

Mayo 2009

## Gestión de la confiabilidad

### Parte 3-3: Guía de aplicación

#### Cálculo del coste del ciclo de vida

*Dependability management. Part 3-3: Application guide. Life cycle costing.*

*Gestion de la sûreté de fonctionnement. Partie 3-3: Guide d'application. Evaluation du coût de vie.*

Esta norma es la versión oficial, en español, de la Norma Europea EN 60300-3-3:2004, que a su vez adopta la Norma Internacional IEC 60300-3-3:2004.

Esta norma anula y sustituye a la Norma EN 60300-3-3:2004.

Esta norma ha sido elaborada por el comité técnico AEN/CTN 200 *Normas básicas eléctricas* cuya Secretaría desempeña AENOR.



Versión en español

**Gestión de la confiabilidad  
Parte 3-3: Guía de aplicación  
Cálculo del coste del ciclo de vida  
(IEC 60300-3-3:2004)**

**Dependability management.  
Part 3-3: Application guide. Life cycle  
costing.  
(IEC 60300-3-3:2004).**

**Gestion de la sûreté de fonctionnement.  
Partie 3-3: Guide d'application.  
Evaluation du coût de vie.  
(CEI 60300-3-3:2004).**

**Zuverlässigkeitmanagement.  
Teil 3-3: Anwendungsfaden.  
Lebenszykluskosten.  
(IEC 60300-3-3:2004).**

Esta norma europea ha sido aprobada por CENELEC el 2004-09-01. Los miembros de CENELEC están sometidos al Reglamento Interior de CEN/CENELEC que define las condiciones dentro de las cuales debe adoptarse, sin modificación, la norma europea como norma nacional.

Las correspondientes listas actualizadas y las referencias bibliográficas relativas a estas normas nacionales, pueden obtenerse en la Secretaría Central de CENELEC, o a través de sus miembros.

Esta norma europea existe en tres versiones oficiales (alemán, francés e inglés). Una versión en otra lengua realizada bajo la responsabilidad de un miembro de CENELEC en su idioma nacional, y notificada a la Secretaría Central, tiene el mismo rango que aquéllas.

Los miembros de CENELEC son los comités electrotécnicos nacionales de normalización de los países siguientes: Alemania, Austria, Bélgica, Chipre, Dinamarca, Eslovaquia, Eslovenia, España, Estonia, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Irlanda, Islandia, Italia, Letonia, Lituania, Luxemburgo, Malta, Noruega, Países Bajos, Polonia, Portugal, Reino Unido, República Checa, Suecia y Suiza.

**CENELEC**  
COMITÉ EUROPEO DE NORMALIZACIÓN ELECTROTÉCNICA  
European Committee for Electrotechnical Standardization  
Comité Européen de Normalisation Electrotechnique  
Europäisches Komitee für Elektrotechnische Normung  
**SECRETARÍA CENTRAL: Avenue Marnix, 17-1000 Bruxelles**

## PRÓLOGO

El texto del documento 56/942/FDIS, futura edición 2 de la Norma IEC 60300-3-3, preparado por el Comité Técnico TC 56, *Confiabilidad*, de IEC, fue sometido a voto paralelo IEC-CENELEC y fue aprobado por CENELEC como Norma EN 60300-3-3 el 2004-09-01.

Se fijaron las siguientes fechas:

- |   |       |            |
|---|-------|------------|
| – Fecha límite en la que la norma europea debe adoptarse a nivel nacional por publicación de una norma nacional idéntica o por ratificación | (dop) | 2005-06-01 |
| – Fecha límite en la que deben retirarse las normas nacionales divergentes con esta norma   | (dow) | 2007-09-01 |

El anexo ZA ha sido añadido por CENELEC.

## DECLARACIÓN

El texto de la Norma IEC 60300-3-3:2004 fue aprobado por CENELEC como norma europea sin ninguna modificación.

## ÍNDICE

Página

PRÓLOGO .....	7
INTRODUCCIÓN.....	9
1      OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN.....	10
2      NORMAS PARA CONSULTA.....	10
3      TÉRMINOS Y DEFINICIONES .....	10
4      CÁLCULO DEL COSTE DEL CICLO DE VIDA .....	11
4.1    Objetivos del cálculo del coste del ciclo de vida.....	11
4.2    Fases del ciclo de vida del producto y LCC.....	11
4.3    Desarrollo en el tiempo del análisis del coste del ciclo de vida .....	13
4.4    Relación entre confiabilidad y LCC .....	13
4.4.1   Generalidades .....	13
4.4.2   Costes relativos a la confiabilidad.....	13
4.4.3   Costes de las consecuencias .....	14
4.5    Concepto de LCC .....	15
4.5.1  Generalidades .....	15
4.5.2  Desglose del LCC en elementos de coste.....	17
4.5.3  Estimación del coste .....	18
4.5.4  Análisis de sensibilidad .....	21
4.5.5  Impacto de descuentos, inflación e impuestos en el LCC.....	21
4.6    Proceso del cálculo del coste del ciclo de vida .....	21
4.6.1  Generalidades .....	21
4.6.2  Planificación del cálculo del coste del ciclo de vida .....	22
4.6.3  Desarrollo o selección del modelo de LCC .....	23
4.6.4  Modelo de aplicación del LCC .....	23
4.6.5  Documentación del cálculo del coste del ciclo de vida.....	23
4.6.6  Revisión de los resultados del cálculo del coste de ciclo de vida .....	24
4.6.7  Actualización del análisis.....	24
4.7    Incertidumbre y riesgos .....	24
5      LCC Y ASPECTOS MEDIOAMBIENTALES .....	26
ANEXO A (Informativo) ACTIVIDADES TÍPICAS GENERADORAS DE COSTES.....	27
ANEXO B (Informativo) CÁLCULOS Y FACTORES ECONÓMICOS DEL LCC.....	30
ANEXO C (Informativo) EJEMPLO DE UN ANÁLISIS DE COSTE DEL CICLO DE VIDA..	33
ANEXO D (Informativo) EJEMPLOS DE DESARROLLO DE MODELOS LCC.....	56
ANEXO E (Informativo) EJEMPLO DE ESTRUCTURA DE DESCOMPOSICIÓN DE UN PRODUCTO Y RESUMEN DE LCC PARA UN VEHÍCULO FERROVIARIO .....	65

<b>Figura 1 – Ejemplo de las aplicaciones del cálculo del coste del ciclo de vida .....</b>	<b>12</b>
<b>Figura 2 – Relación típica entre confiabilidad y LCC para la fase de operación y mantenimiento .....</b>	<b>14</b>
<b>Figura 3 – Concepto de elemento de coste .....</b>	<b>18</b>
<b>Figura 4 – Ejemplo de elementos de coste usados en el método de costes paramétrico .....</b>	<b>20</b>
<b>Figura C.1 – Estructura del RCD .....</b>	<b>34</b>
<b>Figura C.2 – Estructura desglosada de coste usada para el ejemplo en la figura C.1.....</b>	<b>35</b>
<b>Figura C.3 – Definición de elementos de coste.....</b>	<b>38</b>
<b>Figura C.4 – Comparación entre los costes de inversión, operación y mantenimiento anual .....</b>	<b>47</b>
<b>Figura C.5 – Valor actual neto (tasa de descuento del 10%).....</b>	<b>53</b>
<b>Figura C.6 – Valor actual neto (tasa de descuento del 5%).....</b>	<b>54</b>
<b>Figura C.7 – NPV con fiabilidad mejorada del repositorio de datos (tasa de descuento del 5%)..</b>	<b>55</b>
<b>Figura D.1 – Estructura jerárquica.....</b>	<b>60</b>
<b>Figura E.1 – Estructura de descomposición del sistema vehículo.....</b>	<b>66</b>
<b>Tabla C.1 – Primer nivel de descomposición – Red de comunicación de datos.....</b>	<b>36</b>
<b>Tabla C.2 – Segundo nivel de descomposición – Sistema de comunicación.....</b>	<b>36</b>
<b>Tabla C.3 – Tercer nivel de descomposición – Sistema de alimentación .....</b>	<b>36</b>
<b>Tabla C.4 – Tercer nivel de descomposición – Procesador principal.....</b>	<b>37</b>
<b>Tabla C.5 – Tercer nivel de descomposición – Sistema de ventilación.....</b>	<b>37</b>
<b>Tabla C.6 – Categorías de coste.....</b>	<b>37</b>
<b>Tabla C.7 – Inversiones en repuestos de unidades reemplazables.....</b>	<b>40</b>
<b>Tabla E.1 – Resumen del coste de ciclo de vida por estructura de descomposición del producto .</b>	<b>67</b>

## COMISIÓN ELECTROTÉCNICA INTERNACIONAL

### Gestión de la confiabilidad Parte 3-3: Guía de aplicación Cálculo del coste del ciclo de vida

#### PRÓLOGO

- 1) IEC (Comisión Electrotécnica Internacional) es una organización mundial para la normalización, que comprende todos los comités electrotécnicos nacionales (Comités Nacionales de IEC). El objetivo de IEC es promover la cooperación internacional sobre todas las cuestiones relativas a la normalización en los campos eléctrico y electrónico. Para este fin y también para otras actividades, IEC publica Normas Internacionales, Especificaciones Técnicas, Informes Técnicos, Especificaciones Disponibles al Público (PAS) y Guias (de aquí en adelante "Publicaciones IEC"). Su elaboración se confía a los comités técnicos; cualquier Comité Nacional de IEC que esté interesado en el tema objeto de la norma puede participar en su elaboración. Organizaciones internacionales gubernamentales y no gubernamentales relacionadas con IEC también participan en la elaboración. IEC colabora estrechamente con la Organización Internacional de Normalización (ISO), de acuerdo con las condiciones determinadas por acuerdo entre ambas.
- 2) Las decisiones formales o acuerdos de IEC sobre materias técnicas, expresan en la medida de lo posible, un consenso internacional de opinión sobre los temas relativos a cada comité técnico en los que existe representación de todos los Comités Nacionales interesados.
- 3) Los documentos producidos tienen la forma de recomendaciones para uso internacional y se aceptan en este sentido por los Comités Nacionales mientras se hacen todos los esfuerzos razonables para asegurar que el contenido técnico de las publicaciones IEC es preciso, IEC no puede ser responsable de la manera en que se usan o de cualquier mal interpretación por parte del usuario.
- 4) Con el fin de promover la unificación internacional, los Comités Nacionales de IEC se comprometen a aplicar de forma transparente las Publicaciones IEC, en la medida de lo posible en sus publicaciones nacionales y regionales. Cualquier divergencia entre la Publicación IEC y la correspondiente publicación nacional o regional debe indicarse de forma clara en esta última.
- 5) IEC no establece ningún procedimiento de marcado para indicar su aprobación y no se le puede hacer responsable de cualquier equipo declarado conforme con una de sus publicaciones.
- 6) Todos los usuarios deberían asegurarse de que tienen la última edición de esta publicación.
- 7) No se debe adjudicar responsabilidad a IEC o sus directores, empleados, auxiliares o agentes, incluyendo expertos individuales y miembros de sus comités técnicos y comités nacionales de IEC por cualquier daño personal, daño a la propiedad u otro daño de cualquier naturaleza, directo o indirecto, o por costes (incluyendo costes legales) y gastos derivados de la publicación, uso o confianza de esta publicación IEC o cualquier otra publicación IEC.
- 8) Se debe prestar atención a las normas para consulta citadas en esta publicación. La utilización de las publicaciones referenciadas es indispensable para la correcta aplicación de esta publicación.
- 9) Se debe prestar atención a la posibilidad de que algunos de los elementos de esta Publicación IEC puedan ser objeto de derechos de patente. No se podrá hacer responsable a IEC de identificar alguno o todos esos derechos de patente.

La Norma IEC 60300-3-3 ha sido elaborada por el comité técnico 56 de IEC: Confiabilidad.

Esta segunda edición anula y sustituye a la primera edición publicada en 1996, y constituye una revisión técnica.

Esta edición desarrolla directrices técnicas como respuesta a las peticiones de los profesionales. Los ejemplos particulares se han mejorado.

El texto de esta norma se basa en los documentos siguientes:

<b>FDIS</b>	<b>Informe de voto</b>
56/942/FDIS	56/962/RVD

El informe de voto indicado en la tabla anterior ofrece toda la información sobre la votación para la aprobación de esta norma.

Esta norma ha sido elaborada de acuerdo con las Directivas ISO/IEC, Parte 2.

La Norma IEC 60300 consta de las siguientes partes, bajo el título general *Gestión de la confiabilidad*.

Parte 1: Sistemas de gestión de la confiabilidad.

Parte 2: Elementos y tareas del programa de confiabilidad.

Parte 3: Guía de aplicación.

El comité ha decidido que el contenido de esta norma (la norma base y sus modificaciones) permanezca vigente hasta la fecha de mantenimiento indicada en la página web de IEC "<http://webstore.iec.ch>" en los datos relativos a la norma específica. En esa fecha, la norma será

- confirmada;
- anulada;
- reemplazada por una edición revisada; o
- modificada.

## INTRODUCCIÓN

Hoy en día se exige que los productos sean fiables. 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 no solo está condicionada por el coste inicial del producto (coste de adquisición) sino también por la previsión de coste de operación y mantenimiento del producto durante su vida (coste de propiedad) 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. Este proceso de optimización debería, idealmente comenzar desde el inicio del producto y extenderse de forma que tenga en cuenta todos los costes en los que se incurrirá durante su vida. 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.

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. El análisis proporciona aportes importantes para el proceso de toma de decisión en el diseño, desarrollo, uso y eliminación del producto. Los fabricantes pueden optimizar sus diseños mediante la evaluación de alternativas y realizando estudios de compromiso. Pueden evaluar diferentes estrategias de operación, mantenimiento y eliminación (para ayudar al usuario) para optimizar el coste del ciclo de vida (LCC, *Life Cycle Cost*). El cálculo del coste del ciclo de vida también se puede aplicar de forma eficaz para evaluar los costes relacionados con una actividad específica, como por ejemplo los efectos de diferentes políticas de mantenimiento, para cubrir una parte específica del producto o solo una fase o algunas fases seleccionadas del ciclo de vida del producto.

El cálculo del coste del ciclo de vida es más efectivo si se aplica en la fase inicial del diseño del producto para optimizar el enfoque básico del diseño. Sin embargo, también puede actualizarse y usarse en las etapas posteriores del ciclo de vida para identificar áreas de riesgo e incertidumbres de coste significativas.

La necesidad de la aplicación formal del proceso de cálculo del coste de ciclo de vida a un producto dependerá de los requisitos contractuales. Sin embargo el análisis del coste del ciclo de vida proporciona un aporte útil para cualquier proceso de toma de decisión del diseño. Por lo tanto debería integrarse con el proceso de diseño, en la medida de lo posible, para optimizar las características y costes del producto.

**Gestión de la confiabilidad**  
**Parte 3-3: Guía de aplicación**  
**Cálculo del coste del ciclo de vida**

## **1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN**

Esta parte de la Norma IEC 60300 proporciona una introducción general al concepto del análisis del coste del ciclo de vida y cubre todas sus aplicaciones. Aunque el coste del ciclo de vida está compuesto de muchos elementos esta norma destaca particularmente los costes asociados con la confiabilidad del producto.

Esta es una norma de aplicación general tanto por parte de los clientes (usuarios) como por los suministradores de los productos. Explica el propósito y valor del coste del ciclo de vida y plantea los enfoques generales implicados. También identifica los elementos característicos del coste del ciclo de vida para facilitar la planificación del programa y del proyecto.

Se proporciona una guía general para realizar un análisis del coste del ciclo de vida que incluye un desarrollo del modelo del coste del ciclo de vida. Se proporcionan ejemplos ilustrativos para explicar los conceptos.

## **2 NORMAS PARA CONSULTA**

Las normas que a continuación se indican son indispensables para la aplicación de esta norma. Para las referencias con fecha, sólo se aplica la edición citada. Para las referencias sin fecha se aplica la última edición de la norma (incluyendo cualquier modificación de ésta).

IEC 60050-191:1990 *Vocabulario electrotécnico. Capítulo 191: Seguridad de funcionamiento y calidad del servicio.*

IEC 600300-3-12 *Gestión de la confiabilidad. Parte 3-12: Guía de aplicación. Soporte logístico integrado.*

IEC 61703 *Expresiones matemáticas para los términos de fiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad y de logística de mantenimiento.*

IEC 62198 *Gestión del riesgo de proyecto. Guía de aplicación.*

## **3 TÉRMINOS Y DEFINICIONES**

Para los fines de este documento, aplican los términos y definiciones incluidos en las Normas IEC 60050-191 e IEC 61703 además de los siguientes:

### **3.1 ciclo de vida:**

Intervalo de tiempo entre la concepción del producto y su eliminación.

### **3.2 cálculo del coste del ciclo de vida:**

Proceso de análisis económico para determinar el coste del ciclo de vida del producto durante su ciclo de vida o una parte del mismo.

### **3.3 coste del ciclo de vida, LCC:**

Coste acumulado del producto durante su ciclo de vida.

### **3.4 fecha base:**

Instante de tiempo fijo establecido como referencia común de coste.

## 4 CÁLCULO DEL COSTE DEL CICLO DE VIDA

### 4.1 Objetivos del cálculo del coste del ciclo de vida

El cálculo del coste del ciclo de vida es el proceso de análisis económico para determinar el coste total de adquisición, propiedad y eliminación de un producto. Puede aplicarse al ciclo de vida completo del producto o a partes o combinaciones de diferentes fases de su 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.

Un objetivo importante en la preparación de los modelos de LCC es identificar los costes que pueden tener un 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.

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

- 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. Véase la Norma IEC 60300-3-12 para obtener información detallada sobre el análisis de soporte logístico integrado.

### 4.2 Fases del ciclo de vida del producto y LCC

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. También es esencial la comprensión de las relaciones de esas actividades para el funcionamiento, seguridad, fiabilidad, mantenibilidad y otras características del producto que contribuyen al coste del ciclo de vida.

Hay seis fases principales en el ciclo de vida de un producto:

- a) concepción y definición;
- b) diseño y desarrollo;
- c) fabricación;
- d) instalación;

e) operación y mantenimiento;

f) eliminación.

Deberían seleccionarse las fases apropiadas del ciclo de vida o partes o combinaciones de estas fases, para adaptarse a las necesidades especiales de cada análisis específico. De forma general, los costes totales durante las indicadas fases se pueden dividir en coste de adquisición, coste de propiedad y coste de eliminación.

$$\text{LCC} = \text{Coste}_{\text{de adquisición}} + \text{Coste}_{\text{de propiedad}} + \text{Coste}_{\text{de eliminación}}$$

Los costes de adquisición son generalmente evidentes, y pueden evaluarse fácilmente antes de que se tome la decisión de adquisición y pueden incluir o no los costes de instalación.

Los costes de propiedad, que con frecuencia son el componente mayor del LCC exceden, en muchos casos, a los costes de adquisición y no son tan evidentes. Estos costes son difíciles de predecir y pueden incluir también costes asociados con la instalación.

Los costes de eliminación pueden representar una proporción significativa del total del LCC. La legislación puede requerir actividades durante la fase de eliminación para proyectos importantes, por ejemplo, para las centrales nucleares representan un desembolso significativo.

La figura 1 muestra las fases del ciclo de vida de un producto, junto con alguno de los aspectos que deberían tenerse en cuenta en un estudio del coste del ciclo de vida.

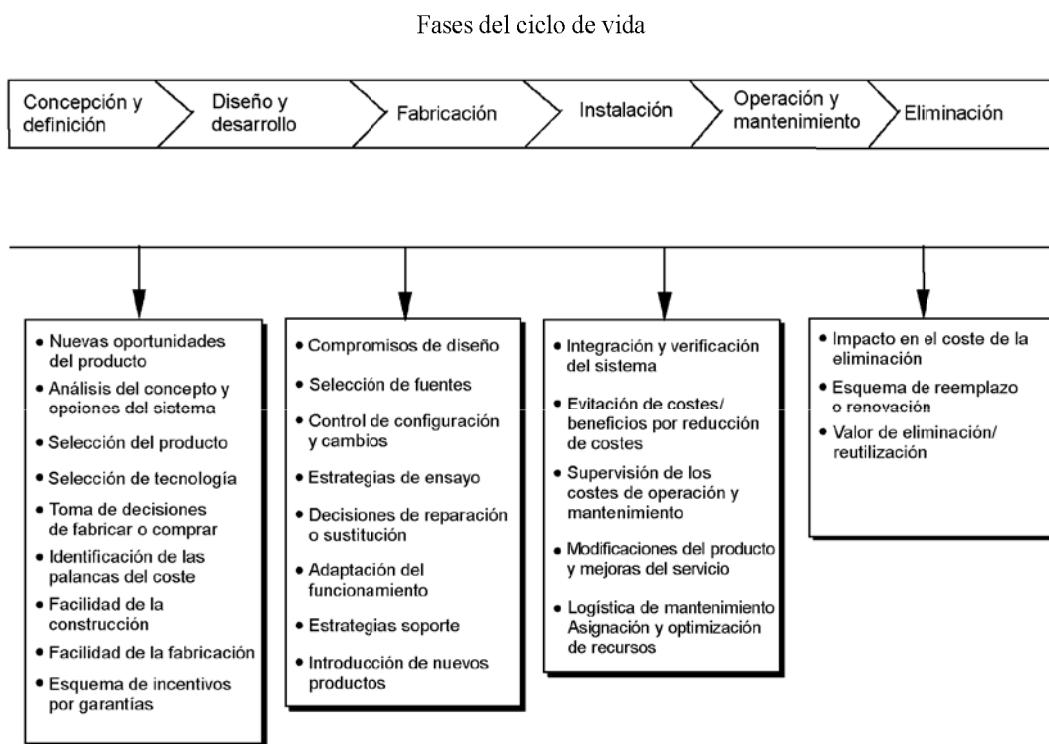


Figura 1 – Ejemplo de las aplicaciones del cálculo del coste del ciclo de vida

#### **4.3 Desarrollo en el tiempo del análisis del coste del ciclo de vida**

La identificación en fase temprana de los costes de adquisición, propiedad y eliminación permite la toma de decisiones para equilibrar los factores de confiabilidad frente a los costes del ciclo de vida. Las decisiones tomadas en las fases tempranas del ciclo de vida tienen una mayor influencia sobre el LCC que las tomadas más tarde. La experiencia demuestra que al final de las fases de concepción y definición, más de la mitad del LCC puede estar comprometido por estas decisiones. La oportunidad de realizar compromisos está cada vez más limitada a medida que avanza el producto en su ciclo de vida.

El proceso de cálculo del coste del ciclo de vida puede dirigirse a todo el ciclo de vida o una parte del mismo. El cálculo del coste del ciclo de vida debería hacerse a medida de un producto/proyecto en particular para obtener el máximo beneficio del esfuerzo empleado en el análisis.

#### **4.4 Relación entre confiabilidad y LCC**

##### **4.4.1 Generalidades**

La confiabilidad de un producto es un término colectivo que se usa para describir la disponibilidad de un producto y sus factores de influencia, esto es, fiabilidad, mantenibilidad y logística de mantenimiento. El rendimiento en estas áreas puede tener un impacto significativo sobre el LCC. Un mayor coste inicial puede resultar en mejora de la fiabilidad o la mantenibilidad, y así en una mejor disponibilidad con menores costes de operación y mantenimiento.

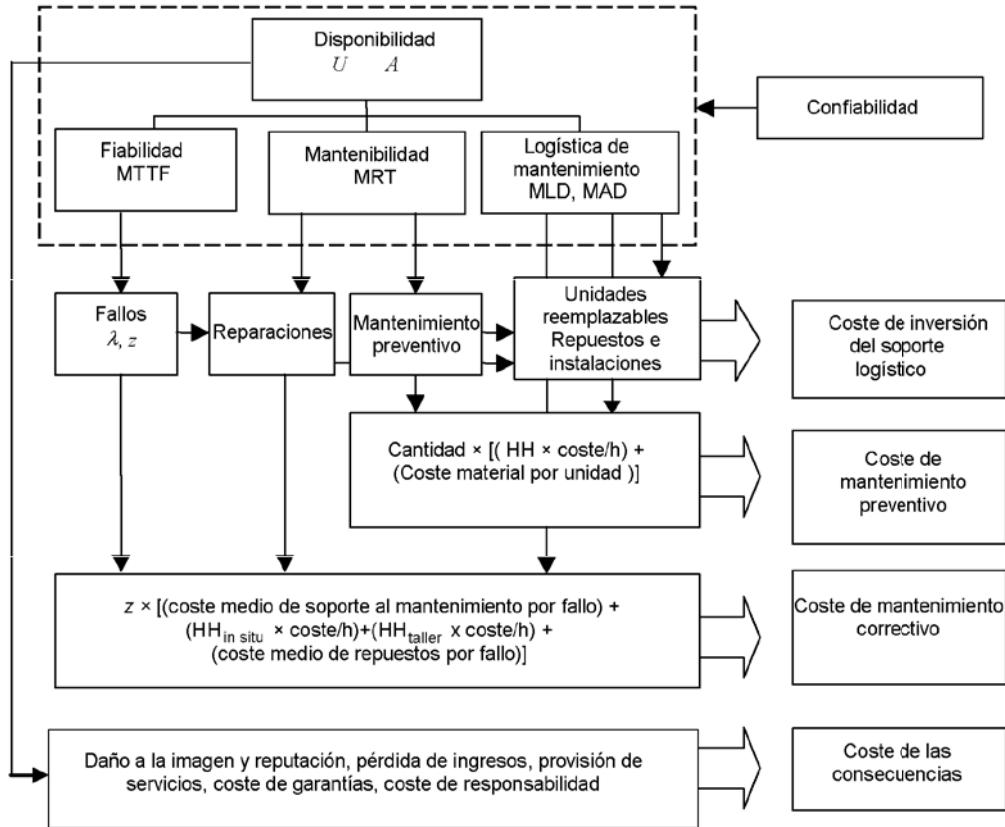
Las consideraciones de confiabilidad deberían integrarse dentro del proceso de diseño y de las evaluaciones del LCC. Estas consideraciones deberían revisarse criticamente cuando se preparen las especificaciones del producto, y deberían evaluarse continuamente durante todas las fases de diseño para optimizar el diseño del producto y el coste del ciclo de vida.

##### **4.4.2 Costes relativos a la confiabilidad**

Los costes asociados con los elementos de confiabilidad pueden incluir, cuando se apliquen, lo siguiente:

- coste de restablecimiento del sistema incluyendo el coste de mantenimiento correctivo;
- coste de mantenimiento preventivo;
- costes de las consecuencias.

La figura 2 destaca algunos elementos de confiabilidad convertidos en costes de operación y mantenimiento.



Símbolos y abreviaturas de acuerdo con la Norma IEC 60050-191.

Figura 2 – Relación típica entre confiabilidad y LCC para la fase de operación y mantenimiento

#### 4.4.3 Costes de las consecuencias

##### 4.4.3.1 Generalidades

Cuando un producto o servicio queda indisponible, puede incurrirse en una serie de costes de las consecuencias. Estos costes pueden incluir:

- coste de garantía;
- coste de responsabilidad;
- coste debido a la pérdida de ingresos;
- coste para proporcionar un servicio alternativo.

Adicionalmente, además deberían identificarse otros costes de consecuencias por aplicación de técnicas de análisis de riesgo para determinar los costes del impacto negativo en la empresa.

- imagen;
- reputación;
- prestigio;

los cuales, a su vez, pueden originar pérdida de clientes.

Los costes de recuperación o mitigación de estos riesgos deberían incluirse como coste de las consecuencias.

En la mayoría de los casos, estos costes son difíciles de valorar, pero algunas veces es posible cuantificarlos. Por ejemplo, estos costes pueden estimarse a partir de los costes de campañas de publicidad y esfuerzo de marketing o compensaciones para retener clientes. Estos costes deberían contabilizarse cuando sean aplicables.

La indisponibilidad de un producto puede afectar significativamente a su LCC. Por lo tanto, necesita optimizarse la disponibilidad de funcionamiento de un producto y los costes de su ciclo de vida asociados. Con el incremento de la fiabilidad (manteniendo todos los otros factores constantes) se incrementarán normalmente los costes de adquisición pero disminuirán los costes de mantenimiento y de soporte. El LCC se optimiza cuando el incremento de los costes de adquisición debido a la mejora de fiabilidad iguala el ahorro incremental en costes de mantenimiento y soporte y en costes de las consecuencias. En cierto punto, se logra una fiabilidad óptima del producto correspondiendo con el coste más bajo de su ciclo de vida.

Debería observarse que los resultados del cálculo del LCC pueden no ser iguales a los costes reales u observados. Esto es así porque hay muchos factores aleatorios que influyen, tales como condiciones ambientales y errores humanos durante la operación, los cuales no pueden ser modelizados con precisión en los cálculos.

Tienen que considerarse temas medioambientales, así como factores tradicionales como coste y tiempo, en los cálculos del LCC. Por lo tanto tienen que usarse métodos para evaluar y jerarquizar las consecuencias ambientales de diferentes actividades. Estas evaluaciones pueden proporcionar las bases para la planificación medioambiental y la integración de los temas medioambientales con la toma de decisiones.

#### **4.4.3.2 Costes de garantía**

La garantía proporciona una protección a los clientes, protegiéndoles de los gastos de corrección de los fallos del producto, sobre todo en las primeras etapas de funcionamiento del mismo. Los costes de garantía suelen estar cubiertos por el proveedor, y dependen de la fiabilidad, mantenibilidad y las características de la logística de mantenimiento del producto. Los proveedores pueden ejercer un control significativo sobre estas características durante el diseño y desarrollo del producto, y durante las fases de fabricación, influyendo de esta manera sobre los costes de garantía.

La garantía se aplica normalmente por un periodo de tiempo limitado y con una serie de condiciones. Las garantías raramente incluyen protección contra los costes incurridos por el cliente por indisponibilidad del producto.

Las garantías pueden completarse o cambiarse por contratos de servicio según el cual el fabricante lleva a cabo, complementando cualquier acuerdo hecho con el cliente, todo el mantenimiento correctivo y preventivo por un periodo de tiempo fijo que puede renovarse por cualquier periodo hasta toda la vida útil del producto. En este último caso, el suministrador está motivado para fabricar su producto con un óptimo nivel de fiabilidad y mantenibilidad, generalmente a un mayor precio de adquisición.

#### **4.4.3.3 Costes de responsabilidad**

La responsabilidad surge cuando, por ejemplo, un suministrador deja de cumplir con sus obligaciones legales. El coste de compensación por un incumplimiento de la ley necesita considerarse como parte del LCC. Esto es especialmente importante en el caso de productos que tienen un alto potencial de causar daños a las personas o al medio ambiente. Los costes de responsabilidad son importantes también para los nuevos productos en los que los riesgos implicados no son del todo aparentes o bien entendidos. Cuando se requiera, puede utilizarse para estimar estos costes, un análisis de riesgos, la experiencia pasada o el juicio de expertos. Como guía de análisis de riesgos véase la Norma IEC 62198.

### **4.5 Concepto de LCC**

#### **4.5.1 Generalidades**

Un modelo de LCC, como cualquier modelo, es una representación simplificada de la realidad. Se extraen las características y aspectos más importantes del producto y se traducen en relaciones con los costes estimados. Para que el modelo sea realista debería:

- a) Representar las características del producto a analizar, incluyendo su 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.

Un modelo sencillo de 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. En el anexo D, se pueden ver ejemplos.

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 son importantes 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. Se necesita, alguien familiarizado con los detalles del modelo para revisarlo, y así determinar la aplicabilidad de todos los factores de coste, relaciones empíricas, elementos y otras constantes y variables del modelo. Por lo tanto, antes de usar cualquier modelo de LCC ya existente, debería validarse convenientemente para el estudio del coste del ciclo de vida en consideración. Para hacer esto, deberían utilizarse los factores de coste y otros parámetros de un ejemplo conocido, junto con el escenario de funcionamiento, para evaluar el grado en el que el modelo presenta resultados realistas.

Muchos productos se diseñan para tener una vida muy larga, por ejemplo las construcciones o plantas de energía. Para tales productos, determinados costes, por ejemplo los relativos a cambios funcionales o mejoras del producto, ocurrirán a intervalos de la vida del producto y deberían incorporarse en el modelo técnicas para tratarlos.

La modelización del LCC incluye:

- estructura de desglose de costes;
- estructura de desglose del producto o trabajo;
- selección de categorías de coste;
- selección de elementos de coste;
- estimación de costes;
- presentación de resultados.

Puede incluirse, cuando sea aplicable:

- aspectos medioambientales y de seguridad;
- incertidumbres y riesgos;
- análisis de sensibilidad para identificar palancas de coste.

El desglose de costes presenta una descomposición de los costes incurridos durante las principales fases (o fases de interés) del ciclo de vida de un producto. El anexo C incluye ejemplos de presentación de costes relativos a la estructura desglosada de costes.

La estructura desglosada del producto o trabajo está compuesta de un desglose detallado del hardware, servicios y datos identificativos de todas las principales tareas y paquetes de trabajo del soporte. En el anexo E se da un ejemplo de la estructura desglosada de un producto y un resumen de un LCC para un vehículo ferroviario.

Pueden desarrollarse por separado expresiones detalladas del coste para las diferentes fases. Los elementos, factores, etc., del coste, deberían tener identidades únicas. En una situación donde el análisis cubre varias fases, las identidades de los elementos, factores, etc., de coste, deberían ser únicos en el modelo del LCC total. Es, normalmente una ventaja mantener la estructura desglosada del producto o trabajo invariable para un estudio particular.

#### **4.5.2 Desglose del LCC en elementos de coste**

Para estimar el coste total del ciclo de vida es necesario descomponer el LCC total en los elementos de coste que lo constituyen. Estos elementos de coste deben identificarse individualmente de forma que puedan definirse claramente y estimarse. La identificación de los elementos y su correspondiente ámbito debe basarse en la finalidad y alcance del estudio del LCC.

El elemento de coste es el enlace entre las categorías de coste y la estructura desglosada del producto o trabajo. La selección de los elementos de coste debería relacionarse con la complejidad del producto así como con las categorías de coste de interés, de acuerdo con la estructura desglosada de costes exigida. Véase el ejemplo del anexo C.

Un posible enfoque, a menudo usado para identificar los elementos requeridos de coste, supone la descomposición del producto en niveles más bajos, categorías de coste y fases del ciclo de vida. Este enfoque puede ilustrarse mejor con el uso de una matriz tridimensional como se muestra en la figura 3. Esta matriz supone la identificación de los siguientes aspectos del producto:

- descomposición del producto en niveles más bajos (esto es, estructura de descomposición del producto o trabajo);
- el momento en el ciclo de vida en que se lleva a cabo el trabajo o actividad (esto es las fases del ciclo de vida);
- la categoría de costes de los recursos aplicables tales como mano de obra, materiales, energía o combustible, gastos generales, transporte o viajes, etc. (esto es, las categorías de los costes).

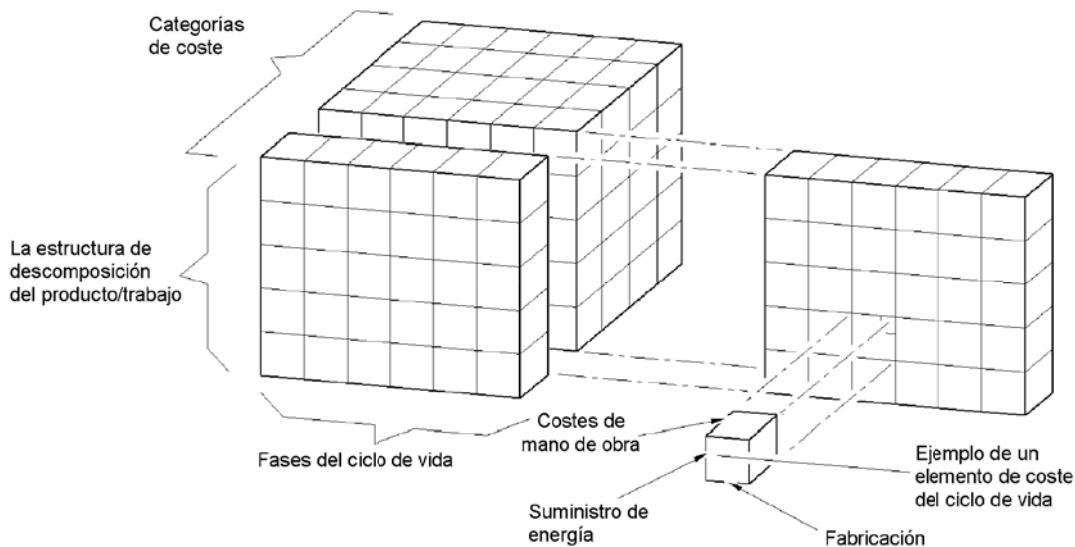
Este tipo de enfoque tiene la ventaja de ser sistemático y ordenado, dando de esta manera un alto nivel de confianza de que todos los elementos de coste se han incluido.

El anexo A identifica algunas actividades típicas para las que se deben considerar los costes.

En el anexo E se presenta un ejemplo de la estructura de descomposición de un producto y un resumen del LCC de un vehículo ferroviario.

Los costes asociados con elementos del LCC se pueden clasificar además entre costes recurrentes y no recurrentes de forma que la suma de ambos sea el total del LCC. Los elementos del LCC pueden estimarse en términos de costes fijos y variables. Estos últimos, por ejemplo, variarán dependiendo del número de unidades de producto fabricadas y puestas en servicio.

Para facilitar el control y la toma de decisión, y mantener el proceso de cálculo del coste del ciclo de vida, la información sobre costes debería recogerse y registrarse de forma que sea coherente con la estructura de descomposición definida en el LCC. Se debería establecer y mantener una base de datos para guardar los resultados de otros estudios previos de LCC para que sirva como fuente de retorno de experiencias.



**Figura 3 – Concepto de elemento de coste**

#### 4.5.3 Estimación del coste

##### 4.5.3.1 Generalidades

Ejemplos de métodos que se pueden usar para estimar los parámetros de un elemento de coste incluye:

- método de coste de ingeniería;
- método de coste por analogía;
- método de coste paramétrico.

A continuación se muestran ejemplos de aplicación de cada método.

Cuando se realiza el análisis de los costes del ciclo de vida de un producto, pueden usarse uno o más de estos métodos u otros métodos, según sea apropiado.

Para reducir diferentes tipos de incertidumbre implicada en los análisis, debería ser posible desarrollar análisis de sensibilidad, por ejemplo introduciendo valores mínimos y máximos de los parámetros del modelo en las ecuaciones de estimación de costes.

##### 4.5.3.2 Método de coste de ingeniería

Cuando se usa el método de coste de ingeniería, se estiman directamente los atributos de coste de los elementos particulares de coste, examinando el producto componente a componente o pieza a pieza. A menudo, se emplean factores de coste, establecidos de forma estándar, por ejemplo, los costes estimados de ingeniería y fabricación actuales se usan para desarrollar el coste de cada elemento y su relación con otros elementos. Pueden actualizarse antiguas estimaciones disponibles mediante el uso de factores apropiados, por ejemplo, descuento anual y factores de escala.

El método de costes de ingeniería puede ilustrarse mediante el siguiente ejemplo sobre el coste relativo a un elemento de coste recurrente.

Se debe estimar el coste de mano de obra para la fabricación de una fuente de alimentación eléctrica. Debe proporcionarse la siguiente información.

Producto: Fuente de alimentación eléctrica.

Fase del ciclo de vida: Fase de fabricación.

Categoría del coste: Coste mano de obra.

De acuerdo a una evaluación detallada de los pasos de fabricación proporcionados por el departamento de fabricación, el tiempo consumido para la producción de una fuente de alimentación particular es de 38,80 horas-persona. Suponiendo que el coste de la mano de obra es la unidad monetaria (UM) de 54,50/persona-hora. El coste total de mano de obra para la producción de una unidad es entonces de  $38,80 \times 54,50 = 2\,114,60$  UM.

#### 4.5.3.3 Método de coste por analogía

En este método se usa la estimación de costes basada en la experiencia de productos o tecnologías similares. Se utilizan datos históricos, actualizados para reflejar el escalado de costes, los efectos de avances tecnológicos, etc. Esta técnica puede ser una de los métodos menos complejos y de menor dedicación de tiempo. Se aplica fácilmente a componentes del producto de los cuales hay alguna experiencia y datos reales.

El método de costes por analogía puede ilustrarse por el siguiente ejemplo donde se muestra una estimación de costes para piezas y materiales de una fuente de alimentación, usando la experiencia de una unidad más antigua.

Se da la siguiente información:

Producto: Fuente de alimentación.

Fase del ciclo de vida: Fase de fabricación.

Categoría del coste: Piezas y materiales.

Para una fuente de alimentación menos compleja producida hace 4 años, el coste de las piezas y materiales fue de 220 UM. El escalado de costes global para los 4 años se considera que es el 5%.

Los costes para piezas adicionales serán alrededor de 50 UM.

Por lo tanto, los costes para piezas y materiales para la nueva fuente de alimentación se estima como:

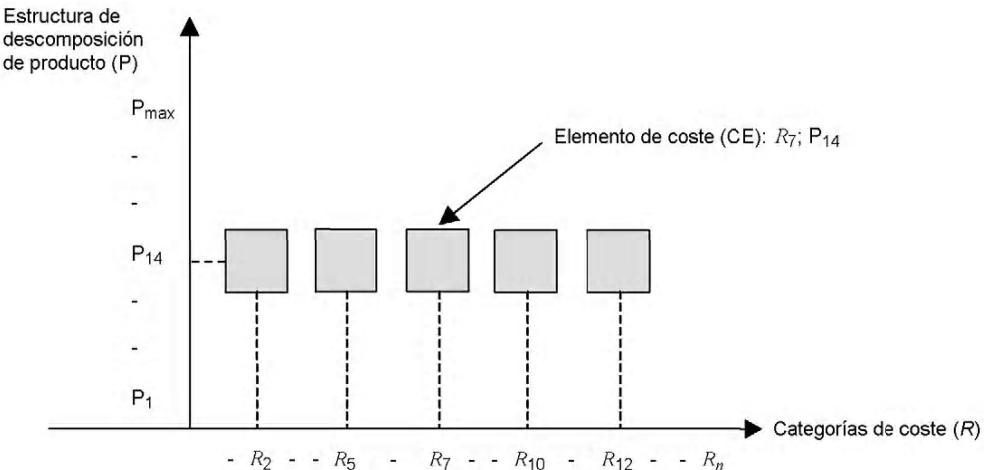
$$\text{Coste de piezas y materiales para la antigua unidad } (1 + 0,05) + \text{coste por partes adicionales} = \\ 220 \times 1,05 + 50 = 281 \text{ UM.}$$

#### 4.5.3.4 Método de coste paramétrico

El método de coste paramétrico usa parámetros y variables para desarrollar relaciones para la estimación de costes. Este método puede usarse de otra manera en otras áreas.

Las relaciones normalmente tienen forma de ecuaciones donde, por ejemplo, las horas hombre se convierten en costes.

Un ejemplo del método de costes paramétrico usado para el cálculo de los costes de mantenimiento correctivo activo de un subsistema P<sub>14</sub> se muestra en la figura 4.



**Figura 4 – Ejemplo de elementos de coste usados en el método de costes paramétrico**

En la figura 4

- $R_2$  es el coste de inversión en equipos de prueba, taller (no recurrente);
- $R_5$  es el coste de inversión en repuestos, taller (no recurrente);
- $R_7$  es el coste de mano de obra, emplazamiento (recurrente);
- $R_{10}$  es el coste de mano de obra, taller (recurrente);
- $R_{12}$  es el coste de consumo de repuestos, taller (recurrente);
- $P_{14}$  es el subsistema  $P_{14}$ .

Coste del mantenimiento correctivo activo para el subsistema  $P_{14}$  para un periodo de 10 años =

$$\text{Coste}(R_2;P_{14}) + \text{Coste}(R_5;P_{14}) + \{\text{Coste}(R_7;P_{14}) + \text{Coste}(R_{10};P_{14}) + \text{Coste}(R_{12};P_{14})\} \times 10 \\ (\text{ignorando los efectos de la inflación, etc.})$$

NOTA El tiempo de mantenimiento correctivo activo está definido en la Norma IEC 60050-191, véase la definición 191-08-07 y la figura 191-10.

Donde, por ejemplo, el coste asociado al elemento  $(R_7;P_{14})$  se calcula como se indica a continuación:

Coste  $(R_7;P_{14})$  es el coste de mano de obra, del mantenimiento correctivo activo en el emplazamiento para el subsistema  $P_{14}$

$$\text{Coste}(R_7;P_{14}) = QP_{14} \times ZP_{14} \times C_L \times n \times MRT \text{ coste/año}$$

donde

- $QP_{14}$  es la cantidad o número de elementos, en este ejemplo  $QP_{14} = 1$ ;
- $ZP_{14}$  es el número de fallos/año esperados para el subsistema  $P_{14}$ ;
- $C_L$  es el coste /hora de la mano de obra;
- $n$  es el número de personas requeridas para realizar la reparación;
- MRT es el tiempo medio de reparación en horas/acción.

Se supone:

$QP_{14}$  = un elemento / sistema;

$ZP_{14}$  = 0,3 fallos / año;

$C_L$  = 50 UM / hora;

$n$  = una persona;

MRT = 2,4 h / acción.

En este caso

$$\text{Coste } (R_7; P_{14}) = 1 \times 0,3 \times 50 \times 1 \times 2,4 = 36 \text{ UM/ año.}$$

Para calcular el coste de la mano de obra para 10 años, el resultado debería multiplicarse por 10 ( ignorando los efectos de la inflación, etc.).

Si tienen que tenerse en cuenta diferentes factores, por ejemplo inflación o descuento, deberían incluirse en la estimación de coste para cada elemento o en un nivel superior de elemento de coste en el modelo del LCC.

Coste  $(R_{10}; P_{14})$ , etc. se calculan de forma similar.

#### 4.5.4 Análisis de sensibilidad

Para identificar los contribuyentes significativos de costes, debería realizarse análisis de sensibilidad. Los datos pueden variarse para establecer su impacto en el LCC total o en parte de él.

Para facilitar los análisis de sensibilidad, es importante que el modelo de LCC se desarrolle de forma tal que, cuando un parámetro común, por ejemplo coste hora del personal, se varía, se refleje automáticamente en cualquier parte donde se use este parámetro.

Puede ser conveniente usar valores mínimos y máximos de ciertos datos o incluso una distribución. En este caso, debería desarrollarse el modelo del LCC para satisfacer estas necesidades.

#### 4.5.5 Impacto de descuentos, inflación e impuestos en el LCC

Varios factores complican el proceso del cálculo del coste del ciclo de vida; por ejemplo, cambios constantes del valor real del dinero y factores tales como costes de oportunidad, inflación e impuestos que puede ser necesario tener en cuenta.

El anexo B introduce estos conceptos e indica brevemente los métodos que pueden usarse para tenerlos en cuenta.

### 4.6 Proceso del cálculo del coste del ciclo de vida

#### 4.6.1 Generalidades

El proceso del cálculo del coste del ciclo de vida implica la identificación y evaluación de los costes asociados con la adquisición, propiedad y eliminación de un producto durante su ciclo de vida. Para producir resultados que puedan emplearse, de forma útil y correcta debería realizarse cualquier análisis de costes de ciclo de vida de una forma estructurada y bien documentada siguiendo estos pasos:

- a) Planificación del cálculo del coste del ciclo de vida (incluyendo definición del objetivo del coste del ciclo de vida).
- b) Selección o desarrollo del modelo de LCC.
- c) Aplicación del modelo de LCC.

- d) Documentación del cálculo del coste de vida.
- e) Revisión de los resultados del cálculo del coste del ciclo de vida.
- f) Actualización del análisis.

Los pasos anteriores se pueden llevar a cabo de forma reiterativa, si se necesita revisar y modificar el trabajo ya terminado en las fases anteriores. Las suposiciones hechas en cada paso deberían estar rigurosamente documentadas para facilitar tales iteraciones y para ayudar a la interpretación de los resultados del análisis.

El cálculo del coste del ciclo de vida es una actividad multidisciplinar. El analista debería estar familiarizado con los principios básicos del coste del ciclo de vida (incluyendo los elementos de coste típicos, fuentes de datos de coste y principios financieros) y debería tener un claro conocimiento de los métodos de valorar las incertidumbres asociadas con la estimación de costes. Dependiendo del alcance del análisis, será importante obtener aportes a los costes de personas que estén familiarizados con todas las fases del ciclo de vida del producto. Esto puede incluir representantes del cliente(s) y del(de los) suministrador(es).

#### **4.6.2 Planificación del cálculo del coste del ciclo de vida**

El cálculo del LCC debería comenzar con el desarrollo de un plan en el cual se identifiquen los objetivos y el alcance del análisis. El plan debería identificar los siguientes elementos:

- a) Definir los objetivos del análisis en términos de resultados que debería proporcionar y las decisiones para las cuales se usan estos para justificar el análisis.

Algunos objetivos típicos son:

- Determinación del LCC para un producto, para ayudar a planificar, contratar, presupuestar o necesidades similares.
- Evaluación del impacto de diferentes líneas de acción en el LCC del producto (tales como propuestas de diseño, adquisición de productos o políticas de logística o tecnología alternativas); o
- Identificación de los elementos de coste que tienen una mayor contribución al LCC del producto, para concentrar los esfuerzos de diseño, desarrollo, adquisición o elementos soporte del producto.

- b) Definir el alcance del análisis en términos del producto bajo estudio, la amplitud del periodo a considerar (fases del ciclo de vida), el entorno operativo y el escenario soporte de mantenimiento a utilizar.
- c) Identificar cualquier condición, suposición, obligación o restricción subyacente (tales como mínimos de funcionamiento, o requisitos de disponibilidad, o máximo coste de capital) los cuales pueden restringir la gama de opciones aceptables a evaluar.
- d) Identificar las diferentes líneas de acción a evaluar (esto forma parte del objetivo del análisis). La lista de alternativas propuestas puede modificarse por la identificación de nuevas opciones o por la existencia de opciones que no cumplían las condiciones del problema.
- e) Hacer una estimación de los recursos que se van a necesitar, y un programa de informes para el análisis, para asegurarse que los resultados de éste van a estar disponibles en el momento oportuno para ayudar al proceso de toma de decisión para el cual se requieren.

El plan del análisis debería documentarse al principio del proceso de análisis del LCC para proporcionar una referencia para el resto del trabajo. Los usuarios previstos de los resultados del análisis deberían revisar el plan, tanto desde la perspectiva del fabricante como del cliente, para asegurar que sus necesidades se han interpretado y considerado correctamente.

#### **4.6.3 Desarrollo o selección del modelo de LCC**

Deberían seleccionarse o desarrollarse modelos de LCC lo suficientemente detallados como para cumplir los objetivos del análisis, teniendo en cuenta la disponibilidad de datos y los factores siguientes:

- a) grado de selectividad requerido para discriminar entre opciones;
- b) grado de sensibilidad requerido para proporcionar la necesaria exactitud de los resultados;
- c) tiempo disponible para realizar e informar del análisis del cálculo del coste del ciclo de vida.

#### **4.6.4 Modelo de aplicación del LCC**

El cálculo del coste del ciclo de vida debería incluir los siguientes pasos:

- a) Obtención de datos de todos los elementos de coste básicos del modelo del LCC para todas las opciones de producto, subsistemas y combinación de opciones soporte.
- b) Realizar los análisis del LCC de los escenarios operativos del producto definidos en el plan del análisis.
- c) Realizar informes del análisis con el objetivo de identificar los escenarios soporte óptimos.
- d) Examinar los datos de partida y los resultados del modelo de LCC para determinar los elementos de coste que tienen el impacto más significativo en el análisis.
- e) Cuantificar las diferencias en el funcionamiento del producto, en su disponibilidad y en otras restricciones relevantes entre cualquiera de las alternativas estudiadas, a menos que estas diferencias estén directamente reflejadas en las salidas del modelo del LCC.
- f) Clasificar y resumir las salidas del modelo de LCC de acuerdo con una agrupación lógica, por ejemplo, costes fijos o variables, costes recurrentes o no recurrentes, costes de adquisición, propiedad o eliminación, costes directos o indirectos, los cuales pueden ser relevantes para los usuarios de los resultados del análisis.
- g) Hacer análisis de sensibilidad para examinar el impacto de las suposiciones y las incertidumbres de los elementos de coste en los resultados del modelo de LCC. Debería ponerse especial atención sobre los principales contribuidores del coste y sobre los supuestos relacionados con el uso del producto y con el valor temporal del dinero.
- h) Revisar las salidas del LCC y compararlas con los objetivos definidos en el plan de análisis para asegurarse que se han cumplido todos los objetivos y que se ha proporcionado la suficiente información para ayudar a la decisión requerida. Si los objetivos no se cumplen, pueden requerirse evaluaciones o modificaciones adicionales al modelo de LCC.

Debería documentarse el análisis, incluidas todas las suposiciones, para asegurar que los resultados pueden verificarse y ser reproducidos fácilmente por otro evaluador.

#### **4.6.5 Documentación del cálculo del coste del ciclo de vida**

Los resultados del análisis del coste del ciclo de vida deberían documentarse en un informe que permita a los usuarios entenderlos claramente así como sus implicaciones, incluyendo las limitaciones e incertidumbres asociadas con los resultados. El informe debería contener lo siguiente:

- a) *Resumen ejecutivo* – Una breve sinopsis de los objetivos, resultados, conclusiones y recomendaciones del análisis. Se pretende que el resumen sea una visión general del análisis para los que toman las decisiones, usuarios y otras partes interesadas.

- b) *Propósito y alcance* – Una declaración de los objetivos del análisis, descripción del producto, incluyendo el entorno de utilización previsto del producto, de los escenarios de funcionamiento y soporte; hipótesis, restricciones y vías alternativas de acción que se tienen en cuenta en el análisis, como se describió en el apartado 4.6.2. Como esta información está incluida en el plan del análisis, este plan se puede incluir en la documentación como referencia.
- c) *Descripción del modelo de LCC* – Resumen del modelo de LCC, incluyendo los supuestos más importantes, una descripción de la estructura de descomposición del LCC, una explicación de los elementos de coste y de la forma en que se estiman y una descripción de como se han integrado los elementos de coste.
- d) *Aplicación del modelo de LCC* – Una presentación de los resultados del modelo de LCC, incluyendo la identificación de los contribuidores de coste significativos, los resultados de los análisis de sensibilidad y la salida de cualquier otra actividad de análisis relacionada, como se describió en el apartado 4.6.4.
- e) *Discusión* – Una discusión completa y una interpretación de los resultados del análisis, incluyendo las incertidumbres asociadas con los resultados y cualquier otro aspecto que ayude a quienes vayan a tomar la decisión o a los usuarios en la comprensión y uso de los resultados.
- f) *Conclusiones y recomendaciones* – Una presentación de las conclusiones relacionadas con los objetivos del análisis, y una lista de recomendaciones respecto a las decisiones, que van a basarse en los resultados de los análisis, así como la identificación de cualquier necesidad de trabajos futuros o revisión del análisis.

#### **4.6.6 Revisión de los resultados del cálculo del coste de ciclo de vida**

Puede requerirse una revisión formal, posiblemente independiente, del análisis para confirmar que los resultados son correctos y completos. Deberían tenerse en cuenta los siguientes elementos:

- a) Revisión de los objetivos y alcance del análisis para asegurar que son apropiadamente establecidos e interpretados.
- b) Revisión del modelo (incluyendo definiciones de los elementos de coste e hipótesis) para asegurar que se adecua a la finalidad del análisis.
- c) Revisión de la aplicación para asegurar que los datos de partida son establecidos con exactitud, que el modelo se ha utilizado correctamente, que los resultados (incluyendo los del análisis de sensibilidad) son adecuadamente evaluados y discutidos y que se han alcanzado los objetivos del análisis.
- d) Revisión de todas las hipótesis hechas durante el proceso de análisis para asegurar que son razonables y bien documentadas.

#### **4.6.7 Actualización del análisis**

En muchos estudios del cálculo del coste del ciclo de vida es ventajoso guardar el modelo de LCC actual de forma que pueda ser empleado a lo largo del ciclo de vida del producto. Por ejemplo, puede desearse actualizar los resultados del análisis, basados inicialmente en datos preliminares o estimados a partir de datos más detallados según van estando disponibles más tarde a lo largo del ciclo de vida del producto. El mantenimiento y actualización del modelo de LCC puede implicar modificaciones de la estructura desglosada del LCC, y cambios en los métodos de estimación de costes, según se dispone de fuentes de información adicionales, y cambian las hipótesis incorporadas al modelo.

El análisis actualizado de LCC debería documentarse y revisarse en el mismo grado que el original.

#### **4.7 Incertidumbre y riesgos**

El LCC es una estimación de los costes de adquisición, propiedad y eliminación de un producto durante su ciclo de vida. Como se destaca en todas partes de la norma, la confianza en los resultados del cálculo del coste del ciclo de vida depende de la disponibilidad y uso de información relevante, de las hipótesis hechas en el modelo del LCC, y de los datos de entrada utilizados para hacer el análisis.

Factores tales como la ausencia de información al comienzo del proyecto, la introducción de nueva tecnología o un nuevo producto, el uso de estimaciones muy optimistas para justificar el proyecto, uso de programas inalcanzables, largos proyectos de investigación y desarrollo con resultados impredecibles, excesivo optimismo o pesimismo, etc., contribuyen a aumentar el riesgo y la incertidumbre. Elementos tales como las tasas de inflación prevista, costes de mano de obra, material y gastos generales en los que se vaya a incurrir durante un largo periodo de tiempo, en el futuro pueden causar también una considerable incertidumbre en los resultados del cálculo del coste del ciclo de vida. Por lo tanto, se pueden extraer conclusiones erróneas y pueden tomarse decisiones equivocadas debido al uso de modelos incorrectos, datos incorrectos o la omisión de algunos elementos de coste significativos.

La incertidumbre y el riesgo están afectados también por el hecho de que muchos factores importantes que afectan a una decisión pueden no ser cuantificables en términos de costes. Para tener en cuenta dichos factores se deberían hacer juicios de valor basados en la experiencia. Tales juicios de valor son generalmente cualitativos. En la práctica, la toma de decisiones basada en el coste del ciclo de vida de un producto implica a menudo una combinación de consideraciones cualitativas y cuantitativas. Los resultados cuantitativos proporcionan una referencia, mientras que las valoraciones cualitativas proporcionan un refuerzo para soportar las recomendaciones y decisiones.

Con el fin de reducir los riesgos que tiene una valoración cuantitativa, deberían realizarse análisis de sensibilidad utilizando un intervalo de valores potenciales considerados inicialmente para los parámetros de significativa contribución al coste y otras variables importantes. Los resultados de dicho análisis de sensibilidad deberían valorarse con detalle y determinarse el posible margen de variación del coste del ciclo de vida resultante. El grado de verificación del análisis debería estar en proporción a la importancia del impacto del resultado del análisis y del valor de la decisión. Por ejemplo, para soportar decisiones que requieren gastos importantes, el análisis puede requerir la verificación por personal experto independiente.

Es importante que se muestren los riesgos específicos relacionados y el posible margen de variación de los resultados del análisis del coste del ciclo de vida a quien toma las decisiones para su consideración.

Cualquier decisión hecha sobre el diseño y fabricación de un producto puede afectar a su rendimiento, seguridad, fiabilidad, mantenibilidad, logística de mantenimiento y finalmente a sus costes de adquisición, propiedad y eliminación. Hay muchos factores fuera del control del diseñador que pueden introducir incertidumbre en el coste con consecuencias económicas.

Éstas pueden incluir las incertidumbres relativas a:

- a) relación comercial y legal entre el propietario y otras organizaciones;
- b) circunstancias económicas de la organización, país, por ejemplo, tasa de cambio;
- c) circunstancias políticas incluyendo cambios y factores legislativos;
- d) tecnología y aspectos técnicos tales como seguridad e impacto ambiental;
- e) eventos naturales, comportamiento humano, etc.;
- f) indisponibilidad debida a fallos del sistema;
- g) no utilización de los últimos datos disponibles;
- h) inadecuada trazabilidad de los datos.

Deberían usarse métodos sistemáticos para identificar y evaluar incertidumbres y riesgos asociados con cualquier producto, actividad, función o proceso. Esto debería hacerse de forma que permita a la organización minimizar pérdidas (o maximizar ganancias) y cuantificar las consecuencias probables. Deberían realizarse los análisis de riesgo como parte de esto.

Un objetivo de los análisis de incertidumbre y riesgo es separar los riesgos menores aceptables de los riesgos mayores y estimar las consecuencias de cada riesgo. Las consecuencias pueden expresarse en términos técnicos y en otros criterios incluyendo costes.

Para obtener una mejor visión de los costes totales implicados, puede desarrollarse análisis de incertidumbre y riesgo como parte de los análisis del coste del ciclo de vida. Por ejemplo, la cantidad que costará al cliente en pérdidas de recepción, en pérdidas de producción, en multas, etc., si el número real de fallos es el doble del valor especificado.

Deberían incluirse en el coste de adquisición los elementos de coste de incertidumbre y riesgo, coste de propiedad y coste de eliminación. Esto puede lograrse incluyendo los costes en elementos de coste apropiados o en un nivel más alto, en el modelo del LCC.

## **5 LCC Y ASPECTOS MEDIOAMBIENTALES**

La sociedad está cada vez más preocupada por el impacto medioambiental de productos y servicios. Todas las decisiones realizadas sobre el diseño de un producto, su fabricación, uso, etc., incluyendo el impacto medioambiental, puede afectar al precio, y a los costes de propiedad y eliminación.

Si los costes de las acciones que tienen que tomarse para satisfacer las reglamentaciones medioambientales están incluidos en los estudios de LCC, proporcionarán importantes informaciones en el proceso de toma de decisión para el diseño del producto, su desarrollo y uso.

Los suministradores y usuarios de productos y servicios deberían prestar atención a las consecuencias medioambientales de la producción, operación, mantenimiento, y actividades logísticas. Tienen que considerarse cuidadosamente la ventaja de actividades de coste barato pero perjudiciales.

**ANEXO A (Informativo)****ACTIVIDADES TÍPICAS GENERADORAS DE COSTES****A.1 Generalidades**

Cada fase del ciclo de vida incluye actividades que contribuyen a los costes de dicha fase. Este anexo enumera las actividades más usuales de cada fase para las que se deben identificar sus costes. Deberían identificarse los costes de actividades adicionales, cuando sean apropiados.

El diseño, desarrollo, fabricación, instalación, operación, mantenimiento y eliminación de hardware y software incluyen actividades que contribuyen al LCC. Pueden agruparse los costes asociados con estas actividades, por el tipo de recursos utilizados.

**A.2 Costes típicos en las fases del ciclo de vida****A.2.1 Concepto y definición**

Los costes de concepto y definición se atribuyen a varias actividades dirigidas a asegurar la viabilidad del producto en consideración. Típicamente incluyen costes para:

- a) investigación de mercado;
- b) gestión de proyecto;
- c) concepción del producto y análisis de diseño;
- d) preparación de la especificación de requisitos del producto.

**A.2.2 Diseño y desarrollo**

Los costes de diseño y desarrollo se atribuyen a cumplir la especificación de requisitos del producto y proporcionar pruebas de su cumplimiento. Típicamente incluyen costes para:

- a) gestión de proyecto;
- b) ingeniería de diseño, incluyendo fiabilidad, mantenibilidad y actividades de protección medioambiental;
- c) documentación del diseño;
- d) fabricación de prototipos;
- e) desarrollo de software;
- f) pruebas y evaluación;
- g) ingeniería de producción y planificación;
- h) selección de proveedores;
- i) demostración y validación;
- j) gestión de calidad.

### A.2.3 Fabricación e instalación

Los costes de fabricación e instalación están cuantificados en términos de fabricar el número necesario de unidades del producto o de proporcionar el servicio específico de forma continua. Las actividades (costes) en esta fase se subdividen en aquellas que son no recurrentes y las que son recurrentes con cada producto o servicio proporcionado. Típicamente incluyen costes para:

- a) Actividades o costes no recurrentes:
  - 1) ingeniería industrial y análisis de operaciones;
  - 2) construcción de instalaciones;
  - 3) útiles de producción y equipos de prueba;
  - 4) soporte y equipos de prueba especial;
  - 5) repuestos y juegos de reparación iniciales;
  - 6) formación inicial;
  - 7) documentación;
  - 8) software;
  - 9) ensayos de aprobación de tipo (pruebas de calificación).
- b) Actividades/costes recurrentes:
  - 1) gestión de producción e ingeniería;
  - 2) mantenimiento de instalaciones;
  - 3) fabricación (materiales, mano de obra,...);
  - 4) control de calidad e inspección;
  - 5) montaje, instalación y comprobación;
  - 6) embalaje, almacenamiento, expedición y transporte;
  - 7) formación continua.

### A.2.4 Operación y mantenimiento

Durante la vida esperada del producto/sistema se incurre en costes de operación, mantenimiento y soporte al suministro de productos y equipos. Estos costes típicamente incluyen lo siguiente:

- a) Costes asociados a la operación
  - costes no recurrentes, por ejemplo, costes para formación inicial del personal, documentación, repuestos iniciales, equipos, instalaciones y herramientas especiales;
  - costes recurrentes, por ejemplo, costes de mano de obra, consumibles, energía, formación continua y mejoras.
- b) Costes asociados al mantenimiento preventivo
  - costes no recurrentes por ejemplo, costes de adquisición de equipos de prueba y herramientas, repuestos iniciales y consumibles, y formación inicial de personal y documentación inicial e instalaciones;
  - costes recurrentes, por ejemplo, costes de mano de obra, repuestos consumibles, formación continua y documentación;
  - sustitución de piezas con vida limitada (puede ser recurrente o no recurrente).

c) Costes asociados al mantenimiento correctivo

- costes no recurrentes, por ejemplo, costes de equipos de prueba, herramientas, repuestos iniciales, formación inicial del personal, documentación inicial e instalaciones;
- costes recurrentes, por ejemplo, costes de mano de obra, repuestos y consumibles, formación continua y documentación;
- costes de consecuencias debido a pérdidas de producción o capacidad incluyendo costes por compensación y pérdidas de ingresos.

También pueden incluirse costes indirectos que pueden ser significativos a lo largo del ciclo de vida.

**A.2.5 Eliminación**

Esta fase incluye los costes de retirada de servicio y eliminación de versiones más antiguas de los productos. En algunas industrias de servicio, tales como la industria química y nuclear, la eliminación de productos puede convertirse en un factor de coste significativo. En algunos países, la legislación medioambiental está obligando al reciclado de automóviles y equipamiento eléctrico. Los costes de la eliminación de un producto incluyen típicamente costes de:

- a) parada del sistema;
- b) retirada de servicio;
- c) desmontaje y retirada;
- d) reciclado o eliminación segura.

**ANEXO B (Informativo)****CÁLCULOS Y FACTORES ECONÓMICOS DEL LCC****B.1 Costes de oportunidad, descuento, inflación y tributación****B.1.1 Generalidades**

En el apartado 4.5.3 se han descrito los efectos de los descuentos, aumentos, costes de oportunidad, inflación, tributación y la tasa de cambio. En este anexo, se discute con más detalle, éstos y otros factores y también métodos que pueden utilizarse para tenerlos en cuenta.

**B.1.2 Costes de oportunidad**

Para mejorar un producto, es a menudo necesario proveer recursos adicionales a comienzos del ciclo de vida. Así, para conseguir la mejora de la confiabilidad y sus beneficios consiguientes, podría ser necesario proveer recursos extras, como prototipos e instalaciones de prueba, en las etapas iniciales del ciclo de vida de proyecto. Sin embargo, es importante darse cuenta de que estos recursos representan fondos que podrían haberse invertido para obtener una rentabilidad del capital, por lo menos en teoría. La oportunidad de obtener este rédito se pierde por la inversión hecha para mejorar la confiabilidad. El retorno perdido se conoce como coste de oportunidad. El análisis de coste de ciclo de vida debería tener en cuenta el coste de oportunidad perdido cuando considere los beneficios de la mejora de la confiabilidad u otras mejoras similares.

**B.1.3 Inflación**

Debido a las dificultades de predecir la inflación con exactitud, se acostumbra realizar el análisis de coste de ciclo vida a "precio constante". A veces, sin embargo, por ejemplo en caso de un proyecto de ciclo de vida corta, puede ser posible predecir o acordar una tasa de inflación para incluirla en el análisis.

Es importante asegurar que todos elementos de coste y los que de ellos dependen que estén afectados por la inflación se tratan completamente, pero sólo una vez (no doble contabilización).

**B.1.4 Tributación**

Los impuestos y subvenciones (incluyendo concesiones y el gasto de impuestos) pueden afectar a los precios. Los precios de mercado que los incluyen podrían, por estas y otras razones, no reflejar fielmente los costes de oportunidad o beneficio. En el análisis de coste de ciclo vida, el ajuste de los precios de mercado por los impuestos es apropiado sólo cuando el ajuste puede tener una diferencia material. Es un tema para juzgar caso por caso, pero puede ser importante ajustar las diferencias entre opciones en la incidencia de impuestos, que surjan de acuerdos contractuales diferentes, como el suministro propio respecto con el comprado, o arrendamiento respecto a compra.

Es generalmente deseable excluir la mayoría de los impuestos indirectos. Los impuestos tipo "valor añadido" en particular deben examinarse para determinar si su inclusión, es relevante o no para el análisis. Los impuestos tipo valor añadido deberían deducirse de los precios de mercado de las entradas y salidas y así excluirse de los cálculos del coste. No deberían realizarse tales ajustes para impuestos directos, tales como impuestos sobre ingresos e impuestos de sociedad, ni para aranceles de importación o impuestos de propiedad. Los impuestos directos, los aranceles de importación y las tasas deberían tratarse como cualquier otro coste e incluirse de forma normal.

**B.1.5 Tasa de cambio**

La tasa de cambio es el precio al que se cambia una moneda por otra. Esta tasa dependerá de las condiciones de suministro y demanda para las monedas relevantes en el mercado. Debería considerarse la tasa de cambio cuando los productos o servicios se adquieran o vendan a diferentes países y en diferentes monedas. Los términos del contrato pueden definir si existe riesgo asociado con las fluctuaciones del cambio.

## B.2 Aplicación de técnicas de evaluación financiera

### B.2.1 Generalidades

Pueden aplicarse ciertas técnicas de evaluación financieras al coste del ciclo de vida de forma útil. Por tanto, es importante que sus conceptos se comprendan completamente antes de que se apliquen.

### B.2.2 Actualización del flujo de caja (AFC)

La actualización de los flujos de caja es un principio fundamental que se aplica a todos métodos modernos de la evaluación de inversión. El propósito del análisis de AFC es determinar el valor actual neto (VAN) de los diferentes flujos de coste futuros.

### B.2.3 Tasa interna de retorno (TIR)

Puede utilizarse la tasa interna de retorno en una evaluación de inversión para determinar si una inversión futura es viable. Si el TIR calculado es mayor que la tasa de retorno requerida por un inversor, entonces la oportunidad de inversión se considera rentable.

El TIR es un caso especial del análisis de AFC, donde el porcentaje de retorno de beneficio sobre la inversión se calcula sobre la base de un valor actual neto cero. Esto implica un caso de "equilibrio", por el cual los futuros flujos de caja descontados se compensan cada uno, proporcionando una tasa mínima que tiene que lograrse o excederse. Si, por ejemplo, una compañía requiere un retorno del 12% para que merezca invertir en un nuevo proyecto, entonces el TIR calculado tiene que ser al menos del 12%.

### B.2.4 Depreciación y amortización

Se conocen como los cargos no monetarios, ya que la compañía no gasta realmente ningún dinero en ellos. Es generalmente prudente hacer caso omiso de ellos para los propósitos del LCC ya que tienden a enmascarar la sensibilidad de los análisis comparativos de los flujos de caja operativos de la compañía.

La depreciación es un criterio contable por motivos de impuestos que permite a las compañías obtener un beneficio de los desembolsos de capital en activo, tales como ordenadores, instalaciones, maquinaria, etc. para tener en cuenta su desgaste. Generalmente se fijan períodos determinados sobre los que puede depreciarse un activo antes de su pérdida o retirada y reemplazo.

La amortización es una técnica para cancelar intangibles tales como "el fondo de comercio" cuando se adquiere otra compañía, durante un periodo determinado de tiempo, de acuerdo con principios contables generalmente aceptados (PCGA).

### B.2.5 Análisis coste – beneficio

Dadas una serie de alternativas del LCC, tiene que usarse un método para identificar la eficacia de cada opción para cubrir los requisitos especificados.

Un término común usado es el factor de "rentabilidad por euro o dólar". Expresa el resultado de un análisis de compromiso que identifica la solución más rentable de las disponibles.

Hay un riesgo real de aceptar la opción de LCC más barata sin considerar cuántos de los requisitos se han sacrificado en comparación con otras opciones más costosas.

Los factores comúnmente usados para el compromiso en el LCC son.

- disponibilidad operativa;
- disponibilidad intrínseca;

- coste de repuestos;
- coste de mano de obra;
- probabilidad del éxito de misión.

La comparación de opciones contra criterios de evaluación similares puede cambiar significativamente el orden de preferencia de las opciones.

**ANEXO C (Informativo)****EJEMPLO DE UN ANÁLISIS DE COSTE DEL CICLO DE VIDA****C.1 Generalidades**

El siguiente ejemplo describe el procedimiento de determinación del análisis del coste del ciclo de vida y algunos métodos para la estimación de costes de ciclo de vida. El ejemplo tratará un producto llamado "Red de comunicación de datos"(RCD). La estructura de descomposición, mostrada en el capítulo C.3, contiene los diferentes elementos incluidos en la RCD.

El propósito del análisis es identificar aquellos elementos de coste cuya contribución exceda niveles predefinidos (por ejemplo, un % del LCC total). Para simplificar el ejemplo, se han excluido un determinado número de costes potencialmente importantes, como los costes de documentación, formación, infraestructuras, administración, instalación y mantenimiento de los equipos de pruebas.

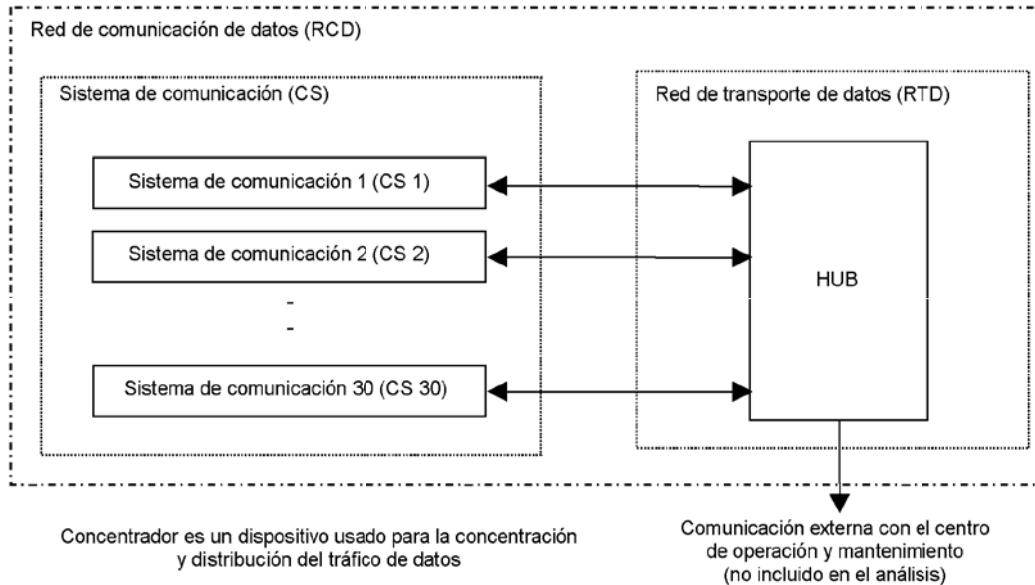
El análisis se basa en "precios constantes" y valores medios a largo plazo de tiempo, costes y parámetros técnicos. Para el estudio se ha elegido un periodo de 15 años de operación del producto.

La disponibilidad de este tipo de red de comunicación de datos es típicamente de alrededor del 99,994%, lo que corresponde aproximadamente a 30 min de tiempo de parada acumulado por año.

Los costes que se exponen a continuación, relacionados con la fase de operación y mantenimiento, se consideran relevantes para el ejemplo:

<b>Elemento de coste</b>	<b>Abreviatura</b>
<b>Coste total en 15 años de operación y mantenimiento</b> <i>(Total costs for operation and maintenance)</i>	COM
Inversiones ( <i>Investments</i> )	CI
Operación ( <i>Operation</i> )	CO
Mantenimiento ( <i>Maintenance</i> )	CM
<b>Costes de inversión en mantenimiento</b> ( <i>Costs for investments for maintenance</i> )	CIM
Unidades de repuesto ( <i>Spare replaceable units</i> )	CIMSUR
Equipamiento para mantenimiento en planta ( <i>Facilities for maintenance at site</i> )	CIMFS
Equipamiento para mantenimiento en taller ( <i>Facilities for maintenance at workshop</i> )	CIMFW
<b>Costes anuales de operación</b> ( <i>Costs for annual operation</i> )	CYO
Arrendamiento de la red de transporte de datos ( <i>Leasing of the data transport network</i> )	CYOL
Actualización del Software ( <i>Software upgrading</i> )	CYOS
Costes por penalizaciones debido al tiempo acumulado de indisponibilidad de RCD <i>(Penalty costs due to accumulated downtime of the DCN)</i>	CYOU
<b>Costes anuales de mantenimiento (mano de obra y consumibles)</b> ( <i>Costs for annual maintenance</i> )	CYM
Mantenimiento preventivo ( <i>Preventive maintenance</i> )	CYMP
Mantenimiento correctivo ( <i>Corrective maintenance</i> )	CYMC
Mantenimiento correctivo en planta ( <i>Corrective maintenance at site</i> )	CYMC
Mantenimiento correctivo en taller ( <i>Corrective maintenance at workshop</i> )	CYMCW

El desglose de costes (CBC) para el producto considerado se muestra en la figura C.2.



**Figura C.1 – Estructura del RCD**

El análisis se lleva a cabo a través de los siguientes pasos:

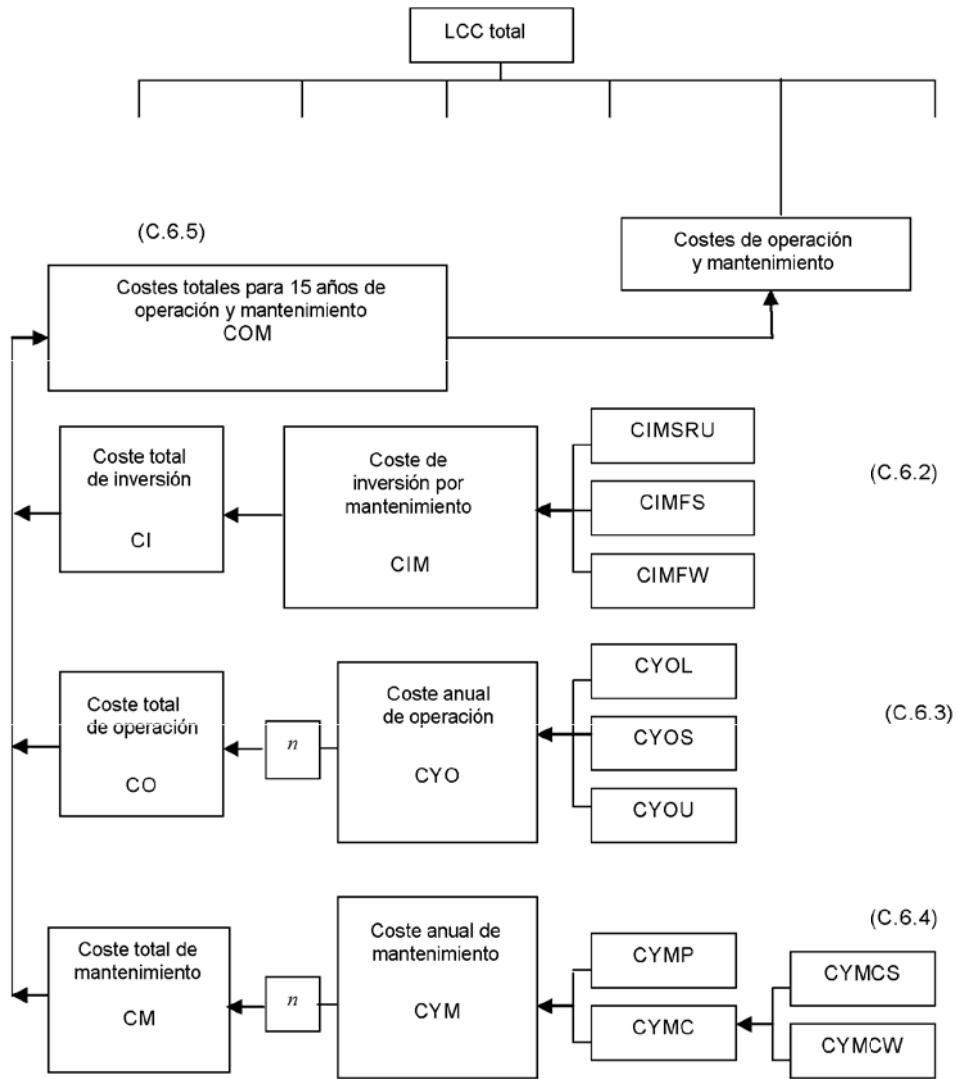
- definición de una estructura de desglose de costes apropiada (véase capítulo C.2);
- definir una detallada estructura de desglose de costes del producto incluyendo una recopilación de datos técnicos y de costes del mismo (véase capítulo C.3);
- definición de las categorías de coste (véase capítulo C.4);
- establecer una relación entre la estructura de desglose del producto y las categorías de costes definidas por medio de elementos de coste (CE) (véase capítulo C.5);
- establecer precondiciones y suposiciones para el análisis (véase C.6.1);
- realizar los cálculos de costes (véase capítulo C.6);
- presentación de los costes de acuerdo con la estructura de distribución de los mismos.

## C.2 Estructura de distribución de costes (CBS, *Cost breakdown structure*)

El CBS es un método de clasificación de costes orientado al ciclo de vida, que a su vez establece un vínculo entre los diferentes costes de acuerdo a las necesidades del análisis.

Los costes individuales se definen a través del correspondiente elemento de coste. Véase capítulo C.1.

El CBS que se muestra a continuación describe esa relación entre costes aplicable al ejemplo.



**Figura C.2 – Estructura desglosada de coste usada para el ejemplo en la figura C.1**

### C.3 Estructura de descomposición del producto

Con el objetivo de llevar a cabo los cálculos requeridos de acuerdo a la estructura de distribución de costes de la figura C.2, debe obtenerse una detallada estructura de descomposición del producto, que proporciona una descomposición del producto a niveles más bajos.

En las tablas C.1 a C.5 se presenta una estructura de descomposición del producto, en tres niveles junto con algunos datos de costes y confiabilidad del producto.

Tal como se muestra en la figura C.1, el producto “P” considerado es un RCD consistente en  $N$  sistemas idénticos de comunicación (CS, *Communication system*) y una red de transporte de datos (RTD), que contiene todos los enlaces de datos dentro del RCD.

**Tabla C.1 – Primer nivel de descomposición – Red de comunicación de datos**

Nivel 1	Nombre	Abreviatura	Requisitos de disponibilidad	Cantidad N
P <sub>1</sub>	Sistema de comunicación ( <i>Communication system</i> )	CS	Todas las paradas originan costes por penalización	30
P <sub>2</sub>	Red de transporte de datos	RTD	99,995% por enlace	30 (1 por enlace)

**Tabla C.2 – Segundo nivel de descomposición – Sistema de comunicación**

Nivel 2	Nombre	Abreviatura	Intensidad de fallo (z) fallos/10 <sup>6</sup> /h	Coste por elemento UM	Cantidad N
P <sub>1.1</sub>	Sistema de alimentación ( <i>Power supply system</i> )	PSS	véase tabla C.3	véase tabla C.3	1
P <sub>1.2</sub>	Procesador principal ( <i>Main processor</i> )	MP	véase tabla C.4	véase tabla C.4	1
P <sub>1.3</sub>	Consola de visualización ( <i>Display console</i> )	DC(RU)	5 por elemento	900	2
P <sub>1.4</sub>	Unidad entrada/salida ( <i>Input/output unit</i> )	IOU(RU)	4 por elemento	300	1
P <sub>1.5</sub>	Sistema de ventilación ( <i>Fan system</i> )	FS	véase tabla C.5	véase tabla C.5	1

NOTA La unidad reemplazable (RU, *Replaceable unit*) se repara a nivel de taller y se reemplaza a nivel de instalación.

Las tablas C.2 a C.5 indican el coste por la compra de unidades de repuesto para la fase de operación y mantenimiento (O&M).

La consola de visualización y la unidad de entrada o salida son unidades sustituibles, por lo que no es necesaria su posterior descomposición. La descomposición del resto de artículos se describe en las tablas C.3 a C.5.

**Tabla C.3 – Tercer nivel de descomposición – Sistema de alimentación**

Nivel 3	Nombre	Abreviatura	Intensidad de fallo (z) fallos/10 <sup>6</sup> /h	Coste por elemento UM	Cantidad N
P <sub>1.1.1</sub>	Unidad de alimentación ( <i>Power supply unit</i> )	PSU (RU)	18 por elemento	350	2
P <sub>1.1.2</sub>	Unidad de control de potencia ( <i>Power control unit</i> )	PCU (RU)	4 por elemento	200	1
P <sub>1.1.3</sub>	Batería ( <i>Battery</i> ) <sup>9</sup>	BATT(C)	despreciable	100	8

**Tabla C.4 – Tercer nivel de descomposición – Procesador principal**

Nivel 3	Nombre	Abreviatura	Intensidad de fallo(z) fallos/ $10^6$ /h	Coste por elemento UM	Cantidad N
P <sub>1.2.1</sub>	Procesador central (Central processor)	CP(RU)	15 por elemento	4 000	2
P <sub>1.2.2</sub>	Almacén de programas (Program store)	PS(RU)	18 por elemento	1 000	2
P <sub>1.2.3</sub>	Almacén de datos (Data store)	DS(RU)	22 por elemento	800	4
P <sub>1.2.4</sub>	Sistema de transporte de datos (bus de datos) (Data bus system)	DBS(RU)	3 por elemento	400	1

**Tabla C.5 – Tercer nivel de descomposición – Sistema de ventilación**

Nivel 3	Nombre	Abreviatura	Intensidad de fallo(z) fallos/ $10^6$ /h	Coste por elemento UM	Cantidad N
P <sub>1.5.1</sub>	Ventilador (Fan)	FAN(C) <sup>a</sup>	despreciable	40	4
P <sub>1.5.2</sub>	Unidad de alarma (Alarm unit)	AU(RU)	2 por elemento	80	1

<sup>a</sup> Consumibles: La batería y el ventilador requieren reemplazo preventivos debido a fallos por desgaste.

#### C.4 Categorías de coste

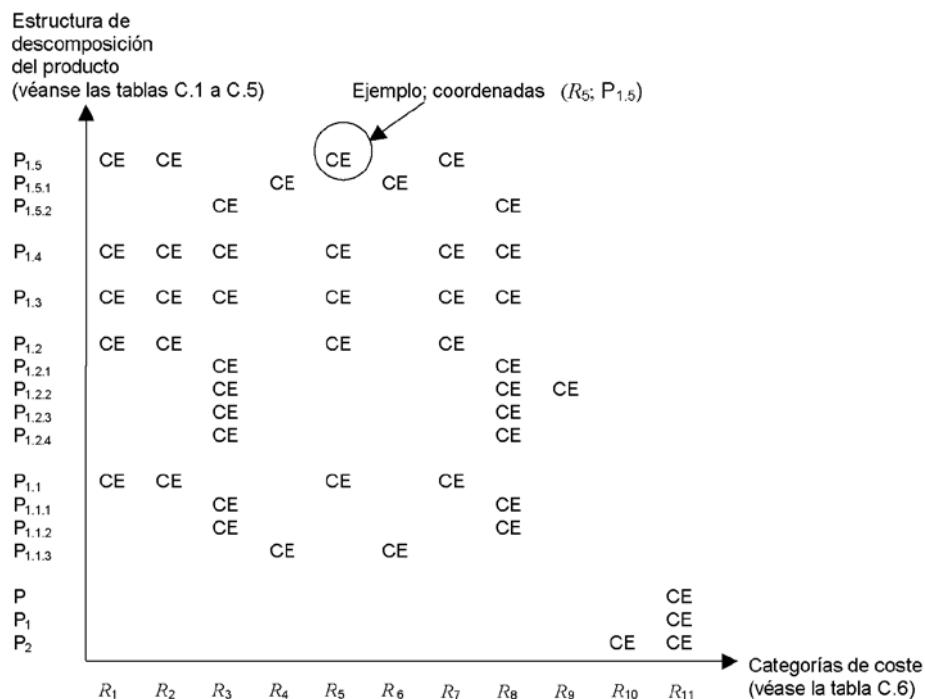
Los costes representados en la estructura desglosada de costes se agrupan en categorías según la clasificación de la tabla C.6. Los costes de inversión en el período bajo estudio, 15 años en este caso, son los costes totales. El resto de costes son de base anual.

**Tabla C.6 – Categorías de coste**

Categorías de coste	Coste por
$R_1$	inversión en instalaciones para mantenimiento in situ
$R_2$	inversión en instalaciones para mantenimiento en taller
$R_3$	inversión en unidades sustituibles de repuesto (SRU, <i>Spare replaceable units</i> )
$R_4$	coste de consumibles para mantenimiento in situ
$R_5$	coste de consumibles para mantenimiento en taller
$R_6$	coste de mantenimiento preventivo
$R_7$	coste de mantenimiento correctivo in situ
$R_8$	coste de mantenimiento correctivo en taller
$R_9$	coste de actualización del software
$R_{10}$	coste de arrendamiento de la red de transporte de datos
$R_{11}$	coste de penalización debido a la acumulación de tiempo de parada

### C.5 Definición de elementos de coste (CE)

Un elemento de coste es el vínculo entre un elemento individual de la estructura de descomposición del producto o trabajo y una de las categorías de costes en consideración. Los elementos de costes se definen elemento a elemento según sea aplicable. El cálculo de costes del capítulo C.6 se refiere a los elementos de coste definidos en la figura C.3. Los elementos de coste son la referencia para todos los cálculos, así como para la adición de costes, de acuerdo con la estructura de desglose de costes.



**Figura C.3 – Definición de elementos de coste**

### C.6 Cálculo de costes

#### C.6.1 Condiciones previas y suposiciones

Los cálculos en este ejemplo se basan en los siguientes parámetros y costes de funcionamiento estimados, y en algunas otras condiciones más:

Tiempo medio de reparación (MRT) (*Mean repair time*) = 0,5 h.

Retraso técnico medio (MTD) (*Mean technical delay*) = 0,25 h.

Retraso administrativo medio (MAD) (*Mean administrative delay*) = 4 h.

Retraso logístico medio (MLD) (*Mean logistic delay*) = a calcular.

Coste de persona-hora (CPH) (*Cost per person hour*) = 15 UM.

Coste del tiempo de parada del servicio RCD (CSD) (*Cost for service downtime*) = 25 UM/min por sistema de comunicación.

Vida útil de una batería = 4 años.

Vida útil de un ventilador = 9 años.

Sin mantenimiento preventivo excepto para baterías y ventiladores.

Coste por la actualización del software incluyendo instalación = 3 000 UM por sistema de comunicación.

Intervalo entre actualizaciones del software = 1,5 años.

Se usa una organización central de mantenimiento para mantenimiento en planta.

Todas las unidades de repuesto se reparan en un taller central.

Tiempo de rotación (TAT) (*Turn-around-time*) para unidades de repuesto = 720 h (=30 días).

Coste de un equipo portátil de pruebas para el mantenimiento en emplazamiento (CPTS) (*Cost for a portable test equipment for site maintenance*) = 2 500 UM.

Coste del arrendamiento de la red de transporte de datos = 50 000 UM por año.

Para simplificar los cálculos y obtener un tiempo medio de espera razonable para unidades de repuesto (SRUs) (*Spare replaceable unit*), se utiliza en este ejemplo una probabilidad de carencia del 1% (SP) (*Shortage probability*). En un cálculo más detallado, debería llevarse a cabo, una optimización de la inversión en RUs, basada en los costes de compra y requerimientos de disponibilidad. El término  $(1 - SP)$  se denomina a veces “nivel de protección”.

Las intensidades de fallo ( $\lambda$ ) y los costes de compra de unidades reemplazables se dan en las tablas C.1 a C.5.

El tiempo de servicio programado para la RCD se supone que es de 24 h diarias, 7 días a la semana.

Se supone que la aparición de fallos en un intervalo de tiempo dado sigue un proceso de Poisson homogéneo. De esta forma el tiempo de espera entre fallos consecutivos sigue una distribución exponencial (independiente del tiempo). Se supone también que hay tantas reparaciones como averías.

Los cálculos que se exponen a continuación se refieren a la estructura de desglose de costes mostrada en la figura C.2 y a los elementos de coste de la figura C.3.

## C.6.2 Costes de la inversión en mantenimiento (CIM)

### C.6.2.1 Generalidades

Con las explicaciones dadas en el capítulo C.1, el CIM se compone de los costes de los repuestos de unidades reemplazables (CIMSRU), los costes de las instalaciones para mantenimiento en planta (CIMFS) y los costes de las instalaciones para mantenimiento en taller (CIMFW). Los cálculos de estos costes se dan en los apartados C.6.2.2 a C.6.2.6.

### C.6.2.2 Costes de los repuestos de unidades reemplazables (CIMSRU)

De acuerdo con la figura C.3, se aplican los elementos de costes ( $R_3$ ;  $P_{1.1.1}$  hasta  $P_{1.5.2}$ ) siendo:

- $R_3$ : La inversión en los repuestos de unidades reemplazables (véase tabla C.6);
  - $P_{1.1.1}$ : La unidad de alimentación (PSU) (*Power supply unit*);
  - $P_{1.1.2}$ : La unidad de control de alimentación (PCU) (*Power control unit*);
- etc. (véase RUs en las tablas C.1 hasta la C.5).

Para este ejemplo, se utiliza una expresión, derivada de la distribución de Poisson para calcular el número requerido de repuestos de unidades reemplazables (NSRU) (*Number of spare replaceable units*). Esta expresión relaciona la intensidad de fallo ( $\lambda$ ) con el número requerido de repuestos (NSRU) a algún nivel de protección (1 – SP) dando un tiempo de rotación (TAT) (*Turn-around-time*) para la reparación de las unidades reemplazables (RU) especificado. De acuerdo con C.6.1, (1 – SP) = 0,99.

El tiempo medio de espera (MWT) para un repuesto de unidad reemplazable (SRU) en el almacén puede aproximarse a:

$$MWT_{RU} = SP \times TAT / (NSRU_{RU} + 1) \text{ h}$$

NOTA MWT suele usarse en C.6.2.3 para los cálculos del tiempo medio de retraso logístico.

Usando dicha ecuación, el número requerido de repuestos de unidades reemplazables (NSRU) por unidad reemplazable (RU) incluyendo las inversiones y los tiempos medios de espera (MWT) se da en la tabla C.7.

**Tabla C.7 – Inversiones en repuestos de unidades reemplazables**

Unidad reemplazable RU	Número de repuestos de unidades reemplazables NSRU	Coste de compra por unidad UM	Inversión total por tipo de SRU UM	Denominación	Tiempo medio de espera MWT h
RU <sub>1</sub> (PSU)	3	350	1 050	CIMSRU(PSU)	1,8
RU <sub>2</sub> (PCU)	1	200	200	CIMSRU(PCU)	3,6
RU <sub>3</sub> (CP)	3	4 000	12 000	CIMSRU(CP)	1,8
RU <sub>4</sub> (PS)	3	1 000	3 000	CIMSRU(PS)	1,8
RU <sub>5</sub> (DS)	6	800	4 800	CIMSRU(DS)	1,0
RU <sub>6</sub> (DBS)	1	400	400	CIMSRU(DBS)	3,6
RU <sub>7</sub> (DC)	2	900	1 800	CIMSRU(DC)	2,4
RU <sub>8</sub> (IOU)	1	300	300	CIMSRU(IOU)	3,6
RU <sub>9</sub> (AU)	1	80	80	CIMSRU(AU)	3,6
<b>TOTAL</b>	–	–	23 630	CIMSRU	–

NOTA CIMSRU = 23 630 UM.

#### C.6.2.3 Cálculo del tiempo medio de retraso logístico (MLD)

Para simplificar los cálculos de los costes asociados a indisponibilidad, (CYOU), se usará un valor uniforme de MTTR, aplicable a todos los componentes de la RCD, para todos cálculos de la disponibilidad.

$$MTTR = MRT + MTD + MAD + MLD$$

NOTA Para el significado y valores de MRT, MTD y MAD, véase el apartado C.6.1.

El tiempo medio de retraso logístico (MLD) se calcula como la media ponderada de los tiempos medios de espera, esto es:

$$MLD = \frac{\sum_{RU_1}^{RU_9} (Nz)_{RU} MWT_{RU}}{\sum_{RU_1}^{RU_9} (Nz)_{RU}}$$

Usando los valores de las tablas C.2 a C.7:

$$\text{MLD} = 1,6 \text{ h.}$$

#### **C.6.2.4 Costes, equipamiento para mantenimiento en planta (CIMFS)**

De acuerdo con la figura C.3, se aplican los elementos de coste ( $R_1$ ;  $P_{1,1}$  hasta  $P_{1,5}$ ) donde

$R_1$  es la inversión en instalaciones para el mantenimiento en planta (véase tabla C.6);

$P_{1,1}$  hasta  $P_{1,5}$  (véase tabla C.2).

Las instalaciones para el mantenimiento en planta consisten en equipos de prueba portátiles. Se supone que el equipo se utiliza para toda clase de mantenimiento correctivo en planta. El número de equipos requerido depende de la tasa de demanda, que está relacionada con el número de acciones de mantenimiento correctivo.

Usando las intensidades de fallo y las cifras de las tablas C.2 a C.5, el número total esperado de acciones de mantenimiento correctivo (NCMA) (*Number of corrective maintenance actions*) por año, para 30 sistemas de comunicación, puede calcularse como:

$$\begin{aligned} \text{NCMA} &= 30 \times (5 \times 2 + 4 \times 1 + 18 \times 2 + 4 \times 1 + 15 \times 2 + 18 \times 2 + 22 \times 4 + 3 \times 1 + 2 \times 1) \times 10^6 \times 8\,760 \\ &= 56 \text{ acciones por año} \end{aligned}$$

El tiempo medio esperado entre acciones correctoras será  $8\,760 / 56 = 156$  h.

Usando los datos de C.6.1 y los de MLD de arriba, puede calcularse un MTTR de 6,35 h. El tiempo medio de uso de equipo portátil de pruebas es aproximadamente  $4 + 0,25 + 0,5 + 4 \approx 9$  h. Este es un tiempo pequeño en comparación con las 156 h.

La estimación revela que la inversión (CIMFS) en dos equipos portátiles de prueba debería dar una accesibilidad aceptable al equipo de prueba. El tiempo medio de espera para el equipo portátil de prueba es incluido en retraso administrativo medio (MAD) de arriba.

$$\text{CPTS} = 2\,500 \text{ UM} \text{ (coste de un equipo portátil de prueba).}$$

$$\text{CIMFS} = 2 \times \text{CPTS} = 5\,000 \text{ UM.}$$

#### **C.6.2.5 Costes, equipamiento para mantenimiento en taller (CIMFW)**

De acuerdo con la figura C.3, se aplican los elementos de coste ( $R_2$ ;  $P_{1,1}$  hasta  $P_{1,5}$ ) donde

$R_2$  es la inversión en instalaciones para mantenimiento en taller (véase tabla C.6);

$P_{1,1}$  hasta  $P_{1,5}$  (véase tabla C.2).

El coste estimado del equipo de prueba para la localización de averías y verificación funcional de las unidades reemplazables es igual a 30 000 UM. El valor se basa en la experiencia de productos similares.

$$\text{CIMFW} = 30\,000 \text{ UM.}$$

#### **C.6.2.6 Resumen de costes**

La inversión total para mantenimiento es

$$\text{CIM} = \text{CIMSRU} + \text{CIMFS} + \text{CIMFW}.$$

$$\text{CIM} = 23\,630 + 5\,000 + 30\,000 = 58\,630 \text{ UM.}$$

### C.6.3 Coste anual de operación (CYO)

#### C.6.3.1 Costes, alquiler de la red de transporte de datos (CYOL)

De acuerdo con la figura C.3, se aplican los elementos de coste ( $R_{10}$ ;  $P_2$ ) donde

$R_{10}$  es el coste del alquiler de la red de transporte de datos (véase tabla C.6);

$P_2$  (véase tabla C.1).

De acuerdo con C.6.1:

$$\text{CYOL} = 50\,000 \text{ UM.}$$

#### C.6.3.2 Costes, actualización del software (CYOS)

De acuerdo con la figura C.3, se aplican los elementos de coste ( $R_9$ ;  $P_{1.2.2}$ ) donde

$R_9$  es el coste de actualización del software (véase tabla C.6);

$P_{1.2.2}$  (véase tabla C.4).

De acuerdo con C.6.1, el intervalo de actualización del software es de 1,5 años y el coste de actualización por sistema de comunicación es de 3 000 UM. Se requieren 10 actualizaciones durante 15 años. El coste anual medio para 30 sistemas de comunicación es:

$$\text{CYOS} = 30 \times 3\,000 \times 10/15 = 60\,000 \text{ UM.}$$

#### C.6.3.3 Costes, penalización por paradas (CYOU)

De acuerdo con la figura C.3, se aplican los elementos de coste ( $R_{11}$ ;  $P$ ,  $P_1$ ,  $P_2$ ) donde

$R_{11}$  es el coste de penalización por parada o indisponibilidad del producto (véase tabla C.6);

$P_1$ ,  $P_2$  (véase tabla C.1).

El coste de penalización por parada o indisponibilidad se calcula como:

$$\text{CYOU} = 30 \times (\text{MADTCS} + \text{MADTDTN}) \times \text{CSD}$$

donde

MADTCS (*Mean accumulated down time of a communication system*) es el tiempo medio acumulado de las paradas de un sistema de comunicación (minutos/año);

MADTDTN (*Mean accumulated down time of the data transport network*) es el tiempo medio acumulado de las paradas de la red de transporte de datos (minutos / año);

CSD (*Cost service downtime*) es el coste de parada del servicio de la RCD por minuto y por sistema de comunicación conforme con C.6.1;

y

$$\text{MADTCS} = 8\,760 \times 60 \times (1 - \text{ACS});$$

$$\text{MADTDTN} = 8\,760 \times 60 \times (1 - \text{ADTN});$$

donde

ACS (*Availability of the communication system*) es la disponibilidad del sistema de comunicación;

ADTN (*Availability of the data transport network*) es la disponibilidad de la red de transporte de datos;

ACS = APSS × AMP × ADC<sup>2</sup> × AIOU × AFS por sistema de comunicación;

ADTN = 99,995% por enlace de acuerdo con la tabla C.1;

donde

APPS (*Availability performance of the power supply system*) es la disponibilidad del sistema de alimentación;

AMP (*Availability performance of the main processor*) es la disponibilidad del procesador principal;

ADC *Availability performance of the display console*) es la disponibilidad de la consola de visualización;

AIOU (*Availability performance of the input/output unit*) es la disponibilidad de la unidad de entrada o salida;

AFS (*Availability performance of the fan system*) es la disponibilidad del sistema de ventilación.

Los valores de disponibilidad individual de cada uno de los sistemas anteriores se calculan usando la fórmula:

$$A = \mu / (\mu + z)$$

donde

$$\mu = 1/MTTR \text{ y } MTTR = MRT + MTD + MAD + MLD = 0,5 + 0,25 + 4 + 1,6 = 6,35 \text{ h}$$

#### **Sistema de alimentación (PSS) (*Power supply system*)**

Debido a que las unidades de alimentación son redundantes y al hecho de que no todos los fallos en las unidades de control de alimentación afectan al sistema de alimentación, la intensidad de fallo del sistema de alimentación puede estimarse en  $3 \times 10^{-6}$  fallos/h y APSS = 99,998%.

#### **Procesador principal (MP) (*Main processor*)**

La principal parte del MP está duplicada. Sin embargo, debido a averías en el sistema de transmisión de datos (DBS) (*Data bus system*) y a las paradas relacionadas con los procesos de restauración del software, instalados, la disponibilidad, utilizando:

$$A = \mu / (\mu + z)$$

Se estima AMP = 99,995%.

#### **Consola de visualización (DC) (*Display console*)**

$$ADC = \mu / (\mu + 5 \times 10^{-6})$$

$$ADC = 99,9968\%$$

#### **Unidad de entrada o salida (IOU) (*input/output unit*)**

$$AIOU = \mu / (\mu + 4 \times 10^{-6})$$

$$AIOU = 99,9975\%.$$

**Sistema de ventilación (FS) (*Fan system*)**

Debido a la redundancia, se supone que la disponibilidad del sistema de ventilación es el 100%. Por lo tanto, la disponibilidad del sistema de comunicación:

$$\text{ACS} = 99,984\%$$

y

$$\text{MADTCS} = 84,1 \text{ min por año};$$

$$\text{MADTDN} = 26,3 \text{ min por año.}$$

El coste de penalización debido a paradas o indisponibilidades es:

$$\text{CYOU} = 30 \times (84,1 + 26,3) \times 25 = 82\,800 \text{ UM.}$$

**C.6.3.4 Costes totales de operación anual (CYO) (*Cost for annual operation*)**

Como ahora se conocen todos los componentes del CYO, el coste total anual de operación es:

$$\text{CYO} = 50\,000 + 60\,000 + 82\,800 = 192\,800 \text{ UM.}$$

**C.6.4 Coste por el mantenimiento anual (CYM) (*Cost for annual maintenance*)****C.6.4.1 Generalidades**

CYM incluye los costes de personal y los consumibles.

**C.6.4.2 Costes, mantenimiento preventivo (CYMP) (*Cost preventive maintenance*)**

De acuerdo con la figura C.3, se aplican los elementos de coste ( $R_6$ ;  $P_{1.1.3}$ ,  $P_{1.5.1}$ ) donde

$R_6$  es el coste de mantenimiento preventivo (véase tabla C.6);

$P_{1.1.3}$ ,  $P_{1.5.1}$  (véanse tablas C.3 y C.5).

Coste por cambios de baterías:

$$\text{CYMPBATT} = \text{coste de las baterías (CBATT)} + \text{coste de mantenimiento (MPH} \times \text{CPH}).$$

Las horas de personal de mantenimiento requeridas (MPH) por acción preventiva se supone que son:

$$10 \text{ h (2 personas} \times 5 \text{ h).}$$

De acuerdo con C.6.1, el intervalo para el cambio de baterías es de 4 años. Así que en los 15 años, tienen lugar 3 cambios de baterías. Coste por persona hora (CPH) = 15 UM.

De acuerdo a la tabla C.3, el coste por batería es 100 UM y hay 8 baterías en cada sistema de comunicación.

Así el coste medio anual, incluyendo todos los sistemas de comunicación, basado en una operación total de 15 años es:

$$\text{CYMPBATT} = 30 \times 3/15 \times [(8 \times 100) + (10 \times 15)] = 5\,700 \text{ UM.}$$

Coste por cambios de ventiladores:

$$\text{CYMPFAN} = \text{coste de los ventiladores (CFAN)} + \text{coste de mantenimiento (MPH} \times \text{CPH}).$$

Se supone que el número requerido de personas-hora de mantenimiento (MPH) por acción preventiva es igual a 20 h (2 personas  $\times$  10 h).

De acuerdo con C.6.1, el intervalo para cambios de ventiladores es 9 años. Así, durante 15 años tiene lugar un reemplazo. Coste por persona-hora (CPH) = 15 UM.

De acuerdo con la tabla C.5, el coste por ventilador es de 40 UM y hay cuatro ventiladores en cada sistema de comunicación.

De este modo, el coste medio anual, incluyendo todos los sistemas de comunicación, basado en un total de 15 años de operación es:

$$\text{CYMPFAN} = 30 \times 1/15 \times [(4 \times 40) + (20 \times 15)] = 920 \text{ UM.}$$

Dado que ahora se conocen los dos componentes de CYMP, el coste total anual por mantenimiento preventivo es:

$$\text{CYMP} = 5\,700 + 920 = 6\,620 \text{ UM.}$$

#### **C.6.4.3 Costes, mantenimiento correctivo (CYMC) (*Costs, corrective maintenance*)**

##### **Costes, mantenimiento correctivo en planta (CYMCS) (*Costs, corrective maintenance at site*)**

De acuerdo con la figura C.3, se aplican los elementos de coste ( $R_7$ ; y  $P_{1.1}$  a  $P_{1.5}$ ), donde

$R_7$  es el coste del mantenimiento correctivo en planta (véase tabla C.6);

$P_{1.1}$  a  $P_{1.5}$  (véase tabla C.2).

$$\text{CYMCS} = \text{NCMA} \times \text{MPH} \times \text{CPH} + \text{NCMA} \times \text{coste medio de los consumibles por acción de mantenimiento.}$$

NCMA (*Number of corrective maintenance actions*) es el número total de acciones de mantenimiento correctivo por año = 56 (véase C.6.2.4) Se requiere una persona por acción de mantenimiento correctivo en planta.

Se supone que el MPH para una acción de mantenimiento correctivo en planta es:

$$\text{MRT} + \text{MTD} + 2 \times \text{MAD} + 1 \text{ h} = 9,75 \text{ h.}$$

De acuerdo con C.6.1, el coste por hora de personal es igual a 15 UM. Se supone que el coste medio de los consumibles por acción de mantenimiento correctivo es 14 UM.

$$\text{CYMCS} = 56 \times 9,75 \times 15 + 56 \times 14 = 8\,974 \text{ UM.}$$

##### **Coste, mantenimiento correctivo en taller (CYMCW) (*Costs, corrective maintenance at workshop*)**

De acuerdo con la figura C.3, se aplican los elementos de coste ( $R_8$ ; y  $P_{1.1.2}$  a  $P_{1.5.2}$ ), donde

$R_8$  es el coste del mantenimiento correctivo en taller (véase tabla C.6);

$P_{1.1.2}$  a  $P_{1.5.2}$  (véanse tablas C.3 a C.5).

$$\text{CYMCW} = \text{NCMA} \times \text{MPH} \times \text{CPH} + \text{NCMA} \times \text{coste medio de los consumibles por reparación.}$$

Se supone que el MPH medio por reparación es 3 h.

Se supone que el MPH por acción de mantenimiento correctivo en taller es 3 h.

El coste medio de los consumibles, por reparación, se supone que es de 18 UM.

De acuerdo con el apartado C.6.1, el coste por hora de personal es 15 UM.

$$\text{CYMCW} = 56 \times 3 \times 15 + 56 \times 18 = 3\,528 \text{ UM.}$$

Dado que ya se conocen todos los componentes de CYMC, el coste anual total del mantenimiento correctivo es:

$$\text{CYMC} = 8\,974 + 3\,528 = 12\,502 \text{ UM.}$$

#### C.6.4.4 Resumen

Dado que ya se conocen todos los componentes de CYM, el coste total del mantenimiento anual es:

$$\text{CYM} = \text{CYMP} + \text{CYMC} = 6\,620 + 12\,502 = 19\,122 \text{ UM.}$$

#### C.6.5 Coste Total de la Operación y Mantenimiento en 15 Años (COM)

Coste total de las inversiones (CI) = CIM = 58 630 UM.

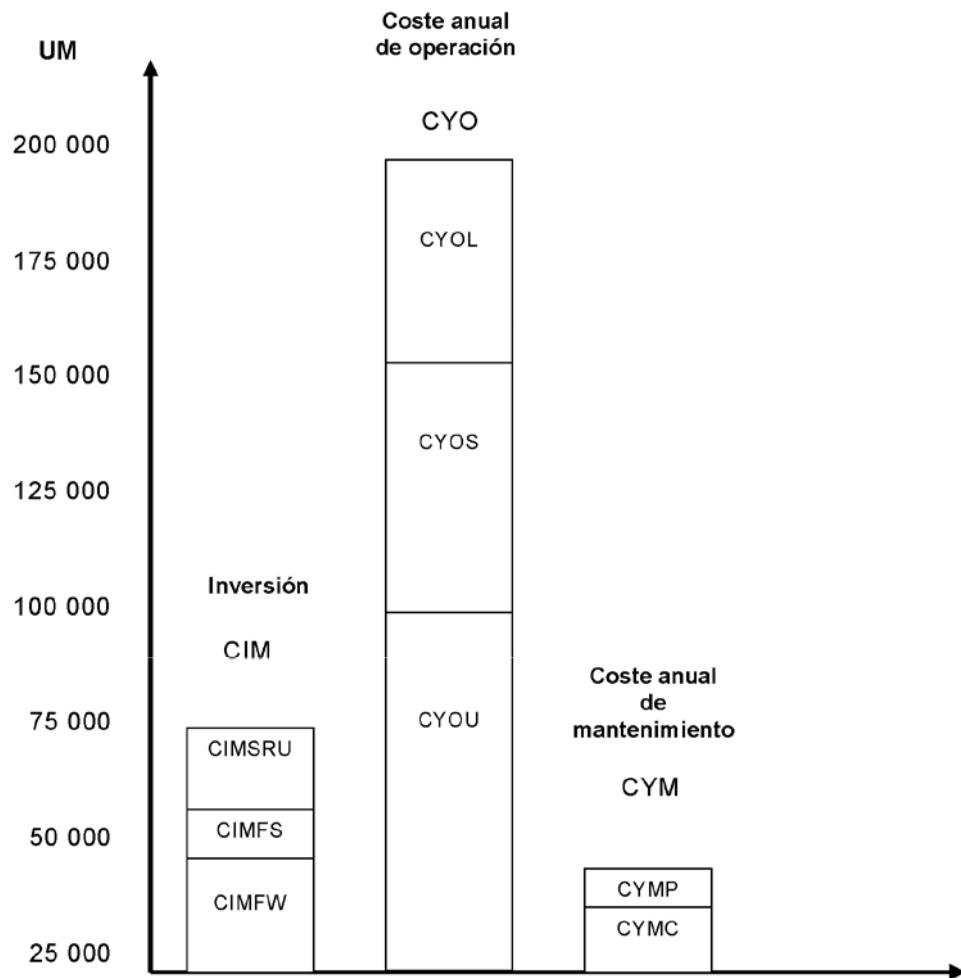
Coste total de la operación (CO) =  $15 \times \text{CYO} = 15 \times 192\,800 = 2\,892\,000$  UM.

Coste total del mantenimiento (CM) =  $15 \times \text{CYM} = 15 \times 19\,122 = 286\,830$  UM.

Coste total de la Operación y Mantenimiento en 15 años (COM) = CI + CO + CM = 3 237 460 UM.

#### C.6.6 Presentación de los costes no actualizados relacionados con la estructura de descomposición de costes

En la figura C.4 se muestra una comparación entre los costes de inversión, los costes anuales de operación y los costes anuales de mantenimiento.



**Figura C.4 – Comparación entre los costes de inversión, operación y mantenimiento anual**

### C.7 Ejemplos de posibles mejoras para reducir el LCC

#### C.7.1 Fiabilidad del almacenamiento de datos

La instalación de un almacenamiento de datos más fiable permite reducir un 50% la intensidad de los fallos del módulo DS. Se supone que el coste de compra del nuevo DS será de 1 000 UM en lugar de 800 UM. La mejora en la fiabilidad reducirá los repuestos de unidades reemplazables requeridos ( $RU_5$ ) a cuatro en lugar de los seis que se muestran en la tabla C.7.

De este modo la inversión inicial se incrementa en  $30 \times 4 \times 200 = 24\,000$  UM.

$$\text{CIMSRU} \text{ será } 23\,630 - 4\,800 + 4 \times 1\,000 = 22\,830 \text{ UM.}$$

Se desprecia el efecto en el tiempo medio de espera (MWT) (*Mean waiting time*).

El número de acciones de mantenimiento correctivo se reducirá de 56 a 44. Esto reducirá CYMCS a 7 051 UM y CYMCW a 2 772 UM.

Sin embargo, el principal ahorro por esta inversión se producirá en el área de los costes por indisponibilidad del producto (CYOU), dado que se incrementaría la disponibilidad del procesador principal. Se estima que el AMP pasará a ser 99,998% en lugar de 99,995%. Esto proporciona una disponibilidad global del sistema ACS de 99,987%, que supone un tiempo acumulado de caída del sistema de comunicaciones de 68,3 min al año, y un coste de penalización por parada en la producción o indisponibilidad (CYOU) de 70 950 UM anuales.

### C.7.2 Consola de visualización

La inversión en una consola de visualización adicional para el sistema de comunicaciones, permite alcanzar una redundancia dos de tres, lo que da un ADC = 0,999999997 para esta configuración.

El ACS se incrementará hasta  $(0,99984 \times 0,999999997) / (0,999968)^2 = 0,9999$ .

Esto reducirá el MADTCS de 84,1 a 52,6 min por año, lo que permite reducir los costes por indisponibilidad del producto (CYOU) en:

$$30 \times (84,1 - 52,6) \times 25 = 23\,625 \text{ UM por año.}$$

La inversión inicial en consolas de visualización se incrementa en  $30 \times 900 = 27\,000 \text{ CU}$ .

El número requerido de repuestos RU7 (DC) seguirá siendo de 2.

El número de acciones de mantenimiento correctivo anuales se incrementará a:

$$30 \times 5 \times 1 \times 10^{-6} \times 8\,760 = 1,3 \text{ acciones anuales, que supone un } 2,3\%.$$

Así, el CYMCS =  $1,023 \times 8\,974 = 9\,180 \text{ UM}$  y CYMCW =  $1,023 \times 3\,528 = 3\,609 \text{ UM}$ .

### C.7.3 Red de transporte de datos

Introducir redundancia en la red de transporte de datos proporcionará una mejora en la disponibilidad de los enlaces. Sin embargo, el coste por el alquiler (CYOL) se incrementará, por ejemplo un 25%. De este modo, el CYOL será  $1,25 \times 50\,000 = 62\,500 \text{ UM anuales}$ .

Se supone que ADTN será entonces 99,9994 y el MADTDTN será 3,15 min al año.

Los costes por indisponibilidad (CYOU) se *reducirán* en:

$$30 \times (26,3 - 3,15) \times 25 = 17\,363 \text{ UM anuales.}$$

### C.7.4 Actualización del Software

La actualización remota del software reducirá el coste de actualización por sistema de comunicaciones de 3 000 UM a 300 UM. De este modo, los costes de actualización del software se *reducirán* en:

$$30 \times (3\,000 - 300) \times 10 / 15 = 54\,000 \text{ UM anuales.}$$

Se supone que la inversión en nuevas instalaciones para la actualización remota será de 1 500 UM por sistema de comunicación y de 100 000 UM en el equipo central de datos. De este modo, la inversión inicial se *incrementaría* en:

$$(30 \times 1\,500) + 100\,000 = 145\,000 \text{ UM.}$$

#### C.8 Generación de Ingresos a utilizar en los análisis del flujo de caja actualizado

Los ingresos por la utilización de la red de comunicación de datos se estima que serán:

- 600 000 UM /año del año 5 al 11;
  - 75 000 UM /año para los años 1 y 15;
  - 225 000 UM /año para los años 2 y 14;
  - 375 000 UM /año para los años 3 y 13;
  - 525 000 UM /año para los años 4 y 12.

### C.9 Ejemplo ilustrativo del análisis del flujo de caja

### C.9.1 Generalidades

Para analizar los flujos de caja asociados a las distintas opciones de LCC, es necesario recalcular los costes en este ejemplo. Esto es necesario para que los gastos e ingresos por año puedan ser determinados, y se puedan mostrar las técnicas de flujo de caja actualizado.

En este ejemplo, el primer año de operación se identificará como año 0. En otras aplicaciones se pueden encontrar y aplicar otras consideraciones.

Se supone que el valor residual será cero al final de la fase de operación y mantenimiento.

### C.9.2 Coste de los repuestos de unidades reemplazables

CIMSRU (véase C.6.2.2).

Como parte de los costes de inversión para mantenimiento, CIMSRU se gasta antes del comienzo de la fase de operación y mantenimiento. Por ello, se supone que se gasta al comienzo del año 0.

### C.9.3 Coste de las instalaciones para mantenimiento en planta

CIMFS (véase C.6.2.4).

Al igual que con CIMSRU, se supone que CIMFS se gasta al comienzo del año 0.

#### C.9.4 Coste de las instalaciones para mantenimiento en taller

CIMFW (véase C.6.2.5).

Al igual que con CIMSRU, se asume que CIMFW se gasta al comienzo del año 0.

**C.9.5 Coste del alquiler de la red de transporte de datos**

CYOL (véase C.6.3.1).

En C.6.3.1, los costes anuales están calculados en 50 000 UM.

Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
UM(000)	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0

**C.9.6 Coste de las actualizaciones del software**

CYOS (véase C.6.3.2).

Las actualizaciones del software cuestan 3 000 UM por sistema =  $3\ 000\text{ UM} \times 30 = 90\ 000\text{ UM}$ .

Las actualizaciones se llevarán a cabo los años 1, 3, 4, 6, 7, 9, 10, 12, 13 y 15.

Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
UM(000)		90		90	90		90	90		90	90		90	90		90

**C.9.7 Coste de las penalizaciones por indisponibilidad o parada del producto**

CYUO (véase C.6.3.3).

El coste de las penalizaciones por estar el sistema no disponible es de 82 800 UM por año de operación.

Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
UM(000)	82,8	82,8	82,8	82,8	82,8	82,8	82,8	82,8	82,8	82,8	82,8	82,8	82,8	82,8	82,8	82,8

**C.9.8 Coste de las baterías**

CYMPBATT (véase C.6.4.2).

Se requiere la sustitución por mantenimiento preventivo de las baterías, cada cuatro años. El coste de una batería es de 100 UM y hay ocho baterías por sistema y 30 sistemas. Los costes de personal son de 150 UM por sistema (10 h a 15 UM/h).

Por tanto, el coste de las baterías es  $(100 \times 8 \times 30) \text{ UM} = 24\ 000 \text{ UM}$  por reemplazo.

Por tanto, los costes laborales son  $(30 \times 150) \text{ UM} = 4\ 500 \text{ UM}$  por reemplazo.

Por tanto, los costes totales de reemplazo son  $(24\ 000 + 4\ 500) \text{ UM} = 28\ 500 \text{ UM}$ .

Se requerirán las sustituciones los años 4, 8 y 12.

Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
UM(000)					28,5				28,5				28,5			

**C.9.9 Coste de los ventiladores**

CYMPFAN (véase C.6.4.2).

Se requiere la sustitución de los ventiladores cada nueve años, con un coste de 40 UM por ventilador y hay cuatro ventiladores por sistema. Los costes de personal son de 300 UM (20 h a 15 UM/h).

Por tanto, el coste de los ventiladores es  $(30 \times 40 \times 4)$  UM = 4 800 UM por reemplazo.

Por tanto, los costes laborales son  $(30 \times 300)$  UM = 9 000 UM por reemplazo.

Por tanto, los costes totales de reemplazo son  $(4\,800 + 9\,000)$  UM = 13 800 UM.

La sustitución se necesitará en el año 9.

Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
UM(000)										13,8						

### C.9.10 Coste del mantenimiento correctivo en planta

CYMCs (véase C.6.4.3).

Como la población y la utilización de los sistemas es constante a lo largo de la fase de operación y mantenimiento, los costes de mantenimiento correctivo en planta se supone que serán constantes. El coste anual es por tanto, el siguiente:

Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
UM(000)	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	

### C.9.11 Coste del mantenimiento correctivo en taller

CYMCW (véase C.6.4.3).

Como la población y la utilización de los sistemas es constante a lo largo de la fase de operación y mantenimiento, los costes de mantenimiento correctivo en taller se supone que serán constantes. El coste anual es por tanto, el siguiente:

Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
UM(000)	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	

## C.10 Resultados del coste de ciclo de vida

### C.10.1 Beneficios del descuento

En las figuras C.5, C.6 y C.7, se pueden ver las ventajas de aplicar técnicas de flujo de caja descontado (DCF) para obtener el valor neto actualizado de los flujos de caja futuros.

La reducción en los presupuestos de LCC se obtiene considerando los ingresos que se generan al invertir los flujos de costes futuros hasta que se necesiten.

### C.10.2 Compromisos entre alternativas de diseño

Una ventaja adicional de aplicar DCF es determinar los beneficios (o penalizaciones) de los análisis entre alternativas de diseño. Se observará que el almacén de datos en el procesador principal contribuye con aproximadamente del 41% de todas las acciones de mantenimiento requeridas en NCMA.

Si este almacenamiento de datos pudiese ser más fiable, por ejemplo reduciendo de 22 fallos por millón de horas (fpmh) a 15 fpmh, con un incremento del coste de la inversión de por ejemplo, 20 000 UM, entonces este coste de la inversión podría distribuirse sobre todos los sistemas ( $30 \times 4 = 120$ ) más los repuestos. La mejora en la fiabilidad reducirá los repuestos requeridos a 4, llevando la población a 124 unidades. El coste por unidad será entonces de:

$$(20\ 000/124 + 800) \text{ UM} = 961 \text{ UM}.$$

Esto reducirá, de hecho, el coste a 3 844 UM para RU<sub>5</sub>(DS) y también reducirá CIMSRU a 22 674 UM.

El principal ahorro de esta inversión, no obstante, aparecerá en el área del coste de indisponibilidad del producto (CYOU), pues se podría incrementar la disponibilidad del procesador principal de 99,995% a 99,997%. Esto supone una disponibilidad global ACS de 99,9861%, que supone una caída de los sistemas de comunicaciones de 73 min al año y unos costes de indisponibilidad (CYOU) de 77 475 UM al año.

Estos cambios se resumen en la figura C.7. Hay un ahorro de costes “durante la vida” en los términos no descontados de UM 000s ( $3\ 237,5 - 3\ 156,7 = 80\ 800 \text{ UM}$  (2,49%) y un ahorro actualizado de UM 000s ( $2\ 332,8 - 2\ 273,8 = 59\ 000 \text{ UM}$  (2,53%).

Estos ahorros se consiguen con una inversión adicional del 0,006% en los costes sin actualizar.

Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
CIMSRU	23,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CIMFS	5,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CIMFW	30,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CYOL	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
CYOS	0,00	90,00	0,00	90,00	0,00	90,00	0,00	90,00	0,00	90,00	0,00	90,00	0,00	90,00	0,00	90,00
CYUO	82,80	82,80	82,80	82,80	82,80	82,80	82,80	82,80	82,80	82,80	82,80	82,80	82,80	82,80	82,80	82,80
CYMPBAT	0,00	0,00	28,50	0,00	0,00	28,50	0,00	28,50	0,00	28,50	0,00	28,50	0,00	28,50	0,00	28,50
CYMPFAN	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CYMCS	8,97	8,97	8,97	8,97	8,97	8,97	8,97	8,97	8,97	8,97	8,97	8,97	8,97	8,97	8,97	8,97
CYMCW	3,53	3,53	3,53	3,53	3,53	3,53	3,53	3,53	3,53	3,53	3,53	3,53	3,53	3,53	3,53	3,53
Total p.a.	203,93	235,30	145,30	235,30	263,80	145,30	235,30	235,30	173,80	249,12	235,30	145,30	263,80	235,30	145,30	90,00
NPV factor	1,00	0,91	0,83	0,75	0,68	0,62	0,56	0,51	0,47	0,42	0,39	0,35	0,32	0,29	0,26	0,24
NPV	203,93	213,91	120,08	176,79	180,18	90,22	132,82	120,75	81,08	105,65	90,72	50,93	84,06	68,16	38,26	21,55

Tasa de descuento	10,00 %	Suma del flujo de caja	3 237,5	Suma de NPV	1 779,1

Figura C.5 – Valor actual neto (tasa de descuento del 10%)

La figura C.5 muestra que el valor actual neto es el resultado de actualizar los flujos de caja futuros, invirtiendo la suma por año hasta que sean necesarios y reduciendo a continuación la suma por el retorno de la inversión. Invirtiendo el capital hasta que se requiera se logra un ahorro en las fases de operación y mantenimiento de  $(3 237,5 - 1 779,1)$  UM = 1 548,4 UM. Si fuera posible un retorno de sólo el 5%, entonces el ahorro sería solo de  $(3 237,5 - 2 332,8)$  UM = 914,7 UM como se muestra en la figura C.6.

Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
CIMSRU	23,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CIMFS	5,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CIMFW	30,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CYOL	50,00	0,00	90,00	90,00	90,00	90,00	90,00	90,00	90,00	90,00	90,00	90,00	90,00	90,00	90,00	90,00
CYOS	0,00	90,00	0,00	90,00	90,00	90,00	90,00	90,00	90,00	90,00	90,00	90,00	90,00	90,00	90,00	90,00
CYUO	82,80	82,80	82,80	82,80	82,80	82,80	82,80	82,80	82,80	82,80	82,80	82,80	82,80	82,80	82,80	82,80
CYMPBAT	0,00	0,00	28,50	0,00	0,00	0,00	28,50	0,00	0,00	0,00	0,00	28,50	0,00	0,00	0,00	0,00
CYMFAN	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CYMCMS	8,97	8,97	8,97	8,97	8,97	8,97	8,97	8,97	8,97	8,97	8,97	8,97	8,97	8,97	8,97	8,97
CYMCW	3,53	3,53	3,53	3,53	3,53	3,53	3,53	3,53	3,53	3,53	3,53	3,53	3,53	3,53	3,53	3,53
Total	203,93	235,30	145,30	235,30	263,80	145,30	235,30	235,30	173,80	249,12	235,30	145,30	263,80	235,30	145,30	90,00
NPV factor	1,00	0,95	0,91	0,86	0,82	0,78	0,75	0,71	0,68	0,64	0,61	0,58	0,56	0,53	0,51	0,48

Tasa de descuento	5,00 %	Suma del flujo de caja	3 237,5	Suma de NPV	2 332,8
-------------------	--------	------------------------	---------	-------------	---------

Figura C.6 – Valor actual neto (tasa de descuento del 5%)

	Suma del flujo de caja UM 000's															Suma de NPV U\$M 000's	2 273,8
Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
CIMSRU	22,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
CIMIFS	5,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
CIMFW	30,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
CYOL	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	
CYOS	0,00	90,00	90,00	90,00	90,00	90,00	90,00	90,00	90,00	90,00	90,00	90,00	90,00	90,00	90,00	90,00	
CYUO	77,48	77,48	77,48	77,48	77,48	77,48	77,48	77,48	77,48	77,48	77,48	77,48	77,48	77,48	77,48	77,48	
CYMPBAT	0,00	0,00	0,00	0,00	28,50	0,00	0,00	28,50	0,00	0,00	28,50	0,00	28,50	0,00	0,00	0,00	
CYMPFAN	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
CYMCIS	8,97	8,97	8,97	8,97	8,97	8,97	8,97	8,97	8,97	8,97	8,97	8,97	8,97	8,97	8,97	8,97	
CYMCW	3,53	3,53	3,53	3,53	3,53	3,53	3,53	3,53	3,53	3,53	3,53	3,53	3,53	3,53	3,53	3,53	
Total p.a.	197,65	229,98	139,98	229,98	258,48	139,98	229,98	168,48	243,80	229,98	139,98	258,48	229,98	139,98	90,00	90,00	
NPV factor	1,00	0,95	0,91	0,86	0,82	0,78	0,75	0,71	0,68	0,64	0,61	0,58	0,56	0,53	0,51	0,48	
NPV	197,65	219,03	126,97	198,67	212,65	109,68	171,62	163,44	114,04	157,16	141,19	81,84	143,93	121,96	70,70	43,29	

Figura C.7 - NPV con fiabilidad mejorada del repositorio de datos (tasa de descuento del 5%)

**ANEXO D (Informativo)****EJEMPLOS DE DESARROLLO DE MODELOS LCC****D.1 Generalidades**

Este anexo presenta ejemplos simplificados de desarrollo de modelos de coste de ciclo de vida y muestra posibles formas de identificación de los elementos de coste. Los ejemplos no son completos y sólo pretenden dar una idea de los distintos métodos de modelado disponibles.

En el capítulo D.2 se muestra un modelo LCC basado en las seis principales etapas del ciclo de vida. El LCC se calcula agregando los distintos costes de cada etapa del ciclo de vida.

El ejemplo del capítulo D.3 muestra un modelo LCC en el que el LCC en el primer nivel se divide en costes de adquisición y de propiedad.

**D.2 Modelo LCC basado en costes para las fases del ciclo de vida**

NOTA El modelo de este ejemplo se ha desarrollado agregando los costes de un producto nuevo para las distintas fases del ciclo de vida.

**D.2.1 Primer nivel de desglose**

El coste de ciclo de vida se obtiene de:

$$\text{LCC} = C_{CD} + C_{DD} + C_M + C_I + C_{OM} + C_D$$

donde

$C_{CD}$  es el coste del ciclo de vida;

$C_{DD}$  es el coste de la fase de concepción y definición;

$C_M$  es el coste de la fase de diseño y desarrollo;

$C_I$  es el coste de la fase de fabricación;

$C_{OM}$  es el coste de la fase de instalación;

$C_{OM}$  es el coste de la fase de operación y mantenimiento;

$C_D$  es el coste de la fase de eliminación.

**D.2.2 Segundo nivel de desglose****D.2.2.1 Concepción y definición ( $C_{CD}$ )**

El coste de la fase de concepto y definición,  $C_{CD}$  se obtiene de:

$$C_{CD} = C_{CDR} + C_{CDM} + C_{CDA} + C_{CDS}$$

donde

$C_{CDR}$  es el coste de la investigación del mercado;

- $C_{\text{CDM}}$  es el coste de la gestión del proyecto;  
 $C_{\text{CDA}}$  es el coste de la concepción y del análisis del diseño del sistema;  
 $C_{\text{CDS}}$  es el coste de la especificación de requisitos.

#### D.2.2.2 Fase de diseño y desarrollo ( $C_{\text{DD}}$ )

El coste de la etapa de diseño y desarrollo,  $C_{\text{DD}}$  se obtiene de:

$$C_{\text{DD}} = C_{\text{DDM}} + C_{\text{DDE}} + C_{\text{DDD}} + C_{\text{DDT}} + C_{\text{DDS}} + C_{\text{DDP}} + C_{\text{DDV}} + C_{\text{DDQ}} + C_{\text{DDR}} + C_{\text{DDI}} + C_{\text{DDL}}$$

donde

- $C_{\text{DDM}}$  es el coste de la gestión del proyecto;  
 $C_{\text{DDE}}$  es el coste de la ingeniería de diseño;  
 $C_{\text{DDD}}$  es el coste de la documentación de diseño;  
 $C_{\text{DDT}}$  es el coste de las pruebas, evaluación y validación;  
 $C_{\text{DDS}}$  es el coste del desarrollo de software;  
 $C_{\text{DDP}}$  es el coste de la ingeniería y planificación de la producción;  
 $C_{\text{DDV}}$  es el coste de selección de proveedores;  
 $C_{\text{DDQ}}$  es el coste de la gestión de calidad;  
 $C_{\text{DDR}}$  es el coste del análisis de riesgos;  
 $C_{\text{DDI}}$  es el coste del análisis de impacto ambiental;  
 $C_{\text{DDL}}$  es el coste de desarrollo logístico.

#### D.2.2.3 Fase de fabricación ( $C_{\text{M}}$ )

El coste de la fase de fabricación,  $C_{\text{M}}$  se obtiene de:

$$C_{\text{M}} = C_{\text{MN}} + C_{\text{MR}}$$

donde

- $C_{\text{MN}}$  es el coste de fabricación, no recurrente;  
 $C_{\text{MR}}$  es el coste de fabricación, recurrente.

#### D.2.2.4 Fase de instalación ( $C_{\text{I}}$ )

El coste de la fase de instalación,  $C_{\text{I}}$  se obtiene de:

$$C_{\text{I}} = C_{\text{IN}} + C_{\text{IR}}$$

donde

- $C_{\text{IN}}$  es el coste de instalación, no recurrente;  
 $C_{\text{IR}}$  es el coste de instalación, recurrente.

### **D.2.2.5 Fase de operación y mantenimiento ( $C_{OM}$ )**

El coste de la fase de operación y mantenimiento,  $C_{OM}$  se obtiene de:

$$C_{OM} = C_{OMO} + C_{OMC} + C_{OMP} + C_{OMV}$$

donde

$C_{OMO}$  es el coste de operación;

$C_{OMC}$  es el coste del mantenimiento correctivo;

$C_{OMP}$  es el coste del mantenimiento preventivo;

$C_{OMV}$  es el coste de las actualizaciones.

NOTA Las actualizaciones pueden suponer incurrir en costes de inversión significativos.

Para el cálculo de  $C_{OMO}$  y  $C_{OMC}$  véase D.2.3.1.

### **D.2.2.6 Fase de eliminación ( $C_D$ )**

El coste de la fase de eliminación,  $C_D$  se obtiene de:

$$C_D = C_{DS} + C_{DD} + C_{DR}$$

donde

$C_{DS}$  es el coste de parada del sistema;

$C_{DD}$  es el coste de desmontaje y retirada;

$C_{DR}$  es el coste de reciclado y eliminación segura.

## **D.2.3 Tercer nivel de desglose**

NOTA Como ejemplo del tercer nivel de desglose se muestran los costes para la fase de operación y mantenimiento.

### **D.2.3.1 Fase de operación y mantenimiento**

#### **D.2.3.1.1 Coste de operación**

El coste de operación,  $C_{OMO}$  se obtiene de:

$$C_{OMO} = C_{OMOL} + C_{OMOM} + C_{OMOP} + \dots$$

donde

$C_{OMOL}$  es el coste de personal;

$C_{OMOM}$  es el coste de materiales y consumibles;:

$C_{OMOP}$  es el coste de alimentación, etc.

#### D.2.3.1.2 Coste del mantenimiento correctivo

El coste del mantenimiento correctivo,  $C_{OMC}$  se obtiene de:

$$C_{OMC} = C_{OMCL} + C_{OMCF} + C_{OMCC} + C_{OMCS}$$

donde

$C_{OMCL}$  es el coste de personal;

$C_{OMCF}$  es el coste de las instalaciones;

$C_{OMCC}$  es el coste de los servicios del contratista;

$C_{OMCS}$  es el coste del Mantenimiento Software, etc.

Se podrían añadir en este apartado los costes de las piezas de repuesto, costes de expedición y perdidas de función. Incluso se podrían considerar elementos de crédito para las devoluciones.

### D.3 Modelo LCC basado en costes de adquisición y de propiedad

#### D.3.1 Generalidades

En este ejemplo se contempla a un subconjunto de componentes del coste del ciclo de vida.

Debería tenerse en cuenta que el modelo no está completo, sólo se trata de un ejemplo ilustrativo de cómo se puede estructurar un modelo LCC y cómo se pueden calcular los costes asociados a algunos de los diferentes elementos de coste. Para algún componente, se presenta la estructura de descomposición de costes es desglosada por debajo del nivel inferior deseable y en otros casos, sólo se indica la intención.

Si se quiere comparar todos los costes a la misma fecha de referencia, se puede utilizar el método del valor actualizado.

Téngase en cuenta que esto es un ejemplo y que ciertos elementos del coste pueden no ser necesarios y mientras que otros podrían tener que añadirse.

#### D.3.2 Estructura Jerárquica

La estructura jerárquica se muestra en la figura D.1.

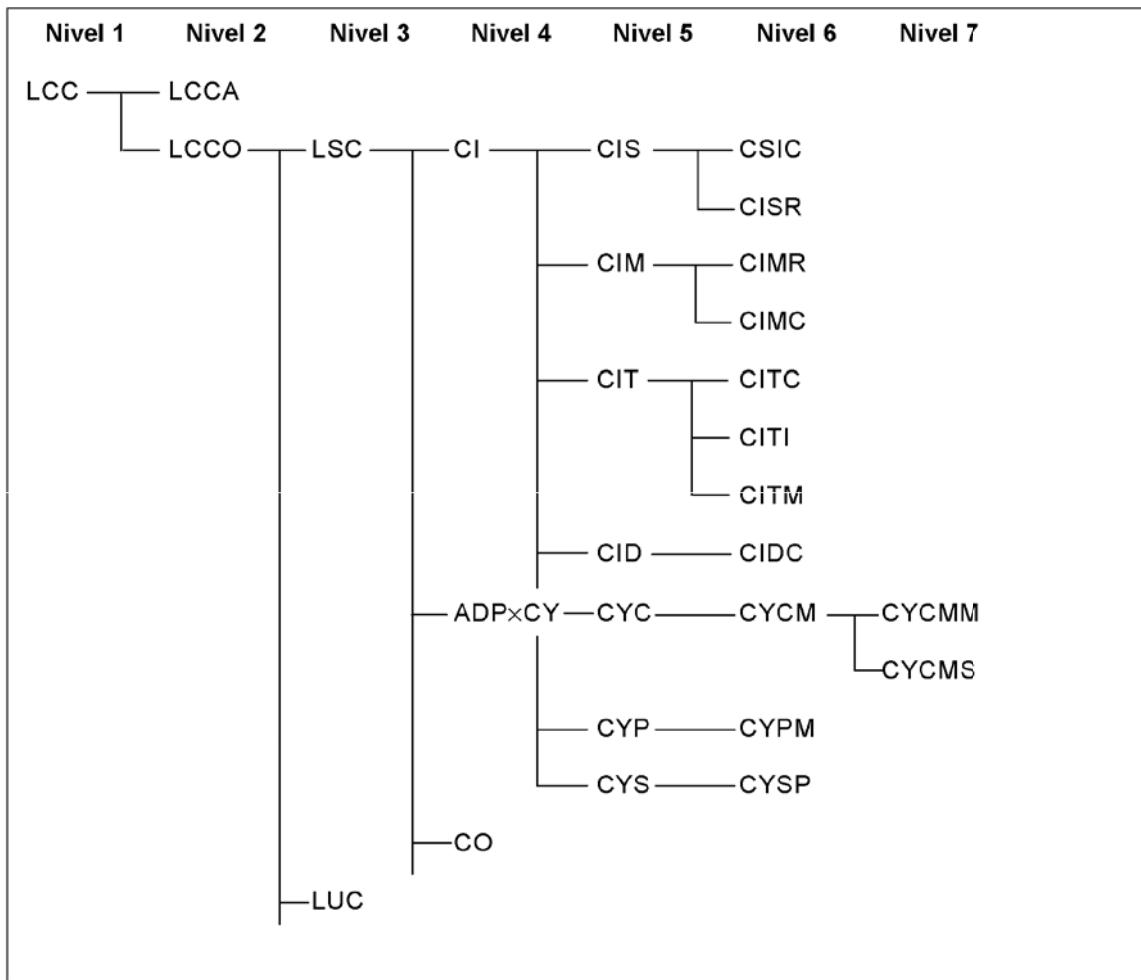


Figura D.1 – Estructura jerárquica

### D.3.3 Elementos de coste – Niveles 1 a 7

#### D.3.3.1 Costes de nivel 1

El coste del ciclo de vida, LCC, se obtiene de:

$$LCC = LCCA + LCCO$$

donde

LCC es el coste del ciclo de vida tal y como se ha definido para este modelo;

LCCA es el coste de adquisición (excluyendo la inversión en recursos para el soporte de la operación y mantenimiento);

LCCO es el coste de propiedad.

**D.3.3.2 Costes de nivel 2****D.3.3.2.1 Coste del ciclo de vida, adquisición, LCCA**

LCCA es el coste de adquisición, donde se ha excluido la inversión en recursos para el soporte de la operación y mantenimiento.

**D.3.3.2.2 Coste del ciclo de vida, propiedad, LCCO**

$$\text{LCCO} = \text{LSC} + \text{LCU}$$

donde

LCS es el coste del soporte durante la vida del producto;

LCU es el coste por indisponibilidad durante la vida del producto.

**D.3.3.3 Costes de nivel 3****D.3.3.3.1 Coste de soporte durante la vida, LCS**

$$\text{LSC} = \text{CI} + (\text{ADP} \times \text{CY}) + \text{CO}$$

donde

LSC es el coste de soporte durante la vida del producto;

CI es el coste de la inversión en recursos de soporte al mantenimiento;

CY es el coste anual del mantenimiento;

ADP es un factor de aplicación que tiene en cuenta el número de años y los tipos de interés a utilizar;

CO es el coste de la operación.

**D.3.3.4 Costes de nivel 4 (ejemplos)****D.3.3.4.1 Coste de inversión**

El coste de la inversión en recursos de mantenimiento, CI, se obtiene de:

$$\text{CI} = \text{CIS} + \text{CIM} + \text{CIT} + \text{CID}$$

donde

CIS es el coste de la inversión en repuestos;

CIM es el coste de la inversión en equipos, instrumentos y herramientas de mantenimiento;

CIT es el coste de la inversión en formación;

CID es el coste de la inversión en documentación.

**D.3.3.4.2 Coste de operación**

Los costes de operación se pueden calcular utilizando los siguientes componentes del coste, cuando se apliquen:

- coste del consumo de energía;

- coste horario del personal;
- coste de los materiales utilizados;
- etc.

Para los costes que se pueden considerar constantes a lo largo de la vida útil, se puede multiplicar el coste anual por una tasa de descuento  $f$  para obtener el coste durante toda la vida útil, siendo:

$$f = \frac{1}{(1+r)^{t_1-t_0}} \sum_{t=1}^m \frac{1}{(1+r)^t}$$

donde

- $t_0$  es el año de referencia para la evaluación;
- $t_1$  es el año de comienzo de la operación;
- $m$  es el número de años en operación;
- $r$  es la tasa de descuento utilizada en la evaluación.

#### D.3.3.5 Costes de nivel 5 (ejemplos)

El coste de la inversión en equipos de mantenimiento, CIM, se obtiene de:

$$\text{CIM} = (\text{NC} \times \text{CIMC}) + (\text{NR} \times \text{CIMR})$$

donde

- CIMC es el coste de la inversión en equipos de mantenimiento para un taller central;
- CIMR es el coste de la inversión en equipos de mantenimiento para un taller local;
- NC es el número de talleres centrales;
- NR es el número de talleres locales.

#### D.3.3.6 Costes de nivel 6 (ejemplos)

##### D.3.3.6.1 Elementos de coste de nivel 6

- CISC es el coste de la inversión en equipos reparables a nivel central;
- CISR es el coste de la inversión en equipos reparables a nivel local;
- CIMR es el coste de la inversión en equipos de mantenimiento para todos los talleres locales;
- CIMC es el coste de la inversión en equipos de mantenimiento, herramientas, equipos de elevación, etc. para el taller central;
- CITC es el coste de la inversión en formación a nivel central;
- CITI es el coste de la inversión en instrucciones;

- CITM es el coste de la inversión en material de formación;
- CIDC es el coste de la inversión en documentación;
- CYCM es el coste anual del mantenimiento correctivo;
- CYPM es el coste anual del mantenimiento preventivo;
- CYSP es el coste anual por la utilización de piezas de repuesto.

#### **D.3.3.6.2 Coste de las inversiones**

El coste de la inversión en equipos de mantenimiento, etc. para un taller central, CIMC, se obtiene de:

$$\text{CIMC} = \text{APV} \times \sum_{J1=1}^M \text{NMC}(J1) \times \text{CSMC}(J1)$$

donde

- APV es el factor de aplicación por la posible existencia de cláusulas de revisión de los precios relacionadas con los contratistas y las inversiones;
- M* es el número de tipos de ayudas al mantenimiento necesarios en el taller central;
- NMC(*J1*) es el número de ayudas al mantenimiento del tipo *J1* en el taller central;
- CSMC(*J1*) es el coste unitario de una ayuda al mantenimiento del tipo *J1*.

#### **D.3.3.6.3 Coste anual, mantenimiento correctivo, CYCM**

$$\text{CYCM} = \text{CYCMM} + \text{CYCMS}$$

donde

- CYCMM es el coste persona-hora medio anual del personal en mantenimiento correctivo;
- CYCMS es el coste por el consumo de piezas de repuesto.

Para calcular CYCMM se puede utilizar la siguiente fórmula:

$$\text{CYCMM} = \lambda_T \times 8\,760 \times \text{MRT} \times P \times M$$

donde

- CYCMM es el coste medio anual del personal de mantenimiento correctivo;
- $\lambda_T$  es la tasa de fallos total expresada en fallos por hora. Aquí estarán incluidos todos los fallos;
- 8 760 es el número de horas por año;
- MRT es el tiempo medio de reparación, el tiempo en horas que lleva devolver a condiciones operativas un elemento que ha fallado;
- P* es el número de personas necesario para realizar el trabajo;
- M* es el coste horario por persona.

Los costes medios anuales pueden actualizarse como se muestra a continuación:

Una vez establecido al año de referencia para el análisis, se actualizan todos los costes a este año de referencia para tener en cuenta el valor del dinero con el paso del tiempo. Para ello, se aplicará la siguiente fórmula:

$$\sum_{t=0}^n \frac{S_t}{(1+k)^t}$$

donde

- $S_t$  es el coste neto en el año  $t$ . Se podría suponer que es igual para todos los años, o bien que es variable de acuerdo con la producción o podría tener otro patrón de variación a lo largo de su vida útil;
- $n$  es la vida útil del equipo/función a evaluar. Cuando la vida útil requerida del equipo es mayor que la vida útil esperada, se utilizará la requerida;
- $k$  es la tasa de descuento (tipo de interés) que se utiliza en la evaluación.

$$\text{CYCMS} = \lambda_T \times 8\,760 \times \text{coste medio de los repuestos}$$

donde

- $\lambda_T$  es la tasa de fallos expresada en fallos por hora. Aquí estarán incluidos todos los fallos;
- 8 760 es el número de horas por año.

**ANEXO E (Informativo)****EJEMPLO DE ESTRUCTURA DE DESCOMPOSICIÓN DE UN PRODUCTO Y  
RESUMEN DE LCC PARA UN VEHÍCULO FERROVIARIO**

Los operadores de ferrocarril de todo el mundo están incrementando la aplicación del coste de ciclo de vida para ayudarles en la elección entre distintas ofertas para el suministro de material rodante y equipos para instalaciones fijas. El ejemplo muestra una estructura de descomposición de un producto (PBS) para un vehículo ferroviario que se utiliza como referencia para un modelo LCC para la adquisición de una flota de múltiples unidades.

Para cada componente del vehículo especificado dentro del PBS genérico (véase figura E.1), el suministrador proporciona los datos para un análisis LCC (por categoría de coste) para sus equipos, en un formato de hoja de cálculo, para su introducción en el modelo LCC. El modelo LCC contiene detalles de la flota, unidades múltiples y equipos utilizados en cada vehículo de la unidad múltiple. También contiene los coeficientes de costes laborales e indirectos y los consumos de energía así como los costes específicos del territorio donde se va a operar y mantener los vehículos.

El modelo LCC está diseñado para generar varios informes con distintos objetivos. La tabla E.1 es un resumen a alto nivel que muestra cómo se distribuyen los costes por PBS y las distintas categorías de coste.

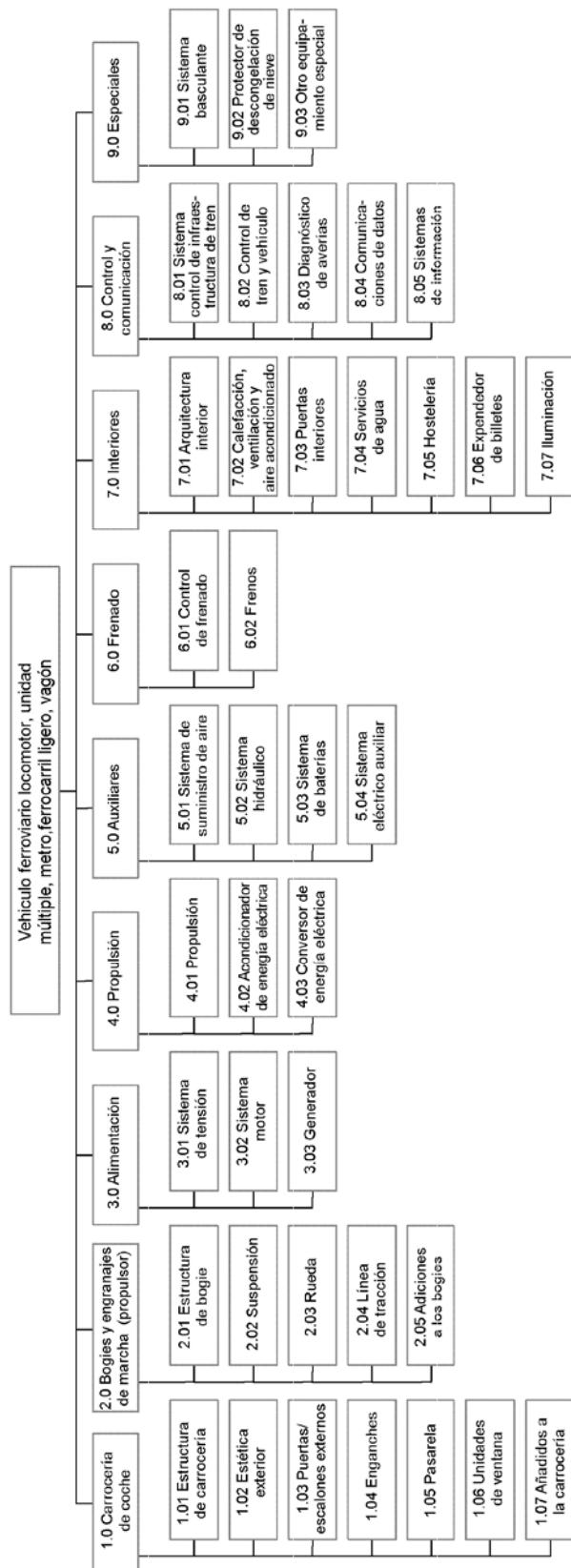


Figura E.1 – Estructura de descomposición del sistema vehículo

Tabla E.1 – Resumen del coste de ciclo de vida por estructura de descomposición del producto

WBS ref.	Descripción del sistema	Costes de adquisición	Repuestos	Herramientas especiales	Mano de obra mantenimiento programado	Materiales de mantenimiento no programado	Mano de obra de mantenimiento no programado	Materiales de mantenimiento no programado	Total de mantenimiento no programado	Materiales de mantenimiento no programado	Total de mantenimiento no programado	Mano de obra de mantenimiento no programado	Materiales de mantenimiento no programado	Total de mantenimiento no programado	Materiales de mantenimiento no programado	Total de mantenimiento no programado	Mano de obra de mantenimiento no programado	Materiales de mantenimiento no programado	Total de costo del ciclo de vida	Porcentaje del costo del ciclo de vida	%					
					Carrocería de coche	Bogies y equipo de marcha	Alimentación	Propulsión	Auxiliares	Frenado	Intiores	Control y comunicaciones	Especiales	Total	Carrocería de coche	Bogies y equipo de marcha	Alimentación	Propulsión	Auxiliares	Frenado	Intiores	Control y comunicaciones	Especiales	Total	Carrocería de vida	Porcentaje del costo de vida
1.0	Carrocería de coche	51 781			5 471	24 716	30 187	208	4 587	4 795	4 795	86 763	73													
2.0	Bogies y equipo de marcha	5 820			25	0	25	0	0	0	0	0	0	5 845	5											
3.0	Alimentación	5 811			3	0	3	0	0	0	0	0	0	5 814	5											
4.0	Propulsión	3 399			2 118	2 974	5 092	54	595	595	649	649	9 140	8												
5.0	Auxiliares	1 975			0	0	0	0	0	0	13	13	13	1 988	2											
6.0	Frenado	487			56	438	494	0	0	0	0	0	0	981	1											
7.0	Intiores	0			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0											
8.0	Control y comunicaciones	7 151			361	412	773	3	7	7	10	10	10	7 934	7											
9.0	Especiales																									
	Total	76 424	0	0	8 034	28 540	36 574	265	5 202	5 467	5 467	118 465	100													

NOTA Todos los costes son en U.M.

**ANEXO ZA (Normativo)****OTRAS NORMAS INTERNACIONALES CITADAS EN ESTA NORMA  
CON LAS REFERENCIAS DE LAS NORMAS EUROPEAS CORRESPONDIENTES**

Las normas que a continuación se indican son indispensables para la aplicación de esta norma. Para las referencias con fecha, sólo se aplica la edición citada. Para las referencias sin fecha se aplica la última edición de la norma (incluyendo cualquier modificación de ésta).

**NOTA** Cuando una norma internacional haya sido modificada por modificaciones comunes CENELEC, indicado por (mod), se aplica la EN/HD correspondiente.

<b>Norma Internacional</b>	<b>Fecha</b>	<b>Título</b>	<b>EN/HD</b>	<b>Fecha</b>
IEC 60050-191	1990	Vocabulario Electrotécnico Internacional (IEV). Capítulo 191: Confiabilidad y calidad de servicio	–	–
IEC 60300-3-12	<sup>-1)</sup>	Gestión de la confiabilidad. Parte 3-12: Guía de aplicación-soporte logístico integrado	EN 60300-3-12	2004 <sup>2)</sup>
IEC 61703	<sup>-1)</sup>	Expresiones matemáticas de fiabilidad, mantenibilidad y condiciones de logística de mantenimiento	EN 61703	2002 <sup>2)</sup>
IEC 62198	<sup>-1)</sup>	Gestión del riesgo de proyecto. Guía de aplicación	–	–

1) Referencia sin fecha.

2) Edición válida en la fecha de publicación.



---

---

Génova, 6  
28004 MADRID-España

info@aenor.es  
www.aenor.es

Tel.: 902 102 201  
Fax: 913 104 032

**AENOR** Asociación Española de  
Normalización y Certificación