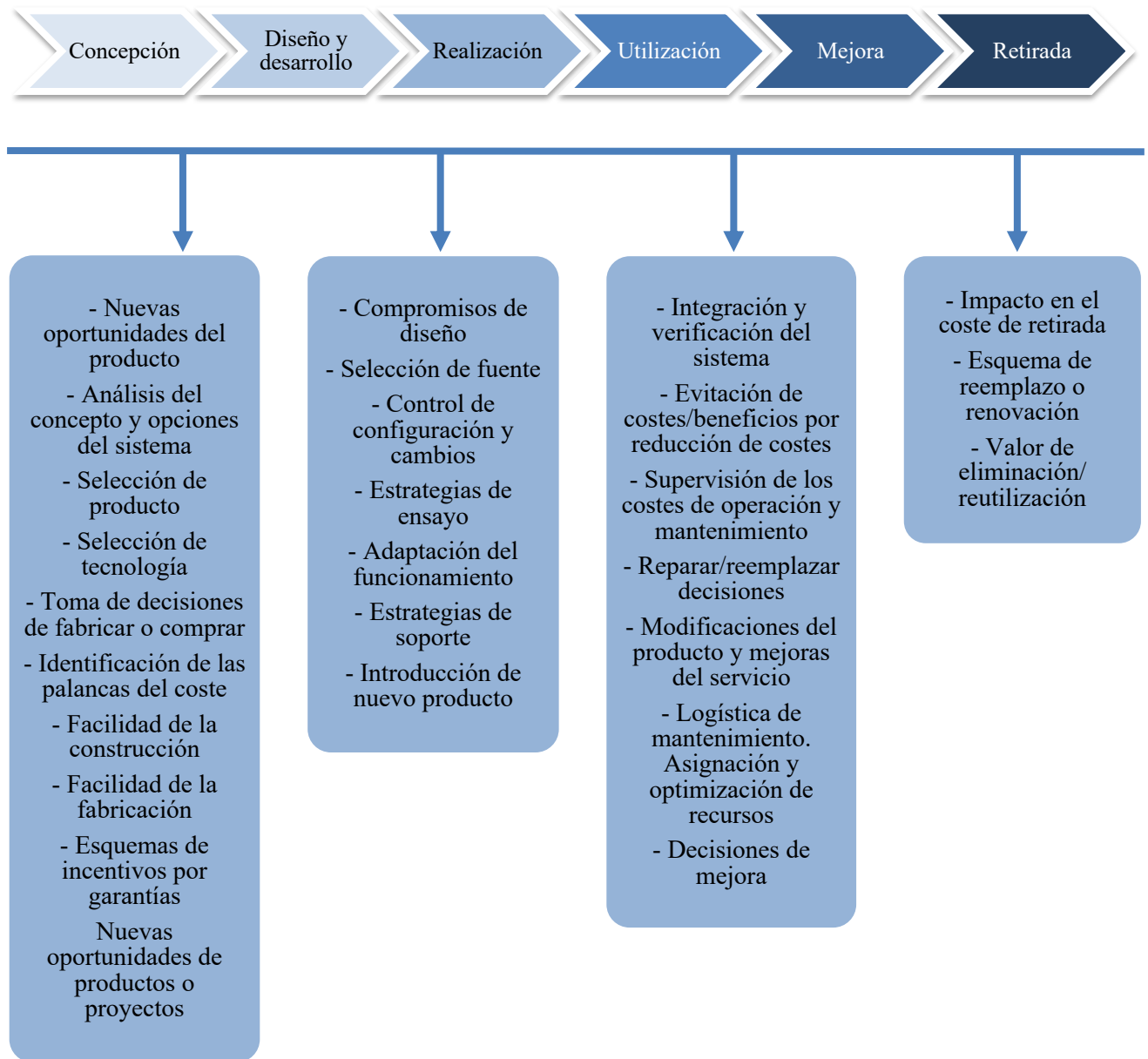


Figura 3-1. Análisis típico del Ciclo de Vida de un producto [1].

3.3 Proceso de Coste del Ciclo de Vida

En la siguiente figura se muestra el consumo del Coste del Ciclo de Vida en cada etapa del mismo.

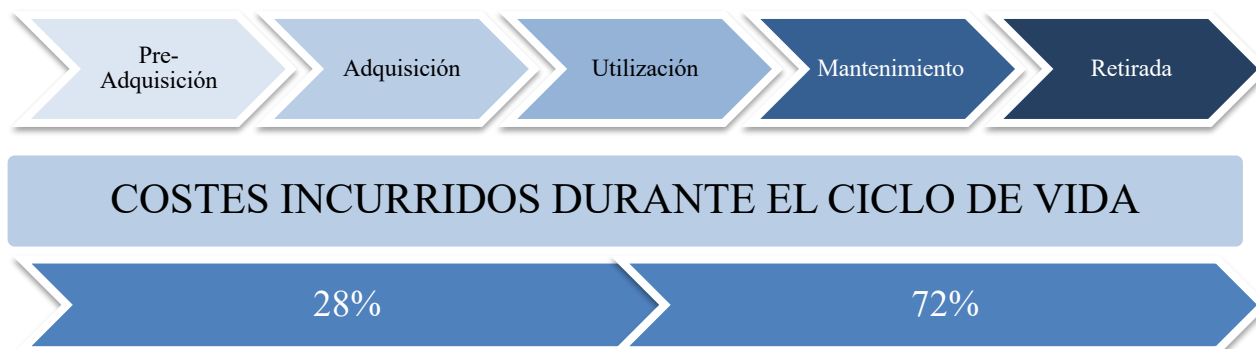


Figura 3-2. Consumo de coste en cada fase del Coste del Ciclo de Vida [8].

Los pasos principales en el proceso de Coste del Ciclo de Vida son:

- Establecer el contexto organizacional.
- Planificar el análisis.
- Definir el enfoque de análisis.
- Realizar el análisis.
- Finalizar el análisis.

La forma en que estos pasos se aplican a un análisis específico variará de acuerdo con los objetivos del análisis y los métodos de trabajo que se consideren más efectivos para quienes realizan el análisis [1].

3.3.1 Establecer el contexto organizacional

3.3.1.1 Formular el contexto

Cada análisis de Costes del Ciclo de Vida evalúa un contexto operativo único, que comprende influencias tanto internas como externas en una entidad organizacional. Por lo tanto, cada análisis debe ir acompañado de una declaración contextual que permita la construcción de un conjunto de escenarios futuros para identificar las influencias de costes para los resultados potenciales de cada escenario. Este contexto excluye la consideración del factor financiero, que se considera parte del proceso de planificación.

El análisis del Coste del Ciclo de Vida debe adaptarse a un artículo en particular a fin de obtener el máximo beneficio del esfuerzo.

3.3.1.2 Identificar alternativas

La organización puede necesitar identificar opciones o soluciones alternativas para ser evaluadas; estos forman parte de los objetivos del análisis. La lista de alternativas propuestas puede refinarse a medida que se identifican nuevas opciones, o cuando se descubre que las opciones existentes violan las limitaciones del problema.

Las evaluaciones que pueden considerarse generalmente incluyen, pero no se limitan, a las siguientes:

- Diseños alternativos con diferente equilibrio entre los costes de adquisición y de operación.
- Diseños alternativos con diferente equilibrio entre confiabilidad y costes de mantenimiento.
- Alternativas de redundancia del sistema.
- Enfoques alternativos para la gestión de la obsolescencia.

3.3.2 Planificar el análisis

3.3.2.1 Definir el alcance y objetivos del análisis

La primera parte de la planificación del análisis de Costes del Ciclo de Vida es definir el alcance del análisis, el período de tiempo (etapas del Ciclo de Vida) a considerar, el entorno operativo y el escenario de soporte de mantenimiento.

Los objetivos del análisis se definen en términos de los resultados que se necesitan del análisis y las actividades organizativas asociadas para las que se utilizarán. Los objetivos de análisis típicos incluyen:

- Determinación del LCC para un artículo con el fin de apoyar la planificación, contratación, presupuestación o necesidades similares.
- Evaluación del impacto de cursos de acción alternativos en el LCC de un artículo.
- Identificación de los elementos de coste que son los principales contribuyentes al LCC de un artículo para enfocar los esfuerzos de diseño, desarrollo, adquisición o soporte del artículo.

El alcance tiene como objetivo desarrollar una comprensión fundamental de las partes interesadas, los objetivos comerciales, los problemas y las interfaces relevantes para el estudio [1].

3.3.2.2 Definir tareas de análisis e identificar al personal que contribuye

El plan debe definir las tareas necesarias para implementar las actividades de Coste del Ciclo de Vida, programar y organizar las tareas para producir los resultados deseados de manera oportuna, determinar los recursos necesarios para realizar el análisis del Coste del Ciclo de Vida y definir los métodos mediante los cuales se realizarán las tareas.

La identificación de tareas y la asignación de recursos será un proceso iterativo. Los siguientes elementos deben estar incluidos en el plan:

- a) Definición de los objetivos del análisis en términos de resultados que proporcionará el análisis y las decisiones que respaldarán los resultados.
- b) Definición del alcance del análisis en términos de ítems a considerar, período de tiempo (etapas del Ciclo de Vida) a considerar, entorno operativo y escenario de soporte de mantenimiento a evaluar.
- c) Identificación de cursos de acción alternativos a evaluar (si forman parte de los objetivos del análisis).
- d) Identificación de las metodologías a emplear para realizar las distintas tareas en el análisis del Coste del Ciclo de Vida.
- e) Provisión de una estimación de los recursos y habilidades requeridos.

- f) Provisión de cronograma y organización de las diversas tareas requeridas para realizar el análisis de Costes del Ciclo de Vida. Esto permitirá informar y monitorear el progreso del análisis para garantizar que los resultados del análisis estén disponibles de manera oportuna para respaldar el proceso de toma de decisiones para el que se requieren.
- g) Identificación de los medios por los cuales se pueden rastrear todos los supuestos y datos de entrada.

3.3.2.3 Identificar restricciones

Todas las condiciones, suposiciones, limitaciones y restricciones subyacentes que puedan restringir la gama de opciones aceptables a evaluar deben identificarse y documentarse como parte del plan. Dichas restricciones pueden incluir:

- Hora.
- Rendimiento mínimo del artículo.
- Requisitos de disponibilidad.
- Limitaciones máximas del coste de capital.

3.3.2.4 Identificar parámetros financieros relevantes

Hay varios parámetros financieros que normalmente forman parte de un análisis de costes de ciclo de vida. La selección de los parámetros necesarios estará determinada por los objetivos generales del análisis. En particular, el uso del análisis como una evaluación comparativa o absoluta influirá en la selección. Normalmente se consideran los siguientes parámetros financieros.

- **Fecha base:** se acuerda una fecha base financiera antes del análisis. Esto asegura que los datos de entrada sean consistentes y que los datos de salida sean relevantes.
- **Impuestos:** la inclusión de impuestos en el LCC no suele ser importante; sin embargo, la necesidad de su inclusión debe acordarse antes del análisis. A veces se requiere que se incluyan impuestos específicos (como el impuesto al valor agregado (IVA) o el impuesto a las ventas), mientras que otros se excluyen. Se debe tener cuidado de no incluir la doble imposición, es decir, impuestos sobre impuestos.
- **Tasa de descuento / inflación:** la tasa de descuento generalmente está relacionada con el coste de los préstamos (coste promedio ponderado del capital) y, cuando corresponda, los rendimientos requeridos por los accionistas. Los contables de la empresa generalmente calculan la tasa de rendimiento requerida para nuevas inversiones y esta es la tasa de descuento de la empresa. De esta forma, suele incluir un componente de inflación.

3.3.3 Definir el enfoque de análisis

3.3.3.1 Establecer reglas / metodología

Antes de comenzar un análisis, las reglas y la metodología que se adoptarán deben acordarse con todas las partes interesadas. La metodología dependerá de los objetivos del análisis y debe considerar lo siguiente:

- Necesidad de análisis absoluto o comparativo.
- Nivel de precisión requerido.
- Datos disponibles.
- Recursos disponibles.

Al realizar un análisis comparativo, es posible que varias áreas de costes sean comunes a todas las opciones y, por lo tanto, puedan excluirse; deben registrarse las reglas por las que se identifican dichos elementos. Si se realizan tales exclusiones, es fundamental establecer que se pueden comparar de manera realista.

Para realizar una comparación realista entre las opciones candidatas, es necesario garantizar una base justa para la comparación. Dicha comparación tiene que incluir:

- Evaluar las medidas relacionadas con la confiabilidad para cada opción de manera consistente.
- Asegurar que el perfil operativo sea el mismo para cada opción.

Si la mayoría del LCC se identifica como común a todas las opciones, es posible que no valga la pena continuar con un análisis más detallado a menos que los objetivos del análisis se puedan cumplir mediante una comparación de la minoría restante de elementos de coste.

Al realizar un análisis de una sola opción, puede ser beneficioso excluir algunos elementos del análisis para simplificar o reducir el coste del análisis. Las áreas que podrían excluirse son aquellas que se consideran pequeñas en comparación con el coste total probable o aquellas que están fuera del control de la organización.

3.3.3.2 Seleccionar o desarrollar un modelo del Coste del Ciclo de Vida

Se debe seleccionar o desarrollar un modelo LCC con suficiente detalle para cumplir con los objetivos del análisis teniendo en cuenta la disponibilidad de datos y los siguientes factores:

- ◆ Grado de selectividad requerido para discriminar entre opciones.
- ◆ Grado de sensibilidad requerido para proporcionar la precisión de salida necesaria.
- ◆ Disponibilidad de datos suficientes y representativos para que el análisis sea significativo.
- ◆ Tiempo disponible para realizar y reportar el Análisis de Costes del Ciclo de Vida.

Independientemente de la fuente del modelo, todas las alternativas deberán poder evaluarse con el mismo modelo. Es importante estar familiarizado con el modelo seleccionado y sus requisitos de datos. Se debe realizar un ACCV al principio de un proyecto para influir en las decisiones, pero la mayoría de los datos normalmente están disponibles más adelante. Por lo tanto, el análisis a menudo está sujeto a una presión de tiempo significativa. Además, la familiaridad con el modelo ayudará en la recopilación de datos y la forma de información de costes desarrollada dentro de la organización.

El nivel apropiado de detalle del ACCV dependerá de muchos factores asociados con los objetivos y se le debe dar una consideración cuidadosa, ya que los costes de realizar un análisis detallado pueden ser significativos [1].

3.3.3.3 Definir la estructura de desglose de costes

Para estimar el LCC total, es necesaria una división del análisis en sus elementos de coste constituyentes. Este desglose generalmente se alinea con el nivel de detalle en el que una organización recauda los costes y puede definirse y estimarse claramente.

Se utiliza una estructura de desglose de costes (*Cost Breakdown Structure, CBS*) para identificar los elementos de coste requeridos e implica el desglose del sistema en niveles de contrato más bajos, categorías de costes y etapas del ciclo de vida. Esto puede ilustrarse mediante el uso de una matriz tridimensional que se muestra en la Figura 3-3. Esta matriz implica la identificación de los siguientes aspectos del sistema:

- Desglose del sistema a niveles de contrato más bajos (es decir, el sistema/estructura de desglose del trabajo).
- El momento del ciclo de vida en el que se realizará el trabajo o la actividad (es decir, las etapas del ciclo de vida).
- La categoría de costes de los recursos aplicables, como mano de obra, materiales, combustible/energía, gastos generales, transporte/viajes (es decir, las categorías de costes).

Este enfoque tiene la ventaja de ser sistemático y ordenado, lo que brinda un alto nivel de confianza en que se han incluido todos los elementos de coste necesarios.

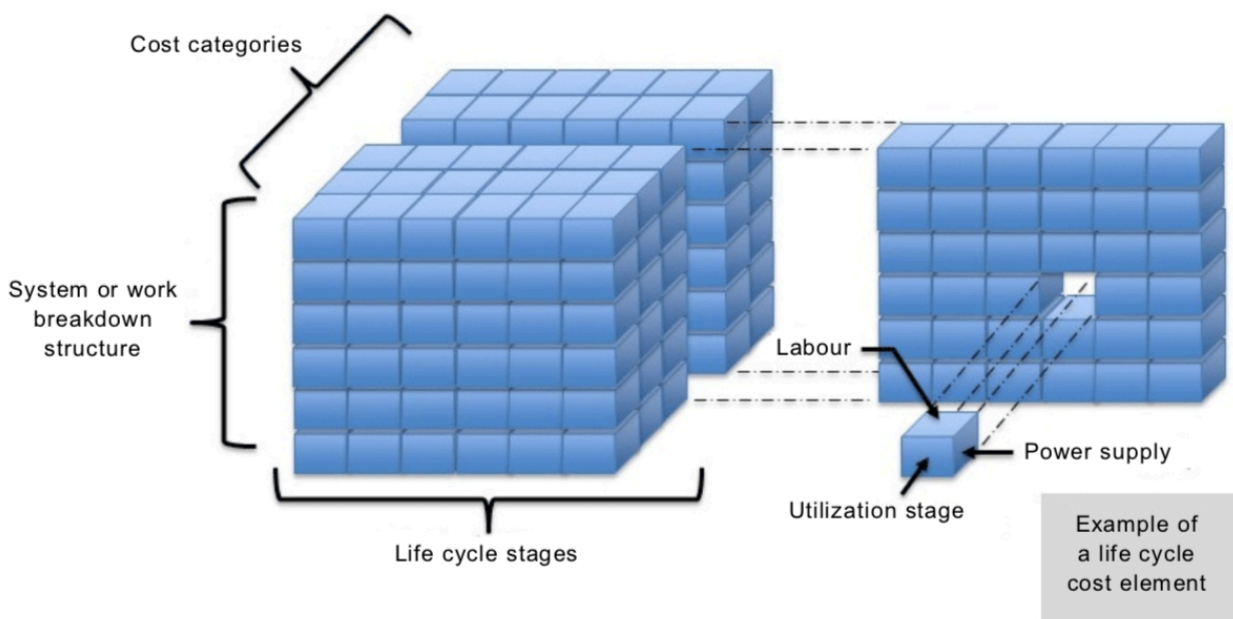


Figura 3-3. Concepto de estructura de desglose de costes.

La identificación de los elementos y su alcance correspondiente debe basarse en el alcance del estudio LCC. Solo los elementos de coste que contribuyen al propósito del estudio LCC debe incluirse. La selección de los elementos de coste debe estar relacionada con la complejidad del sistema, así como con las categorías de costes de interés de acuerdo con el CBS requerido.

El análisis debe identificar el número mínimo de elementos de coste necesarios para discriminar entre opciones, es decir, solo aquellos relacionados con los generadores de costes que afectarán el resultado final. Al comparar soluciones alternativas, los costes que son iguales para todas las alternativas generalmente pueden ignorarse. Sin embargo, al calcular el coste de propiedad de un sistema, se deben incluir todos los costes relevantes. Al identificar los elementos de coste, se debe considerar lo siguiente:

- Cómo se recopilarán los costes, su disponibilidad y el esfuerzo requerido para recopilarlos y la calidad de los datos que se recopilarán.
- Cómo se calcularán los costes.

- Su importancia para los generadores de costes.
- La conversión de intangibles a coste real.

Algunos elementos de coste pueden subdividirse en costes recurrentes y no recurrentes y/o costes fijos y variables. Los efectos potenciales de estos en el LCC dependerán de la etapa y el contexto bajo consideración.

Para facilitar el control y la toma de decisiones, y para respaldar el proceso de cálculo de Costes del Ciclo de Vida, la información de costes se debe recopilar y reportar para que sea consistente con el CBS definido.

3.3.3.4 Identificar áreas de incertidumbre

La incertidumbre en un resultado de LCC se relaciona principalmente con dos elementos. El primer elemento son las suposiciones hechas con respecto al alcance del estudio y la construcción del modelo. El segundo elemento es la precisión de los datos aplicados a las diversas medidas del modelo que determinan el resultado. De manera similar a la evaluación de riesgos, LCC reúne el coste de eventos futuros y su frecuencia; por lo tanto, ambos enfrentan problemas similares debido a la incertidumbre de los datos o la información. Cuando existe una superposición significativa de límites de incertidumbre entre las opciones que se están comparando, puede ser difícil formarse un juicio claro sobre cuál debe seleccionarse.

La incertidumbre en el alcance puede resultar de la intención del estudio y el nivel de riesgo contextual o ambiental. Siempre que sea posible, se deben identificar los eventos futuros que puedan influir en los costes y sus consecuencias. Sin embargo, esto da lugar a algunas incertidumbres, ya que estos supuestos pueden fallar en identificar adecuadamente todos los posibles eventos relevantes. Se debe probar la sensibilidad de los resultados a tales suposiciones.

Los Análisis de Costes del Ciclo de Vida son, por definición, evaluaciones cuantitativas con incertidumbre en los datos aplicados que surgen de las siguientes fuentes de inexactitud potencial.

- ◆ La recopilación de datos probabilísticos (estocásticos) con respecto a eventos no planificados, como la reparación de piezas defectuosas en función de la probabilidad de fallo, la vida útil, el tiempo de operación promedio hasta el fallo (MTTF) o el tiempo de operación promedio entre fallos (MTBF).
- ◆ Operaciones planificadas y acciones de mantenimiento que tienen cierta incertidumbre con respecto a las acciones de mitigación de riesgos tomadas para equilibrar el rendimiento, el coste y el riesgo del sistema.
- ◆ Coste de recursos de las acciones de recuperación de eventos para estimar los costes de esos eventos, en particular cuando esos eventos se encuentran en un momento indeterminado en el futuro.
- ◆ El coste del riesgo no realizado que no ha sido tratado y no se incluye como un evento coste futuro.

3.3.4 Realizar el análisis

3.3.4.1 Establecer métodos para estimar elementos de coste

Algunos métodos que pueden usarse para estimar los parámetros de un elemento de coste incluyen:

- Método de coste paramétrico.
- Método de coste análogo.
- Método de coste de ingeniería.

La estimación de costes paramétrica se usa con mayor frecuencia durante las etapas iniciales de planificación y diseño conceptual del desarrollo del artículo, donde los datos disponibles son limitados.

Más adelante en el proceso de diseño, se dispone de información de diseño más completa y es posible desarrollar estimaciones de costes comparando las características del artículo que se analiza, con artículos similares en los que se registran datos de costes históricos. Estas estimaciones análogas se limitan a elementos de escala y tecnología similares.

Cuando la configuración del diseño se vuelva firme y se produzcan datos de diseño, estos permitirán el desarrollo de estimaciones detalladas de ingeniería y fabricación basadas en un análisis más preciso de materiales, equipos, mano de obra y costes generales. Por lo tanto, a medida que se disponga de información más detallada para elementos específicos, las estimaciones de costes iniciales paramétricas o análogas se pueden reemplazar por estimaciones de ingeniería o costes reales.

3.3.4.2 Recopilar datos de costes

La recopilación de datos de costes para un ACCV es a menudo difícil. En algunos casos, los datos de costes obtenibles serán directamente aplicables al CBS y serán precisos y completos. En otros casos, los datos de costes podrían aplicarse a más de un elemento en el CBS y será necesario identificar un medio para asignarlo adecuadamente. Es posible que falten datos o que no estén disponibles y que sea necesario recopilarlos o estimarlos. Además, es posible que los datos deban validarse y verificarse para garantizar su aplicabilidad y precisión. Cuando haya dificultades en la recopilación de datos y las estimaciones o reasignaciones realizadas, estos deben registrarse para que su impacto se pueda considerar en el Análisis de Costes del Ciclo de Vida.

3.3.4.3 Coste agregado por artículo para cada etapa o período de tiempo

Este paso solo es necesario si se requieren costes por etapas, períodos de tiempo u otras agrupaciones dentro del coste total. La definición de dichas etapas o agrupaciones debe realizarse como parte de la definición de la metodología a fin de garantizar que se establezcan la estructura correcta de desglose del trabajo y el CBS para respaldar el cálculo.

Cuando el CBS se ha definido correctamente, el cálculo de los costes para cada agrupación requerida debe ser una simple suma.

3.3.4.4 Realizar el Análisis del Coste del Ciclo de Vida y análisis de sensibilidad

El ACCV debe realizarse con los mejores valores estimados como línea de base junto con un análisis de sensibilidad. El análisis de sensibilidad evalúa la solidez del modelo LCC aplicado, el impacto de la incertidumbre en lo que respecta a los supuestos seleccionados y el valor de los elementos de coste. Se debe prestar especial atención a los generadores de costes, los supuestos relacionados con el contexto de uso y los supuestos relacionados con el valor del dinero en el tiempo.

Los límites de rango o las funciones de densidad de probabilidad para los diversos parámetros de entrada deben seleccionarse de modo que las variaciones del modelo resultantes tengan una extensión creíble.

3.3.4.5 Análisis de revisión

Es posible que se requiera una revisión formal, posiblemente independiente, del análisis para confirmar la exactitud e integridad de los resultados. Tal revisión debería incluir los siguientes aspectos:

- ◆ Los objetivos y el alcance del análisis para asegurar que se hayan expresado e interpretado adecuadamente.
- ◆ Las suposiciones realizadas durante el análisis para garantizar que sean razonables y que se hayan documentado adecuadamente.
- ◆ La adecuación del modelo para el propósito del análisis (incluidas las definiciones y supuestos de los elementos de coste).
- ◆ La aplicabilidad y precisión de todas las fuentes de datos.
- ◆ La aplicación del modelo para asegurar que sus entradas se hayan establecido con precisión, que se haya utilizado correctamente y que los resultados se hayan evaluado y discutido adecuadamente.

Si tal revisión identifica la necesidad de revisar los datos o los métodos de análisis, será necesario revisar y abordar los elementos apropiados del proceso de acuerdo con los resultados.

3.3.4.6 Evaluar el logro de los objetivos del análisis

Los resultados del análisis deben compararse con los objetivos originales. Si no se han cumplido los objetivos, se debe examinar el proceso de análisis para identificar las causas. La causa del incumplimiento de los objetivos dependerá del análisis particular, pero se deben examinar las siguientes áreas:

- La medida en que la metodología proporcionó un análisis detallado o estructurado correctamente.
- Si los datos de entrada eran suficientemente detallados y realistas.
- Si se identificaron las alternativas correctas para el análisis.

Si se identifican fallos en estas u otras áreas, los procesos de análisis o los datos deben modificarse si es posible y el análisis revisado.

Si los objetivos se han cumplido, o donde no se han cumplido, pero no es posible la revisión, se deben identificar las acciones de seguimiento, documentar y cerrar el análisis.

Cabe señalar que los resultados de los cálculos de LCC pueden no coincidir con los costes reales/observados. Esto se debe a que hay muchos factores aleatorios que influyen, como las condiciones ambientales y los errores humanos durante el funcionamiento, que son difíciles de modelar.

3.3.5 Finalizar el análisis

3.3.5.1 Identificar acciones de seguimiento

Una vez finalizado el Análisis de Costes del Ciclo de Vida, puede haber acciones de seguimiento que resulten de las conclusiones alcanzadas. Cuando el ACCV se realiza al principio del Ciclo de Vida, el potencial para acciones de seguimiento efectivas es mayor y puede incluir el requisito de una actualización futura del análisis cuando se disponga de información más detallada. Las conclusiones del análisis pueden incluir:

- Costes que se han encontrado demasiado altos para hacer que el sistema sea económico pero que, si se reducen, lo harán factible.
- Opciones que reducirán los costes (por ejemplo, un cambio en el diseño que podría aumentar el coste de adquisición, pero reducirá el coste de operación o mantenimiento).
- La identificación de los generadores de costes que necesitarán especial atención durante la etapa del Ciclo de Vida de implementación o utilización.

Es importante identificar personas específicas responsables de implementar acciones de seguimiento.

3.3.5.2 Análisis de documentos

El Análisis del Coste del Ciclo de Vida debe documentarse de manera clara y cuidadosa, ya que proporcionará información importante a las partes interesadas, los tomadores de decisiones, los clientes, los usuarios y los gerentes.

Se debe proporcionar evidencia de respaldo al presentar los resultados y productos del análisis, esto debe incluir lo siguiente:

- ◆ Modelar la alineación con los objetivos.
- ◆ Precisión del modelo.
- ◆ Fuentes de datos y calidad.
- ◆ Trazabilidad.
- ◆ Validación.

3.4 Estructura de desglose de costes por etapa del Ciclo de Vida

Cada etapa del Ciclo de Vida de un sistema incluye actividades que contribuyen a su LCC. La norma UNE-EN 60300-3-3:2017 proporciona una lista de actividades típicas en cada etapa para las cuales, se pueden identificar los costes. Los costes de actividades adicionales específicamente asociadas con el elemento en estudio deben identificarse en el momento en que se realiza el análisis, si es necesario.

3.4.1 Elemento de coste de las etapas del Ciclo de Vida

A continuación, se detallan cada uno de los elementos de coste de las etapas del Ciclo de Vida.

3.4.1.1 Concepto

Los costes del concepto se atribuyen a diversas actividades realizadas para garantizar que se identifique un diseño o una solución de compra factibles, a partir de las especificaciones técnicas generales del sistema en consideración. Estos costes generalmente incluyen:

- Investigación de mercado.
- Gestión de proyectos.
- Concepto del sistema y análisis de diseño preliminar.
- Verificación de viabilidad.
- Preparación de una especificación funcional del sistema.

3.4.1.2 Desarrollo

Los costes de desarrollo involucran en primer lugar la decisión de compra o construcción, luego, traducen la especificación funcional en los sistemas deseados, que logran un cumplimiento demostrable de esos requisitos de especificación. Estos costes generalmente incluyen:

- Gestión de proyectos.
- Ingeniería de sistemas y diseño, incluida la fiabilidad, la capacidad de mantenimiento y las consideraciones de compatibilidad.
- Adquisición y funciones de contratación asociadas para la solución de compra.
- Documentación de diseño.
- Fabricación de prototipos.
- Desarrollo de software y hardware.
- Prueba y evaluación.
- Ingeniería y planificación de la productividad.
- Selección del vendedor.
- Demostración y validación de prototipos.
- Gestión de riesgos.
- Gestión de la calidad.
- Gestión de la configuración.

3.4.1.3 Realización

Esta etapa implementa decisiones de compra o construcción para la adquisición y/o fabricación del artículo final y sus componentes. Los costes de construcción o compra se asignan al número requerido de sistemas o brindan un servicio específico de manera continua. Las actividades (costes) en esta etapa se subdividen entre las no recurrentes y las que se repiten con cada artículo o servicio prestado. Estos costes están sujetos a la decisión de compra o construcción e incluyen la transición de la producción a la operación. Por lo general, se incluyen los siguientes costes:

- a) No recurrentes:
 - Análisis de operaciones e ingeniería industrial.
 - Construcción de instalaciones.

- Herramientas de producción y equipos de prueba.
- Equipo de prueba y soporte especial.
- Repuestos iniciales y piezas de reparación.
- Entrenamiento inicial.
- Documentación.
- Software.
- Pruebas (pruebas de calificación).

b) Recurrentes:

- Gestión e ingeniería de la producción.
- Mantenimiento de instalaciones.
- Fabricación (mano de obra, materiales y similares).
- Control de calidad e inspección.
- Montaje.
- Instalación y verificación.
- Embalaje, almacenamiento, envío y transporte.
- Entrenamiento en curso.
- Seguro.

3.4.1.4 Utilización

Esta etapa comienza con la finalización de las actividades de transición de la producción e incluye los costes de operación, mantenimiento y dotación de recursos de los sistemas para lograr su propósito de diseño. Los costes también incluyen la operación y mantenimiento de cualquier equipo de soporte asociado durante la etapa de utilización esperada del sistema. Por lo general, se incluyen los siguientes costes:

a) Operación:

- Personal y su formación.
- Materiales y consumibles de procesos operativos.
- Energía (por ejemplo, energía o combustible).
- Equipo de apoyo (por ejemplo, simuladores) e instalaciones.
- Cambios de configuración.

b) Mantenimiento:

- Personal y su formación.
- Equipo/planta e instalaciones de apoyo.
- Servicios contratados.
- Repuestos y material.

c) Dotación de recursos generales:

- Soporte de TI y gestión de información relacionada.
- Instalaciones de almacenamiento.
- Embalaje, manipulación, almacenamiento y transporte (logística).

d) Servicios de apoyo:

- Servicios corporativos.
- Soporte administrativo.
- Seguro y certificación.

3.4.1.5 Mejora

La etapa de mejora puede ser separada o paralela a la etapa de utilización. Esta etapa implica la mejora del rendimiento del sistema, a menudo con características adicionales para satisfacer las crecientes demandas de los usuarios, extender la vida útil o abordar la obsolescencia y puede incluir:

- Actualización/es de hardware y software.
- Recopilación y análisis de datos relacionados específicamente con la verificación de la capacidad de sistemas y sus regímenes de apoyo.
- Evaluación del desempeño de procesos y sistemas.
- Evolución de los planes de mantenimiento y operaciones.
- Modificaciones de sistemas para lograr requisitos cambiantes y datos más ciertos.

3.4.1.6 Retirada

Esta categoría incluye los costes de retirar del servicio las versiones antiguas o redundantes de los sistemas y su eventual eliminación. En algunas industrias de servicios, como las industrias química y nuclear, la eliminación de sistemas puede convertirse en un factor de coste significativo y puede incurrir en sanciones importantes. Estos costes generalmente incluyen:

- Gestión de aislamiento y almacenamiento.
- Desmontaje y preparación para el transporte.
- Acciones de reciclaje y/o estabilización.
- Pasivación y almacenamiento/dispersión permanente.

Además, los beneficios (es decir, costes o ingresos negativos) pueden resultar de:

- Recuperación/reciclaje.
- Rebaja.
- Re-despliegue.

3.4.2 Explicación de la clase de coste

Los elementos de coste enumerados en el apartado anterior generalmente incluyen una variedad de actividades o fuentes de costes que se describen a continuación.

3.4.2.1 Gestión de proyectos

Esto incluye los costes de las funciones de gestión para lograr los objetivos generales del proyecto durante cualquier etapa del ciclo de vida. Ejemplos de estas actividades son: gestión de la configuración, gestión de la calidad, gestión de costes/programación, gestión de datos, gestión de contratos, gestión de soporte de elementos y enlace.

3.4.2.2 Ingeniería

Los costes de ingeniería incluyen mano de obra directa, materiales, gastos generales y otros costes directos asociados con las actividades de diseño y desarrollo. Esto también incluye los costes de ingeniería e integración del artículo, ingeniería de diseño y soporte de diseño.

3.4.2.3 Ingeniería y planificación de la producibilidad

Estos costes están asociados con la planificación y la ingeniería necesarias para garantizar la productividad económica oportuna y rentable del artículo antes de su lanzamiento para producción. Incluye los esfuerzos necesarios para estudiar la producibilidad del artículo, así como el desarrollo del proceso productivo. Estos costes pueden repetirse si hay un cambio en el contratista, en el diseño o en los procesos de producción.

3.4.2.4 Fabricación

Los costes de fabricación incluyen costes directos de mano de obra, materiales y gastos generales asociados con la adquisición y manipulación de materiales, herramientas y equipos de prueba en apoyo de la producción, fabricación, ensamblaje, integración y prueba.

3.4.2.5 Instalaciones

Los costes de las instalaciones incluyen los de construcción, mantenimiento y modernización de la planta y herramientas para la producción.

3.4.2.6 Equipo de prueba y soporte

Los costes del equipo de prueba y soporte incluyen los de equipos y herramientas necesarios para mantener y cuidar cualquier parte o la totalidad del artículo.

3.4.2.7 Formación inicial

Se incurre en costes para asegurar que el personal debidamente capacitado esté disponible para operar y mantener el artículo cuando llegue al campo, incluida la capacitación de instructores.

3.4.2.8 Repuestos iniciales y piezas de reparación

Se incluyen los costes iniciales de los artículos que se utilizarán para operar y mantener el artículo durante el período inicial de servicio.

3.4.2.9 Consumibles

Los consumibles son los costes de los materiales consumidos en la operación y soporte del artículo. Los ejemplos incluyen papel, lubricantes, combustible y materiales de limpieza.

3.4.2.10 Servicios de contratistas

Los costes de los servicios del contratista incluidos son los costes de asistencia, asesoramiento, instrucción, capacitación, operación y mantenimiento proporcionados por contrato separado [1].

3.5 Modelos del coste del del Ciclo de Vida

Un modelo de LCC, como cualquier modelo, es una representación simplificada de la realidad. En él, se extraen características y aspectos más importantes del producto y se traducen en relaciones con los costes estimados. La norma UNE-EN-60300 determina que para que el modelo sea realista debería:

- a) Representar las características del producto a analizar, incluyendo el entorno de utilización previsto, el concepto de mantenimiento, los escenarios de funcionamiento y de logística de mantenimiento, así como cualquier restricción o limitación.
- b) Ser completo para incluir y resaltar todos los factores que son relevantes para el LCC.
- c) Ser lo suficientemente simple para que sea fácilmente entendible y permitir su uso oportuno en la toma de decisiones y su actualización y modificación futura.
- d) Estar diseñado de tal forma que permita la evaluación de elementos específicos del LCC independientemente de otros elementos [1] [2].

Un modelo sencillo del LCC es básicamente una estructura contable que contiene expresiones matemáticas para la estimación del coste asociado con cada uno de los elementos que constituyen el LCC:

$$LCC = \text{Coste}_{\text{adquisición}} + \text{Coste}_{\text{propiedad}} + \text{Coste}_{\text{eliminación}} \quad (3-1)$$

Estos modelos pueden ser modelos de estimación, de apoyo a la decisión, de simulación o de optimización. Los modelos de estimación son los preferidos para realizar análisis del LCC. Un modelo sencillo del LCC es una estructura contable formada por expresiones matemáticas que dan como resultado el coste asociado al todo o a cada una de las partes que forman el LCC [1].

En algunos casos, puede ser necesario desarrollar un modelo específico para el problema en cuestión, mientras que en otros casos pueden usarse los modelos comerciales disponibles. Cada modelo de LCC tiene su propia flexibilidad y aplicación. El conocimiento de los contenidos y de las condiciones bajo las cuales se aplica es importante para asegurar la adecuación para su uso. Antes de seleccionar un modelo, debería identificarse la cantidad de información que se va a necesitar junto con los resultados esperados de su uso [2].

Una modelización del LCC incluye:

- Estructura de desglose de costes.
- Estructura de desglose del producto o trabajo (en la que estarán incluidas las actividades típicas generadoras de coste).
- Selección de categorías de coste (la categoría de costes de los recursos aplicables tales como mano de obra, materiales, energía o combustible, gastos generales, transporte o viajes... asociados a cada una de las actividades generadoras de coste).
- Selección de elementos de coste (el elemento de coste es el enlace entre las categorías de coste y la estructura desglosada del producto o trabajo).
- Estimación de costes aplicando técnicas de estimación a cada elemento de coste.

- Presentación de resultados.
- Puede incluirse, cuando sea aplicable:
 - Aspectos medioambientales y de seguridad.
 - Incertidumbres y riesgos.
 - Análisis de sensibilidad para identificar palancas de coste.

Los modelos de LCC deben ser capaces de modificando, añadiendo, actualizando, mezclando y posteriormente ordenado estos datos convertirlos en información útil para el cálculo.

4 EL MOTOR DIÉSEL

“Success is the sum of small efforts, repeated day-in and day-out”.

-Robert Collier-

4.1 Introducción al motor diésel

Los motores diésel son principalmente empleados en medios de transporte que requieren una dosis extra de potencia y que están pensados para una mayor carga diaria de trabajo, como vehículos industriales, de carga, maquinaria, medios aeronáuticos... No obstante, la tecnología se ha ido extendiendo también hacia medios de transporte particulares, llegando actualmente en España a superar en número a los vehículos que funcionan con gasolina [9].

Básicamente se trata de un motor térmico de combustión interna alternativa, en el cual, el encendido del combustible se logra por la temperatura elevada que produce la compresión del aire en el interior del cilindro, según el principio del ciclo del diésel.

La principal diferencia con un motor de gasolina reside en que: los motores diésel no necesitan chispa para encenderse, sino que cuentan con bujías incandescentes que van subiendo la temperatura de la cámara de combustión para mejorar el arranque en frío y que aprovechan ese calor una vez alcanzada la temperatura óptima [10].

Los cuatro tiempos de un motor diésel transcurren del siguiente modo:

- **Admisión:** En ese primer tiempo, se produce el llenado de aire ya que la válvula de admisión permanece abierta mientras el pistón va descendiendo hacia el punto muerto inferior. Siempre se admite la cantidad total de aire en cualquier condición de carga, y cuanto más fresco, menos densidad y más cantidad podrá entrar aumentando así la combustión.
- **Compresión:** La válvula de admisión se cierra cuando el pistón llega al punto muerto inferior y comienza el recorrido hasta el superior, comprimiendo así el aire que se encuentra dentro del cilindro y elevando significativamente la temperatura.
- **Combustión:** Poco antes de llegar al punto muerto superior, el inyector pulveriza el combustible dentro de la cámara, éste se inflama de inmediato al entrar en contacto con el aire caliente.
- **Escape:** La presión que genera la temperatura impulsará el pistón hacia abajo con fuerza, y parte de esa energía se empleará para devolverlo al punto muerto superior expulsando así los gases quemados y dejando que la inercia vuelva a comenzar el ciclo [10].

4.2 El motor diésel objeto de estudio

El motor de combustión diésel sobre el que se va a desarrollar este estudio es el MTU 16V 2000G26F (Figura 4-1). Se trata de un motor de cuatro tiempos con inyección directa.

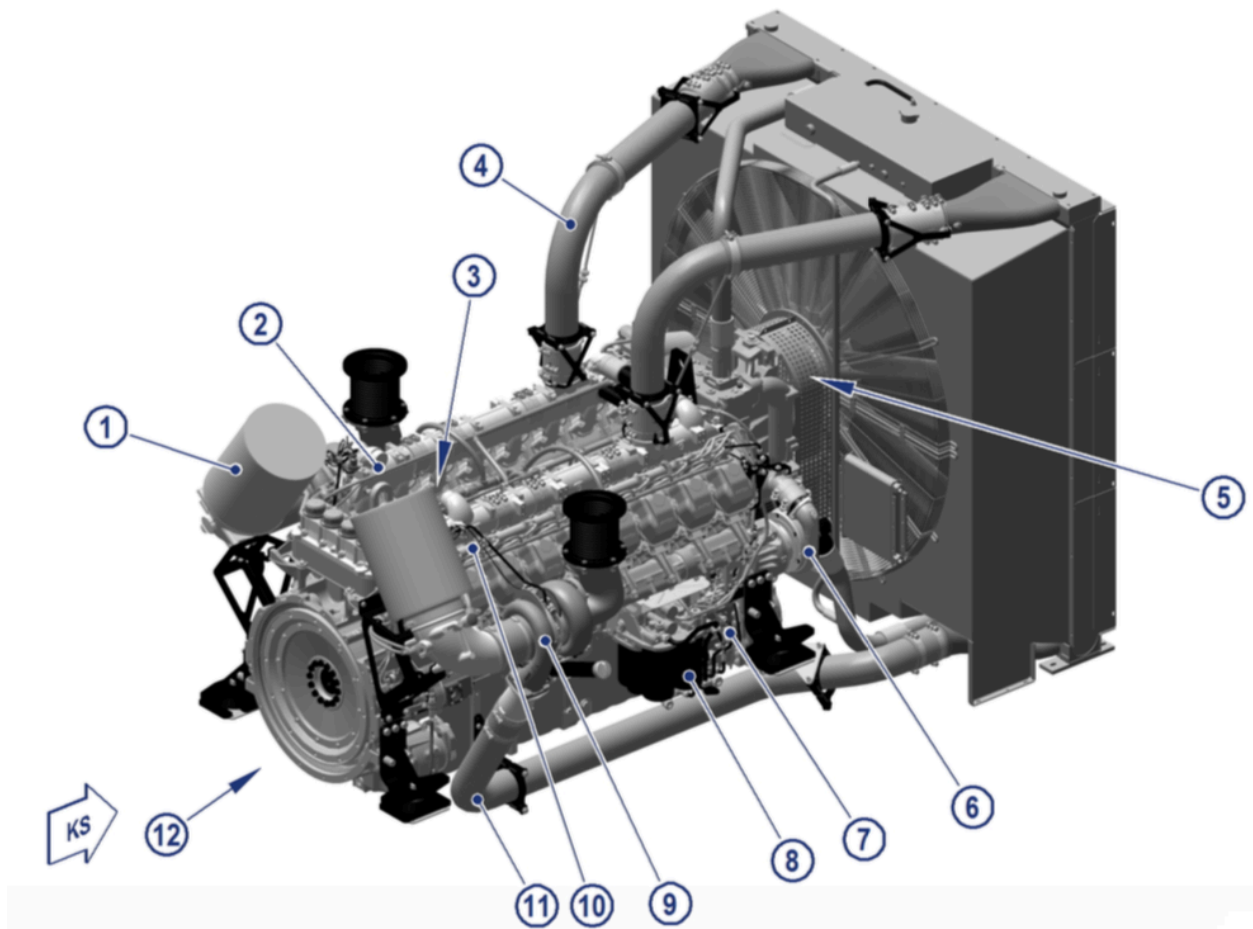


Figura 4-1. Motor diésel MTU 16V 2000G26F [11].

Las partes del motor indicadas en la Figura 4-1 son:

1. Toma de aire / suministro de aire.
2. Colector de carga de aire.
3. Sistema de seguimiento, control y regulación.
4. Línea de carga de aire.
5. Correa de transmisión.
6. Bomba de refrigerante del motor.
7. Sistema de combustible (baja presión).
8. Filtro del combustible.
9. Turbocompresor de escape.
10. Sistema de combustible (alta presión).
11. Línea de carga de aire.
12. Sistema de toma de fuerza, lado de conducción.

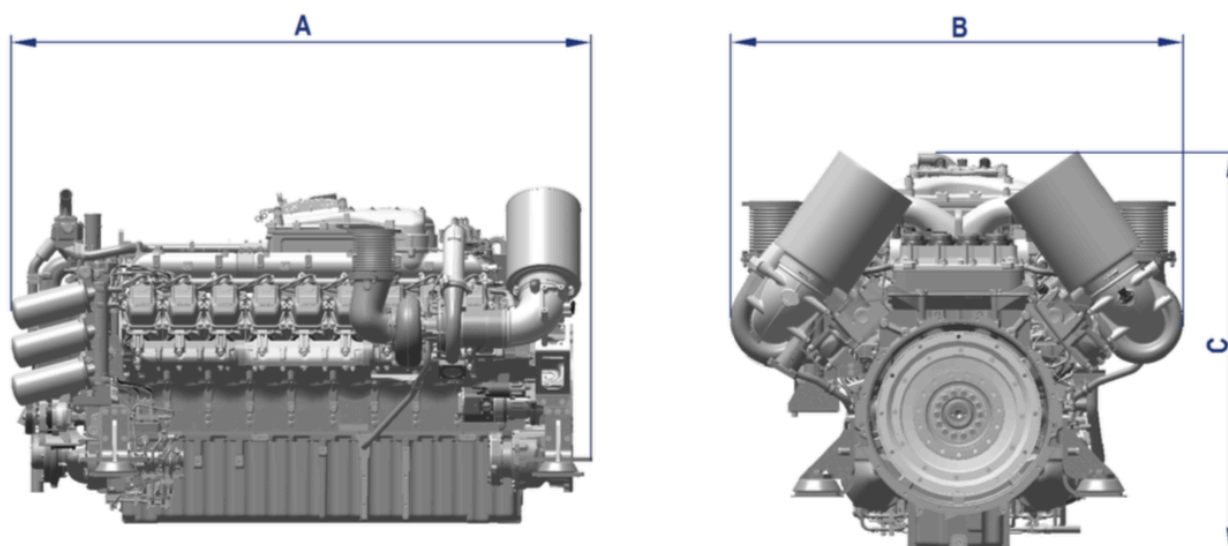


Figura 4-2. Dimensiones principales del motor MTU 16V 2000G26F [11].

Las dimensiones del motor se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4.1. Dimensiones del motor MTU 16V 2000G26F [11].

Modelo del motor	Largo (A)	Ancho (B)	Alto (C)
16V 2000G26F	~ 2394 mm	~ 1570 mm	~ 1421 mm

4.3 Sistemas auxiliares del motor diésel

Para que el motor (cilindro, pistón, biela y cigüeñal) pueda realizar el ciclo de trabajo de forma efectiva y segura, necesita de otros muchos componentes que, dan lugar a los sistemas y circuitos auxiliares que garantizan las condiciones que exige el funcionamiento del mismo.

4.3.1 Sistema de alimentación y de encendido

El *sistema de alimentación* tiene como función la de proporcionar el combustible necesario para el ciclo de trabajo, tanto en cantidad (proporción con respecto al aire) como en calidad (pulverización, emulsión, homogeneidad, etc). En los motores de gasolina formados por un circuito de combustible, aporta el caudal necesario a una determinada presión. Un sistema de gestión compuesto por una unidad de control electrónica y un conjunto de elementos sensores y actuadores, permite dosificar el combustible y hacer saltar la chispa en el cilindro y en el momento oportuno. En los motores diésel son necesarias presiones mucho más elevadas y son varios los sistemas electrónicos de control de la inyección que se emplean actualmente.

4.3.2 Sistema de admisión

Su función es conducir el aire aspirado necesario para la combustión hasta la cámara de compresión, y está formado por una serie de conductos que comunican el *filtro del aire* con el *colector de admisión*. Su diseño debe facilitar el desplazamiento del aire y no provocar pérdidas de carga ni ruidos aerodinámicos. El diseño del colector de admisión tiene una especial importancia, pues de él depende en gran medida el grado de llenado del cilindro. En este elemento suele estar instalada la *mariposa de gases* para la dosificación de potencia del motor.

4.3.3 Sistema de distribución

En la *cámara de compresión*, tanto debe entrar la mezcla de aire y combustible como salir los gases de escape. La circulación de estos fluidos se produce a través de orificios, que están abiertos o cerrados en función de la posición de unas *válvulas*. Éstas deben abrirse o cerrarse en el momento oportuno. El accionamiento de las mismas se realiza mediante un *árbol de levas* arrastrado por el cigüeñal. El conjunto de todos los elementos que intervienen en esta función componen el *sistema de distribución*.

4.3.4 Sistema de escape

Los gases residuales de la combustión abandonan la cámara de compresión a través del *colector de escape* y se conducen hasta la parte posterior del vehículo mediante unos tubos. En el trayecto, los gases deben perder temperatura y velocidad, para lo que se intercalan unos elementos que se denominan *silenciosos*. También se intercalan, próximos al motor, el *catalizador* o el *filtro de partículas*, elementos encargados de la depuración de los gases de escape.

4.3.5 Sistema de lubricación

Parte de los elementos del motor se mueven con deslizamiento entre sí y, además, lo hacen con una elevada presión. El *sistema de lubricación* tiene como principal función la de asegurar que esas superficies estén perfectamente lubricadas para minimizar el rozamiento, y simultáneamente, garantizar la estanqueidad entre los aros y el cilindro. El lubricante es impulsado por una bomba accionada por el motor, que recoge el aceite del cárter y lo hace circular, después de ser filtrado, a través de canalizaciones hacia todos los puntos del motor donde es necesaria su presencia. El continuo caudal circulante ayuda a evacuar tanto la suciedad como el calor. Éste se evacua a la atmósfera mediante el cárter o por un intercambiador de calor.

4.3.6 Sistema de refrigeración

El motor solo trabaja de forma óptima cuando está a una determinada temperatura, por lo que ésta debe alcanzarse lo más rápidamente posible cuando se parte del motor frío y mantenerse en ella de forma estable una vez conseguida. Esta función la cumple el *sistema de refrigeración*, que básicamente está compuesto por una bomba que impulsa el líquido refrigerante y fuerza su circulación por el bloque motor y por la culata (a través de dobles paredes y canales). El calor es evacuado al exterior por medio de un radiador sobre el que incide el aire de marcha. Otro sistema de refrigeración, mucho menos empleado, es por evacuación directa del calor al aire mediante aletas que proporcionan una superficie de intercambio amplia. El modo de refrigeración del motor incide notablemente en su diseño [12].

4.4 Partes principales del motor diésel

A pesar de existir una gran variedad de formas, los motores térmicos alternativos además de tener una estructura similar, están constituidos por una serie de elementos constructivos que cumplen la misma función en todos ellos. Éstos son los más importantes:

Bloque motor

Actúa a modo de soporte, puesto que es el elemento sobre el que se fijan el resto de piezas del motor. Es muy rígido y en su interior se sitúan los cilindros.

Culata

Es el elemento que cierra el cilindro por la parte superior. En ella están dispuestas las válvulas y los mecanismos para su accionamiento, a través de las cuáles llega la mezcla de aire y combustible a la cámara de compresión y salen los gases de escape al exterior. El mecanismo de accionamiento de las válvulas constituye el sistema de distribución del motor.

Tren alternativo

Está formado por el pistón, la biela y el cigüeñal. El pistón se desplaza por el interior del cilindro y es el que recibe la fuerza de la explosión; la biela transmite la fuerza al cigüeñal y juntos, transforman el movimiento alternativo en circular.

Volante de inercia

Está situado en un extremo del cigüeñal y dispone de una gran masa que regulariza la marcha del motor y permite almacenar energía cinética, que se cede al cigüeñal en los tiempos en que lo necesita.

Tapa de culata

La parte superior de la culata está cerrada por la *tapa de culata*, que además de proteger los mecanismos de la distribución, evita que los vapores de aceite lleguen a la atmósfera y ayuda a que se condensen y lleguen al cárter.

Cárter de aceite

Es el elemento de cierre del bloque por la parte inferior. En él se almacena el lubricante del motor para que sea aspirado por la bomba, y es donde simultáneamente se cede el calor al aire de marcha [12].

4.5 Descripción del mantenimiento

El mantenimiento es la combinación de todas las acciones técnicas y administrativas, incluyendo las acciones de supervisión, pensadas para mantener un elemento o restaurarlo a un estado en el que pueda realizar una función requerida.

Los términos básicos relativos al mantenimiento y su interrelación se ilustran en la Figura 4-3.

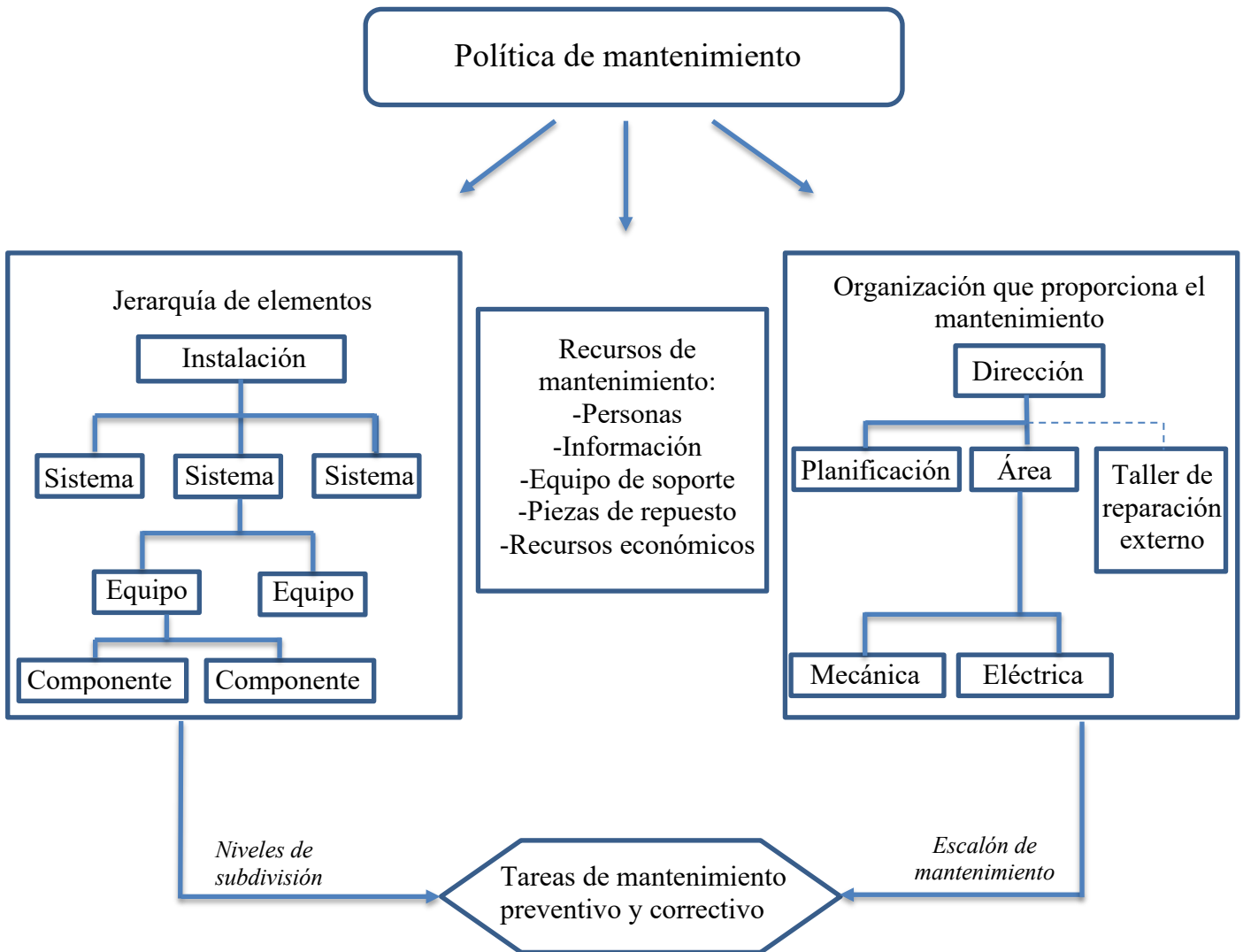


Figura 4-3. Interrelación de los términos de mantenimiento [13].

4.5.1 Política y concepto de mantenimiento

Una política de mantenimiento define el enfoque general para proporcionar el mantenimiento y la logística de mantenimiento basada en los objetivos y las políticas de los propietarios, los usuarios y clientes. Infiere en las decisiones tomadas acerca de las actividades y los recursos de mantenimiento durante todo el ciclo de vida de un elemento.

El concepto de mantenimiento es el enfoque específico de mantenimiento desarrollado para elementos usando los diferentes niveles de mantenimiento basados en los niveles de subdivisión. Utiliza recursos de logística de mantenimiento dentro del marco de la política de mantenimiento y se lleva a cabo por un escalón de mantenimiento.

4.5.2 Niveles de contrato

Los elementos pueden subdividirse jerárquicamente (por ejemplo, instalación, sistema, conjunto, equipo y componente) o en niveles de subdivisión contra los que se prescriben las tareas de mantenimiento. El conjunto de tareas de mantenimiento a realizar en un nivel de subdivisión específico se conoce como nivel de mantenimiento. El nivel de mantenimiento puede

descomponerse en unidades de trabajo o en actividades de mantenimiento elementales. Una secuencia de actividades de mantenimiento elementales realizadas para un propósito dado se convierte en la tarea real de mantenimiento.

4.5.3 Escalones de mantenimiento

Las unidades organizativas donde se realiza el mantenimiento se conocen como líneas de mantenimiento o escalones de mantenimiento. Pueden ser grupos internos tales como mecánicos de explotación y personal en talleres de reparación o pueden ser externos como el personal en instalaciones de revisión del fabricante.

4.5.4 Mantenimiento preventivo y correctivo

El mantenimiento preventivo puede realizarse a intervalos regulares o de acuerdo a los criterios prescritos para reducir la probabilidad de fallo o degradación y mantener en funcionamiento un elemento o detectar un defecto oculto. Dicho mantenimiento puede basarse en el estado del elemento y conseguirse supervisando éste hasta que el fallo sea inminente, o mediante verificaciones funcionales para detectar el fallo de funciones ocultas, y a continuación efectuar el mantenimiento. También puede determinarse, basándose en un intervalo fijo (como una fecha, horas de operación, número de ciclos) que consiste en la renovación regular o la sustitución de un elemento o sus componentes.

El mantenimiento correctivo restaura las funciones de un elemento, después de que ocurra un fallo y una característica deje de cumplir los límites establecidos. Algunos fallos son aceptables si las consecuencias del mismo (como la pérdida de producción, la seguridad, la influencia medioambiental, el coste del fallo) son tolerables comparado con el coste del mantenimiento preventivo. Esto da lugar a un enfoque de mantenimiento planificado en funcionamiento hasta el fallo.

Si las consecuencias son graves, debe realizarse un análisis de la causa para prevenir la repetición.

El mantenimiento preventivo normalmente se programa mientras que el mantenimiento correctivo generalmente no está planificado. No es inusual retrasar el mantenimiento correctivo a un momento posterior más conveniente, cuando haya redundancia que mantenga la función [13].

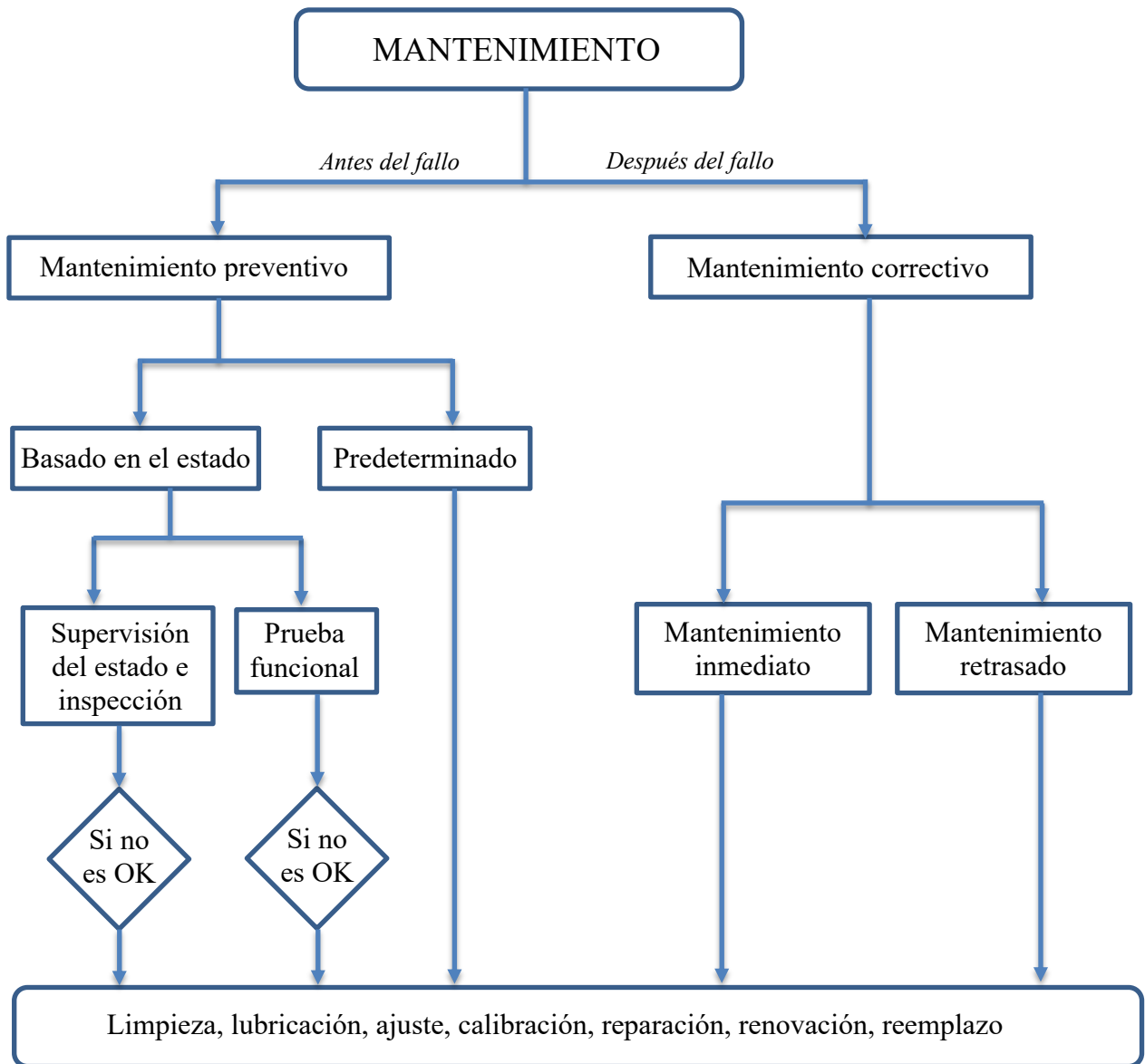


Figura 4-4. Tipos de tareas de mantenimiento [13].

4.5.5 Descripción de la logística de mantenimiento

La logística de mantenimiento consiste en los recursos necesarios para mantener un elemento, bajo un concepto de mantenimiento dado y de acuerdo a una política de mantenimiento. Los recursos incluyen, recursos humanos, equipos de soporte, materiales y piezas de repuesto, instalaciones de mantenimiento, documentación, información y sistemas de información de mantenimiento. La capacidad de una organización para proporcionar logística de mantenimiento bajo unas condiciones determinadas se conoce como característica de la logística de mantenimiento [13].

4.6 Tareas de mantenimiento del motor diésel

4.6.1 Identificación de tareas de mantenimiento

Las tareas de mantenimiento se identifican mediante una de las siguientes aproximaciones o una combinación de ellas:

- Adoptar las recomendaciones del fabricante.
- Analizar los elementos mediante un enfoque estructurado como el mantenimiento centrado en la fiabilidad (RCM) basado en un AMFEC.
- Confiar en la experiencia real con el elemento.

4.6.2 Análisis de las tareas de mantenimiento

El análisis de las tareas de mantenimiento determina la información y los recursos específicos para cada elemento que requiera mantenimiento, incluyendo lo siguiente:

- Descripción de la tarea de mantenimiento con el nivel de detalle necesario para una persona de mantenimiento experimentada.
- Frecuencia de la tarea, basándose en una medida relevante como el tiempo, las horas de funcionamiento, el número de ciclos de operación o la distancia.
- Número de personas, nivel de destreza y tiempo requerido para realizar la tarea.
- Procedimientos de mantenimiento para el desmontaje y el montaje.
- Procedimientos de seguridad que deben seguirse.
- Procedimientos para la manipulación, el transporte y la retirada de materiales peligrosos.
- Herramientas especiales, equipos de prueba y equipos de soporte requeridos.
- Piezas de repuesto, materiales y consumibles que vayan a usarse o reemplazarse.
- Observación y medidas que deben realizarse.
- Procedimientos de comprobación para verificar la operación correcta y la realización satisfactoria de la tarea de mantenimiento [13].

4.6.3 Tipos de tareas de mantenimiento

Dependiendo de la criticidad del producto y del concepto de mantenimiento seleccionado se toman diferentes enfoques para las tareas de mantenimiento [13].

El mantenimiento en un equipo es una de las actividades de mayor importancia a lo largo de su vida útil, se trata de una actividad fundamental para poder garantizar que una máquina o equipo logre cumplir el tiempo de funcionamiento y rendimiento para el cuál fue diseñado.

El sistema de mantenimiento presentado por MTU para el motor estudiado está basado en un mantenimiento preventivo, que permite optimizar el rendimiento y la longevidad del motor [14].

Los mantenimientos horarios están basados en las cargas de trabajo, mediante intervalos de tiempo, para realizar las inspecciones y mantenimientos periódicamente. Dichos mantenimientos han sido realizados mediante las experiencias obtenidas en los talleres de pruebas [15].

Los mantenimientos se pueden clasificar en las siguientes escalas:

- QL1: Control operativo y tareas de mantenimiento que se pueden realizar durante las pausas en la operación, y no requieren desmontaje del motor o de cualquiera de sus componentes.
- QL3: Procedimiento de mantenimiento que requiere el desmontaje parcial del motor o componentes del mismo.

- QL4: Procedimiento de mantenimiento que requiere el desmontaje y reparación completa del motor [16].

4.6.4 Preparación del mantenimiento

La planificación de las tareas de mantenimiento específicas tiene que realizarse con suficiente antelación para planificar y proporcionar los recursos necesarios. Esto incluye:

- Identificar y asignar personal.
- Adquirir materiales y piezas de repuesto de fuentes externas o de existencias.
- Asegurar que se dispone de herramientas, transporte, elevación y equipo de soporte.
- Preparar los procedimientos de operación, mantenimiento, ambientales y de seguridad y los planes de trabajo requeridos.
- Identificar y reservar los recursos externos.
- Identificar los recursos de comunicaciones.
- Proporcionar la formación necesaria.

Las actividades planificadas se programan, basándose en un sistema de prioridades, para asegurar que las actividades más urgentes e importantes se realizan primero y los recursos se utilizan eficientemente.

El envío de recursos de mantenimiento puede activarse a través de centros de atención telefónica, procedimientos especializados de atención telefónica, diagnóstico automático remoto, operadores o usuarios de los equipos, o por otros medios [13].

4.6.5 Ejecución del mantenimiento

Las tareas de mantenimiento deberían realizarse prestando el debido cuidado y atención a los aspectos técnicos de aislamiento, desmontaje, limpieza, reparación, restauración, sustitución, reensamblaje y a los componentes y equipo de prueba. Es necesario seguir lo especificado en los procedimientos especiales de seguridad y medioambientales, para la retirada de materiales y consumibles peligrosos. Debería registrarse la información relativa a las observaciones hechas, a las lecturas y a las medidas requeridas, a las tareas realizadas y a los recursos usados.

El mantenimiento preventivo puede consistir en lo siguiente:

- Recopilación de datos técnicos y descripción de tareas.
- Obtención de piezas de repuesto, herramientas y equipo de soporte.
- Desplazamiento al lugar de trabajo.
- Preparación del lugar de trabajo, como apagado del equipo, procedimientos de aislamiento y bloqueo.
- Tiempo de mantenimiento activo.
- Observación y medidas.
- Pruebas y verificaciones.
- Dejar despejado el lugar de trabajo.
- Registro de la información necesaria.

El mantenimiento correctivo implica los mismos pasos que el mantenimiento preventivo, pero también requiere tareas adicionales de identificación de averías para identificar la ubicación y la naturaleza del fallo y la restauración o sustitución necesaria de componentes. En el caso de un fallo importante, es necesario investigar la causa y reunir evidencias antes de la reparación. Puede ser necesario realizar la certificación de las tareas de mantenimiento si lo especifica alguna reglamentación, contrato o requisito de la compañía [13].

5 ANÁLISIS DEL COSTE DEL CICLO DE VIDA DE UN MOTOR DIÉSEL

“In the middle of every difficulty lies opportunity”.

-Albert Einstein-

5.1 Fase del Ciclo de Vida del motor diésel y Coste del Ciclo de Vida

El Ciclo de Vida de un producto está dividido en seis fases principales, siendo objeto de estudio en este proyecto la fase de utilización del motor. Dicha etapa engloba tanto la operación del motor como el mantenimiento del mismo. Por tanto, al ser un análisis centrado solamente en la etapa de utilización, el coste objeto de estudio es el coste de propiedad.

5.2 Proceso de Coste del Ciclo de Vida del motor diésel

Los pasos principales del proceso de Coste del Ciclo de Vida son:

- Establecer el contexto organizacional.
- Planificar el análisis.
- Definir el enfoque de análisis.
- Realizar el análisis.
- Finalizar el análisis.

5.2.1 Establecer el contexto

El motor diésel de altas prestaciones que se va a analizar, presenta un periodo de funcionamiento de 16.001 horas de operación durante 3 años. Su principal función es la generación de potencia eléctrica.

5.2.2 Planificar el análisis

5.2.2.1 Definir el alcance y objetivos del análisis

El análisis del Coste del Ciclo de Vida del motor diésel MTU 16V 2000G26F se va a focalizar en la etapa de utilización del mismo, incluyéndose la operación y el mantenimiento.

El objetivo de este análisis es determinar el Coste del Ciclo de Vida del motor diésel con el fin de conocer el coste de propiedad de dicho motor.

5.2.2.2 Definir tareas de análisis e identificar al personal que contribuye

Las tareas de mantenimiento enunciadas en la Tabla 5.1 se han definido con el fin de optimizar el rendimiento y la longevidad del motor [14]. Para cada tarea se ha estimado el tiempo empleado en su ejecución, el coste del repuesto (si fuese necesario) y la periodicidad con la que se ejecuta la tarea.

Por otro lado, cada una de las tareas de mantenimiento ha sido catalogada como QL1, QL3 o QL4, dependiendo de si es necesario el desmontaje del motor durante su ejecución. Las tareas QL1 serán ejecutadas por personal local a diferencia de las tareas QL3 y QL4 que serán llevadas a cabo tanto por personal local como personal de fábrica.

Tabla 5.1. Tareas de mantenimiento del motor diésel.

Clasificación	Nº Tarea	Intervalo (hora)	Intervalo (año)	Posición	Tarea de mantenimiento	Coste de repuesto por tarea (€)	Horas hombre por tarea (h)
	QL1	500	1			19.795,26	119,30
	QL3	8.000	9			51.218,26	145,45
	QL4	16.000	18			97.825	589
	CC001	8.000	2		Cambio de refrigerante	0	2
	OC001	500	2		Cambio de aceite	0	1
	REMA1	16.000	18		Motor Reman	97.825	589
QL1	W0500	0	0	Operación del motor	Revisión del nivel de aceite del motor	0	0,10
QL1	W0501	0	0	Operación del motor	Inspección visual del motor para comprobar la estanqueidad y el estado general del motor	0	0
QL1	W0502	0	0	Operación del motor	Inspección del aliviadero del radiador del aire de sobrealimentación	0	0
QL1	W0503	0	0	Operación del motor	Inspección del indicador de mantenimiento del filtro de aire	0	0
QL1	W0505	0	0	Operación del motor	Revisión de los agujeros de descarga de las bombas de líquido refrigerante	0	0
QL1	W0506	0	0	Operación del motor	Revisión de ruidos durante el	0	0

Clasificación	Nº Tarea	Intervalo (hora)	Intervalo (año)	Posición	Tarea de mantenimiento	Coste de repuesto por tarea (€)	Horas hombre por tarea (h)
					funcionamiento, color de los gases de escape y vibraciones anómalas		
QL1	W0507	0	0	Operación del motor	Purga del prefiltro de combustible y comprobación de depresión en el mismo	0	0
QL1	W0508	0	0	Operación del motor	Revisión del indicador de servicio del prefiltro de combustible (si está instalado).	0	0
QL1	W1008	500	2	Filtros de aceite del motor	Instalación de filtros de aceite nuevos en cada cambio de aceite o antes de que expire el tiempo límite indicado en años	97,23	1
QL1	W1244	0	2	Sistema de combustible	Comprobación del funcionamiento del electrodo de barras.	0	0,40
QL1	W1245	0	1	Sistema de combustible	Comprobación de la función de alarma del manómetro de diferencia de presión.	0	0,20
QL1	W1246	0	1	Sistema de combustible	Verificación del rendimiento de la bomba de combustible.	0	0,50
QL1	W1001	500	2	Filtro del combustible	Montaje de un nuevo filtro de combustible o del elemento filtrante de combustible	41,78	0,20
QL1	W1009	500	2	Filtro centrífugo de aceite	Verificación del grosor de la capa de residuos de aceite, limpieza y colocación de juntas nuevas	5,06	0,15
QL1	W1481	500	2	Filtro de combustible primario	Montaje de un nuevo filtro de combustible primario o del elemento filtrante de combustible primario	440,92	1

Clasificación	Nº Tarea	Intervalo (hora)	Intervalo (año)	Posición	Tarea de mantenimiento	Coste de repuesto por tarea (€)	Horas hombre por tarea (h)
QL1	W1675	500	2	Prefiltro del combustible	Instalación de un nuevo prefiltro de combustible o un nuevo prefiltro de combustible inserto	41,78	0,20
QL1	W1207	2.000	2	Ajuste de válvulas	Verificación de las holguras de las válvulas.	76,80	1,40
QL1	W1003	4.000	2	Correa del alternador	Comprobación del estado y la tensión de la correa. Colocación correa nueva si es necesario.	0	0,10
QL1	W1005	4.000	3	Filtros de aire	Instalación de filtros de aire nuevos.	148,68	0,20
QL1	W1055	4.000	6	Respiraderos del cárter	Montaje de separadores de aceite nuevos.	117	1
QL1	W1006	8.000	9	Inyectores de combustible	Montaje de nuevos inyectores de combustible	11.882,40	5
QL1	W1006C	8.000	9	Inyectores de combustible	Depósito de Reman Core	4.480	0
QL1	W1178	8.000	9	Cuello de tubo de presión (bayoneta)	Montaje de un nuevo cuello del tubo de presión (bayoneta) en la culata	1.317,12	2,10
QL1	W1636	8.000	9	Unidad de control del motor	Restauración de los parámetros de corrección (CDC) e inclusión de la codificación del inyector (IIG)	0	1
QL3	W1041	8.000	9	Turbocompresores	Montaje de nuevos turbocompresores	23.005,39	14
QL3	W1058	8.000	9	Bombas de combustible HP	Montaje de bombas de combustible HP nuevas	5.600	1,50
QL3	W1058C	8.000	9	Bombas de combustible HP	Depósito de Reman Core	1.700	0
QL3	W1063	8.000	9	Culatas de cilindros	Overhaul de las culatas de cilindros. Inspección visual de las cabezas de los pistones y el patrón de desgaste en las superficies de deslizamiento en	893,86	72

Clasificación	Nº Tarea	Intervalo (hora)	Intervalo (año)	Posición	Tarea de mantenimiento	Coste de repuesto por tarea (€)	Horas hombre por tarea (h)
					la camisa del cilindro		
QL3	W1063R	8.000	9	Culatas de cilindros	Almacenaje de piezas de culata	2.366,85	0
QL3	W1384	8.000	9	Overhaul de la bomba del refrigerante del motor	Bomba del refrigerante del motor	1.365,34	9
QL3	W1384R	8.000	9	Bomba de refrigerante del motor	Almacenaje de piezas	226,76	0
QL3	W2002	8.000	9	Mantenimiento de componentes	Conductos de aire limpio	0	1,50
QL3	W2003	8.000	9	Mantenimiento de componentes	Limpieza de los intercambiadores e inspección de posibles fugas.	808,61	2
QL3	W2003R	8.000	9	Mantenimiento de componentes	Almacenaje de piezas	1.060,79	0
QL3	W2006	8.000	9	Mantenimiento de componentes	Verificación del termostato del refrigerante del motor y montaje de un nuevo actuador térmico	286,21	1
QL3	W2009	8.000	9	Mantenimiento de componentes	Inspección del filtro de aceite centrífugo en busca de desgaste (si está instalado).	10,28	0,20
QL3	W2018	8.000	9	Mantenimiento de componentes	Limpieza del enfriador de aceite del motor e inspección para detectar fugas	740,15	1,40
QL3	W2036	8.000	9	Mantenimiento de componentes	Verificación de la alineación del motor	0	1
QL3	W2062	8.000	9	Mantenimiento de componentes	Colocación de nuevos materiales de sellado para todos los componentes desmontados	685,25	20
QL3	W2074	8.000	9	Mantenimiento de componentes	Inspección de los balancines, los puentes de válvulas, las varillas de empuje y las articulaciones en busca de desgaste	0	5,50
QL4	W3000	16.000	18	Mantenimiento extendido de componentes	Despiece del motor completo. Inspección de los componentes del motor según las	6.245,72	370

Clasificación	Nº Tarea	Intervalo (hora)	Intervalo (año)	Posición	Tarea de mantenimiento	Coste de repuesto por tarea (€)	Horas hombre por tarea (h)
					instrucciones del Manual de mantenimiento y reparación o montaje de nuevos componentes según sea necesario		
QL4	W3001	16.000	18	Mantenimiento extendido de componentes	Cambio de todas las piezas elastoméricas y los sellos por otros nuevos	5.403,02	0
QL4	W3002	16.000	18	Mantenimiento extendido de componentes	Montaje de nuevos segmentos del pistón	1.500,96	0
QL4	W3003	16.000	18	Mantenimiento extendido de componentes	Montaje de nuevos cojinetes de biela	2.360,16	0
QL4	W3004	16.000	18	Mantenimiento extendido de componentes	Montaje de nuevos cojinetes de cigüeñal	1.628,17	0
QL4	W3005	16.000	18	Mantenimiento extendido de componentes	Montaje de nuevas camisas de cilindro	2.282,56	0
QL4	W3006	16.000	18	Mantenimiento extendido de componentes	Montaje de nuevos rodamientos de la toma de fuerza secundaria	108,44	0
QL4	W3041	16.000	18	Mantenimiento extendido de componentes	Motor de arranque	496,86	0
QL4	W3041R	16.000	18	Mantenimiento extendido de componentes	Almacenaje de piezas	209,52	0
QL4	W3042	16.000	18	Mantenimiento extendido de componentes	Overhaul del generador de carga de baterías	493,46	0
QL4	W3042R	16.000	18	Mantenimiento extendido de componentes	Almacenaje de piezas	71,33	0
QL4	W3043	16.000	18	Mantenimiento extendido de componentes	Montaje de una nueva válvula de alivio de presión del combustible	578,42	0
QL4	W3057	16.000	18	Mantenimiento extendido de componentes	Montaje de un nuevo sensor de combustible de alta presión	604,51	0
QL4	W3108	16.000	18	Mantenimiento extendido de componentes	Verificación del amortiguador de vibraciones, montaje de uno nuevo si es necesario	2.068,95	0

Clasificación	Nº Tarea	Intervalo (hora)	Intervalo (año)	Posición	Tarea de mantenimiento	Coste de repuesto por tarea (€)	Horas hombre por tarea (h)
QL4	W3138	16.000	18	Mantenimiento extendido de componentes	Cambio del codo de escape junto con las aletas	9.125,63	0
QL4	W3xxxR	16.000	18	Mantenimiento extendido de componentes	Almacenaje de piezas	13.428,88	77
QL4	W32xxR	32.000	36	Mantenimiento extendido de componentes	Almacenaje de piezas	1.284,96	0

5.2.3 Definir el enfoque de análisis

5.2.3.1 Seleccionar un modelo del Coste del Ciclo de Vida

El modelo seleccionado para el Análisis del Coste del Ciclo de Vida del motor es un modelo genérico para la gestión de mantenimiento, que tiene en cuenta e integra diferentes modelos empleados en empresas de amplia tradición y excelencia en este campo [17].

Dicho modelo está compuesto por ocho bloques que distinguen y caracterizan acciones concretas a seguir en los diferentes pasos del proceso de gestión de mantenimiento. Se trata de un modelo dinámico, secuencial y en bucle cerrado que intenta caracterizar de forma precisa el curso de acciones a llevar a cabo en este proceso de gestión para asegurar la eficiencia, eficacia y mejora continua del mismo. Tal y como se muestra en la Figura 5-1, los primeros tres bloques condicionan la eficacia de la gestión, los siguientes bloques aseguran la eficiencia de la misma y su mejora continua de la siguiente forma: los bloques 4 y 5 incluyen acciones para la planificación y programación del mantenimiento, abarcando por supuesto la planificación de la capacidad del departamento de mantenimiento. Los bloques 6 y 7 están dedicados a la evaluación y control del mantenimiento y del coste de los activos a lo largo de su ciclo de vida. Finalmente, el bloque 8 se centra en acciones para asegurar la mejora continua de la gestión [17].

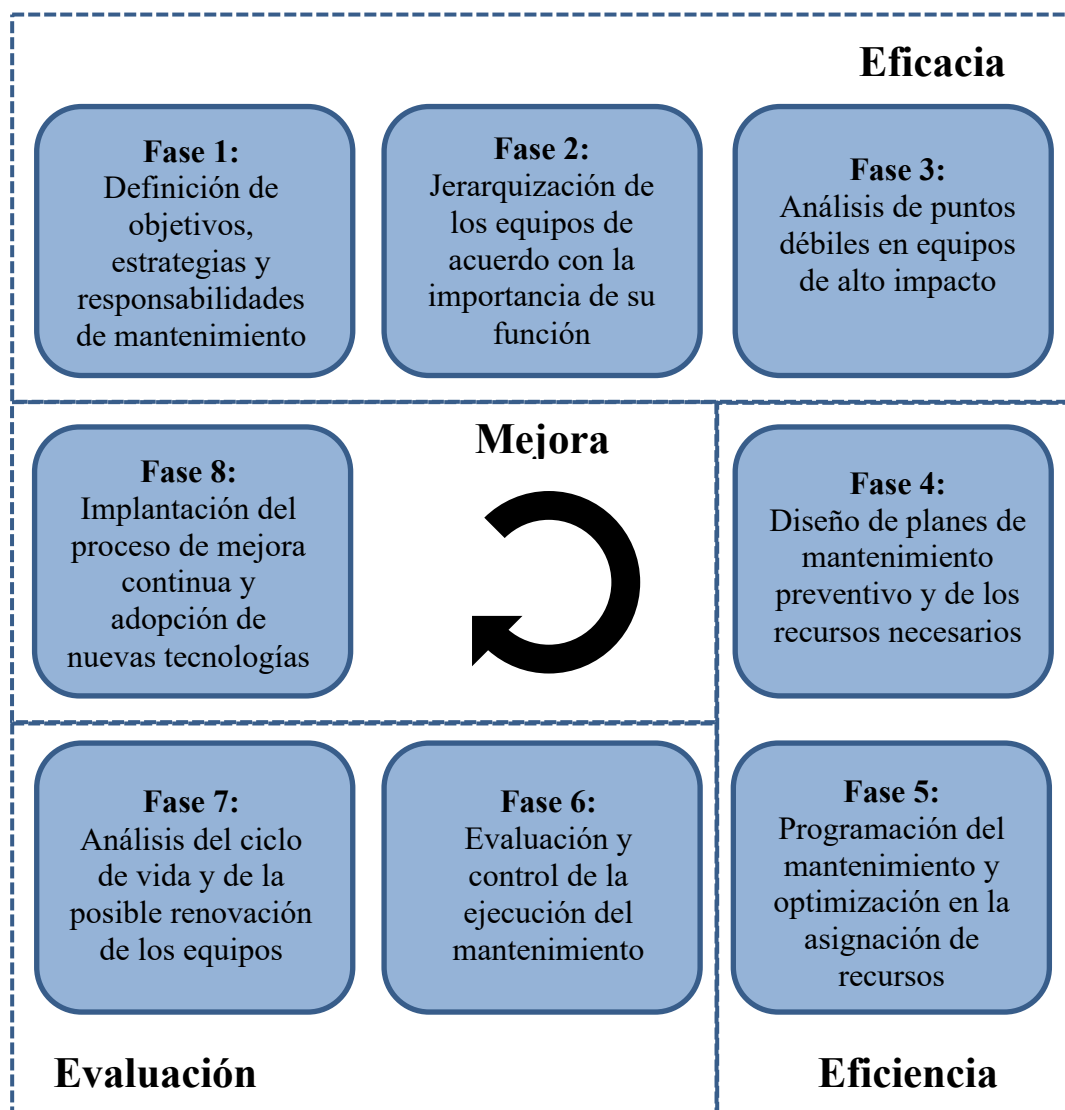


Figura 5-1. Modelo propuesto del proceso de Gestión de Mantenimiento [17].

Para el desarrollo del ACCV del presente proyecto solo será de aplicación las pautas definidos en la fase 7 del modelo de gestión de mantenimiento. A continuación, se describe de forma general los aspectos básicos de dicha fase:

Fase 7. Instrumentos para el análisis de costes del ciclo de vida del activo y para su control.

Un Análisis de Costes del Ciclo de Vida calcula el coste de un activo durante su vida útil. El análisis de un activo típico podría incluir costes de planificación, investigación y desarrollo, producción, operación, mantenimiento y retirada del equipo. Los costes de adquisición del equipo (que incluyen investigación, diseño, prueba, producción y construcción) son por lo general obvios, pero el Análisis de Costes del Ciclo de Vida depende crucialmente de valores derivados de la fiabilidad. Por lo tanto, un ACCV es importante para tomar decisiones en aspectos que principalmente están relacionados con la planificación de los costes en los programas de mantenimiento y en el proceso de adquisición de nuevos equipos (reemplazo o nueva adquisición) [17].

5.2.3.2 Definir la estructura de desglose de costes

La estructura de desglose de costes para el motor diésel se muestra en la Figura 5-2. En ella, se recopilan todos los costes implicados en el Coste del Ciclo de Vida del motor.

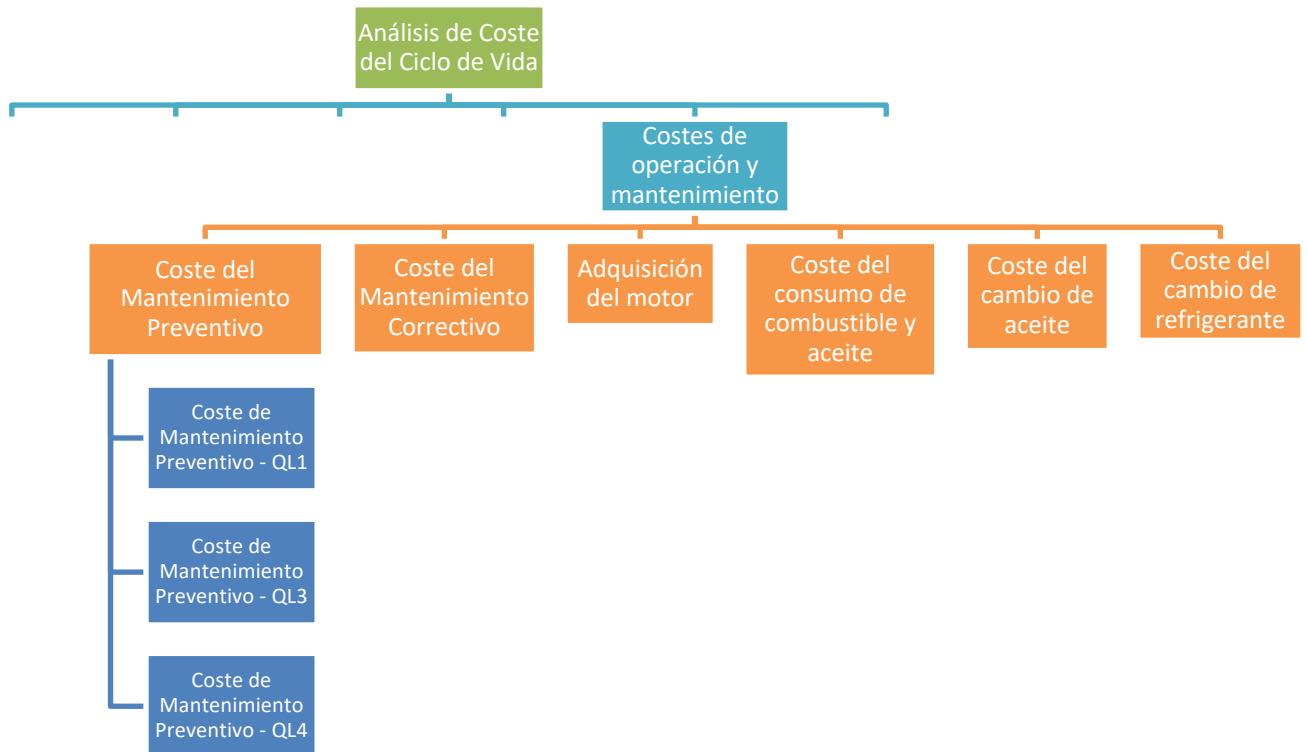


Figura 5-2. Estructura de desglose de costes del motor diésel.

5.2.3.3 Identificar áreas de incertidumbre

Para el cálculo del Coste del Ciclo de Vida del motor diésel, se han considerado los siguientes parámetros como datos de entrada:

Tiempo promedio entre fallos (MTBF): 1.000 h

Tiempo promedio de reparación (MTTR): 20 h

Horas hombre de preparación/administración por servicio para tareas QL1 (AMS_{QL1}): 0 h

Horas hombre de preparación/administración por servicio para tareas QL3 (AMS_{QL3}): 1 h

Horas hombre de preparación/administración por servicio para tareas QL4 (AMS_{QL4}): 1h

Horas hombre de preparación/administración por servicio para Mantenimiento Correctivo (AMS_{CM}): 1h

Mano de obra local: 76,5 €/h

Mano de obra de personal de fábrica: 107,5 €/h

Nº personal local para tareas QL1: 1

Nº personal de fábrica para tareas QL1: 0

Nº personal local para tareas QL3: 2

Nº personal de fábrica para tareas QL3: 1

Nº personal local para tareas QL4: 2

Nº personal de fábrica para tareas QL4: 1
Coste de alquiler de coche por coche y día: 50 €
Coste del combustible: 1,05 €/L
Densidad del combustible: 0,845 kg/L
Consumo medio de combustible por 100 km: 7 L
Coste de asignación por persona y día: 139,5 €
Coste de viaje por persona: 120 €
Coste de alojamiento por persona de fábrica: 135 €
Distancia recorrida a la ubicación por personal de fábrica: 530 km
Distancia recorrida a la ubicación por personal local: 200 km
Tiempo de viaje a la ubicación por personal local: 2 h
Tiempo de viaje a la ubicación por personal de fábrica: 6 h
Tiempo de desplazamiento diario por personal local: 2h
Tiempo de desplazamiento diario por personal de fábrica: 6h
Promedio de días de trabajo por persona de fábrica para tareas QL1: 0,5 días
Promedio de días de trabajo por persona de fábrica para tareas QL3: 6,9 días
Promedio de días de trabajo por persona de fábrica para tareas QL4: 28,05 días
Coste de alojamiento y transporte por servicio de Mantenimiento Correctivo: 100 €
Volumen de refrigerante aditivo (CAV): 70 L
Coste del refrigerante aditivo por litro (CAC): 1 €/L
Volumen del cambio de aceite (OCV): 114 L
Coste del aceite (OC): 2 €/L
Densidad del aceite: 0,850 kg/L
Coste de stock de repuestos (SPSC): 120 €
Coste misceláneo (MC): 300 €
Coste neto del motor (NCE): 140.000 €
Potencia nominal del motor: 709 kW
Consumo de aceite en % del consumo de combustible: 0,30%
Incremento anual del precio (EAP): 3%
Margen de beneficio (PMO): 15%

5.2.4 Realizar el análisis

En el siguiente capítulo se desarrollan todos los cálculos necesarios para llevar a cabo el Análisis de Coste del Ciclo de Vida del motor.

6 COSTE DEL CICLO DE VIDA DE UN MOTOR DIÉSEL

“Success is not a final, failure is not fatal: it is the courage to continue that counts”.

-Winston Churchill-

6.1 Introducción al Coste del Ciclo de Vida de un motor de combustión diésel

A continuación, se detallan los cálculos realizados para obtener el Coste del Ciclo de Vida del motor de combustión diésel MTU 16V 2000G26F.

6.1.1 Coste y tiempo empleado en el mantenimiento preventivo y correctivo

En la siguiente tabla se muestran el coste y el tiempo empleado en el mantenimiento del motor durante los 3 años de operación:

Tabla 6.1. Coste del mantenimiento realizado al motor durante el periodo de operación.

Año	Rango de horas de operación	Mantenimiento Preventivo QL1	Mantenimiento de Componentes de tareas QL3	Mantenimiento Extendido de Componentes de tareas QL4	Mantenimiento Correctivo
Año 1	0 h - 5.334 h	20.885,13 €	-	-	-
Año 2	5.334 h - 10.667 h	21.323,84 €	131.676,99 €	-	-
Año 3	10.667 h - 16.001 h	22.446,36 €	-	404.886,84 €	24.420,42 €
Total por motor		64.655,33 €	131.676,99 €	404.886,84 €	24.420,42 €

Tabla 6.2. Tiempo empleado en las tareas de mantenimiento durante el periodo de operación del motor.

Año	Rango de horas de operación	Mantenimiento Preventivo QL1	Mantenimiento de Componentes de tareas QL3	Mantenimiento Extendido de Componentes de tareas QL4	Mantenimiento Correctivo	Horas de servicio al año sin supervisor
Año 1	0 h - 5.334 h	39,60 h	-	-	-	39,60 h
Año 2	5.334 h - 10.667 h	41 h	144,45 h	-	-	185,45 h
Año 3	10.667 h - 16.001 h	42,7 h	-	590 h	106,65 h	739,35 h
Total por motor		123,3 h	144,45 h	590 h	106,65 h	964,4 h

A continuación, se muestra el desarrollo de los cálculos.

6.1.1.1 Mantenimiento Preventivo QL1

El coste del mantenimiento preventivo de las tareas QL1 se calcula:

$$\begin{aligned}
 PMC_{QL1} = & [PTC_{QL1} + (LCMTU_{QL1} + LCL_{QL1}) + (TCMTU_{QL1} + TCL_{QL1}) \\
 & + (ATCSMTU_{QL1} + ATCSL_{QL1})] \cdot (1 + EAP)^n \cdot (1 + PMO) \quad (6-1)
 \end{aligned}$$

Siendo:

PMC_{QL1} : Coste del Mantenimiento Preventivo para tareas QL1 [€]

PTC_{QL1} : Coste de los repuestos para tareas QL1 para cada año [€]

$LCMTU_{QL1}$: Coste de mano de obra por persona de fábrica para tareas QL1 [€]

LCL_{QL1} : Coste de mano de obra por persona local para tareas QL1 [€]

$TCMTU_{QL1}$: Coste de viaje de personal de fábrica para tareas QL1 [€]

TCL_{QL1} : Coste de viaje de personal local para tareas QL1 [€]

$ATCSMTU_{QL1}$: Coste de alojamiento y transporte de personal de fábrica por servicio para tareas QL1 [€]

$ATCSL_{QL1}$: Coste de alojamiento y transporte de personal local por servicio para tareas QL1 [€]

EAP : Incremento anual del precio (material, mano de obra, transporte, viaje, alojamiento, apoyo al proyecto) [%]

n : Año de operación

PMO : Margen de beneficio [%]

Tabla 6.3. Datos para el cálculo del coste del mantenimiento preventivo de las tareas QL1.

Parámetros / Año de operación del motor	Primer año	Segundo año	Tercer año
PTC_{QL1} [€]	6.686,98	6.421,30	6.686,98
$LCMTU_{QL1}$ [€]	0	0	0
LCL_{QL1} [€]	3.029,40	3.136,50	3.266,55
$TCMTU_{QL1}$ [€]	0	0	0
TCL_{QL1} [€]	6.120	6.120	6.120
$ATCSMTU_{QL1}$ [€]	0	0	0

Parámetros / Año de operación del motor	Primer año	Segundo año	Tercer año
ATCSL_{QL1} [€]	2.324,60	2.324,60	2.324,60
EAP [%]	3	3	3
n	0	1	2
PMO [%]	15	15	15

*Los cálculos de los parámetros de esta tabla se encuentran desarrollados en el anexo.

Por lo tanto, para el primer año:

$$PM_{C_{QL1_1}} = [6.686,98€ + 3.029,40€ + 6.120€ + 2.324,60€] \cdot (1 + 0,03)^0 \cdot (1 + 0,15) = 20.885,13€ \quad (6-2)$$

Para el segundo año:

$$PM_{C_{QL1_2}} = [6.421,30€ + 3.136,50€ + 6.120€ + 2.324,60€] \cdot (1 + 0,03)^1 \cdot (1 + 0,15) = 21.323,84€ \quad (6-3)$$

Para el tercer año:

$$PM_{C_{QL1_3}} = [6.686,98€ + 3.266,55€ + 6.120€ + 2.324,60€] \cdot (1 + 0,03)^2 \cdot (1 + 0,15) = 22.446,36€ \quad (6-4)$$

El coste del mantenimiento preventivo para el motor es:

$$PM_{C_{QL1}} = 20.885,13€ + 21.323,84€ + 22.446,36€ = 64.655,33€ \quad (6-5)$$

Por otro lado, el tiempo empleado en el mantenimiento preventivo para las tareas QL1 es:

$$PMT_{QL1} = MH_{QL1} + nT_{QL1} \cdot AMS_{QL1} \quad (6-6)$$

Siendo:

PMT_{QL1} : Tiempo empleado en el Mantenimiento Preventivo para tareas QL1 [h]

MH_{QL1} : Horas hombre para tareas QL1 [h]

nT_{QL1} : Número de tareas QL1

AMS_{QL1} : Horas hombre de preparación/administración por servicio para tareas QL1 [h]

Tabla 6.4. Datos para el cálculo del tiempo empleado en el mantenimiento preventivo de las tareas QL1.

Parámetros / Año de operación del motor	Primer año	Segundo año	Tercer año
MH_{QL1} [h]	39,6	41	42,7
nT_{QL1}	10	10	10
AMS_{QL1} [h]	0	0	0

*Los cálculos de los parámetros de esta tabla se encuentran desarrollados en el anexo.

Para el primer año, el tiempo empleado es:

$$PMT_{QL1_1} = 39,6 \text{ h} + 10 \cdot 0 \text{ h} = 39,6 \text{ h} \quad (6-7)$$

Para el segundo año:

$$PMT_{QL1_2} = 41 \text{ h} + 10 \cdot 0 \text{ h} = 41 \text{ h} \quad (6-8)$$

Y para el último año:

$$PMT_{QL1_3} = 42,7 \text{ h} + 10 \cdot 0 \text{ h} = 42,7 \text{ h} \quad (6-9)$$

El total del tiempo empleado en el mantenimiento preventivo de las tareas QL1:

$$PMT_{QL1} = 39,6 \text{ h} + 41 \text{ h} + 42,7 \text{ h} = 123,3 \text{ h} \quad (6-10)$$

6.1.1.2 Mantenimiento de los componentes de las tareas QL3

El coste del mantenimiento de los componentes de las tareas QL3 se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$CMC_{QL3} = [PT_{QL3} + (LCMTU_{QL3} + LCL_{QL3}) + (TCMTU_{QL3} + TCL_{QL3}) + (ATCSMTU_{QL3} + ATCSL_{QL3})] \cdot (1 + EAP)^n \cdot (1 + PMO) \quad (6-11)$$

Siendo:

CMC_{QL3} : Coste del Mantenimiento de Componentes de tareas QL3 [€]

PT_{QL3} : Coste de los repuestos para tareas QL3 para cada año [€]

$LCMTU_{QL3}$: Coste de mano de obra por persona de fábrica para tareas QL3 [€]

LCL_{QL3} : Coste de mano de obra por persona local para tareas QL3 [€]

$TCMTU_{QL3}$: Coste de viaje de personal de fábrica para tareas QL3 [€]

TCL_{QL3} : Coste de viaje de personal local para tareas QL3 [€]

$ATCSMTU_{QL3}$: Coste de alojamiento y transporte de personal de fábrica por servicio para tareas QL3 [€]

$ATCSL_{QL3}$: Coste de alojamiento y transporte de personal local por servicio para tareas QL3 [€]

EAP : Incremento anual del precio (material, mano de obra, transporte, viaje, alojamiento, apoyo al proyecto) [%]

n : Año de operación

PMO : Margen de beneficio [%]

Tabla 6.5. Datos para el cálculo del coste del mantenimiento de los componentes de tareas QL3.

Parámetros / Año de operación del motor	Primer año	Segundo año	Tercer año
PT_{QL3} [€]	0	51.218,26	0
$LCMTU_{QL3}$ [€]	0	5.176,13	0
LCL_{QL3} [€]	0	7.366,95	0
$TCMTU_{QL3}$ [€]	0	28.380	0
TCL_{QL3} [€]	0	13.464	0

Parámetros / Año de operación del motor	Primer año	Segundo año	Tercer año
ATCSMTU_{QL3} [€]	0	2.873,19	0
ATCSL_{QL3} [€]	0	2.688,21	0
EAP [%]	3	3	3
n	0	1	2
PMO [%]	15	15	15

*Los cálculos de los parámetros de esta tabla se encuentran desarrollados en el anexo.

Para el primer y tercer año el valor es nulo, debido a que las tareas QL3 se realizan en el segundo año. Por lo tanto, el valor del mantenimiento de los componentes de tareas QL3 para el segundo año es:

$$\begin{aligned} \text{CMC}_{\text{QL3}} = & [51.218,26\text{€} + (5.176,13\text{€} + 7.366,95\text{€}) \\ & + (28.380\text{€} + 13.464\text{€}) + (2.873,19\text{€} + 2.688,21\text{€})] \quad (6-12) \\ & \cdot (1 + 0,03)^1 \cdot (1 + 0,15) = 131.676,99\text{€} \end{aligned}$$

Para calcular el tiempo empleado en el mantenimiento de los componentes de tareas QL3 se emplea la siguiente fórmula:

$$\text{CMT}_{\text{QL3}} = \text{MH}_{\text{QL3}} \cdot +n\text{T}_{\text{QL3}} \cdot \text{AMS}_{\text{QL3}} \quad (6-13)$$

Siendo:

CMT_{QL3} : Tiempo empleado en el Mantenimiento de los Componentes de las tareas QL3 [h]

MH_{QL3} : Horas hombre para tareas QL3 [h]

$n\text{T}_{\text{QL3}}$: Número de tareas QL3

AMS_{QL3} : Horas hombre de preparación/administración por servicio para tareas QL3 [h]

Tabla 6.6. Datos para el cálculo del tiempo empleado en el mantenimiento de los componentes de las tareas QL3.

Parámetros / Año de operación del motor	Primer año	Segundo año	Tercer año
MH_{QL3} [h]	0	143,45	0
nT_{QL3}	0	1	0
AMS_{QL3} [h]	1	1	1

*Los cálculos de los parámetros de esta tabla se encuentran desarrollados en el anexo.

Durante el primer y tercer año de operación del motor no se realizan tareas de mantenimiento QL3. Por lo tanto, el tiempo total empleado en el mantenimiento de los componentes de tareas QL3 es el del segundo año:

$$\text{CMT}_{\text{QL3}} = 143,45 \text{ h} + 1 \cdot 1 \text{ h} = 144,45 \text{ h} \quad (6-14)$$

6.1.1.3 Mantenimiento extendido de los componentes de tareas QL4

El coste del mantenimiento extendido de los componentes de tareas QL4 se puede calcular mediante la fórmula:

$$ECMC_{QL4} = [PT_{QL4} \cdot (1 + CPM) \cdot (1 + APM) + (LCMTU_{QL4} + LCL_{QL4}) + (TCMTU_{QL4} + TCL_{QL4}) + (ATCSMTU_{QL4} + ATCSL_{QL4})] \cdot (1 + EAP)^n \cdot (1 + PMO) \quad (6-15)$$

Siendo:

$ECMC_{QL4}$: Coste del Mantenimiento Extendido de los Componentes de tareas QL4 [€]

PT_{QL4} : Coste de los repuestos para tareas QL4 para cada año [€]

$LCMTU_{QL4}$: Coste de mano de obra por persona de fábrica para tareas QL4 [€]

LCL_{QL4} : Coste de mano de obra por persona local para tareas QL4 [€]

$TCMTU_{QL4}$: Coste de viaje de personal de fábrica para tareas QL4 [€]

TCL_{QL4} : Coste de viaje de personal local para tareas QL4 [€]

$ATCSMTU_{QL4}$: Coste de alojamiento y transporte de personal de fábrica por servicio para tareas QL4 [€]

$ATCSL_{QL4}$: Coste de alojamiento y transporte de personal local por servicio para tareas QL4 [€]

EAP : Incremento anual del precio (material, mano de obra, transporte, viaje, alojamiento, apoyo al proyecto) [%]

n : Año de operación

PMO : Margen de beneficio [%]

Tabla 6.7. Datos para el cálculo del coste del mantenimiento extendido de los componentes de las tareas QL4.

Parámetros / Año de operación del motor	Primer año	Segundo año	Tercer año
PT_{QL4} [€]	0	0	97.825
$LCMTU_{QL4}$ [€]	0	0	21.141,67
LCL_{QL4} [€]	0	0	30.090
$TCMTU_{QL4}$ [€]	0	0	110.940
TCL_{QL4} [€]	0	0	52.632
$ATCSMTU_{QL4}$ [€]	0	0	11.410,98
$ATCSL_{QL4}$ [€]	0	0	7.825,29
EAP [%]	3	3	3
n	0	1	2
PMO [%]	15	15	15

*Los cálculos de los parámetros de esta tabla se encuentran desarrollados en el anexo.

Para el primer y segundo año el valor es nulo, debido a que las tareas de mantenimiento QL4 se realizan en el tercer año. Por tanto, el mantenimiento extendido de los componentes de las tareas para el tercer año es:

$$ECMC_{QL4} = [97.825€ + (21.141,67€ + 30.090€) + (110.940€ + 52.632€) + (11.410,98€ + 7.825,29€)] \cdot (1 + 0,03)^2 \cdot (1 + 0,15) = 404.886,84€ \quad (6-16)$$

Por otro lado, el tiempo empleado en el mantenimiento extendido de los componentes de tareas QL4 se puede calcular mediante la fórmula:

$$ECMT_{QL4} = MH_{QL4} + nT_{QL4} \cdot AMS_{QL4} \quad (6-17)$$

Siendo:

$ECMT_{QL4}$: Tiempo empleado en el Mantenimiento Extendido de los Componentes de tareas QL4 [h]

MH_{QL4} : Horas hombre para tareas QL4 [h]

nT_{QL4} : Número de tareas QL4

AMS_{QL4} : Horas hombre de preparación/administración por servicio para tareas QL4 [h]

Tabla 6.8. Datos para el cálculo del tiempo empleado en el mantenimiento extendido de los componentes de las tareas QL4.

Parámetros / Año de operación del motor	Primer año	Segundo año	Tercer año
MH_{QL4} [h]	0	0	589
nT_{QL4}	0	0	1
AMS_{QL4} [h]	1	1	1

*Los cálculos de los parámetros de esta tabla se encuentran desarrollados en el anexo.

Durante el primer y segundo año de operación del motor no se realizan tareas de mantenimiento QL4. Por lo tanto, el tiempo total empleado en el mantenimiento extendido de los componentes de tareas QL4 es el del tercer año:

$$ECMT_{QL4} = 589 \text{ h} + 1 \cdot 1 \text{ h} = 590 \text{ h} \quad (6-18)$$

6.1.1.4 Mantenimiento Correctivo

El coste del mantenimiento correctivo se calcula empleando la siguiente fórmula:

$$CMC = [CMPC \cdot RH + (MTTR + AMS_{CM}) \cdot nRY \cdot ALR + nRY \cdot TAC] \cdot (1 + EAP)^n \cdot (1 + PMO) \quad (6-19)$$

Siendo:

CMC: Coste de Mantenimiento Correctivo [€]

CMPC: Coste de los repuestos del Mantenimiento Correctivo por hora de funcionamiento [€/h]

RH: Horas restantes [h]

MTTR: Tiempo promedio de reparación [h]

AMS_{CM} : Horas hombre de preparación/administración por servicio para Mantenimiento Correctivo [h]

nRY : Número estimado de reparaciones al año

ALR: Mano de obra promedio para personal de fábrica y local [€/h]

TAC: Coste de alojamiento y transporte por servicio de Mantenimiento Correctivo [€]

EAP: Incremento anual del precio (material) [%]

n: Año de operación
 PMO: Margen de beneficio [%]

Tabla 6.9. Datos para el cálculo del coste del mantenimiento correctivo.

Parámetros / Año de operación del motor	Primer año	Segundo año	Tercer año
CMPC [€/h]	1,83	1,83	1,83
RH [h]	0	0	5.332,67
MTTR [h]	20	20	20
AMS [h]	1	1	1
nRY	0	0	5,33
ALR [€/h]	86,83	86,83	86,83
TAC [€]	100	100	100
EAP [%]	3	3	3
n	0	1	2
PMO [%]	15	15	15

*Los cálculos de los parámetros de esta tabla se encuentran desarrollados en el anexo.

El mantenimiento correctivo solo se lleva a cabo durante el tercer año y su coste es:

$$\begin{aligned}
 \text{CMC} = & \left[1,83 \frac{\text{€}}{\text{h}} \cdot 5.332,67 \text{ h} + (20 \text{ h} + 1 \text{ h}) \cdot 5,33 \cdot 86,83 \frac{\text{€}}{\text{h}} + 5,33 \right. \\
 & \left. \cdot 100\text{€} \right] \cdot (1 + 0,03)^2 \cdot (1 + 0,15) = 24.420,42\text{€}
 \end{aligned}
 \tag{6-20}$$

Para el cálculo del tiempo empleado en el mantenimiento correctivo se emplea la siguiente fórmula:

$$\text{CMT} = \text{MTTR} \cdot \text{nRY}
 \tag{6-21}$$

Siendo:

CMT: Tiempo empleado en el Mantenimiento Correctivo [h]

MTTR: Tiempo promedio de reparación [h]

nRY: Número estimado de reparaciones al año

Tabla 6.10. Datos para el cálculo del tiempo empleado en el mantenimiento correctivo.

Parámetros / Año de operación del motor	Primer año	Segundo año	Tercer año
MTTR [h]	20	20	20
nRY	0	0	5,33

El mantenimiento correctivo solo se lleva a cabo durante el tercer año y el tiempo empleado es:

$$\text{CMT} = 20 \text{ h} \cdot 5,33 = 106,65 \text{ h}
 \tag{6-22}$$

6.1.1.5 Horas de servicio al año sin supervisor

Las horas de servicio al año sin supervisor se calculan con la siguiente fórmula:

$$SHWS = PMT_{QL1} + CMT_{QL3} + ECMT_{QL4} + CMT \quad (6-23)$$

Siendo:

SHWS: *Horas de servicio al año sin supervisor* [h]

PMT_{QL1} : *Tiempo empleado en el Mantenimiento Preventivo para tareas QL1* [h]

CMT_{QL3} : *Tiempo empleado en el Mantenimiento de los Componentes de las tareas QL3* [h]

$ECMT_{QL4}$: *Tiempo empleado en el Mantenimiento Extendido de los Componentes de las tareas QL4* [h]

CMT: *Tiempo empleado en el Mantenimiento Correctivo* [h]

Tabla 6.11. Datos para el cálculo de las horas de servicio al año sin supervisor.

Parámetros / Año de operación del motor	Primer año	Segundo año	Tercer año
PMT_{QL1} [h]	39,6	41	42,7
CMT_{QL3} [h]	0	144,45	0
$ECMT_{QL4}$ [h]	0	0	590
CMT [h]	0	0	106,65

*Los cálculos de los parámetros de esta tabla se encuentran desarrollados en el anexo.

Para el primer año:

$$SHWS_1 = 39,6 \text{ h} + 0 \text{ h} + 0 \text{ h} + 0 \text{ h} = 39,6 \text{ h} \quad (6-24)$$

Para el segundo año:

$$SHWS_2 = 41 \text{ h} + 144,45 \text{ h} + 0 \text{ h} + 0 \text{ h} = 185,45 \text{ h} \quad (6-25)$$

Y para el último año:

$$SHWS_3 = 42,7 \text{ h} + 0 \text{ h} + 590 \text{ h} + 106,65 \text{ h} = 739,35 \text{ h} \quad (6-26)$$

Las horas totales de servicio sin supervisor durante el periodo de operación del motor son:

$$SHWS = 39,6 \text{ h} + 185,45 \text{ h} + 739,35 \text{ h} = 964,4 \text{ h} \quad (6-27)$$

6.1.2 Coste de propiedad del motor

El coste de propiedad del motor (TCO) están compuestos por: la mano de obra, el material, el transporte y alojamiento, el cambio refrigerante, el cambio de aceite y el apoyo al proyecto. En la siguiente tabla se resumen cada uno de ellos.

Tabla 6.12. Coste de propiedad del motor durante el periodo de operación.

Año	Rango de horas de operación	Coste de mano de obra	Coste de material	Coste de transporte y alojamiento	Coste del cambio de refrigerante	Coste del cambio de aceite	Coste de apoyo al proyecto	Coste total del motor por año	Coste anual por hora de operación
Año 1	0 h - 5.334 h	3.483,81 €	7.690,03 €	9.711,29 €	-	2.622 €	879,75 €	24.386,88 €	4,57 €
Año 2	5.334 h - 10.667 h	18.572,46 €	68.274,05 €	66.154,32 €	82,92 €	2.970,73 €	906,14 €	156.960,61 €	29,43 €
Año 3	10.667 h- 16.001 h	78.353,50 €	139.414,33 €	232.985,80 €	85,40 €	3.059,85 €	933,33 €	455.832,20 €	85,46 €
Total por motor		100.409,76 €	215.378,41 €	312.817,36 €	168,32 €	8.652,57 €	2.719,22 €	637.179,69 €	39,82 €

En el gráfico siguiente se representan los costes de la Tabla 6.12:

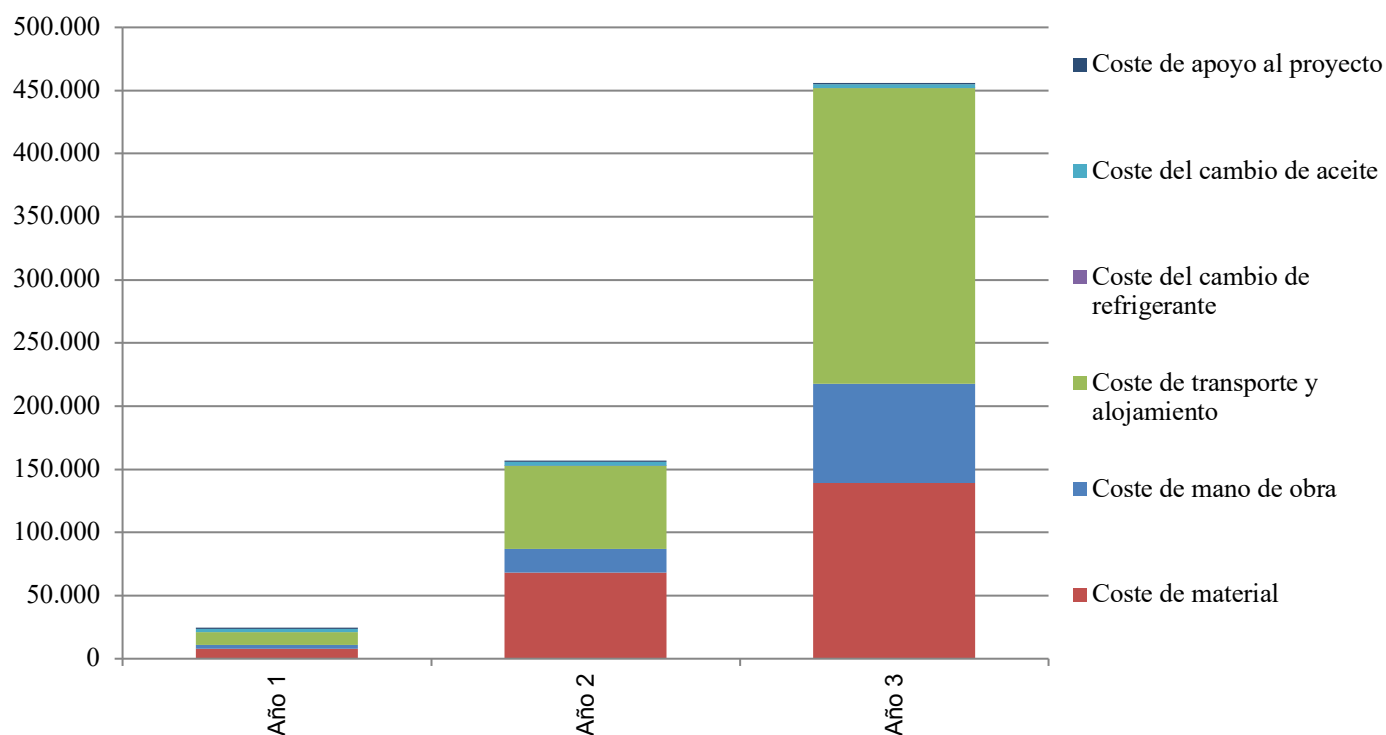


Figura 6-1. Gráfica del coste de propiedad del motor por año.

6.1.2.1 Coste de mano de obra

El coste de mano de obra varía en función del tipo de tareas de mantenimiento que se realicen cada año.

$$\begin{aligned}
 \text{TLC} = & \left[((\text{LCMTU} + \text{LCL})_{\text{QL1}} + (\text{LCMTU} + \text{LCL})_{\text{QL3}} \right. \\
 & \left. + (\text{LCMTU} + \text{LCL})_{\text{QL4}}) + (\text{MTTR} + \text{AMS}_{\text{QL4}}) \cdot \text{nRY} \right. \\
 & \left. \cdot \text{ALR} \right] \cdot [(1 + \text{EAP})^n \cdot (1 + \text{PMO})] \quad (6-28)
 \end{aligned}$$

Siendo:

TLC: *Coste total de mano de obra* [€]

LCMTU_{QL1}: *Coste de mano de obra por persona de fábrica para tareas QL1* [€]

LCL_{QL1}: *Coste de mano de obra por persona local para tareas QL1* [€]

LCMTU_{QL3}: *Coste de mano de obra por persona de fábrica para tareas QL3* [€]

LCL_{QL3}: *Coste de mano de obra por persona local para tareas QL3* [€]

LCMTU_{QL4}: *Coste de mano de obra por persona de fábrica para tareas QL4* [€]

LCL_{QL4}: *Coste de mano de obra por persona local para tareas QL4* [€]

MTTR: *Tiempo promedio de reparación* [h]

AMS_{CM}: *Horas hombre de preparación/administración por servicio para Mantenimiento Correctivo* [h]

nRY: *Número estimado de reparaciones al año*

ALR: *Mano de obra promedio para personal de fábrica y local* [€/h]

EAP: *Incremento anual del precio (mano de obra)* [%]

n: *Año de operación*

PMO: *Margen de beneficio* [%]

Tabla 6.13. Datos para el cálculo del coste de mano de obra.

Parámetros / Año de operación del motor	Primer año	Segundo año	Tercer año
LCMTU _{QL1} [€]	0	0	0
LCL _{QL1} [€]	3.029,40	3.136,50	3.266,55
LCMTU _{QL3} [€]	0	5.176,13	0
LCL _{QL3} [€]	0	7.366,95	0
LCMTU _{QL4} [€]	0	0	21.141,67
LCL _{QL4} [€]	0	0	30.090
MTTR [h]	20	20	20
AMS [h]	1	1	1
nRY	0	0	5,33
ALR [€/h]	86,83	86,83	86,83
EAP [%]	3	3	3
n	0	1	2
PMO [%]	15	15	15

*Los cálculos de los parámetros de esta tabla se encuentran desarrollados en el anexo.

Para el primer año:

$$\begin{aligned}
 \text{TLC}_1 = & \left[(3.029,40\text{€})_{\text{QL1}} + (20\text{h} + 1\text{h}) \cdot 0 \cdot 86,83 \frac{\text{€}}{\text{h}} \right] \\
 & \cdot [(1 + 0,03)^0 \cdot (1 + 0,15)] = 3.483,81\text{€}
 \end{aligned}
 \tag{6-29}$$

Para el segundo año:

$$\begin{aligned} \text{TLC}_2 &= \left[(3.136,50\text{€})_{\text{QL1}} + (5.176,13\text{€} + 7.366,95\text{€})_{\text{QL3}} \right] \\ &\quad + (20\text{h} + 1\text{h}) \cdot 0 \cdot 86,83 \frac{\text{€}}{\text{h}} \cdot [(1 + 0,03)^1 \cdot (1 + 0,15)] \\ &= 18.572,46\text{€} \end{aligned} \quad (6-30)$$

Y para el tercer año:

$$\begin{aligned} \text{TLC}_3 &= \left[(3.266,55\text{€})_{\text{QL1}} + (21.141,67\text{€} + 30.090\text{€})_{\text{QL4}} \right] + (20\text{h} + 1\text{h}) \\ &\quad \cdot 5,33 \cdot 86,83 \frac{\text{€}}{\text{h}} \cdot [(1 + 0,03)^2 \cdot (1 + 0,15)] \\ &= 78.353,50\text{€} \end{aligned} \quad (6-31)$$

El coste total de mano de obra durante el periodo de operación del motor es:

$$\text{TLC} = 3.483,81\text{€} + 18.572,46\text{€} + 78.353,50\text{€} = 100.409,76\text{€} \quad (6-32)$$

6.1.2.2 Coste del material

El coste total del material depende de los repuestos que se empleen para cada una de las tareas de mantenimiento al año.

$$\text{TMC} = \left[\text{PT}_{\text{QL1}} + \text{PT}_{\text{QL3}} + \text{PT}_{\text{QL4}} + \text{CMPC} \cdot \text{RH} \right] \cdot (1 + \text{EAP})^n \cdot (1 + \text{PMO}) \quad (6-33)$$

Siendo:

TMC: *Coste total del material* [€]

PT_{QL1}: *Coste de los repuestos para tareas QL1 para cada año* [€]

PT_{QL3}: *Coste de los repuestos para tareas QL3 para cada año* [€]

PT_{QL4}: *Coste de los repuestos para tareas QL4 para cada año* [€]

CMPC: *Coste de los repuestos del Mantenimiento Correctivo por hora de operación* [€/h]

RH: *Horas restantes* [h]

EAP: *Incremento anual del precio (material)* [%]

n: *Año de operación*

PMO: *Margen de beneficio* [%]

Tabla 6.14. Datos para el cálculo del coste de material.

Parámetros / Año de operación del motor	Primer año	Segundo año	Tercer año
PT _{QL1} [€]	6.686,98	6.421,30	6.686,98
PT _{QL3} [€]	0	51.218,26	0
PT _{QL4} [€]	0	0	97.825
CMPC [€/h]	1,83	1,83	1,83

Parámetros / Año de operación del motor	Primer año	Segundo año	Tercer año
RH [h]	0	0	5.332,67
EAP [%]	3	3	3
n	0	1	2
PMO [%]	15	15	15

*Los cálculos de los parámetros de esta tabla se encuentran desarrollados en el anexo.

Para el primer año:

$$TMC_1 = (6.686,98\text{€}) \cdot (1 + 0,03)^0 \cdot (1 + 0,15) = 7.690,03\text{€} \quad (6-34)$$

Para el segundo año:

$$TMC_2 = [6.421,30\text{€} + 51.218,26\text{€}] \cdot (1 + 0,03)^1 \cdot (1 + 0,15) = 68.274,05\text{€} \quad (6-35)$$

Y para el tercero:

$$TMC_3 = \left[6.686,98\text{€} + 97.825\text{€} + 1,83 \frac{\text{€}}{\text{h}} \cdot 5.332,67 \text{ h} \right] \cdot (1 + 0,03)^2 \cdot (1 + 0,15) = 139.414,33\text{€} \quad (6-36)$$

El coste total asociado al material durante el periodo de operación del motor es:

$$TMC = 7.690,03\text{€} + 68.274,05\text{€} + 139.414,33\text{€} = 215.378,41\text{€} \quad (6-37)$$

6.1.2.3 Coste de transporte y alojamiento

El coste asociado al transporte y al alojamiento varía en función del tipo de tareas de mantenimiento que se realicen cada año.

$$TTAC = [(TCMTU + TCL + ATCSMTU + ATCSL)_{QL1} + (TCMTU + TCL + ATCSMTU + ATCSL)_{QL3} + (TCMTU + TCL + ATCSMTU + ATCSL)_{QL4} + (TAC \cdot nRY)] \cdot [(1 + EAP)^n] \cdot (1 + PMO) \quad (6-38)$$

Siendo:

TTAC: Coste de transporte y alojamiento [€]

TCMTU_{QL1}: Coste de viaje de personal de fábrica para tareas QL1 [€]

TCL_{QL1}: Coste de viaje de personal local para tareas QL1 [€]

ATCSMTU_{QL1}: Coste de alojamiento y transporte de personal de fábrica por servicio para tareas QL1 [€]

ATCSL_{QL1}: Coste de alojamiento y transporte de personal local por servicio para tareas QL1 [€]

TCMTU_{QL3}: Coste de viaje de personal de fábrica para tareas QL3 [€]

TCL_{QL3}: Coste de viaje de personal local para tareas QL3 [€]

ATCSMTU_{QL3}: Coste de alojamiento y transporte de personal MTU por servicio para tareas QL3 [€]

ATCSL_{QL3}: Coste de alojamiento y transporte de personal local por servicio para tareas QL3 [€]

TCMTU_{QL4}: Coste de viaje de personal de fábrica para tareas QL4 [€]

TCL_{QL4}: Coste de viaje de personal local para tareas QL4 [€]

ATCSMTU_{QL4}: Coste de alojamiento y transporte de personal de fábrica por servicio para tareas QL4 [€]

ATCSL_{QL4}: Coste de alojamiento y transporte de personal local por servicio para tareas QL4 [€]

TAC: Coste de alojamiento y transporte por servicio de Mantenimiento Correctivo [€]

nRY: Número estimado de reparaciones al año

EAP: Incremento anual del precio (transporte, viaje, alojamiento, apoyo al proyecto) [%]

n: Año de operación

PMO: Margen de beneficio [%]

Tabla 6.15. Datos para el cálculo del coste de transporte y alojamiento.

Parámetros / Año de operación del motor	Primer año	Segundo año	Tercer año
TCMTU _{QL1} [€]	0	0	0
TCL _{QL1} [€]	6.120	6.120	6.120
ATCSMTU _{QL1} [€]	0	0	0
ATCSL _{QL1} [€]	2.324,60	2.324,60	2.324,60
TCMTU _{QL3} [€]	0	28.380	0
TCL _{QL3} [€]	0	13.464	0
ATCSMTU _{QL3} [€]	0	2.873,19	0
ATCSL _{QL3} [€]	0	2.688,21	0
TCMTU _{QL4} [€]	0	0	110.940
TCL _{QL4} [€]	0	0	52.632
ATCSMTU _{QL4} [€]	0	0	11.410,98
ATCSL _{QL4} [€]	0	0	7.825,29
TAC [€]	100	100	100
nRY	0	0	5,33
EAP [%]	3	3	3
n	0	1	2
PMO [%]	15	15	15

*Los cálculos de los parámetros de esta tabla se encuentran desarrollados en el anexo.

Para el primer año:

$$\begin{aligned} TTAC_1 &= [(6.120€ + 2.324,60€)_{QL1}] \cdot [(1 + 0,15) \cdot (1 + 0,03)^0] \\ &= 9.711,29€ \end{aligned} \quad (6-39)$$

Para el segundo año:

$$\begin{aligned} TTAC_2 &= [(6.120€ + 2.324,60€)_{QL1} \\ &\quad + (28.380€ + 13.464€ + 2.873,19€ + 2.688,21€)_{QL3}] \\ &\quad \cdot [(1 + 0,15) \cdot (1 + 0,03)^1] = 66.154,32€ \end{aligned} \quad (6-40)$$

Y, por último, para el tercer año:

$$\begin{aligned} \text{TTAC}_3 &= [(6.120\text{€} + 2.324,60\text{€})_{\text{QL1}} \\ &\quad + (110.940\text{€} + 52.632\text{€} + 11.410,98\text{€} + 7.825,29\text{€})_{\text{QL4}} \\ &\quad + (100\text{€} \cdot 5,33)] \cdot [(1 + 0,15) \cdot (1 + 0,03)^2] \\ &= 233.985,80\text{€} \end{aligned} \quad (6-41)$$

El coste asociado al transporte y al alojamiento durante el periodo de operación del motor es:

$$\text{TTAC} = 9.711,29\text{€} + 66.154,32\text{€} + 233.985,80\text{€} = 309.851,41\text{€} \quad (6-42)$$

6.1.2.4 Coste del cambio de refrigerante

El coste del cambio de refrigerante varía en función del número de cambios que se realicen en un año. La fórmula para calcularlo es la siguiente:

$$\text{CCC} = [\text{CAV} \cdot \text{CAC} \cdot \text{nCC} \cdot (1 + \text{EAP})^n] \cdot (1 + \text{PMO}) \quad (6-43)$$

Siendo:

CCC: Coste del cambio de refrigerante [€]

CAV: Volumen de refrigerante aditivo [L]

CAC: Coste de refrigerante aditivo por litro [€/L]

nCC: Número de cambios de refrigerante por año

EAP: Incremento anual del precio (combustible, aceite y refrigerante) [%]

n: Año de operación

PMO: Margen de beneficio [%]

Tabla 6.16. Datos para el cálculo del coste del cambio de refrigerante.

Parámetros / Año de operación del motor	Primer año	Segundo año	Tercer año
CAV [L]	70	70	70
CAC [€/L]	1	1	1
nCC	0	1	1
EAP [%]	3	3	3
n	0	1	2
PMO [%]	15	15	15

Para el primer año, el coste del cambio de refrigerante es nulo, ya que no se realiza ningún cambio de refrigerante:

$$\text{CCC}_1 = \left[70 \text{ L} \cdot 1 \frac{\text{€}}{\text{L}} \cdot 0 \cdot (1 + 0,03)^0 \right] \cdot (1 + 0,15) = 0\text{€} \quad (6-44)$$

Sin embargo, el segundo y tercer año, se realiza un único cambio cada año.

Para el segundo año el coste es:

$$CCC_2 = \left[70 \text{ L} \cdot 1 \frac{\text{€}}{\text{L}} \cdot 1 \cdot (1 + 0,03)^1 \right] \cdot (1 + 0,15) = 82,92\text{€} \quad (6-45)$$

Y para el tercer año:

$$CCC_3 = \left[70 \text{ L} \cdot 1 \frac{\text{€}}{\text{L}} \cdot 1 \cdot (1 + 0,03)^2 \right] \cdot (1 + 0,15) = 85,40\text{€} \quad (6-46)$$

El coste del cambio de refrigerante del motor durante el periodo de operación es:

$$CCC = 82,92\text{€} + 85,40\text{€} = 168,32\text{€} \quad (6-47)$$

6.1.2.5 Coste del cambio de aceite

El coste del cambio de aceite varía en función del número de cambios que se realicen al año. La fórmula para calcular dicho coste es:

$$OCC = [OCV \cdot OC \cdot nOC \cdot (1 + EAP)^n] \cdot (1 + PMO) \quad (6-48)$$

Siendo:

OCC: Coste del cambio de aceite [€]

OCV: Volumen del cambio de aceite [L]

OC: Coste de aceite por litro [€/L]

nOC: Número de cambios de aceite por año

EAP: Incremento anual del precio (combustible, aceite y refrigerante) [%]

n: Año de operación

PMO: Margen de beneficio [%]

Tabla 6.17. Datos para el cálculo del coste de cambio de aceite.

Parámetros / Año de operación del motor	Primer año	Segundo año	Tercer año
OCV [L]	114	114	114
OC [€/L]	2	2	2
nOC	10	11	11
EAP [%]	3	3	3
n	0	1	2
PMO [%]	15	15	15

Para el primer año, el coste del cambio de aceite es:

$$OCC_1 = \left[114 \text{ L} \cdot 2 \frac{\text{€}}{\text{L}} \cdot 10 \cdot (1 + 0,03)^0 \right] \cdot (1 + 0,15) = 2.622\text{€} \quad (6-49)$$

Para el segundo año:

$$OCC_2 = \left[114 \text{ L} \cdot 2 \frac{\text{€}}{\text{L}} \cdot 11 \cdot (1 + 0,03)^1 \right] \cdot (1 + 0,15) = 2.970,73\text{€} \quad (6-50)$$

Y para el tercer año:

$$OCC_3 = \left[114 \text{ L} \cdot 2 \frac{\text{€}}{\text{L}} \cdot 11 \cdot (1 + 0,03)^2 \right] \cdot (1 + 0,15) = 3.059,85\text{€} \quad (6-51)$$

El coste asociado al cambio de aceite del motor durante los 3 años de operación es:

$$OCC = 2.622\text{€} + 2.970,73\text{€} + 3.059,85\text{€} = 8.652,57\text{€} \quad (6-52)$$

6.1.2.6 Coste de apoyo al proyecto

El coste anual de apoyo al proyecto varía en función del año de operación del motor, y se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$PSC = \left[\frac{(SC + SPSC + MC) \cdot (1 + EAP)^n}{3} \right] \cdot (1 + PMO) \quad (6-53)$$

Siendo:

PSC: *Coste del apoyo al proyecto* [€]

SC: *Coste del supervisor* [€]

SPSC: *Coste de stock de repuestos* [€]

MC: *Coste misceláneo* [€]

EAP: *Incremento anual del precio (transporte, viaje, alojamiento, apoyo al proyecto)* [%]

n: *Año de operación*

PMO: *Margen de beneficio* [%]

Tabla 6.18. Datos para el cálculo del coste de apoyo al proyecto.

Parámetros / Año de operación del motor	Primer año	Segundo año	Tercer año
SC [€]	1.875	1.875	1.875
SPSC [€]	120	120	120
MC [€]	300	300	300
EAP [%]	3	3	3
n	0	1	2
PMO [%]	15	15	15

Para calcular el coste del supervisor se emplea la ecuación (6-54) y los valores de la

Tabla 6.19.

Tabla 6.19. Datos para el cálculo del coste del supervisor.

Parámetros	Valores
nº supervisor	1
Mano de obra del supervisor [€/h]	125
Horas del supervisor al año [h/año]	5
Periodo de funcionamiento [año]	3

$$SC = 1 \cdot 125 \frac{\text{€}}{\text{h}} \cdot 5 \frac{\text{h}}{\text{año}} \cdot 3 \text{ años} = 1.875\text{€} \quad (6-54)$$

Entonces, el coste de apoyo al proyecto para el primer año es:

$$PSC_1 = \left[\frac{(1.875\text{€} + 120\text{€} + 300\text{€}) \cdot (1 + 0,03)^0}{3} \right] \cdot (1 + 0,15) = 879,75\text{€} \quad (6-55)$$

Para el segundo:

$$PSC_2 = \left[\frac{(1.875\text{€} + 120\text{€} + 300\text{€}) \cdot (1 + 0,03)^1}{3} \right] \cdot (1 + 0,15) = 906,14\text{€} \quad (6-56)$$

Para el tercer año:

$$PSC_3 = \left[\frac{(1.875\text{€} + 120\text{€} + 300\text{€}) \cdot (1 + 0,03)^2}{3} \right] \cdot (1 + 0,15) = 933,33\text{€} \quad (6-57)$$

El coste total asociado al apoyo del proyecto es:

$$PSC = 879,75\text{€} + 906,14\text{€} + 933,33\text{€} = 2.719,22\text{€} \quad (6-58)$$

6.1.2.7 Coste total del motor al año

El coste total del motor al año se calcula:

$$TCYE = TLC + TMC + TTAC + CCC + OCC + PSC \quad (6-59)$$

Siendo:

TCYE: *Coste total del motor por año* [€]

TLC: *Coste total de mano de obra* [€]

TMC: *Coste total de material* [€]

TTAC: *Coste de transporte, viaje y alojamiento* [€]

CCC: *Coste del cambio de refrigerante* [€]

OCC: *Coste del cambio de aceite* [€]

PSC: *Coste de apoyo al proyecto* [€]

Tabla 6.20. Datos para el cálculo del coste total por año y motor.

Parámetros / Año de operación del motor	Primer año	Segundo año	Tercer año
TLC [€]	3.483,81	18.572,46	78.353,50
TMC [€]	7.690,03	68.274,05	139.414,33
TTAC [€]	9.711,29	66.154,32	233.985,80
CCC [€]	0	82,92	85,40
OCC [€]	2.622	2.970,73	3.059,85
PSC [€]	879,75	906,14	933,33

El valor de este coste para el primer año es:

$$\begin{aligned} \text{TCYE}_1 &= 3.483,81\text{€} + 7.690,03\text{€} + 9.711,29\text{€} + 2.622\text{€} + 879,75\text{€} \\ &= 24.386,88\text{€} \end{aligned} \quad (6-60)$$

Para el segundo año:

$$\begin{aligned} \text{TCYE}_2 &= 18.572,46\text{€} + 68.274,05\text{€} + 66.154,32\text{€} + 82,92\text{€} \\ &\quad + 2.970,73\text{€} + 906,14\text{€} = 156.960,61\text{€} \end{aligned} \quad (6-61)$$

Para el tercer año:

$$\begin{aligned} \text{TCYE}_3 &= 78.353,50\text{€} + 139.414,33\text{€} + 233.985,80\text{€} + 85,40\text{€} \\ &\quad + 3.059,85\text{€} + 933,33\text{€} = 455.832,20\text{€} \end{aligned} \quad (6-62)$$

El coste total del motor durante los 3 años de operación:

$$\text{TCYE} = 24.386,88\text{€} + 156.960,62\text{€} + 455.832,20\text{€} = 637.179,69\text{€} \quad (6-63)$$

6.1.2.8 Coste anual por hora de funcionamiento

El coste anual por hora de operación se obtiene aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{YCOH} = \frac{\text{TCYE}}{\text{OHY}} \quad (6-64)$$

Siendo:

YCOH: *Coste anual por hora de funcionamiento* [€/h]

TCYE: *Coste total del motor por año* [€]

OHY: *Horas de funcionamiento por año* [h]

Tabla 6.21. Datos para el cálculo del coste anual por hora de operación.

Parámetros / Año de operación del motor	Primer año	Segundo año	Tercer año
TCYE [€]	24.386,88	156.960,61	455.832,20
OHY [h]	5.334	5.334	5.334

Para el primer año:

$$YCOH_1 = \frac{24.386,88 \text{ €}}{5.334 \text{ h}} = 4,57 \frac{\text{€}}{\text{h}} \quad (6-65)$$

Para el segundo año:

$$YCOH_2 = \frac{156.960,61 \text{ €}}{5.334 \text{ h}} = 29,43 \frac{\text{€}}{\text{h}} \quad (6-66)$$

Para el tercer año:

$$YCOH_3 = \frac{455.832,20 \text{ €}}{5.334 \text{ h}} = 85,46 \frac{\text{€}}{\text{h}} \quad (6-67)$$

El coste del motor por hora de operación durante los 3 años es:

$$YCOH = \frac{24.386,88 \text{ €} + 156.960,61 \text{ €} + 455.832,20 \text{ €}}{16.001 \text{ h}} = 39,82 \frac{\text{€}}{\text{h}} \quad (6-68)$$

6.1.3 Coste específico del motor por hora de funcionamiento

El coste específico del motor por hora se calcula con el coste del mantenimiento preventivo, del correctivo, del apoyo al proyecto y con el coste del cambio de aceite y de refrigerante.

Tabla 6.22. Coste específico del motor por hora de funcionamiento.

	Total de horas laborales	Coste total del motor durante 3 años	Coste específico del motor por hora de funcionamiento
Coste del Mantenimiento Preventivo - QL 1	123,3 h	64.655,33 €	4,04 €/h
Coste del Mantenimiento Preventivo - Mantenimiento de Componentes QL3	144,5 h	131.676,99 €	8,23 €/h
Coste del Mantenimiento Preventivo - Mantenimiento Extendido de Componentes QL4	590 h	404.886,84 €	25,30 €/h
Coste de Mantenimiento Correctivo	106,65 h	24.420,42 €	1,53 €/h
Coste total de Mantenimiento	964,4 h	625.639,58 €	39,10 €/h
Coste de Apoyo al Proyecto		2.719,22 €	0,17 €/h
Coste del cambio de aceite		8.652,57 €	0,54 €/h
Coste del cambio de refrigerante		168,32 €	0,01 €/h
Total		637.179,69 €	39,82 €/h

A continuación, se detallan los cálculos de cada uno de ellos.

6.1.3.1 Coste específico del mantenimiento preventivo por hora de funcionamiento

La fórmula para el cálculo del coste del mantenimiento preventivo por hora es:

$$PMCe = \frac{(PMC_{QL1} + CMC_{QL3} + ECMC_{QL4})}{TOH} \quad (6-69)$$

Siendo:

PMCe: Coste específico del Mantenimiento Preventivo por hora de funcionamiento [€/h]

PMC_{QL1}: Coste del Mantenimiento Preventivo para tareas QL1

CMC_{QL3}: Coste del Mantenimiento de Componentes de las tareas QL3 [€]

ECMC_{QL4}: Coste del Mantenimiento Extendido de los Componentes de las tareas QL4 [€]

TOH: Horas de funcionamiento [h]

Tabla 6.23. Datos para el cálculo del coste del mantenimiento preventivo por hora de funcionamiento.

Parámetros	Total periodo operación
PMC _{QL1} [€]	64.655,33
CMC _{QL3} [€]	131.676,99
ECMC _{QL4} [€]	404.886,84
TOH [h]	16.001

En primer lugar, se calcula el coste específico del mantenimiento preventivo para las tareas QL1:

$$PMCe_{QL1} = \frac{64.655,33\text{€}}{16.001\text{h}} = 4,04 \frac{\text{€}}{\text{h}} \quad (6-70)$$

Para las tareas QL3, el coste es:

$$PMCe_{QL3} = \frac{131.676,99\text{€}}{16.001\text{h}} = 8,23 \frac{\text{€}}{\text{h}} \quad (6-71)$$

Para las tareas QL4:

$$PMCe_{QL4} = \frac{404.886,84\text{€}}{16.001\text{h}} = 25,30 \frac{\text{€}}{\text{h}} \quad (6-72)$$

El coste total por hora de intervención en mantenimiento preventivo es:

$$PMCe = \frac{64.655,33\text{€} + 131.676,99\text{€} + 404.886,84\text{€}}{16.001\text{h}} = 37,57 \frac{\text{€}}{\text{h}} \quad (6-73)$$

6.1.3.2 Coste específico del mantenimiento correctivo por hora de funcionamiento

La fórmula para el cálculo del coste específico del mantenimiento correctivo por hora de funcionamiento es:

$$CMCe = \frac{CMC}{TOH} \quad (6-74)$$

Siendo:

CMe: *Coste específico del Mantenimiento Correctivo por hora de funcionamiento* [€/h]

CMC: *Coste del Mantenimiento Correctivo* [€]

TOH: *Horas de funcionamiento* [h]

Tabla 6.24. Datos para el cálculo del coste del mantenimiento correctivo por hora de funcionamiento.

Parámetros	Total periodo operación
CMC [€]	24.420,42
TOH [h]	16.001

Por tanto, el coste específico del mantenimiento correctivo por hora de funcionamiento es:

$$CMCe = \frac{24.420,42\text{€}}{16.001\text{ h}} = 1,53 \frac{\text{€}}{\text{h}} \quad (6-75)$$

Por último, el coste específico total del mantenimiento por hora de operación es la suma del preventivo y el correctivo:

$$TMCe = PMCe + CMCe \quad (6-76)$$

Siendo:

TMCe: *Coste específico total del Mantenimiento por hora de funcionamiento* [€/h]

PMe: *Coste específico del Mantenimiento Preventivo por hora de operación* [€/h]

CMe: *Coste específico del Mantenimiento Correctivo por hora de operación* [€/h]

Por tanto:

$$TMCe = 37,57 \frac{\text{€}}{\text{h}} + 1,53 \frac{\text{€}}{\text{h}} = 39,10 \frac{\text{€}}{\text{h}} \quad (6-77)$$

6.1.3.3 Coste específico del apoyo al proyecto por hora de funcionamiento

La fórmula para el cálculo del coste específico del apoyo al proyecto por hora de funcionamiento es:

$$PSCe = \frac{PSC}{TOH} \quad (6-78)$$

Siendo:

PSe: *Coste específico de Apoyo al Proyecto por hora de funcionamiento* [€/h]

PSC: *Coste de Apoyo al Proyecto* [€]

TOH: *Horas de funcionamiento* [h]

Tabla 6.25. Datos para el cálculo del coste del apoyo al proyecto por hora de funcionamiento.

Parámetros	Total periodo operación
PSC [€]	2.719,22
TOH [h]	16.001

Dicho coste es:

$$PSCe = \frac{2.719,22\text{€}}{16.001 \text{ h}} = 0,17 \frac{\text{€}}{\text{h}} \quad (6-79)$$

6.1.3.4 Coste específico del cambio de aceite por hora de funcionamiento

La fórmula empleada para el cálculo del coste específico del cambio de aceite por hora de operación es:

$$OCCe = \frac{OCC}{TOH} \quad (6-80)$$

Siendo:

OCCe: *Coste específico del cambio de aceite por hora de funcionamiento* [€/h]

OCC: *Coste del cambio de aceite* [€]

TOH: *Horas de funcionamiento* [h]

Tabla 6.26. Datos para el cálculo del coste del cambio de aceite por hora de funcionamiento.

Parámetros	Total periodo operación
OCC [€]	8.652,57
TOH [h]	16.001

El valor del coste específico es:

$$OCCe = \frac{8.652,57\text{€}}{16.001\text{ h}} = 0,54 \frac{\text{€}}{\text{h}} \quad (6-81)$$

6.1.3.5 Coste específico del cambio de refrigerante por hora de funcionamiento

La fórmula para el cálculo del coste específico del cambio de refrigerante por hora de funcionamiento es:

$$CCCe = \frac{CCC}{TOH} \quad (6-82)$$

Siendo:

CCCe: *Coste específico del cambio de refrigerante por hora de funcionamiento* [€/h]

CCC: *Coste del cambio de refrigerante* [€]

TOH: *Horas de funcionamiento* [h]

Tabla 6.27. Datos para el cálculo del coste del cambio de refrigerante por hora de funcionamiento.

Parámetros	Total periodo operación
CCC [€]	168,32
TOH [h]	16.001

El valor del coste específico del refrigerante por hora de operación es:

$$CCCe = \frac{168,32\text{€}}{16.001\text{ h}} = 0,01 \frac{\text{€}}{\text{h}} \quad (6-83)$$

El coste específico total por hora de funcionamiento del motor es:

$$COHe = 39,10\text{€} + 0,17\text{€} + 0,54\text{€} + 0,01\text{€} = 39,82\text{€} \quad (6-84)$$

6.1.4 Coste del Ciclo de Vida del motor

El Coste del Ciclo de Vida del motor está compuesto por los costes de: mantenimiento preventivo, mantenimiento correctivo, adquisición del motor, consumo de combustible y aceite y cambio de aceite y refrigerante. En la siguiente tabla se muestran cada uno de ellos.

Tabla 6.28. Coste del Ciclo de Vida del motor.

	Coste total del motor durante 3 años	Coste específico del motor por hora de operación	Porcentaje
Coste del Mantenimiento Preventivo	601.219,16 €	37,57 €/h	21,23%
Coste del Mantenimiento Correctivo	24.420,42 €	1,53 €/h	0,86%
Adquisición del motor	161.000 €	10,06 €/h	5,69%
Coste del consumo de combustible y aceite	2.036.141,02 €	127,25 €/h	71,91%
Coste del cambio de aceite	8.652,57 €	0,54 €/h	0,31%
Coste del cambio de refrigerante	168,32 €	0,01 €/h	0,01%

El gráfico circular de la Figura 6-2 muestra la proporción de cada sobre el coste de propiedad. A continuación, se detallan los cálculos de cada uno de los costes.

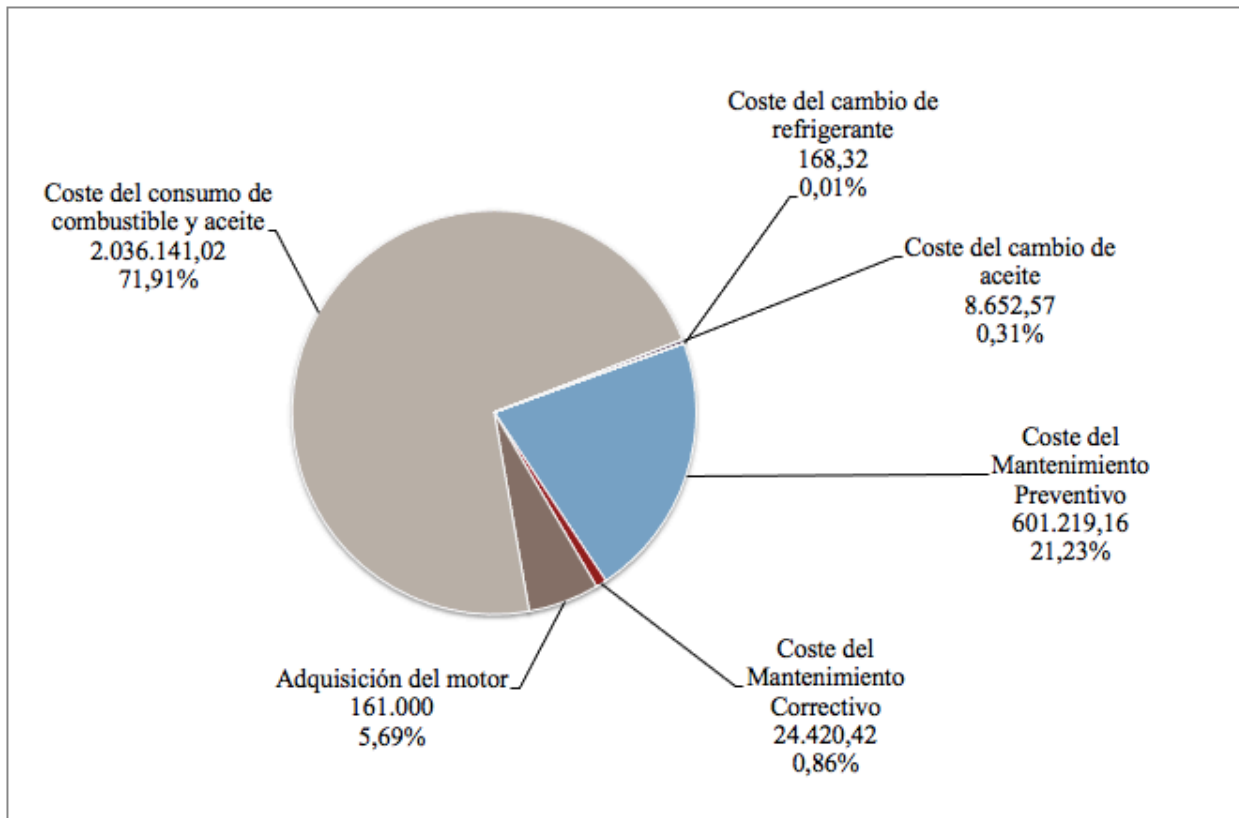


Figura 6-2. Gráfico del Coste del Ciclo de Vida del motor.

6.1.4.1 Coste del Mantenimiento Preventivo

El coste total del Mantenimiento Preventivo se calcula a través de la siguiente ecuación, siendo cada uno de los parámetros los obtenidos en las ecuaciones (6-5), (6-12) y (6-16).

$$PMC = PMC_{QL1} + CMC_{QL3} + ECMC_{QL4} \quad (6-85)$$

$$PMC = 64.655,33€ + 131.676,99€ + 404.886,84€ = 601.219,16€ \quad (6-86)$$

6.1.4.2 Coste del Mantenimiento Correctivo

El valor del coste del Mantenimiento Correctivo se ha obtenido en la ecuación (6-20), siendo el valor:

$$CMC = 24.420,42€ \quad (6-87)$$

6.1.4.3 Coste de adquisición del motor

El coste de adquisición del motor se calcula empleando la siguiente fórmula:

$$EPC = NCE \cdot (1 + PMO) \quad (6-88)$$

Siendo:

EPC: *Coste de adquisición del motor* [€]

NCE: *Coste neto del motor* [€]

PMO: *Margen de beneficio* [%]

$$EPC = 140.000€ \cdot (1 + 0,15) = 161.000€ \quad (6-89)$$

6.1.4.4 Coste del consumo de combustible y aceite

El coste del consumo de combustible y aceite se calcula mediante la fórmula:

$$FOCC_{on} = \frac{FCC_{on} + OCC_{on}}{3} \cdot (1 + EAP)^n \quad (6-90)$$

Siendo:

FOCC_{on}: *Coste del consumo de combustible y aceite* [€]

FCC_{on}: *Coste del consumo de combustible* [€]

OCC_{on}: *Coste del consumo de aceite* [€]

TOY: *Años de funcionamiento* [año]

EAP: *Incremento anual del precio (combustible, aceite y refrigerante)* [%]

n: *Año de operación*

Tabla 6.29. Datos para el cálculo del coste del consumo de combustible y aceite

Parámetros / Año de operación del motor	Primer año	Segundo año	Tercer año
FCC_{on} [€]	1.965.097,26	1.965.097,26	1.965.097,26
OCC_{on} [€]	11.163,07	11.163,07	11.163,07
EAP [%]	3	3	3
n	0	1	2

*Los cálculos de los parámetros de esta tabla se encuentran desarrollados en el anexo.

Para el primer año:

$$FOCC_{on_1} = \frac{1.965.097,26€ + 11.163,07€}{3} \cdot (1 + 0,03)^0 = 658.753,44€ \quad (6-91)$$

Para el segundo año:

$$\text{FOCC}_{\text{on}_2} = \frac{1.965.097,26\text{€} + 11.163,07\text{€}}{3} \cdot (1 + 0,03)^1 = 678.516,05\text{€} \quad (6-92)$$

Para el tercer año:

$$\text{FOCC}_{\text{on}_3} = \frac{1.965.097,26\text{€} + 11.163,07\text{€}}{3} \cdot (1 + 0,03)^2 = 698.871,53\text{€} \quad (6-93)$$

Por tanto, el valor del consumo de combustible y aceite asciente a:

$$\begin{aligned} \text{FOCC}_{\text{on}} &= 658.753,44\text{€} + 678.516,05\text{€} + 698.871,53\text{€} \\ &= 2.036.141,02\text{€} \end{aligned} \quad (6-94)$$

6.1.4.5 Coste del cambio de aceite

El coste del cambio de aceite se ha obtenido empleando la ecuación (6-52), siendo el resultado:

$$\text{OCC} = 8.652,57\text{€} \quad (6-95)$$

6.1.4.6 Coste del cambio de refrigerante

El coste del cambio de refrigerante se ha calculado empleando la ecuación (6-47), siendo el valor:

$$\text{CCC} = 168,32\text{€} \quad (6-96)$$

7 CONCLUSIONES

“Success is where preparation and opportunity meet”.

-Bobby Unser-

En este Trabajo Fin de Máster, se ha detallado el Análisis del Coste del Ciclo de Vida del motor diésel de cuatro tiempos MTU 16V 2000G26F. En concreto, el objetivo de este proyecto era evaluar dicho coste durante la fase de utilización del motor, cuyo periodo de funcionamiento era 16.001 horas de operación durante 3 años. Para ello, se han definido, evaluado y cuantificado todas las tareas de mantenimiento del motor diésel, así como todos los parámetros que intervienen en la realización de las mismas, aplicándose para ello la norma UNE 60300.

Desde el punto de vista del coste de propiedad, los costes obtenidos (de material, mano de obra, cambios de refrigerante y aceite, de desplazamiento y de apoyo al proyecto) durante el tercer año son los más elevados debido al gran número de tareas de mantenimiento que se realizan en dicho año, incluyéndose el overhaul. Además, durante el tercer año de funcionamiento, las tareas de mantenimiento son las QL4, siendo éstas las más elaboradas y costosas y, por tanto, las que requieren una mano de obra más especializada.

El Coste del Ciclo de Vida asciende a 2.831.313€, siendo el 72% de los costes los asociados al consumo de combustible y de aceite. El 21% del coste total se corresponde con el coste del Mantenimiento Preventivo, mientras que el Mantenimiento Correctivo alcanza el 1%. El coste de adquisición del motor es el 5% del total y el coste del cambio de aceite (0,3%) y de refrigerante (0,01%) apenas representan el 1% del coste total.

Como era de esperar, la mayor parte del Coste del Ciclo de Vida es la asociada al consumo de combustible. Esto es debido a que el diésel es el principal consumible del motor. Para minimizar dicho coste, el motor tendría que trabajar a potencia nominal la mayor parte del periodo de funcionamiento, ya que a dicha potencia el motor consume menor cantidad de combustible por kW consumido.

REFERENCIAS

- [1] Aenor - Asociación Española de Normalización y Certificación, «UNE-EN 60300-3-3:2017. Gestión de la confiabilidad. Parte 3-3: Guía de aplicación. Cálculo del coste del ciclo de vida.,» Madrid, 2017.
- [2] J. Pastor Sánchez, «Procedimiento de estimación del coste del ciclo de vida de un sistema de armas en España,» [En línea]. Available: https://publicaciones.defensa.gob.es/media/downloadable/files/links/p/r/procedimiento_estimaci_n_coste.pdf. [Último acceso: noviembre 2020].
- [3] E. H. Leiva, «Escuela de Organización Industrial,» 2016. [En línea]. Available: <https://www.eoi.es/es/file/66611/download?token=BTXaL249>. [Último acceso: octubre 2020].
- [4] J. Agirre Orcajo, «El análisis de costes aplicado al diseño sostenible de productos,» [En línea]. Available: https://www.euskadi.eus/contenidos/documentacion/analisis_costes/es_def/adjuntos/AnalisisCostes.pdf. [Último acceso: noviembre 2020].
- [5] A. Lindholm y P. Suomala, «Present and Future of Life Cycle Costing: Reflections from Finnish Companies,» [En línea]. Available: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.466.7722&rep=rep1&type=pdf>. [Último acceso: diciembre 2020].
- [6] J. Luiz de Sá Riechi, «Desarrollo de un modelo para la optimización del reemplazo de vehículos para una flota de transporte urbano de pasajeros,» 2018. [En línea]. Available: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/99567/S%C1%20-%20Desarrollo%20de%20un%20modelo%20para%20la%20optimizaci%F3n%20del%20reemplazo%20de%20veh%EDculos%20para%20una%20flota%20de%20tr....pdf;jsessionid=5810B21407B2974CAEA14F734F7B4D85?sequence=1>. [Último acceso: noviembre 2020].
- [7] F. García-Erviti, J. Armengot-Paradinas y G. Ramírez-Pacheco, «El análisis del coste del ciclo de vida como herramienta para la evaluación económica de la edificación sostenible. Estado de la cuestión,» 2015. [En línea]. Available: <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/articulo/view/4015/4568>. [Último acceso: 2020 noviembre].
- [8] A. Navarro Galera, R. I. Ortúzar Maturana y F. J. Alcaraz Quiles, «La viabilidad del coste del ciclo de vida para la evaluación económica de inversiones militares,» 2015. [En línea]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1138489115000321>. [Último acceso: diciembre 2020].
- [9] ABC, «Te explicamos qué tipos de motores existen y cuáles son sus características,» [En línea]. Available: https://www.abc.es/motor/reportajes/abci-explicamos-tipos-motores-existen-y-cuales-caracteristicas-202004050153_noticia.html. [Último acceso: octubre 2020].
- [10] R. O. d. D. E. «Motores diésel: todo lo que deberías saber,» [En línea]. Available: <https://www.ro-des.com/mecanica/motores-diesel/>. [Último acceso: septiembre 2020].

- [11] MTU, «Operating instructions. Diesel Engine.» [En línea]. Available: <https://www.manualslib.com/products/Mtu-16v2000g26f-4134915.html>. [Último acceso: julio 2020].
- [12] A. Salinas Villar, Motores: mantenimiento de vehículos autopropulsados: electromecánica de vehículos, Madrid: Thomsom-Paraninfo, 2007.
- [13] Aenor - Asociación Española de Normalización y Certificación, «UNE-EN 60300-3-14:2007. Gestión de la confiabilidad. Parte 3-14: Guía de aplicación. Mantenimiento y logística de mantenimiento.».
- [14] F. A. Moraga Muñoz, «Manual de mantenimiento de 500 hrs. motor MTU serie 4000 20V C23,» 2019. [En línea]. Available: <https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/48908/3560901064835UTFSM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. [Último acceso: octubre 2020].
- [15] R. González Álvarez, «Diseño del plan de mantenimiento para una embarcación de 32 metros,» julio 2012. [En línea]. Available: <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/836/Rubén%20González%20Álvarez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. [Último acceso: octubre 2020].
- [16] SVF Trinidad & Tobago, [En línea]. Available: <http://svfcaribe.com/2016/04/21/literatura/>. [Último acceso: noviembre 2020].
- [17] C. A. Parra Márquez, Desarrollo de modelos de cuantificación económica del factor “Fiabilidad” en el Coste Total de Ciclo de Vida de un sistema de producción, Sevilla, 2009.
- [18] Y. Lechón, Análisis de ciclo de vida de combustibles alternativos para el transporte, Ministerio de Medio Ambiente, 2006.
- [19] «Society for Environmental Toxicology and Chemistry,» agosto 2020. [En línea]. Available: <https://www.setac.org>.
- [20] Y. Cuéllar Álvarez, «Análisis de Ciclo de Vida para diferentes fuentes energéticas usadas en los vehículos de transporte de pasajeros de la ciudad de Bogotá,» 2016. [En línea]. Available: <http://bdigital.unal.edu.co/52211/7/2562130.2016.pdf>. [Último acceso: julio 2020].
- [21] A. Aranda Usón y I. Zabalza Bribián, Ecodiseño y análisis de ciclo de vida, Prensas Universitarias de Zaragoza, 2010.
- [22] S. Capuz Rizo y T. Gómez Navarro, Ecodiseño : ingeniería del ciclo de vida para el desarrollo de productos sostenibles, Universidad Politécnica de Valencia, 2002.
- [23] R. Martinez, «Como consumir menos.com,» 9 agosto 2012. [En línea]. Available: <http://www.comoconsumirmenos.com/2012/08/el-consumo-especifico-del-motor.html>. [Último acceso: octubre 2020].
- [24] «Blog de tecnología del IES Leopoldo Querol,» [En línea]. Available: <https://lqtecno.blogspot.com/2013/11/motor-de-4-tiempos-mep-partes.html>. [Último acceso: octubre 2020].
- [25] C. Flórez Zulategui, Estudio evolutivo, análisis de la repercusión y perspectiva de futuro del motor diésel, Sevilla, 2019.
- [26] I. Ordóñez Barreiro, Análisis de ciclo de vida de una instalación de disco parabólico, Sevilla, 2006.
- [27] J. M. Durán Pastrana, Análisis de ciclo de vida de una planta de trigeneración, Sevilla, 2005.
- [28] Aenor - Asociación Española de Normalización y Certificación, «UNE-EN ISO 14040:2006. Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Principios y marco de referencia.» Madrid, 2006.

- [29] Aenor - Asociación Española de Normalización y Certificación, «UNE-EN ISO 14044:2006. Gestión Ambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Requisitos y directrices.,» Madrid, 2006.
- [30] Aenor - Asociación Española de Normalización y Certificación, «UNE-EN 60300-3-3:2009. Gestión de la confiabilidad. Parte 3-3: Guía de aplicación. Cálculo del coste del ciclo de vida.,» Madrid, 2009.

ANEXOS

En este apartado se agrupa el desarrollo de los cálculos de los parámetros mostrados en las tablas del capítulo 6. Asimismo, se recogen las fórmulas empleadas para dichos cálculos.

Tabla 0.1. Datos para el cálculo del coste de los repuestos para el Mantenimiento Correctivo.

Intervalo (h)	Mano de obra (h)	Coste de los repuestos (€)	Nº intervenciones	Coste total de los repuestos (€)
500	1,55	529,54	16	8.472,64
1000	2,55	626,77	8	5.014,16
2000	3,95	703,57	4	2.814,28
4000	5,25	969,25	2	1.938,50
8000	142,45	47.563,85	1	47.563,85
16000	589,45	80.460,70	1	80.460,70
			32	146.264,13

El coste de los repuestos del mantenimiento correctivo se ha estimado a partir del coste de los repuestos del mantenimiento preventivo. Para ello se ha estimado que el coste de los repuestos del correctivo es un 20% del preventivo.

Por tanto, el coste de los repuestos para el mantenimiento correctivo por hora de operación es:

$$CMPC = \frac{146.264,13 \text{ €}}{16.001 \text{ h}} \cdot 0,2 = 1,83 \frac{\text{€}}{\text{h}} \quad (0-1)$$

Tabla 0.2. Datos para el cálculo del coste de los repuestos durante el primer año de funcionamiento del motor.

Clasificación	N° Tarea	Intervalo (hora)	Intervalo (año)	Coste de la tarea (€)	Horas hombre por tarea (h)	Año 1							
						Coste total repuestos	Total mano de obra	Coste repuestos QL3	Mano de obra QL3	Coste repuestos QL4	Mano de obra QL4	N° tareas	
	QL1	500	1	19.795,26	123,30	6.686,98	39,60						10
	QL3	8.000	9	51.218,26	143,45			0	0				0
	QL4	16.000	18	97.825	589					0	0		0
	CC001	6.000	2	0	2	-	-	-	-	-	-	-	-
	OC001	500	2	0	1	-	10	-	-	-	-	-	10
	REMA1	16.000	18	97.825	589	-	-	-	-	-	-	-	-
QL1	W0500	0	0	0	0,10	-	-	-	-	-	-	-	-
QL1	W0501	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-
QL1	W0502	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-
QL1	W0503	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-
QL1	W0505	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-
QL1	W0506	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-
QL1	W0507	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-
QL1	W0508	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-
QL1	W1008	500	2	97,23	1	972,30	10	-	-	-	-	-	10
QL1	W1244	0	2	0	0,40	-	-	-	-	-	-	-	-
QL1	W1245	0	1	0	0,20	-	-	-	-	-	-	-	-
QL1	W1246	0	1	0	0,50	-	-	-	-	-	-	-	-
QL1	W1001	500	2	41,78	0,20	417,80	2	-	-	-	-	-	10
QL1	W1009	500	2	5,06	0,15	50,60	1,50	-	-	-	-	-	10

Clasificación	Nº Tarea	Intervalo (hora)	Intervalo (año)	Coste de la tarea (€)	Horas hombre por tarea (h)	Año 1						
						Coste total repuestos	Total mano de obra	Coste repuestos QL3	Mano de obra QL3	Coste repuestos QL4	Mano de obra QL4	Nº tareas
QL1	W1481	500	2	440,92	1	4.409,20	10	-	-	-	-	10
QL1	W1675	500	2	41,78	0,20	417,80	2	-	-	-	-	10
QL1	W1207	2.000	2	76,80	1,40	153,60	2,80	-	-	-	-	2
QL1	W1003	4.000	2	0	0,10	-	0,10	-	-	-	-	1
QL1	W1005	4.000	3	148,68	0,20	148,68	0,20	-	-	-	-	1
QL1	W1055	4.000	6	117	1	117	1	-	-	-	-	1
QL1	W1006	8.000	9	11.882,40	5	-	-	-	-	-	-	-
QL1	W1006C	8.000	9	4.480	0	-	-	-	-	-	-	-
QL1	W1178	8.000	9	1.317,12	2,10	-	-	-	-	-	-	-
QL1	W1636	8.000	9	0	1	-	-	-	-	-	-	-
QL3	W1041	8.000	9	23.005,39	14	-	-	-	-	-	-	-
QL3	W1058	8.000	9	5.600	1,50	-	-	-	-	-	-	-
QL3	W1058C	8.000	9	1.700	0	-	-	-	-	-	-	-
QL3	W1063	8.000	9	893,86	72	-	-	-	-	-	-	-
QL3	W1063R	8.000	9	2.366,85	0	-	-	-	-	-	-	-
QL3	W1384	8.000	9	1.365,34	9	-	-	-	-	-	-	-
QL3	W1384R	8.000	9	226,76	0	-	-	-	-	-	-	-
QL3	W2002	8.000	9	0	1,50	-	-	-	-	-	-	-
QL3	W2003	8.000	9	808,61	2	-	-	-	-	-	-	-
QL3	W2003R	8.000	9	1.060,79	0	-	-	-	-	-	-	-
QL3	W2006	8.000	9	286,21	1	-	-	-	-	-	-	-
QL3	W2009	8.000	9	10,28	0,20	-	-	-	-	-	-	-
QL3	W2018	8.000	9	740,15	1,40	-	-	-	-	-	-	-

Clasificación	Nº Tarea	Intervalo (hora)	Intervalo (año)	Coste de la tarea (€)	Horas hombre por tarea (h)	Año 1						
						Coste total repuestos	Total mano de obra	Coste repuestos QL3	Mano de obra QL3	Coste repuestos QL4	Mano de obra QL4	Nº tareas
QL3	W2036	8.000	9	0	1	-	-	-	-	-	-	-
QL3	W2062	8.000	9	685,25	20	-	-	-	-	-	-	-
QL3	W2074	8.000	9	0	5,50	-	-	-	-	-	-	-
QL4	W3000	16.000	18	6.245,72	370	-	-	-	-	-	-	-
QL4	W3001	16.000	18	5.403,02	0	-	-	-	-	-	-	-
QL4	W3002	16.000	18	1.500,96	0	-	-	-	-	-	-	-
QL4	W3003	16.000	18	2.360,16	0	-	-	-	-	-	-	-
QL4	W3004	16.000	18	1.628,17	0	-	-	-	-	-	-	-
QL4	W3005	16.000	18	2.282,56	0	-	-	-	-	-	-	-
QL4	W3006	16.000	18	108,44	0	-	-	-	-	-	-	-
QL4	W3041	16.000	18	496,86	0	-	-	-	-	-	-	-
QL4	W3041R	16.000	18	209,52	0	-	-	-	-	-	-	-
QL4	W3042	16.000	18	493,46	0	-	-	-	-	-	-	-
QL4	W3042R	16.000	18	71,33	0	-	-	-	-	-	-	-
QL4	W3043	16.000	18	578,42	0	-	-	-	-	-	-	-
QL4	W3057	16.000	18	604,51	0	-	-	-	-	-	-	-
QL4	W3108	16.000	18	2.068,95	0	-	-	-	-	-	-	-
QL4	W3138	16.000	18	9.125,63	0	-	-	-	-	-	-	-
QL4	W3xxxR	16.000	18	13.428,88	77	-	-	-	-	-	-	-
QL4	W32xxR	32.000	36	1.284,96	0	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 0.3. Datos para el cálculo del coste de los repuestos durante el segundo año de funcionamiento del motor.

Clasificación	Nº Tarea	Intervalo (hora)	Intervalo (año)	Coste de la tarea (€)	Horas hombre por tarea (h)	Año 2							
						Coste total repuestos	Total mano de obra	Coste repuestos QL3	Mano de obra QL3	Coste repuestos QL4	Mano de obra QL4	Nº tareas	
	QL1	500	1	19.795,26	123,30	6.421,30	41						10
	QL3	6.000	9	51.218,26	143,45			51.218,26	143,45				1
	QL4	16.000	18	97.825	589					0	0		0
	CC001	6.000	2	0	2	-	2	-		-	-		1
	OC001	500	2	0	1	-	11	-	1	-	-		11
	REMA1	16.000	18	97.825	589	-	-	-	-	-	-		-
QL1	W0500	0	0	0	0,10	-	-	-	-	-	-		-
QL1	W0501	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-		-
QL1	W0502	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-		-
QL1	W0503	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-		-
QL1	W0505	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-		-
QL1	W0506	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-		-
QL1	W0507	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-		-
QL1	W0508	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-		-
QL1	W1008	500	2	97,23	1	1.069,53	11	97,23	1	-	-		11
QL1	W1244	0	2	0	0,40	-	-	-	-	-	-		-
QL1	W1245	0	1	0	0,20	-	0,20	-	-	-	-		1
QL1	W1246	0	1	0	0,50	-	0,50	-	-	-	-		1
QL1	W1001	500	2	41,78	0,20	459,58	2,20	41,78	0,20	-	-		11

Clasificación	N° Tarea	Intervalo (hora)	Intervalo (año)	Coste de la tarea (€)	Horas hombre por tarea (h)	Año 2						
						Coste total repuestos	Total mano de obra	Coste repuestos QL3	Mano de obra QL3	Coste repuestos QL4	Mano de obra QL4	N° tareas
QL1	W1009	500	2	5,06	0,15	55,66	1,65	5,06	0,15	-	-	11
QL1	W1481	500	2	440,92	1	4.850,12	11	440,92	1	-	-	11
QL1	W1675	500	2	41,78	0,20	459,58	2,20	41,78	0,20	-	-	11
QL1	W1207	2.000	2	76,80	1,40	230,40	4,20	76,80	1,40	-	-	3
QL1	W1003	4.000	2	0	0,10	-	0,10	-	0,10	-	-	1
QL1	W1005	4.000	3	148,68	0,20	148,68	0,20	148,68	0,20	-	-	1
QL1	W1055	4.000	6	117	1	117	1	117	1	-	-	1
QL1	W1006	8.000	9	11.882,40	5	11.882,40	5	11.882,40	5	-	-	1
QL1	W1006C	8.000	9	4.480	0	-	-	-	-	-	-	1
QL1	W1178	8.000	9	1.317,12	2,10	1.317,12	2,10	1.317,12	2,10	-	-	1
QL1	W1636	8.000	9	0	1	-	1	-	1	-	-	1
QL3	W1041	8.000	9	23.005,39	14	23.005,39	14	23.005,39	14	-	-	1
QL3	W1058	8.000	9	5.600	1,50	5.600	1,50	5.600	1,50	-	-	1
QL3	W1058C	8.000	9	1.700	0	-	-	-	-	-	-	1
QL3	W1063	8.000	9	893,86	72	893,86	72	893,86	72	-	-	1
QL3	W1063R	8.000	9	2.366,85	0	2.366,85	-	2.366,85	-	-	-	1
QL3	W1384	8.000	9	1.365,34	9	1.365,34	9	1.365,34	9	-	-	1
QL3	W1384R	8.000	9	226,76	0	226,76	-	226,76	-	-	-	1
QL3	W2002	8.000	9	0	1,50	-	1,50	-	1,50	-	-	1
QL3	W2003	8.000	9	808,61	2	808,61	2	808,61	2	-	-	1
QL3	W2003R	8.000	9	1.060,79	0	1.060,79	-	1.060,79	-	-	-	1
QL3	W2006	8.000	9	286,21	1	286,21	1	286,21	1	-	-	1
QL3	W2009	8.000	9	10,28	0,20	10,28	0,20	10,28	0,20	-	-	1

Clasificación	Nº Tarea	Intervalo (hora)	Intervalo (año)	Coste de la tarea (€)	Horas hombre por tarea (h)	Año 2						
						Coste total repuestos	Total mano de obra	Coste repuestos QL3	Mano de obra QL3	Coste repuestos QL4	Mano de obra QL4	Nº tareas
QL3	W2018	8.000	9	740,15	1,40	740,15	1,40	740,15	1,40	-	-	1
QL3	W2036	8.000	9	0	1	-	1	-	1	-	-	1
QL3	W2062	8.000	9	685,25	20	685,25	20	685,25	20	-	-	1
QL3	W2074	8.000	9	0	5,50	-	5,50	-	5,50	-	-	1
QL4	W3000	16.000	18	6.245,72	370	-	-	-	-	-	-	-
QL4	W3001	16.000	18	5.403,02	0	-	-	-	-	-	-	-
QL4	W3002	16.000	18	1.500,96	0	-	-	-	-	-	-	-
QL4	W3003	16.000	18	2.360,16	0	-	-	-	-	-	-	-
QL4	W3004	16.000	18	1.628,17	0	-	-	-	-	-	-	-
QL4	W3005	16.000	18	2.282,56	0	-	-	-	-	-	-	-
QL4	W3006	16.000	18	108,44	0	-	-	-	-	-	-	-
QL4	W3041	16.000	18	496,86	0	-	-	-	-	-	-	-
QL4	W3041R	16.000	18	209,52	0	-	-	-	-	-	-	-
QL4	W3042	16.000	18	493,46	0	-	-	-	-	-	-	-
QL4	W3042R	16.000	18	71,33	0	-	-	-	-	-	-	-
QL4	W3043	16.000	18	578,42	0	-	-	-	-	-	-	-
QL4	W3057	16.000	18	604,51	0	-	-	-	-	-	-	-
QL4	W3108	16.000	18	2.068,95	0	-	-	-	-	-	-	-
QL4	W3138	16.000	18	9.125,63	0	-	-	-	-	-	-	-
QL4	W3xxxR	16.000	18	13.428,88	77	-	-	-	-	-	-	-
QL4	W32xxR	32.000	36	1.284,96	0	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 0.4. Datos para el cálculo del coste de los repuestos durante el tercer año de funcionamiento del motor.

Clasificación	Nº Tarea	Intervalo (hora)	Intervalo (año)	Coste de la tarea (€)	Horas hombre por tarea (h)	Año 3						
						Coste total repuestos	Total mano de obra	Coste repuestos QL3	Mano de obra QL3	Coste repuestos QL4	Mano de obra QL4	Nº tareas
	QL1	500	1	19.795,26	123,30	6.686,98	42,70					10
	QL3	8.000	9	51.218,26	143,45			0	0			0
	QL4	16.000	18	97.825	589					97.825	589	1
	CC001	6.000	2	0	2	-	2	-	-	-		1
	OC001	500	2	0	1	-	11	-	-	-	1	11
	REMA1	16.000	18	97.825	589	97.825	589	-	-	97.825	589	1
QL1	W0500	0	0	0	0,10	-	-	-	-	-	-	-
QL1	W0501	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-
QL1	W0502	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-
QL1	W0503	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-
QL1	W0505	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-
QL1	W0506	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-
QL1	W0507	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-
QL1	W0508	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-
QL1	W1008	500	2	97,23	1	1.069,53	11	-	-	97,23	1	11
QL1	W1244	0	2	0	0,40	-	0,40	-	-	-	-	1
QL1	W1245	0	1	0	0,20	-	0,20	-	-	-	-	1
QL1	W1246	0	1	0	0,50	-	0,50	-	-	-	-	1
QL1	W1001	500	2	41,78	0,20	459,58	2,20	-	-	41,78	0,20	11
QL1	W1009	500	2	5,06	0,15	55,66	1,65	-	-	5,06	0,15	11
QL1	W1481	500	2	440,92	1	4.850,12	11	-	-	440,92	1	11

Clasificación	Nº Tarea	Intervalo (hora)	Intervalo (año)	Coste de la tarea (€)	Horas hombre por tarea (h)	Año 3						
						Coste total repuestos	Total mano de obra	Coste repuestos QL3	Mano de obra QL3	Coste repuestos QL4	Mano de obra QL4	Nº tareas
QL1	W1675	500	2	41,78	0,20	459,58	2,20	-	-	41,78	0,20	11
QL1	W1207	2.000	2	76,80	1,40	230,40	4,20	-	-	76,80	1,40	3
QL1	W1003	4.000	2	0	0,10	-	0,20	-	-	-	0,10	2
QL1	W1005	4.000	3	148,68	0,20	297,36	0,40	-	-	148,68	0,20	2
QL1	W1055	4.000	6	117	1	234	2	-	-	117	1	2
QL1	W1006	8.000	9	11.882,40	5	11.882,40	5	-	-	11.882,40	5	1
QL1	W1006C	8.000	9	4.480	0	-	-	-	-	-	-	1
QL1	W1178	8.000	9	1.317,12	2,10	1.317,12	2,10	-	-	1.317,12	2,10	1
QL1	W1636	8.000	9	0	1	-	1	-	-	-	1	1
QL3	W1041	8.000	9	23.005,39	14	23.005,39	14	-	-	23.005,39	14	1
QL3	W1058	8.000	9	5.600	1,50	5.600	1,50	-	-	5.600	1,50	1
QL3	W1058C	8.000	9	1.700	0	-	-	-	-	-	-	1
QL3	W1063	8.000	9	893,86	72	893,86	72	-	-	893,86	72	1
QL3	W1063R	8.000	9	2.366,85	0	2.366,85	-	-	-	2.366,85	-	1
QL3	W1384	8.000	9	1.365,34	9	1.365,34	9	-	-	1.365,34	9	1
QL3	W1384R	8.000	9	226,76	0	226,76	-	-	-	226,76	-	1
QL3	W2002	8.000	9	0	1,50	-	1,50	-	-	-	1,50	1
QL3	W2003	8.000	9	808,61	2	808,61	2	-	-	808,61	2	1
QL3	W2003R	8.000	9	1.060,79	0	1.060,79	-	-	-	1.060,79	-	1
QL3	W2006	8.000	9	286,21	1	286,21	1	-	-	286,21	1	1
QL3	W2009	8.000	9	10,28	0,20	10,28	0,20	-	-	10,28	0,20	1
QL3	W2018	8.000	9	740,15	1,40	740,15	1,40	-	-	740,15	1,40	1

Clasificación	Nº Tarea	Intervalo (hora)	Intervalo (año)	Coste de la tarea (€)	Horas hombre por tarea (h)	Año 3						
						Coste total repuestos	Total mano de obra	Coste repuestos QL3	Mano de obra QL3	Coste repuestos QL4	Mano de obra QL4	Nº tareas
QL3	W2036	8.000	9	0	1	-	1	-	-	-	1	1
QL3	W2062	8.000	9	685,25	20	685,25	20	-	-	685,25	20	1
QL3	W2074	8.000	9	0	5,50	-	5,50	-	-	-	5,50	1
QL4	W3000	16.000	18	6.245,72	370	6.245,72	370	-	-	6.245,72	370	1
QL4	W3001	16.000	18	5.403,02	0	5.403,02	-	-	-	5.403,02	-	1
QL4	W3002	16.000	18	1.500,96	0	1.500,96	-	-	-	1.500,96	-	1
QL4	W3003	16.000	18	2.360,16	0	2.360,16	-	-	-	2.360,16	-	1
QL4	W3004	16.000	18	1.628,17	0	1.628,17	-	-	-	1.628,17	-	1
QL4	W3005	16.000	18	2.282,56	0	2.282,56	-	-	-	2.282,56	-	1
QL4	W3006	16.000	18	108,44	0	108,44	-	-	-	108,44	-	1
QL4	W3041	16.000	18	496,86	0	496,86	-	-	-	496,86	-	1
QL4	W3041R	16.000	18	209,52	0	209,52	-	-	-	209,52	-	1
QL4	W3042	16.000	18	493,46	0	493,46	-	-	-	493,46	-	1
QL4	W3042R	16.000	18	71,33	0	71,33	-	-	-	71,33	-	1
QL4	W3043	16.000	18	578,42	0	578,42	-	-	-	578,42	-	1
QL4	W3057	16.000	18	604,51	0	604,51	-	-	-	604,51	-	1
QL4	W3108	16.000	18	2.068,95	0	2.068,95	-	-	-	2.068,95	-	1
QL4	W3138	16.000	18	9.125,63	0	9.125,63	-	-	-	9.125,63	-	1
QL4	W3xxxR	16.000	18	13.428,88	77	13.428,88	77	-	-	13.428,88	77	1
QL4	W32xxR	32.000	36	1.284,96	0	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 0.5. Datos para el cálculo del coste de mano de obra y los costes de transporte y desplazamiento.

Parámetros	Tareas QL1			Tareas QL3			Tareas QL4		
	Año 1	Año 2	Año 3	Año 1	Año 2	Año 3	Año 1	Año 2	Año 3
Coste mano de obra de personal local (€) (LCL)	3.029,40	3.136,50	3.266,55	-	7.366,95	-	-	-	30.090
nº tareas	10	10	10	-	1	-	-	-	1
nº personal local (nº local)	1	1	1	-	2	-	-	-	2
nº personal de fábrica (nº fábrica)	-	-	-	-	1	-	-	-	1
Horas laborales (h)	39,6	41	42,7	-	143,45	-	-	-	589
Horas hombre de preparación/administración por servicio (h) (AMS)	-	-	-	-	1	-	-	-	1
Mano de obra local (€/h) (MO _{local})	76,5	76,5	76,5	-	76,5	-	-	-	76,5
Costes mano de obra de personal de fábrica (€) (LCMTU)	-	-	-	-	5.176,13	-	-	-	21.141,67
nº tareas	-	-	-	-	1	-	-	-	1
nº personal local (nº local)	-	-	-	-	2	-	-	-	2
nº personal de fábrica (nº fábrica)	-	-	-	-	1	-	-	-	1
Horas laborales (h)	-	-	-	-	143,45	-	-	-	589
Horas hombre de preparación/administración por servicio (h) (AMS)	-	-	-	-	1	-	-	-	1
Mano de obra personal de fábrica (€/h) (MO _{fábrica})	-	-	-	-	107,5	-	-	-	107,5
Coste de viaje de personal local (€) (TCL)	6.120	6.120	6.120	-	13.464	-	-	-	52.632
nº de tareas	10	10	10	-	1	-	-	-	1

Parámetros	Tareas QL1			Tareas QL3			Tareas QL4		
	Año 1	Año 2	Año 3	Año 1	Año 2	Año 3	Año 1	Año 2	Año 3
nº personal local (nº local)	1	1	1	-	2	-	-	-	2
Horas laborales (h)	39,6	41	42,7	-	143,45	-	-	-	589
Tiempo de viaje a la ubicación (h) (TVU)	2	2	2	-	2	-	-	-	2
Horas de trabajo al día (h) (horas trabajo/día)	8	8	8	-	8	-	-	-	8
Tiempo de desplazamiento diario (h) (TDD)	2	2	2	-	2	-	-	-	2
Mano de obra local (€/h) (MO _{local})	76,5	76,5	76,5	-	76,5	-	-	-	76,5
Coste de viaje de personal de fábrica (€) (TCMTU)	-	-	-	-	28.380	-	-	-	110.940
nº de tareas	-	-	-	-	1	-	-	-	1
nº personal de fábrica (nº fábrica)	-	-	-	-	1	-	-	-	1
Horas laborales (h)	-	-	-	-	143,45	-	-	-	589
Horas de trabajo al día (h) (horas trabajo/día)	-	-	-	-	7	-	-	-	7
Tiempo de viaje a la ubicación (h) (TVU)	-	-	-	-	6	-	-	-	6
Tiempo de desplazamiento diario (h) (TDD)	-	-	-	-	6	-	-	-	6
Mano de obra personal de fábrica (€/h) (MO _{fábrica})	-	-	-	-	107,5	-	-	-	107,5
Gastos de viaje de personal local (€) (ATCSL)	2.324,60	2.324,60	2.324,60	-	2.688,21	-	-	-	7.825,29
nº de tareas	10	10	10	-	1	-	-	-	1
nº personal local (nº local)	1	1	1	-	2	-	-	-	2
Promedio de días de trabajo por persona (día) (nº días trabajo)	0,5	0,5	0,5	-	6,83	-	-	-	28,05

Parámetros	Tareas QL1			Tareas QL3			Tareas QL4		
	Año 1	Año 2	Año 3	Año 1	Año 2	Año 3	Año 1	Año 2	Año 3
Coste de asignación por persona y día (€) (Coste _{persona/día})	139,5	139,5	139,5	-	139,5	-	-	-	139,5
Coste de viaje por persona (€) (Coste _{viaje/persona})	120	120	120	-	120	-	-	-	-
nº coches de alquiler (nº coches)	1	1	1	-	1	-	-	-	-
Coste de alquiler de coche por coche y día (€) (Coste _{alquiler})	50	50	50	-	50	-	-	-	-
Distancia recorrida a la ubicación (km) (distancia)	200	200	200	-	200	-	-	-	-
Coste del combustible por litro (€/L) (Coste _{combustible})	1,05	1,05	1,05	-	1,05	-	-	-	-
Consumo medio de combustible por 100 km (L) (Consumo _{coche})	7	7	7	-	7	-	-	-	-
Gastos de viaje y gastos de transporte de personal de fábrica (€) (ATCSMTU)	-	-	-	-	2.873,19	-	-	-	11.410,98
nº de tareas	-	-	-	-	1	-	-	-	1
nº personal de fábrica (nº fábrica)	-	-	-	-	1	-	-	-	1
Promedio de días de trabajo por persona (día) (nº días _{trabajo})	-	-	-	-	6,83	-	-	-	28,05
Mano de obra promedio (€/h) (ALR)	-	-	-	-	86,83	-	-	-	86,83
Coste de alojamiento por persona (€) (Coste _{alojamiento/persona})	-	-	-	-	135	-	-	-	135
Coste de asignación por persona y día (€) (Coste _{persona/día})	-	-	-	-	139,5	-	-	-	139,5
Coste de viaje por persona (€) (Coste _{viaje/persona})	-	-	-	-	120	-	-	-	120
nº coches de alquiler (nº coches)	-	-	-	-	1	-	-	-	1
Coste de alquiler de coche por coche y día (€) (Coste _{alquiler})	-	-	-	-	50	-	-	-	50
Distancia recorrida a la ubicación (km) (distancia)	-	-	-	-	530	-	-	-	530

Parámetros	Tareas QL1			Tareas QL3			Tareas QL4		
	Año 1	Año 2	Año 3	Año 1	Año 2	Año 3	Año 1	Año 2	Año 3
Coste del combustible por litro (€/L) (Coste _{combustible})	-	-	-	-	1,05	-	-	-	1,05
Consumo medio de combustible por 100 km (L) (Consumo _{coche})	-	-	-	-	7	-	-	-	7

Las siguientes fórmulas han sido empleadas para el cálculo de los costes desarrollados en la Tabla 0.5.

$$LCL = \frac{n^{\circ} \text{ local}}{n^{\circ} \text{ local} + n^{\circ} \text{ fábrica}} \cdot MO_{\text{local}} \cdot (\text{horas laborales} + n^{\circ} \text{ tareas} \cdot \text{AMS}) \quad (0-2)$$

$$LCMTU = \frac{n^{\circ} \text{ fábrica}}{n^{\circ} \text{ local} + n^{\circ} \text{ fábrica}} \cdot MO_{\text{fábrica}} \cdot (\text{horas laborales} + n^{\circ} \text{ tareas} \cdot \text{AMS}) \quad (0-3)$$

$$TCL = n^{\circ} \text{ tareas} \cdot n^{\circ} \text{ local} \cdot 2 \cdot MO_{\text{local}} \cdot \left(\text{TVU} + \text{TDD} \cdot \frac{\text{horas laborales}}{n^{\circ} \text{ tareas} \cdot \text{horas}_{\text{trabajo/día}}} \right) \quad (0-4)$$

$$TCMTU = n^{\circ} \text{ tareas} \cdot n^{\circ} \text{ fábrica} \cdot 2 \cdot MO_{\text{fábrica}} \cdot \left(\text{TVU} + \text{TDD} \cdot \frac{\text{horas laborales}}{n^{\circ} \text{ tareas} \cdot \text{horas}_{\text{trabajo/día}}} \right) \quad (0-5)$$

$$\begin{aligned} \text{ATCSL} = n^{\circ} \text{ tareas} \cdot (n^{\circ} \text{ local} \cdot n^{\circ} \text{ días}_{\text{trabajo}} \cdot \text{coste}_{\text{persona/día}} + n^{\circ} \text{ local} \cdot \text{coste}_{\text{viaje/persona}} + n^{\circ} \text{ coches} \\ \cdot \text{coste}_{\text{alquiler}} \cdot n^{\circ} \text{ días}_{\text{trabajo}} + 2 \cdot \text{distancia} \cdot n^{\circ} \text{ coches} \cdot n^{\circ} \text{ días}_{\text{trabajo}} \cdot \frac{\text{consumo}_{\text{coche}}}{100} \\ \cdot \text{coste}_{\text{combustible}}) \end{aligned} \quad (0-6)$$

ATCSMTU = n° tareas

$$\begin{aligned} & \cdot \left(n^{\circ} \text{ fábrica} \cdot n^{\circ} \text{ días trabajo} \cdot \text{coste}_{\text{perosna/día}} + n^{\circ} \text{ fábrica} \cdot n^{\circ} \text{ días trabajo} \cdot \text{coste}_{\text{alojamiento/persona}} \right. \\ & + n^{\circ} \text{ fábrica} \cdot \text{coste}_{\text{viaje/persona}} + n^{\circ} \text{ coches} \cdot \text{coste}_{\text{alquiler}} \cdot n^{\circ} \text{ días trabajo} + 2 \cdot \text{distancia} \\ & \left. \cdot n^{\circ} \text{ coches} \cdot n^{\circ} \text{ días trabajo} \cdot \frac{\text{consumo}_{\text{coche}}}{100} \cdot \text{coste}_{\text{combustible}} \right) + n^{\circ} \text{ tareas} \cdot 0,05 \cdot \text{ALR} \end{aligned}$$

(0-7)

Tabla 0.6. Datos para el cálculo del coste del consumo de combustible y del consumo de aceite.

Potencia (%)	Potencia (kW)	Duración (%)	Duración (h)	Consumo específico de combustible	Consumo máxico de combustible	Coste del consumo de combustible	Consumo máxico de aceite	Coste del consumo de aceite
55%	390 kW	10%	1.600 h	205 g/kWh	127.662 kg	158.633,27 €	383 kg	901,14 €
60%	425 kW	20%	3.200 h	203 g/kWh	276.629 kg	343.740,65 €	830 kg	1.952,68 €
65%	461 kW	5%	800 h	202 g/kWh	74.367 kg	92.409,20 €	223 kg	524,95 €
70%	496 kW	10%	1.600 h	200 g/kWh	159.064 kg	197.653,70 €	477 kg	1.122,81 €
75%	532 kW	15%	2.400 h	197 g/kWh	251.299 kg	312.265,63 €	754 kg	1.773,88 €
80%	567 kW	5%	800 h	196 g/kWh	88.897 kg	110.463,90 €	267 kg	627,51 €
85%	603 kW	10%	1.600 h	195 g/kWh	187.942 kg	233.537,55 €	564 kg	1.326,65 €
90%	638 kW	5%	800 h	194 g/kWh	98.988 kg	123.003,16 €	297 kg	698,74 €
95%	674 kW	10%	1.600 h	193 g/kWh	207.790 kg	258.200,21 €	623 kg	1.466,75 €
100%	709 kW	5%	800 h	192 g/kWh	108.796 kg	135.190,00 €	326 kg	767,97 €
Coste por kW producido						1.965.097,26 €	11.163,07 €	

$$\text{Consumo máxico combustible} = \text{Potencia} \cdot \text{Duración} \cdot \frac{\text{Consumo específico combustible}}{1.000} \quad (0-8)$$

$$\text{Coste consumo de combustible} = \text{Consumo máxico combustible} \cdot \frac{\text{Coste combustible}}{\text{Densidad combustible}} \quad (0-9)$$

$$\text{Consumo máxico aceite} = \text{Consumo máxico combustible} \cdot \text{Consumo aceite en \% consumo combustible} \quad (0-10)$$

$$\text{Coste consumo de aceite} = \text{Consumo máxico aceite} \cdot \frac{\text{Coste aceite}}{\text{Densidad aceite}} \quad (0-11)$$

