



**Escuela de
Ingeniería y Arquitectura
Universidad Zaragoza**

**Proyecto Fin de Carrera
Ingeniería Técnica Industrial
Mecánica**

**ANÁLISIS Y CATEGORIZACIÓN DE
COMPONENTES FERROVIARIOS SEGÚN UN
MODELO DE CÁLCULO DE COSTES DE
MANTENIMIENTO BASADO EN LA
FIABILIDAD**

Autor

Eduardo Molinos Arruebo

Director

José Manuel Franco Gimeno

Escuela de Ingeniería y Arquitectura (EINA)
Junio 2013

RESUMEN

La teoría de cálculo de costes LCC (“Life Cycle Cost” o, en castellano “Coste de Ciclo de Vida”) tiene como objeto el definir el coste global de una instalación o equipo durante su ciclo de vida completo, incluyendo costes de adquisición y de explotación (y eliminación en caso de que exista).

En este Proyecto Fin de Carrera (PFC) se ha realizado un estudio con el fin de establecer un método de categorización de componentes mecánicos de vehículos ferroviarios basado en la fiabilidad. Este estudio está orientado al campo del mantenimiento ferroviario dado que las averías de dichos componentes condicionan de forma directa el funcionamiento del tren, y puede dar lugar a fallos en el servicio que se pretende dar a los usuarios.

Para ello se ha elaborado un modelo de cálculo de costes y el número de operaciones de mantenimiento preventivo y correctivo, y se ha implementado en la herramienta informática “Arquímedes”, que es un software de cálculo de presupuestos, y tiene la potencia de cálculo necesaria para obtener resultados instantáneos del coste de mantenimiento en función de la fiabilidad. De esta se traducen número de operaciones de mantenimiento en costes anuales de mantenimiento, que a su vez son fundamentales para establecer el (LCC) de cada componente.

Una vez calculado el coste LCC de cada componente, se ha logrado establecer los dos parámetros, mínimo coste LCC y riesgo, en los que se basa la escala para la categorización de dichos componentes.

Se han escogido siete componentes mecánicos de un tren, sobre los cuales se ha aplicado el modelo de cálculo y el método de categorización. Como resultado final se han establecido cuatro grupos de categorización en función de la criticidad. Cada uno de estos grupos reúne componentes, que por su naturaleza y características, tienen influencias similares entre elementos de un mismo grupo y a su vez difieren con aquellos que pertenecen a grupos diferentes.

De esta forma se establece una clara diferenciación entre componentes que tienen una repercusión importante sobre el coste del plan de mantenimiento anual, y que por tanto lo tendrán también sobre el coste LCC, de aquellos cuya repercusión en ambos parámetros es menos significativa.

INDICE

| | |
|---|-----------|
| INTRODUCCIÓN | 4 |
| OBJETIVO | 5 |
| MANTENIMIENTO DE MATERIAL RODANTE..... | 6 |
| INTRODUCCIÓN AL MANTENIMIENTO..... | 6 |
| TIPOS DE MANTENIMIENTO..... | 7 |
| MANTENIMIENTO CORRECTIVO..... | 8 |
| MANTENIMIENTO PREVENTIVO..... | 8 |
| MANTENIMIENTO PREDICTIVO | 9 |
| ELEMENTOS FERROVIARIOS SUSCEPTIBLES DE SER MANTENIDOS..... | 10 |
| ELEMENTOS MECÁNICOS..... | 11 |
| ELEMENTOS ELÉCTRICOS..... | 24 |
| ELEMENTOS DE LIMPIEZA..... | 35 |
| INTRODUCCIÓN AL LCC FERROVIARIO | 37 |
| CICLO DE VIDA..... | 37 |
| UNIFE-UNILIFE..... | 42 |
| MODELO DE CÁLCULO DE COSTES DE MANTENIMIENTO FERROVIARIO | 45 |
| ORGANIZACIÓN..... | 45 |
| DIVISIÓN EN COMPONENTES FERROVIARIOS..... | 45 |
| DIVISIÓN DE LAS OPERACIONES DE MANTENIMIENTO | 47 |
| HERRAMIENTA INFORMÁTICA DE CÁLCULO | 50 |
| FIABILIDAD Y MANTENIMIENTO | 52 |
| INTRODUCCIÓN A LA FIABILIDAD..... | 52 |
| FUNCION DE FALLO EXPONENCIAL..... | 53 |
| CÁLCULO DE FIABILIDAD EN VEHICULOS FERROVIARIOS..... | 55 |
| CÁLCULO DE FIABILIDAD DE FORMA TEORICA..... | 56 |
| CÁLCULO DE FIABILIDAD DE FORMA EXPERIMENTAL | 57 |
| MODELO DE CÁLCULO DE OPERACIONES DE MANTENIMIENTO..... | 59 |
| CÁLCULO DE OPERACIONES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO | 59 |
| CÁLCULO DE OPERACIONES DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO | 61 |
| CALCULO DE COSTES DE MANTENIMIENTO | 62 |
| IMPLEMENTACION DEL MODELO EN LA HERRAMIENTA INFORMÁTICA..... | 65 |
| INTRODUCCIÓN | 65 |
| SUBTABLAS..... | 65 |
| METODOLOGÍA | 66 |
| CREACIÓN SUBTABLA OPERACIONES DE PREVENTIVO..... | 67 |
| CREACIÓN SUBTABLA OPERACIONES DE CORRECTIVO..... | 67 |
| CONCEPTO DE REFERENCIA | 69 |

| | |
|--|-----------|
| CATEGORIZACIÓN DE ELEMENTOS FERROVIARIOS | 71 |
| DESARROLLO DEL PROCESO | 71 |
| CÁLCULO DEL COSTE ANUAL..... | 72 |
| CÁLCULO COSTE LCC | 74 |
| ANÁLISIS DE COMPONENTES | 81 |
| DEFINICIÓN DEL MÉTODO DE CATEGORIZACION | 82 |
| CATEGORIZACIÓN | 85 |
| RESULTADO | 87 |
| CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN..... | 88 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 90 |

INTRODUCCIÓN

La teoría de cálculo de costes LCC (“Life Cycle Cost” o, en castellano “Coste de Ciclo de Vida”) tiene como objeto el definir el coste global de una instalación o equipo durante su ciclo de vida completo, incluyendo costes de adquisición y de explotación (y eliminación en su caso).

El desarrollo de una metodología de análisis de costes de mantenimiento en función de la fiabilidad y la necesaria preparación de una herramienta informática de cálculo resultaría de gran interés para administraciones, operadores/mantenedores, fabricantes, comunidad investigadora y en general el conjunto del sector puesto que:

- Serviría para analizar los costes de los planes de mantenimiento de flotas u otros activos ferroviarios, pudiendo así estudiar las variables que en cada operación llevan al punto óptimo de servicio.
- Ayudaría al proyectista a precisar, durante la fase de diseño, el impacto de utilizar componentes distinta fiabilidad, puesto que podría calcular el coste de mantenimiento en función de dicha fiabilidad.
- Mejoraría criterios de contratación al incluir en un solo ratio todos los costes de adquisición y mantenimiento, pudiendo incluirse el de las instalaciones y equipos necesarios para llevar a cabo el mantenimiento.
- Serviría para llevar a cabo comparativas (benchmarking) de costes bajo distintos escenarios (composiciones de flotas, etc...), para establecer y estudiar las relaciones entre diferentes subsistemas del conjunto y en general, para avanzar en futuras investigaciones en el campo del cálculo de costes de mantenimiento electromecánico ferroviario.

OBJETIVO

Lo que se pretende realizar en este Proyecto Fin de Carrera (PFC) es establecer un método de categorización de componentes mecánicos de vehículos ferroviarios basado en la fiabilidad de los mismos, todo ello orientado al campo del mantenimiento ferroviario, dado que las averías de dichos componentes condicionan de forma directa el funcionamiento del tren, y ello conlleva al fallo en el servicio que se pretende dar a los usuarios.

Se propone un estudio de dichos elementos, en el cual se obtendrá de forma directa el impacto que tiene la variación de la fiabilidad de dichos elementos en el coste del plan de mantenimiento global, de tal forma que otorga una herramienta valiosa a fabricantes y clientes de componentes ferroviarios.

Se persigue también ver el impacto, no sólo sobre el coste del plan de mantenimiento, sino también sobre el coste LCC, es decir que sea posible conocer cómo la fiabilidad de esos componentes críticos puede repercutir en el coste del mantenimiento en un periodo a largo plazo.

Para ello se pretende elaborar un modelo de cálculo de coste, así como establecer el número de operaciones de mantenimiento preventivo y correctivo, implementado este modelo en la herramienta informática “Arquímedes”.

Arquímedes es un software de cálculo de presupuestos y tiene la potencia de cálculo necesaria para obtener resultados instantáneos del coste de mantenimiento en función de la fiabilidad. De esta forma los datos de operaciones de mantenimiento se traducen en costes anuales de mantenimiento, que a su vez son fundamentales para establecer el coste LCC de cada componente.

Una vez calculado el coste LCC de cada componente se establecerán unos parámetros de categorización.

Por último se intentará realizar un estudio sobre siete componentes mecánicos de un tren, en los cuales se pretende aplicar el modelo de cálculo y el método de categorización anteriormente mencionados. Como resultado final se persigue establecer distintos grupos de categorización, cada uno de los cuales reúna componentes, que por su naturaleza y características (serán explicadas en este proyecto), puedan tener influencias distintas en el coste anual de un plan de mantenimiento y por lo tanto en el coste LCC.

Cabe mencionar la dificultad de encontrar valores fiables para el desarrollo del proyecto, ya que el acceso a históricos de averías así como a otro tipo de datos es algo que no se comparte porque es confidencial.

MANTENIMIENTO DE MATERIAL RODANTE

Dentro del apartado de los ferrocarriles, se denomina material rodante a todos los elementos que se encuentran en movimiento o con la capacidad de moverse de forma solidaria al ferrocarril.

Sobre este material vamos a fijar nuestra atención y las fronteras físicas del mismo van desde el contacto del pantógrafo con los cables de tensión, hasta el contacto de las ruedas con los carriles.

INTRODUCCIÓN AL MANTENIMIENTO

Con el paso del tiempo se produce una disminución del rendimiento de los equipos, lo cual afecta a su vida útil. A pesar de ello, se pueden lograr niveles aceptables de calidad si se eliminan las degradaciones que hacen que los equipos sean menos efectivos.

Aparece pues el mantenimiento, que se define como el conjunto de todas las acciones que hay que realizar sobre una máquina o sistema para que funcione bien a un coste mínimo o rentable, alargando a su vez la vida útil de los equipos y que sirve de apoyo al proceso productivo de la empresa.

De esta forma quedan definidos los objetivos del mantenimiento:

- Disminución de costes.
- Aumentar tiempo de servicio de las máquinas.
- Aumentar la calidad y prontitud del servicio.

| OBJETIVOS DEL MANTENIMIENTO | | | |
|--|--------------|---------------------------------|-------------------------------------|
| | Costes ↓ | Tiempo de servicio ↑ | Calidad y prontitud de servicio ↑ |
| | Costes Bajos | Horas de funcionamiento elevado | Seguridad de funcionamiento elevada |
| Mano de obra (Fabricación + Mantenimiento) ↓ | ↓ | ↓ | ↓ |
| Repuestos ↓ | ↓ | ↓ | ↓ |
| Disfuncionamiento y averías ↓ | ↓ | ↑ | ↑ |

IDEAL
→

Con el paso del tiempo los equipos se vuelven más complejos y costosos, por lo que la importancia del mantenimiento va en aumento, dado el interés de las compañías en mantener niveles aceptables de rendimiento.

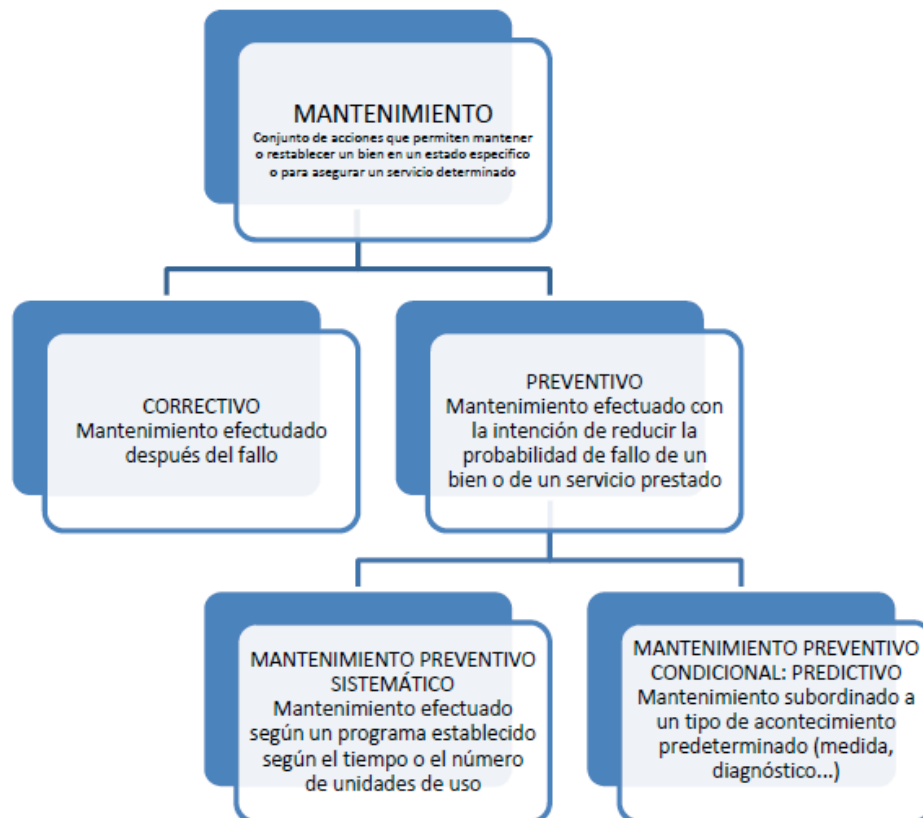
Dentro del ámbito ferroviario la gestión del mantenimiento es muy compleja debido a la gran cantidad de elementos susceptibles de ser mantenidos y dadas las posibles consecuencias que un fallo en alguno de sus componentes podría acarrear.

Es importante conocer la importancia del mantenimiento ferroviario y para poder hacernos una idea, interesa resaltar que más del 50% de los costes de una administración ferroviaria son derivados de gastos de mantenimiento.

También es importante destacar el retraso que ha sufrido el mantenimiento ferroviario en comparación con el de otros campos como la aviación o informática, los cuales presentan índices de fiabilidad mucho más elevados.

TIPOS DE MANTENIMIENTO

Las normas AFNOR X 60010 y 60011 establecen una clasificación del mantenimiento, que queda resumida en la siguiente tabla:



MANTENIMIENTO CORRECTIVO

Es el conjunto de operaciones que se realizan sobre las instalaciones y equipos una vez que se ha producido un fallo o una avería imprevista, es decir, se reparan averías conforme se van produciendo. Por tanto en el supuesto de que no se produjesen ningún fallo el mantenimiento será nulo.

El principal inconveniente que presenta este tipo de mantenimiento es que las averías se detectan en el momento en el que se requiere del uso del equipo, bien por una puesta en marcha o durante la realización de tareas en las que se requiera el uso de la máquina en cuestión.

Por ello intervenciones de mantenimiento correctivo pueden traer consigo consecuencias importantes:

- Paradas no previstas que pueden afectar el proceso productivo, disminuyendo las horas de funcionamiento.
- No sólo afecta a una tarea en cuestión, ya que puede generar también retrasos en los procesos productivos posteriores, que estarán parados hasta la corrección del fallo.
- Existe la necesidad de operarios de mantenimiento disponibles para solventar la avería lo más rápidamente posible, lo cual implica gastos de personal.
- Requiere de elementos de sustitución disponibles (repuestos) en el caso de que el elemento en cuestión no se pudiese reparar y fuera necesario cambiarlo por otro nuevo, lo cual implica no sólo gastos de material sino también gastos de almacén.
- En según que casos, los retrasos pueden acarrear penalizaciones en forma de sanciones económicas.

MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Es el conjunto de operaciones que se realizan sobre las instalaciones y equipos para evitar el fallo. Las intervenciones de este tipo se realizan cuando el equipo funciona bien, para que siga funcionando de igual modo.

El mantenimiento preventivo pretende disminuir las reparaciones mediante revisiones periódicas establecidas, renovando elementos deteriorados en el caso de que fuese necesario.

Las inspecciones se realizan basándose en recomendaciones del fabricante y en la experiencia y conocimientos del personal de mantenimiento. También pueden estimarse con estudios de fiabilidad y análisis de fallos.

Hay que tener en cuenta que una inspección puede ser algo tan sencillo como revisar el nivel de aceite de un equipo u operaciones más complejas que conlleven el desmontaje total o parcial de la máquina, por lo que es muy importante elegir el momento en el que se van a realizar para que no afecte al

proceso de producción, ya que durante una inspección la máquina no está operativa.

Las razones por las que se usa este mantenimiento son las siguientes:

- Disminuir los costes de mantenimiento.
- Aumentar los tiempos de servicio de los equipos.
- Aumentar la calidad y prontitud del servicio.
- Reducir los fallos en servicio.
- Aumentan la vida eficaz de los equipos.

Las características que presenta este tipo de mantenimiento se muestran a continuación:

- Se llevan a cabo siguiendo un programa elaborado previamente denominado plan de mantenimiento, en el cual se describe el procedimiento a seguir y actividades a realizar.
- Dispone de una fecha programada en la que también se reflejan los tiempos de inicio y fin de las operaciones.
- Se requiere de una lista de todos los equipos, de tal forma que permite actualizar datos y disponer de toda la información técnica necesaria.
- Da la opción de poder elaborar un presupuesto aproximado para poder presentarlo y ser aprobado por la dirección de la empresa.

MANTENIMIENTO PREDICTIVO

Es una técnica para pronosticar el punto futuro de falla de un componente de una máquina, de tal forma que dicho componente pueda reemplazarse justo antes de que falle.

En este caso, a diferencia del mantenimiento preventivo, las inspecciones no se realizan con un programa establecido previamente, sino que van subordinadas a un acontecimiento predeterminado como podrían ser mediciones, diagnósticos... Para ello se utilizan instrumentos de diagnóstico y pruebas no destructivas.

El concepto se basa en que las máquinas darán un tipo de aviso antes de que fallen y este mantenimiento trata de percibir los síntomas para después tomar acciones.

El mantenimiento predictivo aparece para solventar el “sobremantenimiento” y no excederse en el mantenimiento que se realiza sobre una máquina, basándose fundamentalmente en:

- Medición de parámetros.
- Vigilancia continua para ver las tendencias.
- Toma de decisiones en función de los datos obtenidos.

Algunas de las técnicas aplicadas a este tipo de mantenimiento son las siguientes y se pueden clasificar de la siguiente forma:

- Técnicas de verificación mecánica:
 - Líquidos penetrantes.
 - Partículas magnéticas.
 - Radiografías.
 - Ultrasonidos.
 - Análisis de lubricantes
 - Termografía.

- Análisis de señales:
 - Análisis de vibraciones.
 - Análisis de ruido.

Presenta multitud de ventajas:

- Es capaz de detectar defecto sin necesidad de parar y desmontar máquinas.
- Es posible observar defectos que sólo se muestran con la máquina en funcionamiento.
- Permite seguir una evolución de un defecto en el tiempo.
- Permite un análisis estadístico del sistema.
- Es un buen complemento para el mantenimiento preventivo.

ELEMENTOS FERROVIARIOS SUSCEPTIBLES DE SER MANTENIDOS

Hay muchas y diferentes acciones que realizar en un tren para su mantenimiento y debido a ello procuraremos hacer el mayor número de éstas sin paralización ó con la mínima posible, ya que la inmovilización del mismo puede suponer grandes costes. Unos niveles aceptables de disponibilidad de ferrocarriles estarían entre el 85% y 90%. La vida de un material móvil se encuentra caracterizada por sus ratios de fiabilidad y disponibilidad, que unidos a su coste de explotación 'life cycle cost' son los parámetros básicos.

Como breve introducción a los sistemas que requieren mantenimiento en un sistema ferroviario podemos observar la siguiente tabla en la que aparecen los elementos principales y el tipo de mantenimiento que necesitan:

| | CORRECTIVO | PREVENTIVO | MODIFICATIVO | LEGAL | PREDICTIVO | LIMPIEZA |
|----------------------|------------|------------|--------------|-------|------------|----------|
| BOGIES | X | X | | | | X |
| RODADURA | X | X | | | | X |
| REDUCTOR | X | X | | | X | X |
| FRENO | X | X | | | | X |
| SUSPENSIÓN | | | | | X | |
| MOTORES | X | X | X | | X | X |
| APARELLAJE ELÉCTRICO | X | X | X | | | X |
| COMPRESOR | X | X | X | | X | X |
| PUERTAS | X | X | X | | X | X |
| GANCHOS | X | X | | | | X |
| PANTÓGRAFOS | X | X | X | | X | X |
| ELECTRÓNICA CONTROL | X | | X | | | X |
| ELECTRÓNICA POTENCIA | X | | X | | | X |
| NEUMÁTICA | X | X | X | X | X | X |
| VENTILACIÓN A/A | X | X | X | | X | X |
| DECORACIÓN | X | X | X | | | X |

Se puede hacer una diferenciación en tres grandes grupos a la hora de clasificar el material rodante, teniendo en cuenta el tipo de trabajo que se va a realizar:

- Elementos mecánicos
- Elementos eléctricos
- Elementos de limpieza.

ELEMENTOS MECÁNICOS

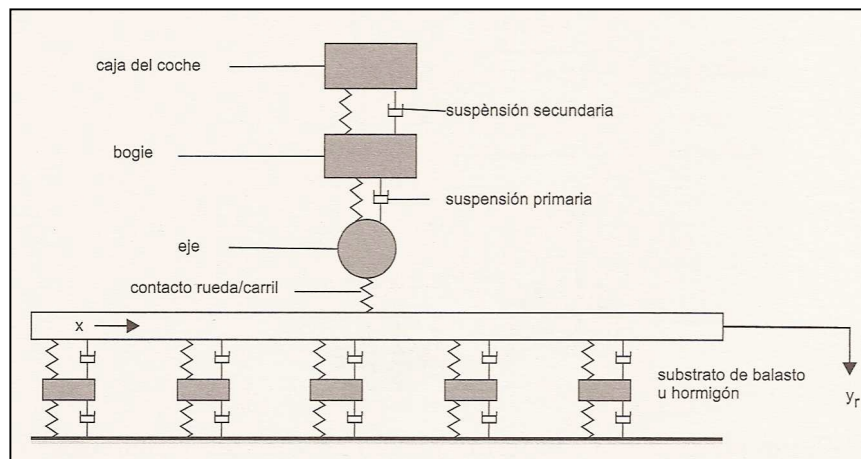
El sistema mecánico de un ferrocarril es el más importante de los tres grandes grupos de sistemas, dado que los elementos que los componen sufren un desgaste mucho mayor en comparación con el resto dadas las funciones para los que son requeridos.

Cabe destacar que actualmente todavía nos podemos encontrar con locomotoras que funcionan mediante motores de combustión interna, por lo que no debe extrañarnos si en la siguiente lista de elementos observamos algún elemento característico de este tipo de motores, tales como los filtros del combustible.

SUSPENSIONES

En el apartado ferroviario las suspensiones tienen un papel fundamental en el confort y la seguridad de los viajeros o las cargas que se transporta, por este motivo se presta especial atención a estos elementos.

Existen dos niveles de suspensiones, la suspensión primaria (entre rueda y bogie) y la secundaria (entre bogie y el coche o vagón), como se muestra en la siguiente figura:



La suspensión primaria es un sistema aparentemente simple, pero a la hora de diseñarlo hay que tener muy en cuenta la fatiga a la que va a ser sometido el material elástico que lo compone, ya que su altura inicial se irá reduciendo con el paso del tiempo. Por este motivo se realizan inspecciones periódicas en las que se usan calas de acoplamiento para mantener la medida correcta de altura.

La suspensión secundaria puede ser de diversos tipos, ya sea de muelles, gomas o balones de aire comprimido. Éste último es el sistema más utilizado por la comodidad que supone para el viajero, por la facilidad con la que se regula (mediante la aplicación de más o menos presión según la carga o situación del tren en curva o recta) y dado el mínimo mantenimiento que requiere.

Dentro del sistema de suspensión nos encontramos con dos elementos que requieren mantenimiento y que se muestran a continuación:

➤ Globo de la suspensión:

Su mantenimiento es prácticamente nulo, ya que su regulación se lleva a cabo mediante acción neumática, y se centrará en la inspección de los conductos de aire comprimido que permitirán regular la suspensión.

➤ Viga de la suspensión:

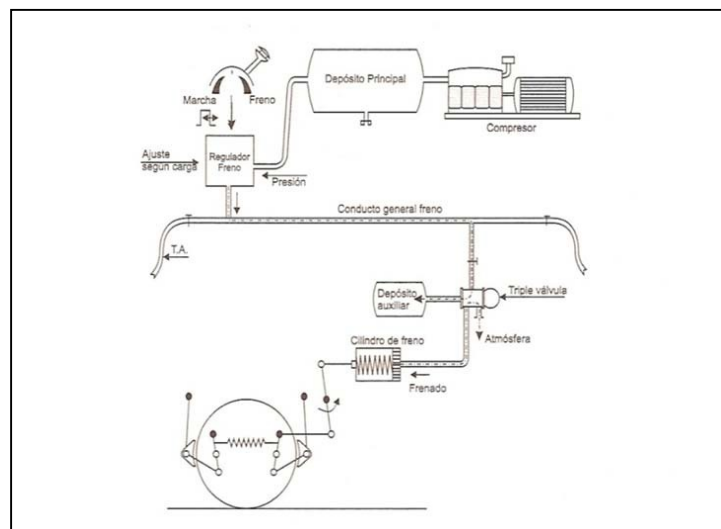
El sistema de suspensión ejerce unas fuerzas sobre los coches que se transmiten a través la viga de suspensión. Esta viga está muy solicitada y por ello es necesario prestarle especial atención. El mantenimiento se centra en su inspección, y en caso de observar algún desperfecto se informa al personal adecuado para su reparación.

FRENOS

Existen frenos de diversos tipos: zapatas de metal, madera o compuesta (los más modernos) que ejercen presión sobre las bandas de rodamiento de las ruedas, cuyo funcionamiento se basa en al accionamiento por aire ya sea por el sistema de presión o por el sistema de entrada de aire en el sistema que se encuentra en vacío.

También existen frenos de disco, frenos electromagnéticos (usados en vehículos de menor tamaño como tranvías y cuyo funcionamiento se basa en adherirse magnéticamente al riel hasta detener el vehículo), frenos reostáticos y eléctricos que utilizan los motores para reducir la velocidad.

Por último se encuentran los frenos de mano que son dispositivos mecánicos que se suelen localizar en el volante, cuyo accionamiento aprieta las zapatas las contra las ruedas y cuyo uso actual se limita a inmovilizar trenes que van a estar detenidos por un largo periodo de tiempo y que no van a disponer de aire o vacío para mantener accionadas las zapatas, o bien para detener vagones en ciertas maniobras.



Los elementos que requieren de mantenimiento dentro del sistema de frenado son los siguientes:

➤ Freno de emergencia:

Es el sistema que se utiliza cuando el freno normal no funciona. Por motivos de seguridad sobradamente justificados es muy importante que esté en estado óptimo de funcionamiento.

➤ Disco de freno:

Elementos metálicos que se encargan de comprimir y hacer fuerza sobre las pastillas de freno, evitando que éstas continúen girando y sea posible detener el tren. Como podemos imaginar sufren un gran desgaste y por ello las inspecciones y sustituciones están a la orden del día.

➤ Presión del sistema de freno:

La presión en la línea de frenado ha de ser la correcta y hay que revisarla periódicamente.

➤ Tuberías de presión de freno:

Es fundamental mantenerlas en correcto estado, ya que la presión que soportan en su interior es alta y pueden sufrir desperfectos con mayor facilidad. Es un elemento fundamental para la seguridad del vehículo.

➤ Brazo de frenado:

Es el mecanismo que se encarga de transmitir la fuerza a los discos de freno y dada la importante carga que deben realizar se daña con facilidad. Su mantenimiento requiere de continuas inspecciones y reparaciones y sustituciones, en caso de ser necesarias.

➤ Convertidor hidráulico-neumático:

Mecanismo que varía la forma mediante la cual se ejerce la presión sobre los frenos. Es un sistema muy sensible y de gran importancia dentro del tren y su correcto mantenimiento es fundamental para evitar la aparición de problemas.

➤ Indicador de frenado:

Es un sistema situado en la cabina cuya función es simplemente la de evitar que el tren circule con el freno activado, informando del estado de los frenos (encendido o apagado) al maquinista.

ACOPLAMIENTOS

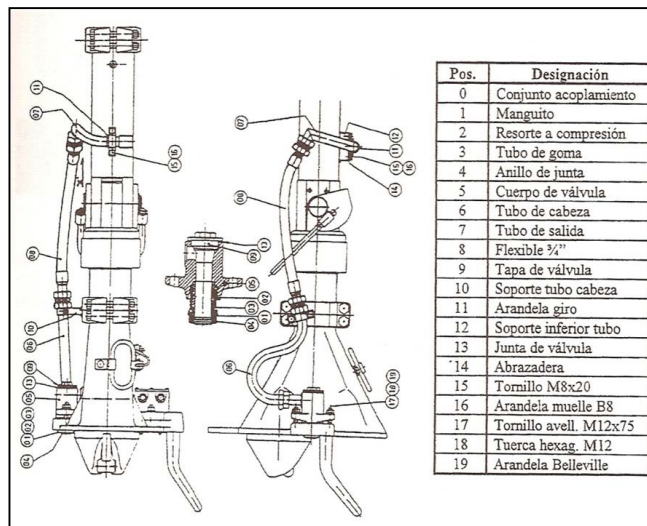
Las unidades de material móvil ferroviario autopropulsado de coches pueden ser compuestas y estas unidades deben estar comunicadas mediante elementos de acoplamiento tanto neumática, eléctrica y electrónica. Estos elementos suelen ser llamados enganches.

Los elementos susceptibles de mantenimiento referidos a los sistemas de acoplamiento son:

➤ Acoplamientos automáticos:

Son sistemas que permiten al conductor tanto la desconexión mecánica como eléctrica de la transmisión del tren mediante elementos neumáticos, mecánicos y eléctricos. Son sistemas que requieren robustez mecánica, una buena amortiguación y la capacidad de absorber impactos, lo cual implica cierta complejidad y con ello la escasez de fabricantes de elementos de este tipo. Esa complejidad hace que requieran una carga de mantenimiento importante.

En la siguiente imagen podemos identificar las distintas partes que forman un acoplamiento:



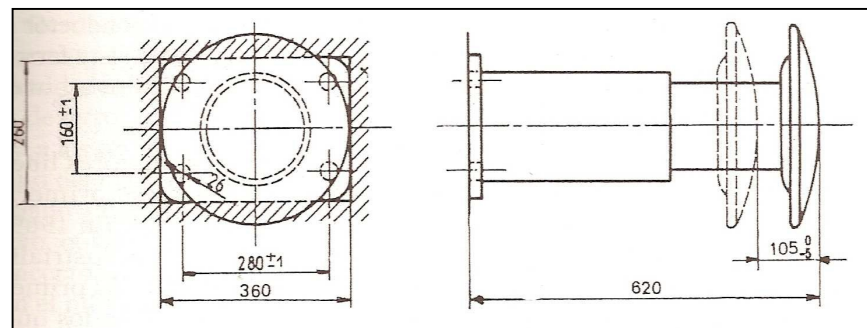
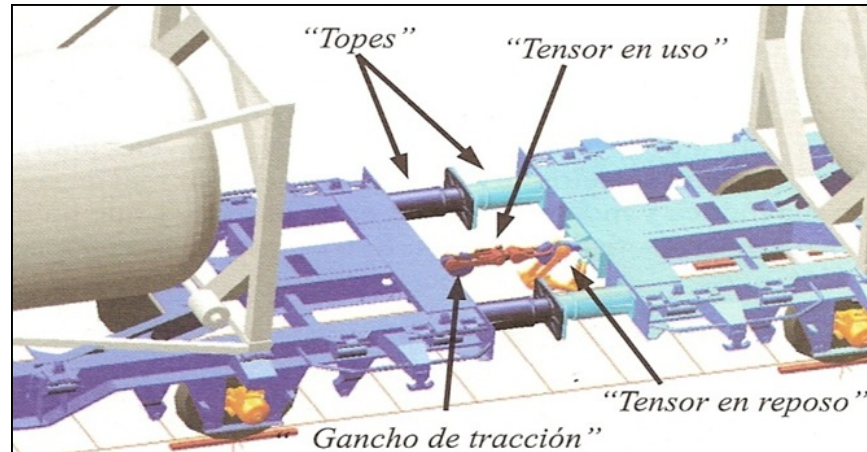
➤ Gomas de acoplamiento:

Todos los coches de pasajeros deben estar unidos entre sí para permitir la libre circulación de los usuarios, lo cual implica una seguridad añadida en las conexiones entre coches que evite posibles caídas a la vía. Al mismo tiempo debe ser elementos de conexión fiables para que el tren no tenga problemas, especialmente en los giros, por ello son elementos que requieren mantenimiento.



➤ Absorbedor de choques:

Elementos están destinados a absorber los choques que se producen en los trenes en maniobras de taller o almacenes. Se catalogan en tren tipos A, B ó C según la máxima carga que pueden soportar.



MOTOR

Hay que hablar de sistema de motor, o mejor dicho, de sistema de motores, dado que los vehículos ferroviarios poseen dos motores gemelos encargados de proporcionar energía a los coches en el momento en el que se encuentran sin la locomotora, a través de la cual se suele transmitir energía eléctrica a resto de los coches.

Los elementos que requieren mantenimiento en motores de este tipo son los siguientes:

➤ Aceite del motor:

Como sucede con todos los motores es necesaria la lubricación de los distintos sistemas mecánicos que lo forman, evitando en la medida de lo posible el desgaste excesivo y el sobrecalentamiento que podrían originar una rotura del motor. El mantenimiento se basa en sustituciones periódicas, generalmente según recomendaciones de los fabricantes.

➤ Culata:

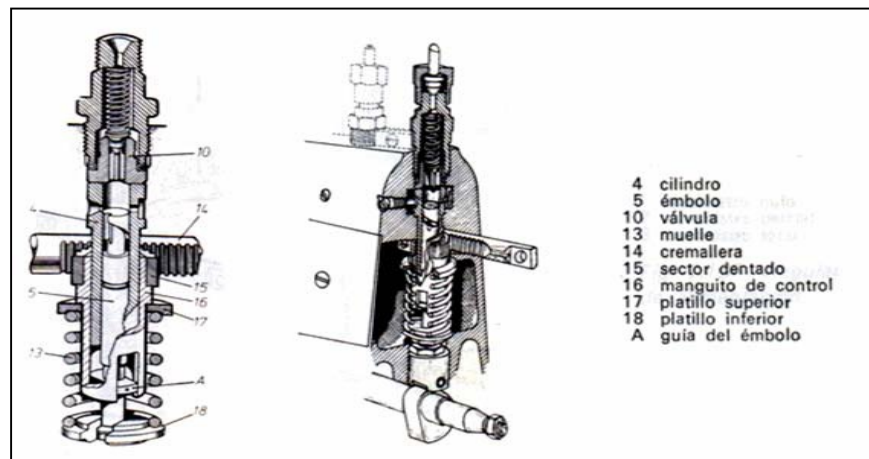
Debido al desgaste del propio motor y a las altas presiones que se desarrollan en su interior es posible que se pierda algo de aceite a través de la culata, lo que se conoce como que el motor “suda”. Esto es un claro síntoma de que el motor empieza a fallar y es importante establecer controles periódicos, ya que podría desencadenar una avería de mucha más importancia, que en el peor de los casos implicaría la sustitución completa del motor.

➤ Filtro del aceite:

Sobre este elemento, el mantenimiento suele consistir en inspecciones periódicas y en caso de que exista algún problema, generalmente suele solucionarse con la limpieza del mismo.

➤ Bomba inyectora:

La bomba inyectora de combustible es un elemento de gran importancia y cualquier avería condiciona el funcionamiento óptimo del motor. Es importante mantenerla siempre en buen estado.



➤ Filtro del combustible:

Este elemento no requiere de un mantenimiento de gran complejidad, suele consistir en revisiones periódicas y limpieza del mismo.

➤ Filtro del aire:

Este filtro es más peculiar que el resto ya que debe evitar la entrada de partículas, por lo que va impregnado con un aceite que dificulta más aún la entrada de dichas partículas. Su mantenimiento consiste en inspecciones periódicas y limpieza del mismo.

➤ Líquido refrigerante:

El líquido refrigerante es uno de los consumibles de mayor importancia dentro del motor, ya que evita el calentamiento excesivo y por tanto su excesivo desgaste y rotura. Es de vital importancia que los niveles no se sitúen nunca por debajo del nivel mínimo establecido.

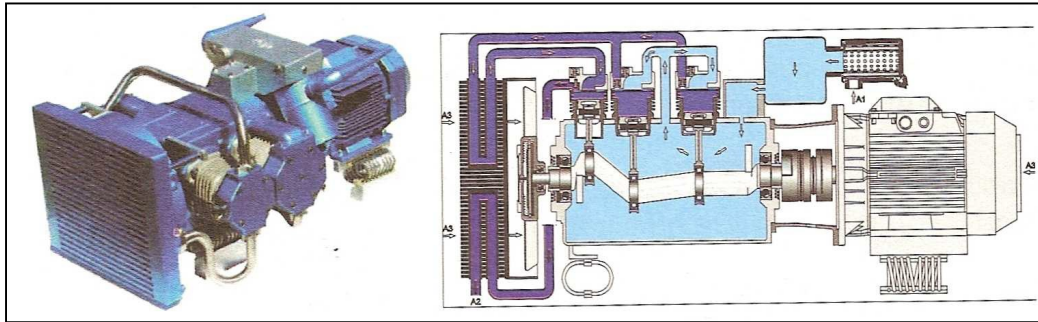
➤ Radiador:

Es el elemento que se encarga de enfriar el líquido refrigerante, que a su salida del bloque motor está a una temperatura demasiado elevada para poder realizar su función correctamente. El radiador se sirve del aire o bien de agua que circula a través de unas láminas para refrigerar dicho líquido. El mantenimiento se centra en mantener esas láminas en correcto estado, sin fugas y limpias para que el aire o agua circulen correctamente.



SISTEMA NEUMÁTICO

En la mayoría de unidades de tren se suelen introducir sistemas neumáticos sobre los que funcionan un número muy elevado de sistemas paralelos como: frenos, puertas, contactores, pantógrafos, etc. La concepción histórica de los sistemas neumáticos eran dos compresores, uno principal neumático auxiliado por uno secundario alimentado por la batería. Esta idea ha sido desarrollada a lo largo del tiempo hasta llegar a un sistema neumático muy complejo que cada vez adquiere mayor importancia en el funcionamiento del vehículo y que, por tanto, deberemos mantener de forma precisa con muchos elementos susceptibles de ser mantenidos.



Tras esta imagen y este esquema de funcionamiento de un compresor, se procede a identificar los principales elementos de un compresor y en general de toda la línea neumática.

➤ Filtro del aire:

En el sistema neumático de cualquier máquina, es muy importante impedir la entrada de cualquier tipo de partícula en la línea de reparto, dado que pueden producirse desperfectos tanto en las tuberías como en los elementos sobre los que va a trabajar la presión. Por esta razón se colocan unos filtros en las zonas de captación de aire, que a su vez deben mantenerse limpios y evitar que se obstruyan. En caso de que se cegasen, se traduciría en un incremento de la fuerza que tendría que realizar el compresor en el proceso de captación de aire y por tanto un aumento en el consumo y en el peor de los casos podría incluso llegar a quemarlo.

➤ Válvula de seguridad:

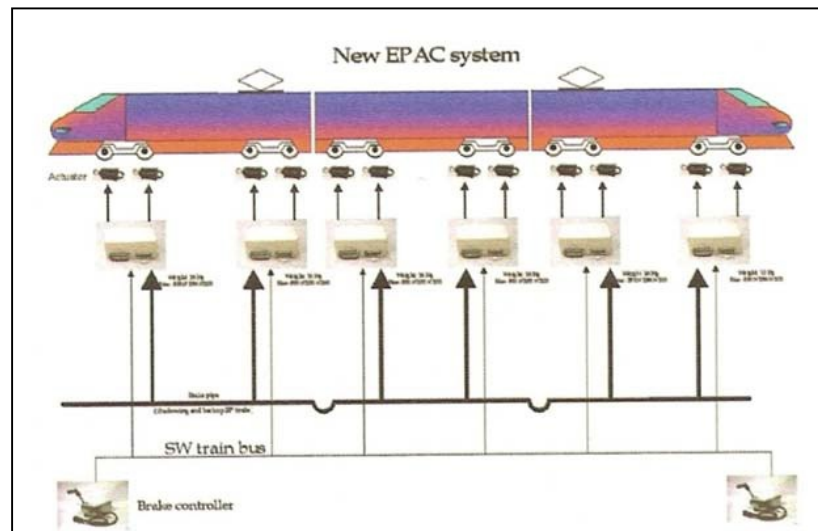
Dentro de un sistema neumático es de vital importancia tener la opción de liberar presión de la línea si fuese requerido. Para ello se dispone de una válvula de seguridad regulada a no más de un 10% por encima de la presión con la que se trabaja y debe de ser capaz de liberar la totalidad del caudal de aire generado por el compresor. Del mismo modo debe disponer de un dispositivo de acción manual que permita verificar su correcto funcionamiento en las inspecciones.

➤ Secador de aire:

El excesivo desgaste de las tuberías de presión debido a la humedad del aire, es corregido mediante un secador de aire que impide la entrada de humedad en la línea. Este elemento es de vital importancia en el tiempo de vida de las tuberías y por ello se presta especial atención en su mantenimiento. Existen diferentes sistemas para el secado de aire: secado por absorción, secado por adsorción y secado por enfriamiento.

➤ Líneas de reparto

Las líneas de reparto son sin duda uno de los elementos más importantes del sistema, ya que se encargan de distribuir la presión. Por ello se deben inspeccionar en busca de fallos como fugas o abolladuras importantes que pueden entorpecer el funcionamiento del mismo. A continuación se muestra un esquema simple de la distribución de las líneas de reparto del sistema neumático.



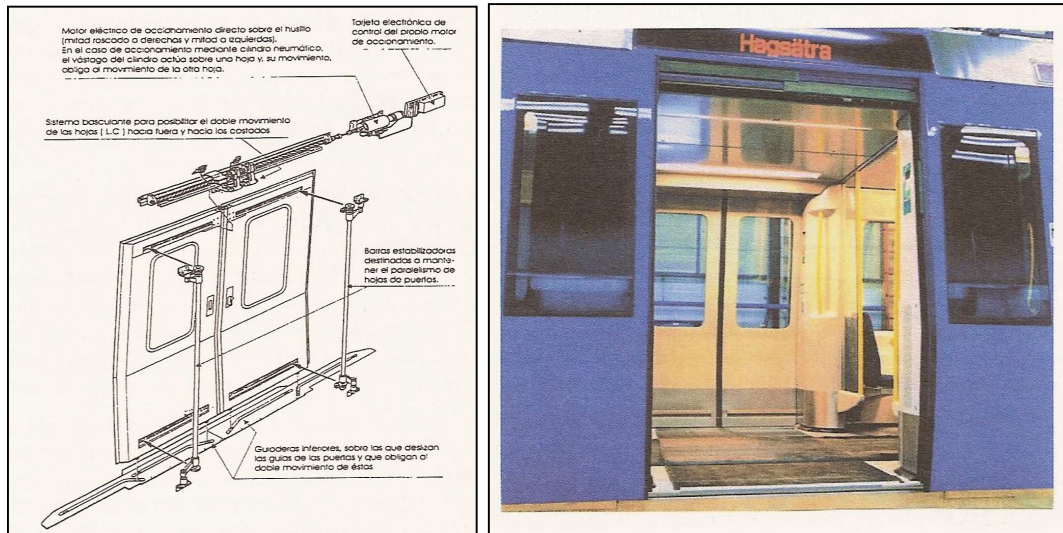
PUERTAS E INTERIOR

Puede parecer que el sistema de puertas es un sistema simple y de escaso mantenimiento, pero nada más lejos de la realidad. Se trata de un sistema complejo y problemático, debido a la gran cantidad de puertas que hay que poner en cada unidad de tren para que la entrada y salida de viajeros sea rápida y tenga la menor repercusión posible en la velocidad comercial.

Las puertas suelen diseñarse atendiendo a tres criterios básicos, desde un punto de vista cinemático:

- Mediante corredera: se abren sobre el paramento exterior de la caja.
- “De petaca”: se escamotean al abrirse entre el decorado interior y el costado exterior.
- De doble movimiento: se desplazan como las anteriores y tienen el sistema más complejo de todos, pero permiten un buen aprovechamiento del espacio interior y exterior.

En las siguientes figuras se incluye un conjunto de puertas de doble movimiento. En la primera se pueden observar los principales elementos de la puerta, y en la segunda, una fotografía de una de estas puertas en funcionamiento.



En el caso del interiorismo es muy difícil explicar unos sistemas generales ya que deberá intervenir la idea propia de la compañía ferroviaria. Asimismo es posible decir que el diseño de los suelos, asientos y techos se cuidan extremadamente, tanto para conseguir niveles altos de confortabilidad como de aislamiento y protección contra el fuego.

En cuanto a los elementos susceptibles de mantenimiento, no es posible establecer subelementos en sistemas de puertas ni en interiorismo ya que se tratan como un todo que deberemos mantener a la vez.

ESTRUCTURA

Dentro del sistema de estructura se va tratar todo aquello que esté relacionado con la construcción de los coches ferroviarios, en donde se va a dejar de lado aquellos vagones que únicamente transportan carga, ya cada uno de ellos se fabrica de una forma característica que va a depender de las mercancías que vayan a transportar.

Dentro del apartado de la estructura de un tren vamos a tener tres elementos que requieran mantenimiento, como son las ventanas, la placa inferior de recubrimiento y los orificios de drenaje.

En la siguiente imagen se puede observar la estructura de un coche en el momento de su construcción.



A continuación se procede a describir los tres elementos mencionados anteriormente susceptibles de ser mantenidos:

➤ Ventanas:

Las ventanas son un elemento a considerar debido a su importancia en el aspecto físico de los vehículos. El principal mantenimiento que van a requerir será en forma de limpieza, que se realiza con notable frecuencia. Del mismo modo, en caso de producirse una rotura o cualquier otro desperfecto se procede a su sustitución, ya no sólo por motivos de estética sino también por temas de seguridad, ya que una rotura durante un trayecto pondría en peligro a los ocupantes.

Hay que prestar especial atención a las ventanas de emergencia, que van a requerir de un mayor control, dado que en caso de evacuación son las principales zonas de salida de los viajeros.

➤ Placa inferior de recubrimiento:

Es la base sobre la cual se sostiene el resto de la estructura del vagón y un incidente relacionado con una rotura de la misma traería consigo fatales consecuencias. El mantenimiento que requiere consiste en inspecciones periódicas.

➤ Agujeros de drenaje:

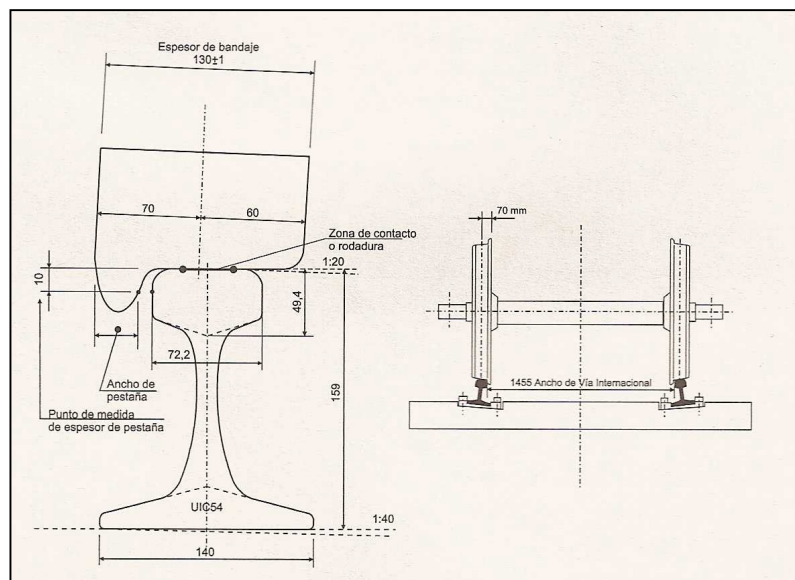
Son unos orificios situados en una zona cercana a las puertas y juegan un papel fundamental en la evacuación del agua sobrante del interior del tren. El mantenimiento está enfocado a mantenerlos operativos eliminando partículas en su interior que pudiesen dificultar o impedir su correcto funcionamiento.

ELEMENTOS DE RODADURA

Se denomina sistema de rodadura a todos los elementos que se encuentran entre el contacto de rueda-carril y el punto en el que el eje queda unido a las suspensiones.

El sistema de rodadura del material ferroviario es sin duda el sistema que más desgaste sufre por motivos obvios, y por tanto es el sistema que más mantenimiento requiere y a su vez el de mayor importancia.

Estos vehículos utilizan un sistema de dos ruedas cónicas unidas por un eje con el fin de compensar la distancia que recorre la rueda del carril interior y la del carril exterior durante las curvas sin que se produzca deslizamiento. Además este sistema favorece el autocentrado del eje sobre la vía.



En los servicios ferroviarios metropolitanos en los que, normalmente, los radios de curvatura de sus trazados son mucho más reducidos que en los ferrocarriles de servicios regionales o de largo recorrido, es muy importante la vigilancia y mantenimiento del estado de su perfil, agravado con efectos de huellas, afilamientos de pestaña, etc. Cuando no existen sistemas de engrase rueda-carril, el engrase puede estar basado en equipos fijos instalados en la vía y que proyectan pequeñas cantidades de grasa al paso del tren mediante sensores de proximidad o de vibración.

Además del desgaste, el ataque rueda-rail genera problemas relacionados con el ruido, que es muy complicado de solventar. Existen algunas soluciones para minimizar este efecto tales como la instalación de absorbedores atornillados y otras, basadas en la vulcanización de un polímero viscoelástico sobre la misma rueda.

Dada la agresiva situación a que se someten las ruedas, se hacen precisas operaciones de reperfilado, con el objetivo de mantener la altura mínima

aceptada para la pestaña, ya que dicha pestaña es un elemento de gran importancia para evitar el descarrilamiento del tren. Esta operación se realiza mediante tornos, que pueden ser de tipo convencional o los llamados “de foso” que evitan desmontajes, lo que se traduce en un ahorro de tiempo.

Como es lógico, la fabricación de ruedas ferroviarias debe estar sujeta a exigentes requisitos. A continuación se presentan algunos de ellos:

- Dimensiones:
En figuras anteriores ya se han expuesto parámetros, formas y cotas principales de las ruedas ferroviarias. No existe de momento ninguna norma sobre tolerancias y valores de rugosidad, siendo cada país o fabricante el que especifica estos aspectos.
- Normas de fabricación:
Las normas más comúnmente utilizadas en Europa son la UIC 812-3 e ISO 1005, que aluden a un gran número de Normas específicas ISO y DIN para aspectos concretos de su desarrollo.
- Características del acero:
Si bien no vamos a abordar el desarrollo detallado de los tipos de acero utilizados en su fabricación, sí conviene indicar que se catalogan en los tipos R1, R2, R3, R6, R7, R8, R9, diferenciándose entre ellos por sus características metalúrgicas.
- Ensayos:
Para verificar las características dimensionales y metalográficas se utilizan las siguientes pruebas:
 - Exámenes micrográficos de la estructura, así como macroscópicos y micrográficos mediante ataque (método Baumann).
 - Análisis con ultrasonidos

ELEMENTOS ELÉCTRICOS

Dentro de los sistemas embarcados en un vehículo ferroviario, uno de los más importantes es el sistema eléctrico, del cual dependen muchísimos elementos tanto de confort como funcionales. A continuación se muestran diferentes elementos del sistema eléctrico que son susceptibles de ser mantenidos:

PANTÓGRAFO

El pantógrafo, es el elemento encargado de tomar la corriente de alta tensión proveniente de la catenaria para el abastecimiento eléctrico de la totalidad del vehículo.

Consiste en un sistema articulado que sujeta un patín, presionándolo contra la catenaria, bajo la que se desliza.

Se sitúa en el techo de la unidad tractora y es regulable en altura de forma automática, para poder alcanzar la catenaria independientemente de la altura a la que se encuentre el hilo conductor aéreo.

Para evitar que el patín se desgaste en un solo punto, la trayectoria de la catenaria se dispone en zigzag, de modo que va barriendo la mayor parte del patín provocando un desgaste uniforme en toda su superficie.

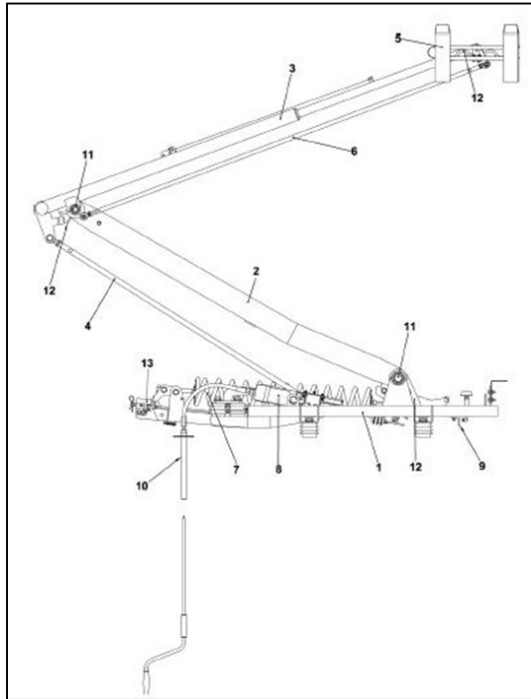
La elevación y el descenso del pantógrafo se realizan a través de un dispositivo de accionamiento compuesto básicamente por un motor eléctrico, encargado de la subida y bajada del pantógrafo, y un sistema de muelles, a través de los cuales se consigue la presión de contacto adecuada entre frotador y catenaria.

Las características que se requieren de un pantógrafo son las siguientes:

- Peso reducido.
- Construcción simple.
- Escaso mantenimiento.
- Buen comportamiento de contacto.
- Seguridad de funcionamiento.



En la siguiente figura se muestra el esquema de un pantógrafo de semitijera, que es el más utilizado:



| Nº | Descripción |
|----|-------------------------|
| 1 | Bastidor-base |
| 2 | Tijera inferior |
| 3 | Tijera superior |
| 4 | Barra de tracción |
| 5 | Mesilla |
| 6 | Guía paralela |
| 7 | Mecanismo de elevación |
| 8 | Dispositivo de descenso |
| 9 | Gatillo de sujeción |
| 10 | Eje flexibles |
| 11 | Palier |
| 12 | Trencillas de corriente |
| 13 | Gatillo de seguridad |

CAFETERA

Elemento de importancia en el servicio de los viajeros y por lo tanto es necesario mantenerla adecuadamente para evitar incomodidades para los viajeros y penalizaciones establecidas por contrato.

VIDEO Y AUDIO

Importante tanto para el confort como para el servicio de los viajeros serán los sistemas de audio y video que serán imprescindibles en desplazamientos de larga distancia.

REFRIGERADOR

No puede faltar ni fallar en el sistema de servicios de trenes, especialmente en trayectos de larga distancia.

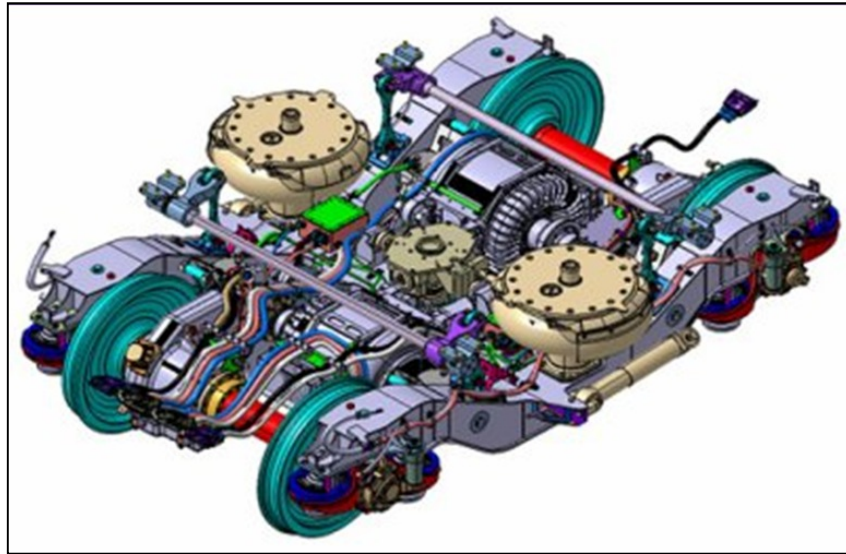
MOTOR ELÉCTRICO

En este apartado, cuando se menciona motores eléctricos, se refiere a motores eléctricos tractores, es decir, que dan la tracción al material rodante.

Hoy en día, la ubicación de los motores ya no corresponde solamente a la locomotora, estando ubicados en diferentes vehículos, dependiendo de la

necesidad. Se sitúan en los llamados bogies motores y suelen ser dobles. Son motores trifásicos, asíncronos, y autoventilados.

En la siguiente fotografía se muestra uno de estos bogies:



Cada motor incluye un sensor de velocidad que permite al control de la tracción conocer la velocidad de giro del motor.

La transmisión del par motor entre cada motor simple y cada reductor se realiza a través de una brida de acoplamiento elástico para cada engranaje.

Los principales componentes de este tipo de motores son:

- Rotor
- Estator
- Caja de conexiones
- Rodamientos
- Sistema de refrigeración.

CONVERTIDOR DE TRACCIÓN

El convertidor de tracción es el encargado de proporcionar la tensión necesaria para alimentar a los motores de tracción asíncronos, debido a que la tensión de catenaria suele ser continua.

Para el control de los motores de tracción se aplica un control de tensión y frecuencia variable.



SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN

El sistema de climatización suele estar diferenciado en dos, la climatización de sala y la climatización de cabina, siendo este último un sistema similar al primero, pero con menores dimensiones y menos potencia. Se da en transporte de viajeros.

En este apartado se expondrán las características del sistema de climatización de sala.

El sistema de climatización para acondicionar las salas de viajeros dispone de los elementos necesarios para realizar las funciones de ventilación, calefacción, refrigeración y deshumidificación de estos módulos. Lo más habitual es que esté todo el sistema en lo que se conoce como equipo compacto. En la siguiente imagen se muestra cómo es uno de estos equipos.



Este equipo se instala en techo de los coches, no en todos, sino según necesidades del conjunto. Un sistema de conductos, acoplado a la descarga de aire de los equipos compactos, distribuye el aire para acondicionar los coches asignados.

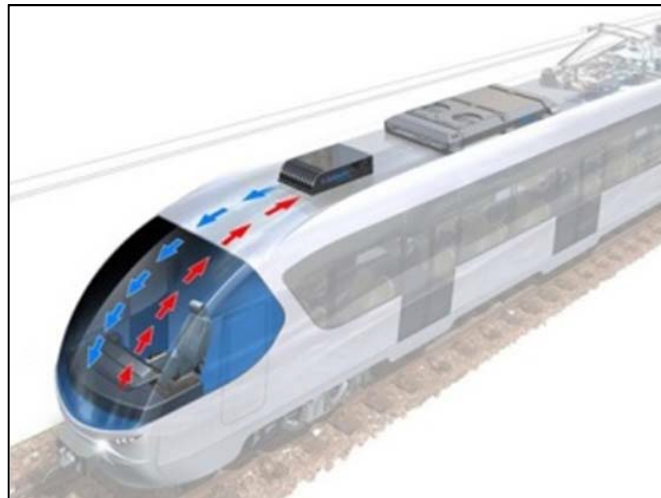
Físicamente, el equipo compacto se divide en el compartimiento condensador, donde se produce la condensación del refrigerante mediante el aire ambiente; y el compartimiento evaporador desde el que se realiza la descarga de aire tratado al interior de la sala a acondicionar.

Lo más habitual es que con un control electrónico con microprocesador se realicen las funciones de regulación de temperatura, diagnosis, control de modos de funcionamiento y envío de información referente a la diagnosis a un PC mediante una red Ethernet.

Los principales equipos interiores de los que dispone un sistema de climatización, entre otros, son el compresor, evaporador, condensador, filtros, resistencias de calefacción, válvulas y sensores de control.

Es muy importante que todo esté en correcto funcionamiento para garantizar el confort dentro del vehículo.

Se muestra otra imagen de este tipo de sistemas:



BATERÍAS

La batería tiene como misión principal la puesta en marcha del tranvía hasta que la cadena de pantógrafo/convertidor auxiliar/cargador de batería entra en funcionamiento. Durante el funcionamiento normal, las cargas de baja tensión del tranvía se alimentan desde los cargadores de batería.

En condiciones de emergencia, es decir, cuando no hay alta tensión o se produce un fallo en los cargadores de batería, la batería se encarga de alimentar, con limitaciones, los circuitos de baja tensión del vehículo durante un tiempo determinado. En esta situación la batería comienza a descargarse.

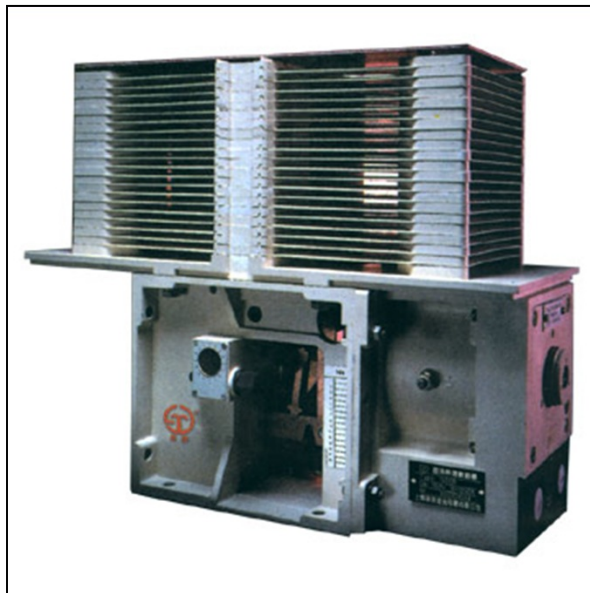
En los puestos de conducción, se dispone de un indicador analógico que muestra la tensión de la batería. Un relé de mínima tensión, se encarga de desconectar la batería antes de llegar a la descarga total.



DISYUNTOR

El disyuntor permite la protección del circuito de AT de fallos de cortocircuito. Además, permite la apertura y cierre remoto para la conexión y desconexión del ferrocarril.

Se muestra una imagen de un disyuntor sin la caja protectora:



Las partes principales serían:

- Caja protectora que consta de una caja en material aislante autoextintor, sostenida en una armazón de metal.
- Circuito principal, que consta de un terminal de conexión inferior, un contacto móvil, un terminal de conexión superior, un contacto fijo con cuerno y otro cuerno.
- Apertura por sobreintensidad.
- Cámara de soplado.

- Dispositivo de cierre y horquilla.
- Conjunto de contactos auxiliares.

PARARRAYOS

La función del pararrayos es absorber las sobretensiones dañinas procedentes de la línea, protegiendo cada una de las partes del sistema de propulsión.

El pararrayos se compone de una serie de resistencias de óxido metálico unidas mediante abrazaderas de fibra de vidrio y cubiertas de una carcasa moldeada de silicona que lo protege de las influencias medioambientales.

Las resistencias de óxido metálico son de naturaleza no-lineal. Con la máxima tensión de funcionamiento, sólo una pequeña corriente capacitiva atraviesa el pararrayos.

Con el incremento de la tensión, las resistencias entran en un estado de alta conductividad instantáneamente. De esta manera cualquier aumento de la tensión se limita a los valores de tensión residual especificados.

El pararrayos convierte el exceso de tensión en calor, que a su vez, es disipado al entorno.



SENSORES

Como se ha mencionado en apartados anteriores, son necesarios una serie de sensores tanto para control como para servicio, por lo que habrá que disponer de ellos siempre en correcto funcionamiento.

CONVERTIDOR AUXILIAR

Los convertidores de auxiliares están conectados a los buses de AT de los inversores y se encargan de transformar la tensión que proviene de la catenaria en tensión de alterna trifásica, para la alimentación de los sistemas auxiliares del tranvía y para la alimentación del cargador de baterías.

El convertidor dispone de protecciones eléctricas que protegen el equipo ante las siguientes situaciones:

- ✓ Sobretensión de entrada.
- ✓ Sobrecorriente de entrada.
- ✓ Sobrecorriente de salida.
- ✓ Protección de cortocircuitos.
- ✓ Protección diferencial.

El convertidor de auxiliares consta de los siguientes conjuntos funcionales:

➤ Contactor de línea y circuito de precarga:

El convertidor de auxiliares está conectado en el bus del equipo de tracción, compartiendo su circuito de precarga. El circuito limita la corriente de carga del condensador del circuito intermedio e impide que sobre oscile la tensión del circuito intermedio. La unidad de control regula la carga del condensador del circuito intermedio mediante el contactor de precarga y la resistencia de precarga hasta que la tensión alcanza un valor predefinido. Sólo después se cierra el contactor de línea.

➤ Filtro de red:

La inductancia que forma parte del filtro de red está compartida por el equipo de tracción y el convertidor de auxiliares. Además, los condensadores de cada uno de los subconjuntos del convertidor integrado forman parte del filtro. El filtro de red minimiza la carga de la red por corrientes de oscilaciones armónicas y protege los equipos contra condiciones transitorias de la red.

➤ Circuito intermedio de tensión continua:

Tanto los inversores de tracción como el convertidor de auxiliares disponen de circuito intermedio de tensión continua, el cual consta del condensador de bus y del acondicionador para medida de la tensión del circuito intermedio. El condensador de bus estabiliza la tensión del circuito intermedio y proporciona la potencia activa y reactiva para los inversores.

➤ Sensorizador de tensiones, corrientes y temperaturas:

El equipo contiene una serie de sensores de tensión y de intensidad mediante los cuales se miden las tensiones DC de catenaria y la de los circuitos intermedios.

➤ Inversor trifásico:

Es el encargado de transformar la tensión del circuito intermedio en un sistema de corriente trifásica para alimentar las cargas AC.

➤ Sistema de refrigeración:

Es el encargado de evacuar el calor producido por las pérdidas de los semiconductores y elementos de potencia.

➤ Unidad de control:

Se encarga de la gestión de todos los elementos que conforman el sistema.



ILUMINACION

El alumbrado interior de sala se suele realizar a través de luminarias, dispuestas longitudinalmente a lo largo del vehículo en dos bandas. Se distinguen tres tipos de alumbrado:

- Alumbrado de emergencia: Proporciona en todos los módulos una iluminación permanente a partir del momento en el que se conecta la batería (tranvía encendido), no necesita de una demanda por parte del conductor.
- Alumbrado normal: Se enciende a partir de una demanda del conductor, generalmente desde un pulsador en el pupitre de conducción.

- Alumbrado de limpieza: Coincide con el alumbrado de emergencia, aunque se alimenta directamente desde batería permitiendo su encendido con el tranvía apagado.



En cuanto a la iluminación exterior, los vehículos suelen estar dotados de los siguientes sistemas:

- Luces de cruce, posición, galibo, antiniebla traseras y freno que están alimentadas a través del cargador de batería.
- Luces de intermitencia que se alimentan directamente de la batería para permitir su activación con el tranvía apagado.



ELEMENTOS DE LIMPIEZA

Los elementos susceptibles de limpieza son más que evidentes en un vehículo ferroviario, pero no por ello debemos prestarles menor atención. A continuación se muestran los principales elementos que van a requerir servicios de limpieza, así como la limpieza exigida por la organización nacional de ferrocarriles que en el caso de España es RENFE.

➤ Desinfección RENFE:

RENFE obliga a una limpieza que consiste en una desinfección y limpieza cada 3 meses mediante una máquina que pulveriza un producto químico con propiedades desinfectantes.

➤ Asientos:

Los asientos tienen un mantenimiento mecánico y otro de limpieza ya que como es lógico son unos elementos de uso habitual en contacto con personas, y tienden a la acumulación de suciedad progresivamente.



➤ Suelos:

Se puede decir que el suelo es el elemento más propenso a ensuciarse, y por higiene, comodidad y estética visual ha de estar limpio. Puede ser tanto de moqueta, por lo que habría que utilizar aspiradores, o por el contrario, suelo con acabado liso o, como se le suele llamar, pavimentado.

➤ Maleteros:

Los maleteros sufren una menor exposición a suciedad que los coches de viajeros y lógicamente tienen menor importancia para el confort de los viajeros y por ello deberán ser limpiados con menor frecuencia.

➤ Fuelle:

Los fuelles están localizados entre los diferentes coches, y, entre sus funciones, cabe destacar dar seguridad a la hora del paso entre coches, así como aislar el interior del vehículo de las condiciones ambientales.

Son de un material especial y por tanto, debe estar mantenido para que no se rompa antes de tiempo. El mantenimiento es sencillo, ya que suele bastar con limpiarlo, exteriormente gracias al paso por el túnel de lavado, e interiormente, para garantizar una salubridad e higiene dentro del coche.



➤ Pasamanos:

Estos elementos no existen en todos los vehículos ferroviarios, estando más bien destinados a tranvías, metros y cercanías, que es donde los pasajeros suelen ir de pie.

Se consideran tanto las “barras” de material metálico como las agarraderas que cuelgan de ellas, generalmente de materiales plásticos.

Son elementos que han de estar limpios, por salud, higiene y confort.

INTRODUCCIÓN AL LCC FERROVIARIO

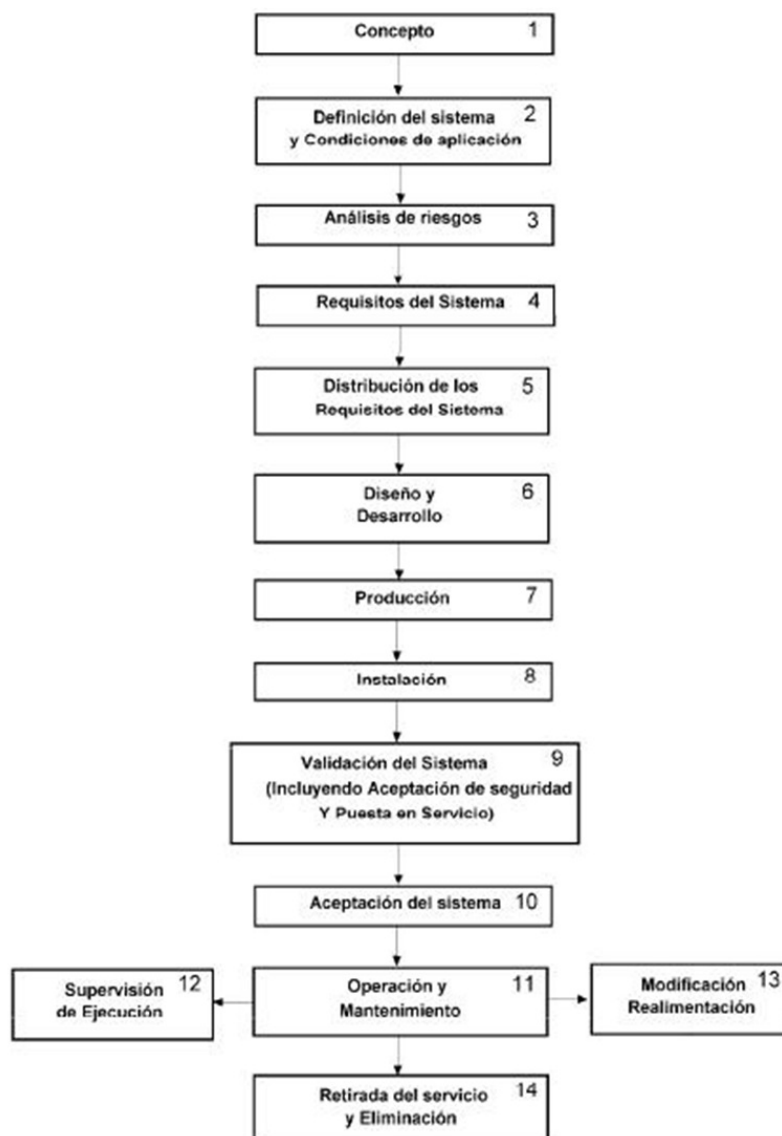
El término LCC viene del inglés “Life Cycle Cost”, en castellano coste del ciclo de vida. Se entiende que se aplica sobre un bien, producto o servicio.

Este apartado va a ayudar a una mejor comprensión de lo que significa LCC, así como a la realización de una comparativa entre los diferente software existentes actualmente, lo que a su vez servirá para justificar la necesidad de una nueva herramienta informática para la optimización de este tipo de mantenimiento.

CICLO DE VIDA

El ciclo de vida de un sistema es una secuencia de fases, cada una de las cuales contiene tareas que abarcan la vida completa del sistema, desde su concepto inicial hasta la retirada del servicio y la eliminación.

La figura siguiente muestra las principales tareas del ciclo de vida:



Life Cycle Cost (LCC)

El LCC o “Life Cycle Cost” es el coste acumulado durante todo el ciclo de vida de un producto, equipo, instalación...

Los objetivos del cálculo del LCC son:

- Proporcionar criterios para la toma de decisiones en cualquiera o en todas las fases del ciclo de vida de un producto.
- La identificación de los costes que tienen mayor influencia.
- La identificación de los elementos con costes irrelevantes.

Las decisiones más comunes sobre las cuales el LCC influye de una forma significativa son las siguientes:

- 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... del producto.
- Evaluación y comparación de los diferentes enfoques para la sustitución, rehabilitación/extensión de vida o retirada de los equipos envejecidos.
- Valoración de los criterios de garantía del producto mediante pruebas de verificación y sus compromisos.
- Planificación de la financiación a largo plazo.

Para que resulte más cómodo el cálculo del LCC, las fases del ciclo de vida se resumen en seis:

- Concepción y definición.
- Diseño y desarrollo.
- Fabricación.
- Instalación.
- Operación y mantenimiento.
- Eliminación.

De forma más general el LCC se puede calcular:

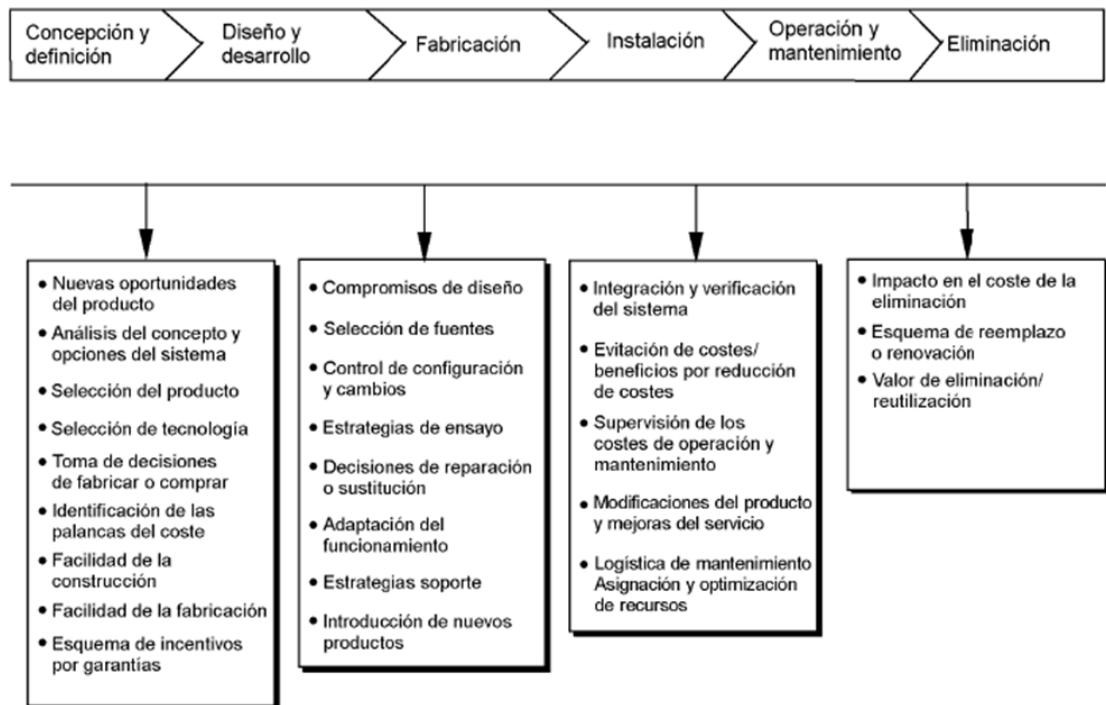
$$LCC = \text{Coste adquisición} + \text{Coste propiedad} + \text{Coste eliminación}$$

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

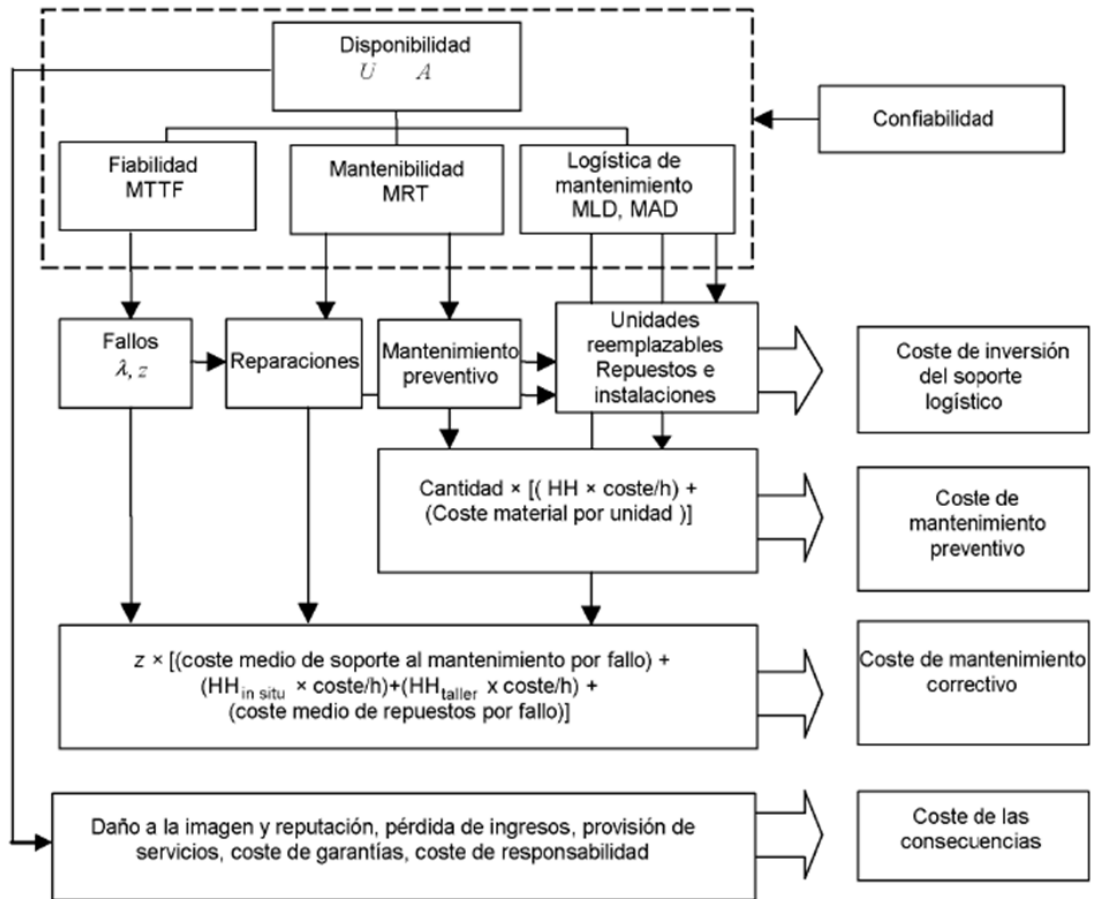
Los costes de propiedad, que con frecuencia son el componente mayor del LCC exceden, en muchos casos, a los costes de adquisición y no son tan evidentes. Estos costes son difíciles de predecir y pueden incluir también costes asociados con la instalación.

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 representa un desembolso significativo.

A continuación, se muestra una imagen con las diferentes fases del ciclo de vida y lo que puede suponer para el LCC:



En el presente proyecto, como su propio nombre indica, estudiamos el mantenimiento, por lo que con la siguiente figura, se pretende mostrar la relación entre el LCC y el mantenimiento:



El modelado del LCC es complejo, y para la estimación del coste existen diferentes metodologías:

➤ Método de coste de ingeniería:

Con este método 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, por ejemplo, para la mano de obra.

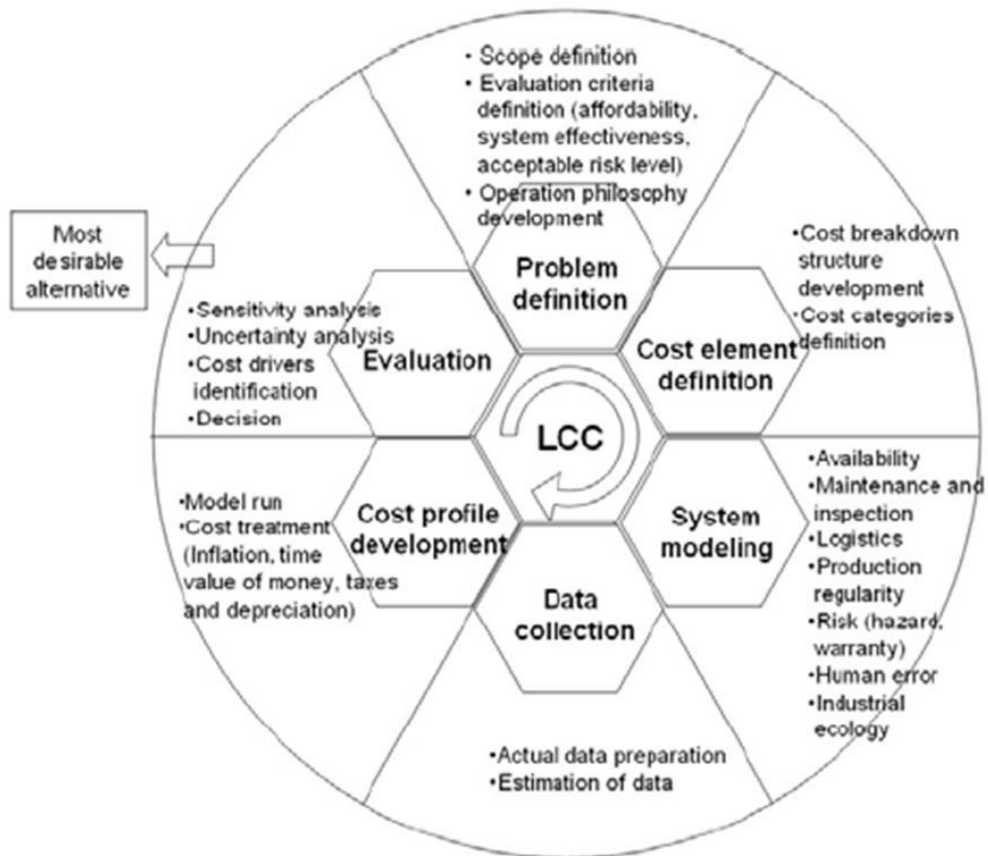
➤ Método de coste por analogía

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... Ésta técnica puede ser una de las menos complejas y que menos tiempo conllevan.

➤ Método de coste paramétrico:

En este método se usan parámetros y variables para desarrollar relaciones para la estimación de costes. Las relaciones normalmente tienen forma de ecuaciones.

A continuación se muestra una figura en la que se puede apreciar gráficamente las diferentes partes de un proceso de modelado de coste de ciclo de vida:



Es importante señalar que para realizar éste cálculo debemos extraer el precio que tendría cada coste en el momento de la compra del mismo, teniendo en cuenta que el precio del dinero oscila libremente. Así pues, la definición exacta sería, el valor presente de los gastos anticipados durante la vida del sistema.

Para realizar éste cálculo necesitamos de la ayuda de fórmulas matemáticas que nos permitan establecer el precio en un momento dado de cualquier coste efectuado en el futuro, teniendo en cuenta la oscilación del coste del dinero. La definición formal sería un procedimiento que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión, llamado VAN (valor actual neto). La fórmula es la siguiente:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_F}{(1+k)^t} - I_0$$

Siendo:

- Vf, valores flujo de caja.
- Io, valor de desembolso inicial de la inversión.
- n, número de periodos considerado.
- k, tipo de interés.

Es importante señalar que cuando en VAN toma un valor de '0' el valor 'K' pasa a llamarse 'TIR' (tasa interna de retorno), rentabilidad que está proporcionando el proyecto.

UNIFE-UNILIFE

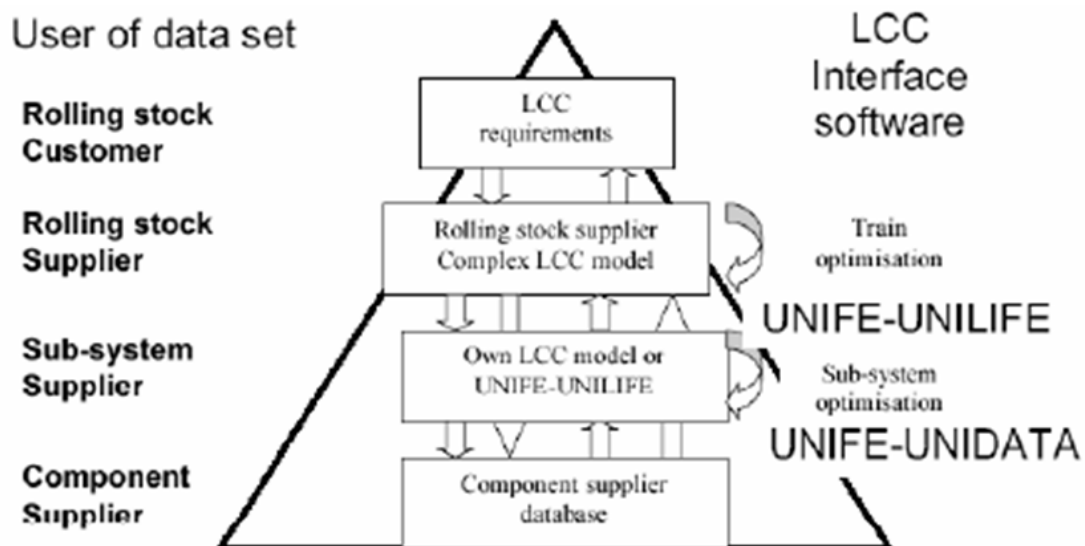
En el mercado existen varias herramientas comerciales de cálculo de LCC para vehículos ferroviarios tales como RELEX lcc, LCCWare, D-LCC, CATLOC y UNIFE-UNILIFE, sin embargo nosotros sólo vamos a comentar este último por ser una de las uniones más potentes a nivel ferroviario mundial.

Tal y como se ha mencionado en uno de los apartados anteriores, el LCC es una de las mejores herramientas de comparación (benchmarking) entre diferentes máquinas a la hora de decidirse a la compra de una de ellas. En él se pueden contemplar todos los gastos que necesitará la máquina a lo largo de su ciclo de vida como por ejemplo; coste inicial de la máquina, coste de consumo de energía, etc., pero lo que verdaderamente ocupa a este PFC es el coste en mantenimiento, que en la mayoría de las ocasiones es el más elevado de todos, y más aun en el ámbito ferroviario.

Dentro del LCC, el punto principal de este PFC es el coste del mantenimiento en el ciclo de vida de conjunto de vehículo ferroviario, y para ello podemos basarnos en el método general para el cálculo de costes de mantenimiento de esta clase de material rodante proporcionado por UNIFE, la unión de fabricantes de vehículos ferroviarios Europea.

UNIFE ha unificado metodologías con el objetivo de crear sistemas de datos comparables unos con otros para la mejor comparación de flotas de diferentes fabricantes. La unificación de criterios de cálculo de LCC por UNIFE no ha sido todo lo profunda que se podría haber esperado, ya que al ser una unión de fabricantes de vehículos ferroviarios, no ha interesado dar información sobre costes de diseño, fabricación y desarrollo, por lo que se suponen todos estos costes como costes de adquisición del vehículo.

Una vez presentado lo anterior, se debe centrar el estudio en el software UNILIFE creado por UNIFE, tal y como se ha mencionado anteriormente, una de las uniones más importantes, si no la más, en el ámbito ferroviario mundial. Éste software consiste en dos libros de trabajo bajo la plataforma de Microsoft EXCEL, UNILIFE y UNIDATA. Ambos contienen hojas de balances que fueron diseñadas para coleccionar datos necesarios para el análisis del LCC. Para el mejor conocimiento del mismo se muestra la siguiente figura en la que se observa un buen esquema de lo que debe ser UNILIFE.



En el caso de UNIDATA, colecta datos necesarios para el cálculo de LCC, mientras que en el caso de UNILIFE se ocupa del cálculo de un primer análisis de LCC mediante los datos almacenados por UNIDATA. Se recomienda no utilizarlo con sistema de más de 2000 elementos. Además, existe una herramienta que permite realizar, de una forma muy simple y básica, cálculos de fiabilidad.

Hay que mencionar que UNILIFE es un software diseñado para la comunicación de información de LCC. Lamentablemente, en ella se observan errores no aceptados en el método universal de cálculo de life cycle cost.

Se podría decir que es una herramienta de transmisión de datos y como tal, su uso habitual es simplemente como comparación entre datos obtenidos del mismo modo. De hecho, éste programa está orientado como herramienta de cálculo de costes de mantenimiento o cálculos de tiempos entre fallos, más que como un software de cálculo de LCC.

Se han detectado limitaciones en este software:

En caso de que un elemento falle, es necesario decidir si este fallo es reparable o no. A continuación se muestra una figura en la que se pueden observar que el sistema no da claridad en este aspecto, debido a una excesiva combinación de cambios y reparaciones que ofrece:

| Revision 0 | | CORRECTIVE MAINTENANCE | | | |
|---------------------|----------------------------|------------------------|-----------|----------------------|------------|
| Project: | UNIFE test proj | Spare Part | Exch-able | Fraction by exchange | Repar-able |
| Sub-syst. Supplier: | Example. Electric | Price | Y/N | | Y/N |
| Equipment: | UNIFE test syste... | DEM | | | |
| Identify | Name | | | | |
| POST | NAME | PRICE | LINE FEED | ESTD TIME | REPAIRABLE |
| 3 | Power Supply | | | | |
| 3.01 | Line Voltage System | | | | |
| 3.01.01 | A-component | 1.000 | Y | 1,00 | Y |
| 3.01.02 | B-component | 1.000 | Y | 1,00 | N |
| 3.01.03 | C-component | 1.000 | N | 1,00 | Y |
| 3.01.04 | D-component | 1.000 | N | 0,50 | N |
| 3.01.04.01 | Header 1 | | | | |
| 3.01.04.01.01 | Header 2 | | | | |
| 3.01.04.01.01.01 | Header 3 | | | | |
| 3.01.04.01.01.01.01 | E-component | 1.000 | Y | 1,00 | Y |

| Exchangeable in 1 st or 2 nd line | Repairable | |
|---|----------------------------|-----------------------------|
| | Yes | No |
| Yes | Replaceable and repairable | Replaceable and discardable |
| No | Repairable item | Discardable item |

Sin duda la apariencia, ya que al estar basado en una hoja de cálculo Excel no tenemos la posibilidad de tener la apariencia de árbol, que sin duda da facilidades de visualizar a la hora de introducir datos en la posición correcta. A continuación se muestra una figura en la que podemos observar como se definen los elementos dentro de UNIDATA.

| UNIFE-UNILIFE | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|----------------------------|--|--------------|--------------|--------------|------------|----------------------|------------|------------------|--------------------|------|--|
| Navigation | Errorcheck | | Sum Failrate | CM Manh Cost | CM Mtrl Cost | CM Cost | Failure Penalty Cost | PM Cost | Maintenance Cost | Maintenance Cost % | | |
| 9 | 10 | | Fpmh | DEM All Tr | DEM All Tr | DEM All Tr | DEM All Tr | DEM All Tr | DEM All Tr | DEM All Tr | | |
| 0 | 0 | | | | | | | | | | | |
| 0,0 | 0,0 | | | | | | | | | | | |
| 3 | Power Supply | | 0,00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15.698 | 15.698 | 23% | | |
| 3.01 | Line Voltage System | | 0,00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0% | | |
| 3.01.01 | A-component | | 8,00 | 840 | 2.400 | 3.240 | 12.000 | 17.550 | 20.790 | 31% | | |
| 3.01.02 | B-component | | 8,00 | 420 | 12.000 | 12.420 | 0 | 4.725 | 17.145 | 25% | | |
| 3.01.03 | C-component | | 8,00 | 630 | 2.400 | 3.030 | 0 | 3.030 | 4% | | | |
| 3.01.04 | D-component | | 8,00 | 210 | 6.000 | 6.210 | 0 | 0 | 6.210 | 9% | | |
| 3.01.04.01 | Header 1 | | 0,00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0% | | |
| 3.01.04.01.01 | Header 2 | | 0,00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0% | | |
| 3.01.04.01.01.01 | Header 3 | | 0,00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0% | | |
| 3.01.04.01.01.01.01 | E-component | | 8,00 | 420 | 4.800 | 5.220 | 0 | 0 | 5.220 | 8% | | |
| | | | 0,00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0% | | |
| | | | 0,00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0% | | |
| | | | 0,00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0% | | |
| SUM | | | 0,00 | 0,00 | 2.520 | 27.000 | 30.120 | 12.000 | 37.973 | 68.093 | 100% | |

El forzamiento a la utilización de determinados modos de cálculo, por la imposibilidad de utilizar otros, como es el caso del cálculo de NET PRESENT VALUE (valor actual neto) en el que el programa sólo puede definir una tasa de descuento constante.

Estas limitaciones hacen del software un programa no demasiado útil y sobre el cual hay que investigar para obtener mejores apariencias y mejores métodos de cálculos en un futuro, al menos si se desea seguir utilizándolo.

MODELO DE CÁLCULO DE COSTES DE MANTENIMIENTO FERROVIARIO

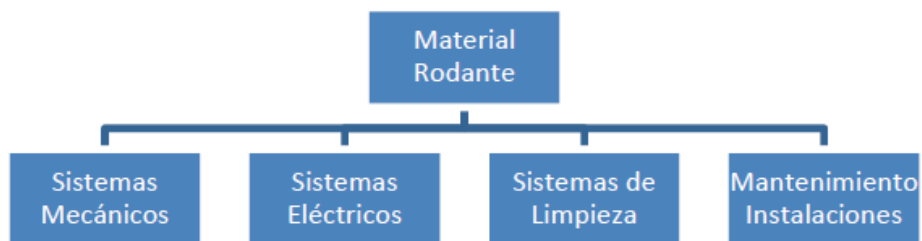
ORGANIZACIÓN

Se ha optado por una serie de medidas en cuanto a organización de tal forma que se simplifique y clarifique la gestión.

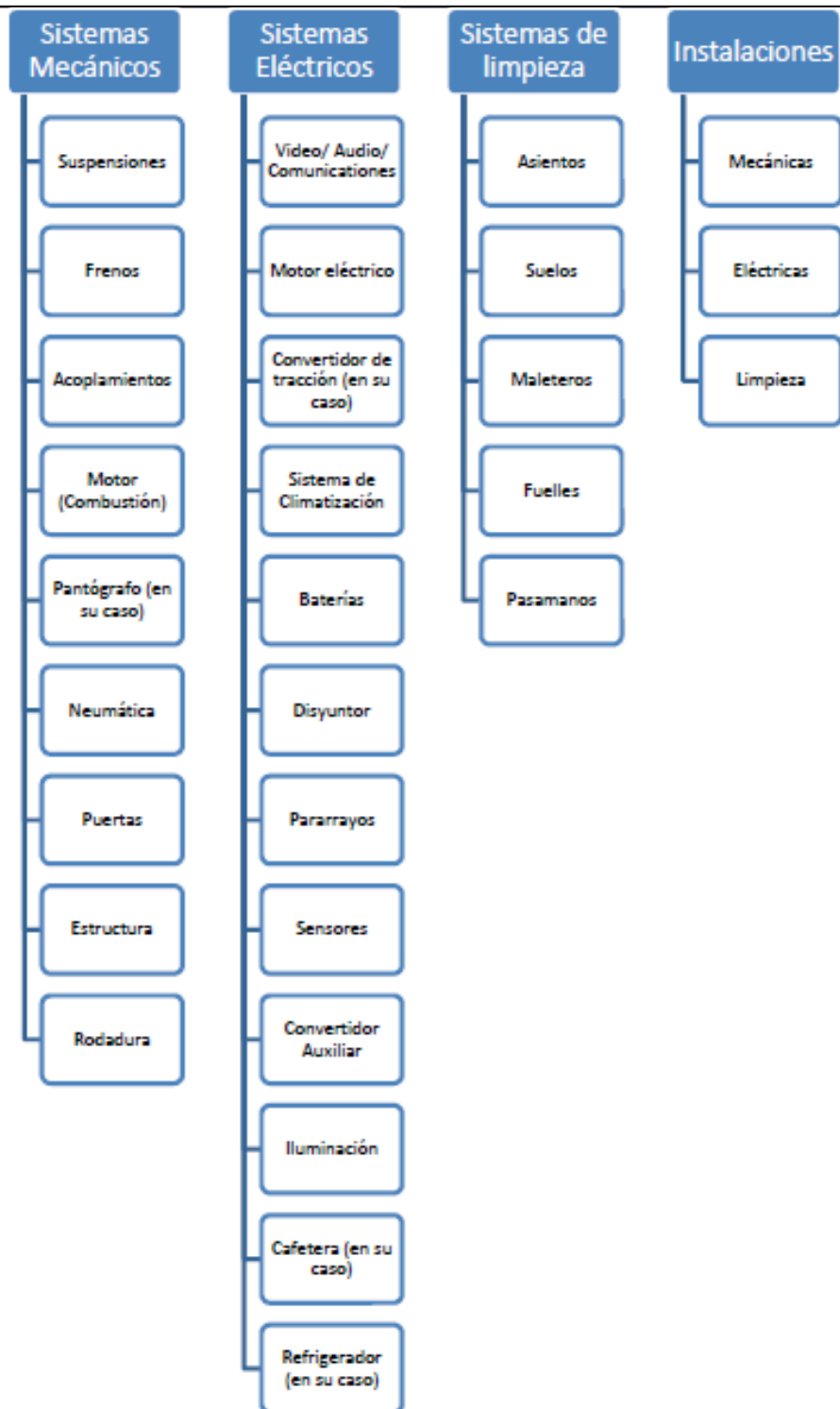
En nuestro caso se ha optado por la clasificación del material rodante según el tipo de componentes y por la división de las operaciones de mantenimiento en función de las acciones a realizar.

DIVISIÓN EN COMPONENTES FERROVIARIOS

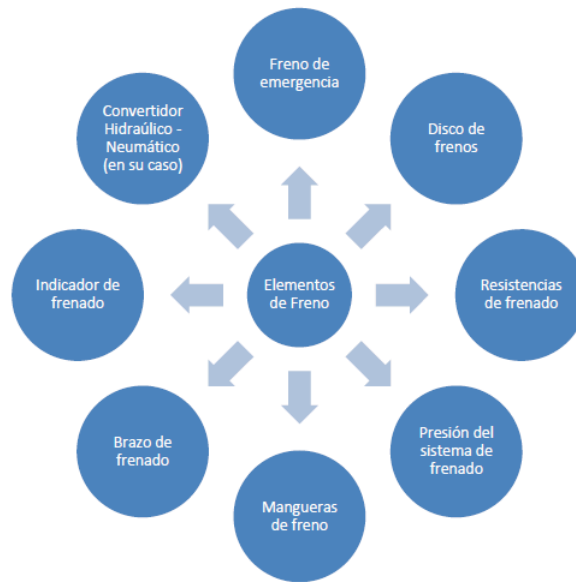
Vamos a diferenciar cuatro grandes grupos de sistemas en los que se divide el material rodante:



Los cuales a su vez se subdividen en una serie de elementos:



Cada uno de estos elementos esta formado por una serie de componentes:



En nuestro PFC se va a trabajar únicamente con los componentes del sistema mecánico, ya que consideramos que el sistema mecánico es el de mayor importancia debido al considerable desgaste que sufren cada uno de estos componentes.

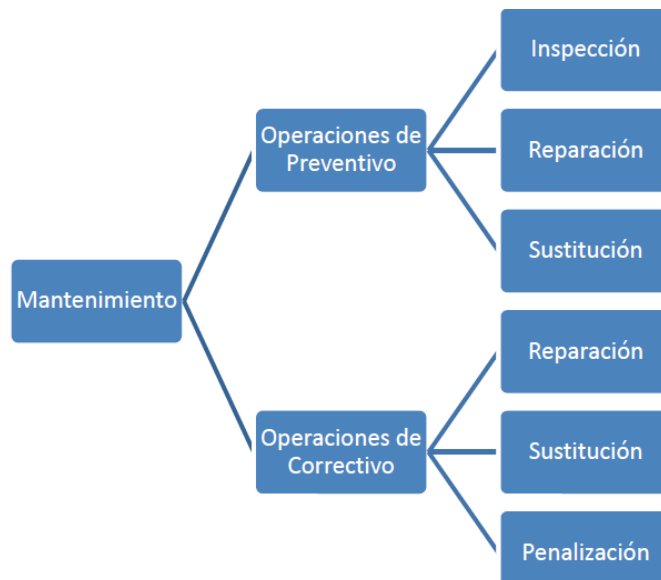
DIVISIÓN DE LAS OPERACIONES DE MANTENIMIENTO

Una vez realizada la clasificación del material rodante en sistemas y elementos más sencillos, se pasa a dividir las distintas operaciones de mantenimiento que se realizarán sobre cada componente.

De esta forma el mantenimiento queda dividido en operaciones de mantenimiento preventivo y operaciones de mantenimiento correctivo.

- La finalidad de las operaciones de preventivo es la de reducir la probabilidad de fallo. Se realizan cuando el equipo funciona bien, para que éste siga funcionando de igual modo.
- Las operaciones de correctivo, por el contrario, consisten en el reacondicionamiento o sustitución de partes de un equipo una vez que éste ha fallado.

Éstas a su vez se subdividen en tareas más sencillas, tal y como se muestra en la figura:



Para aclarar esta división, se explica en qué consiste cada una de las tareas, del mismo modo que se asociarán los costes que conlleva cada una de ellas, ya que de otra forma no sería posible pasar de operaciones de mantenimiento a coste de mantenimiento.

INSPECCIÓN:

El programa de inspección a los equipos, maquinaria e instalaciones tiene como objetivo descubrir situaciones que puedan originar fallas y una depreciación perjudicial para los equipos.

Se realizan comprobaciones periódicas de los elementos para poder garantizar que éstos se encuentran en perfecto estado para su funcionamiento y en caso de que su estado no sea el adecuado se realizan las acciones de mantenimiento pertinentes.

Los costes derivados de una inspección se obtienen a partir del número de horas, las cuales variarán según el tipo de equipo que el oficial de mantenimiento haya empleado en la inspección.

REPARACIÓN

Una reparación es una acción que devuelve al equipo al estado de buen funcionamiento, de tal forma que éste recupera la capacidad de trabajo y puede volver a realizar su función de forma correcta.

En este modelo, los costes derivados de una reparación se obtienen a partir del número de horas empleadas por un oficial de mantenimiento, el número de horas empleadas por un peón de mantenimiento y finalmente un coste asociado al uso de materiales auxiliares, que se calcula como un porcentaje de la suma de los dos anteriores.

SUSTITUCIÓN

Es una intervención en la que se elimina el elemento averiado y en su lugar se introduce otro que se encuentra en óptimas condiciones de funcionamiento. Este tipo de acciones se realizan cuando la reparación de dicho elemento supondría un gasto mayor que el reemplazarlo por un elemento nuevo.

Los costes asociados a una sustitución se calculan en función del número de horas empleadas por el oficial de mantenimiento, el número de horas empleadas por el peón de mantenimiento, el coste del equipo a sustituir y un coste asociado al uso de materiales auxiliares.

PENALIZACIÓN

Una penalización es una sanción económica, en nuestro caso, debido a algún tipo de fallo no previsto que supone gastos adicionales. Se consideran cuatro tipos de penalizaciones, cuyas sanciones dependerán de las consecuencias que dicho fallo pueda acarrear:

- Penalización por confort: esta sanción es debido a las molestias que un fallo pueda generar en el bienestar de los pasajeros. El valor estimado de la sanción es de 200€.
- Penalización de servicio: este tipo de sanciones se imponen en el caso de que un fallo impida ofrecer un servicio determinado. El valor estimado de la sanción es de 200€.
- Penalización por retraso de más de quince minutos: la sanción es de 1000€.
- Penalización por retraso de más de dos horas: la sanción es de 1900€.

Las penalizaciones se introducen en el modelo como un porcentaje, es decir, existe un porcentaje determinado de que la necesidad de un mantenimiento correctivo implique una penalización de alguno de los tipos citados anteriormente.

Cabe señalar que dentro del apartado de mantenimiento preventivo no todas las inspecciones conllevan una sustitución o una reparación, por lo que la suma de los porcentajes que se asignan a reparaciones y sustituciones no tiene que ser uno.

Sin embargo una operación de mantenimiento correctivo siempre conlleva una sustitución o una reparación, de tal forma que en este apartado la suma del porcentaje que se asocia a sustituciones y reparaciones debe ser uno.

Gracias a esta descomposición se puede obtener de una forma ordenada todo lo necesario para realizar el coste del plan de mantenimiento. En un principio se había pensado en utilizar una hoja de cálculo del programa “Microsoft Office Excel” para establecer el plan de mantenimiento, pero como ya se ha comentado anteriormente presenta una serie de inconvenientes en cuanto a potencia de cálculo, apariencia, etc.

Para solventar todos estos problemas se ha decidido adaptar una herramienta informática con el objetivo de mejorar el resultado inicial obtenido con una hoja “Excel”.

HERRAMIENTA INFORMÁTICA DE CÁLCULO

Tal y como se ha podido apreciar anteriormente, las hojas de cálculo son muy oportunas para este trabajo aunque se hace demasiado compleja la modificación de costes variables como pueden ser el coste de las hora/hombre o los costes de los materiales de recambios. Por este motivo, en este documento se ha elegido realizar éste cálculo de costes de mantenimiento adaptando un software universal de control de costes para construcción, a un software de cálculo de costes de mantenimiento de un conjunto de vehículos ferroviarios, creando dos bases de datos en las que aparecen tanto las partes en las que se divide el vehículo ferroviario como las diferentes operaciones que hay que realizar en él. El software elegido a sido ‘Arquímedes (versión gratuita estudiantes)’.

La utilización de este software nos va a proporcionar numerosas ventajas respecto al uso de hojas de cálculo:

- Manejo de un elevado volumen de datos.
- Control del coste de mantenimiento, tanto por partes como globalmente.
- Actualización constante, tanto de precios de horas hombre como de materiales, así como posibles variaciones en el número de reparaciones, sustituciones y penalizaciones.
- Es visualmente atractivo, claro, conciso y fácilmente entendible. Esto nos sugiere un escandallo que nos permita obtener de un vistazo la información deseada.
- Tiene gran potencia de cálculo.

Tras una búsqueda de softwares propios de mantenimiento, se ha observado que no existe ninguno que posea las suficientes herramientas que se necesitan y que por otro lado sea de libre utilización (sin coste). Por lo que, tal y como se ha mencionado al inicial de este apartado, se ha optado por la adaptación de un software universal de control de costes del ámbito de la construcción, se ha escogido CYPE Arquímedes ‘Versión estudiantes’.

Este software escogido presenta lo que se demanda en cuanto a presentación, ya que se observa un árbol de elementos que se puede diferenciar en las partes que se crean oportunas. Además, existe una base de datos en la que ya se encuentran elementos aplicables, como mano de obra, pero con la posibilidad de ampliarla en cuanto a materiales, ya que en la base de datos habrá elementos relacionados con la construcción y necesitaremos crear elementos propios del sistema ferroviario.

Es importante señalar que al no ser un software de mantenimiento, deberemos alimentarlo a través de una hoja de cálculo en la podremos modificar las variables generales del sistema, como podrán ser, kilómetros recorridos anualmente, número de coches, número de conjuntos de trenes, fiabilidad exigida y número de operaciones de mantenimiento preventivo o correctivo anuales.

Ahora que se ha comprendido mejor el funcionamiento de Arquímedes, hay que crear las bases de datos necesarias para el objetivo propuesto. Para tal fin, se propone la creación de dos bases de datos diferenciadas:

- Base de datos CBS (Cost Breakdown Structure), en la cual deben figurar:
 - Los elementos del tren involucrados en el cálculo, de modo que en él quede reflejado un modelo patrón para poder adaptar diferentes tipos de flotas.
 - El modelo de operaciones de mantenimiento descrito, incluyendo los tiempos medios de las operaciones recopilados a través de históricos y experiencias, tanto de proveedores como de clientes. Estos históricos deberán incluir el porcentaje de reparaciones y sustituciones, imprescindible para el cálculo.

| Código | Doc Pli Ud | Resumen | Cant. | Coste | Importe |
|-----------|------------|---|--------|-----------|-----------|
| GENERAL.. | | Presupuesto plan de mantenimiento ferroviario | 1,000 | 46.717,67 | 46.717,67 |
| MEC | | Sistemas mecánicos | 1,000 | 38.393,98 | 38.393,98 |
| SUSP | | Elementos de suspensiones | 1,000 | 28.524,12 | 28.524,12 |
| FRE | | Elementos de frenos | 1,000 | 9.869,86 | 9.869,86 |
| F1 | | Freno de emergencia | 1,000 | | |
| F2 | | Disco de freno | 1,000 | | |
| F3 | | Presión sistema de freno | 1,000 | | |
| F4 | | Mangueras de freno | 1,000 | | |
| F5 | | Brazo de frenado | 1,000 | | |
| F6 | | Convertidor hidráulico-neumático | 1,000 | 9.869,86 | 9.869,86 |
| MPf6 | ud | Mantenimiento Preventivo | 0,250 | 7.046,02 | 1.761,51 |
| InspPf6 | ud | Inspecciones | 60,000 | 2,00 | 120,00 |
| SustPf6 | ud | Sustituciones | 4,000 | 1.599,08 | 6.396,32 |
| OMEC | | Horas Oficial Mecánico | 1,500 | 20,00 | 30,00 |
| P MEC | | Horas Peón Mecánico | 1,500 | 15,00 | 22,50 |
| F6M | ud | Convertidor Hidráulico-Neumático | 1,000 | 1.500,00 | 1.500,00 |
| %Mat | % | Materiales Auxiliares | 3,000 | 1.552,50 | 46,58 |
| RepaPf6 | ud | Reparaciones | 6,000 | 54,08 | 324,48 |
| MCf6 | ud | Mantenimiento Correctivo | 5,000 | 1.621,67 | 8.108,35 |
| SustCf6 | ud | Sustituciones | 0,400 | 1.599,08 | 639,63 |
| RepaCf6. | ud | Reparaciones | 0,600 | 54,08 | 32,45 |
| PenaCf6 | ud | Penalizaciones | 0,750 | 1.203,15 | 902,36 |
| 15min | ud | Retraso > 15min | 0,750 | 970,87 | 728,15 |
| 2horas | ud | Retraso > 2h ó cancelación | 0,250 | 1.900,00 | 475,00 |

- Base de datos de PRECIOS, para la cual habrá que considerarse:
 - Los costes de materiales, información ajustable a los precios dados por proveedores de subsistemas y componentes.
 - Los costes de horas hombre, de acuerdo a los convenios existentes y considerando el factor de corrección para las horas no productivas o llamadas “horas muertas”. Cabe resaltar que el coste de horas hombre representa alrededor de un 50% del coste total del plan de mantenimiento anual de una flota.
 - Los costes de instalaciones y mantenimiento de las mismas.

| Código | Doc | Pli | Ud | Resumen | Cant. | Coste | Importe |
|-------------|-----|-----|----|------------------------------|-------|----------|---------|
| TIPOS MAN.. | | | | Tipos mantenimiento | 1,000 | | |
| TP | | | | Operaciones de mantenimiento | 1,000 | | |
| OPE | | | | Operarios | 1,000 | | |
| Of.Me. | | ud | | Oficial Mecánico | | 20,60 | |
| Pe.Me. | | ud | | Peón Mecánico | | 15,45 | |
| Of.El. | | ud | | Oficial Electricista | | 20,60 | |
| Pe.El. | | ud | | Peón Electricista | | 15,45 | |
| Of.Li. | | ud | | Oficial Limpieza | | 20,60 | |
| Pe.Li. | | ud | | Peón Limpieza | | 15,45 | |
| MAT | | | | Materiales para recambios | 1,000 | | |
| PEN | | | | Penalizaciones | 1,000 | | |
| CONF | | ud | | Fallo de confort | | 200,00 | |
| SERV | | ud | | Fallo de servicio | | 200,00 | |
| 15min | | ud | | Retraso > 15min | | 1.000,00 | |
| 2h | | ud | | Retraso > 2h ó cancelación | | 1.900,00 | |

Una vez creadas nuestras bases de datos, ya se ha obtenido la adaptación de la herramienta informática.

FIABILIDAD Y MANTENIMIENTO

INTRODUCCIÓN A LA FIABILIDAD

El concepto de fiabilidad puede definirse como la probabilidad de que un sistema o conjunto funcione de un modo correcto durante un período de tiempo en el que es utilizado en unas condiciones de funcionamiento especificadas.

La fiabilidad de un sistema se puede aumentar reduciendo su complejidad, aumentando la fiabilidad de los componentes, acoplado elementos redundantes, reparando el componente y mediante la implantación un modelo de mantenimiento preventivo apropiado.

La fiabilidad está muy relacionada con los sucesos aleatorios, de aquí su evaluación por parte de la estadística. Estos sucesos se tipifican asumiendo una

"Función de Fallo" (variable aleatoria continua, que nos da la probabilidad de fallo para un tiempo de un Elemento / Componente / Subsistema / Sistema), función que como toda variable aleatoria, viene caracterizada por una "Función de Densidad de Fallo", $f(t)$, y una "Función de Distribución de Fallo", $F(t)$.

La estadística define la "Fiabilidad" como una función $R(t)$, que representa la probabilidad de que el sistema no falle en el intervalo $(0,t)$.

Esta función, mantiene la siguiente relación con la función de Distribución de Fallo $F(t)$:

$$R(t) = 1 - F(t)$$

Existen distintas Funciones de Fallo relacionados con los Estudios de Fiabilidad. La elección una de estas funciones depende del grado de ajuste de los datos al proceso a considerar o la función considerada o del tipo de fenómeno a analizar. Las más comunes son:

- Distribución Exponencial.
- Distribución Weibull.
- Distribución Normal.
- Distribución Log-Normal.
- Distribución Binomial.
- Distribución de Poisson.

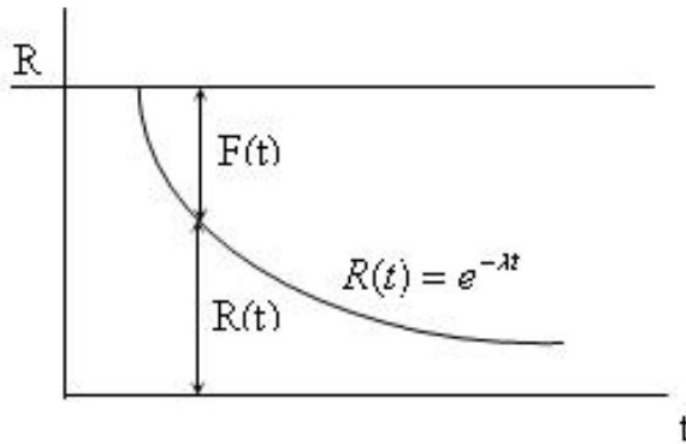
En nuestro caso se ha escogido la función Exponencial, dada su comodidad a la hora de realizar los cálculos y por su correcta adecuación para la representación de cualquier tipo de sucesos, concretamente en este caso en el que los fallos del sistema se deben a sucesos aleatorios.

FUNCIÓN DE FALLO EXPONENCIAL

Se puede catalogar como sencilla a la vez que funcional, ya que simplifica los cálculos pero a la vez proporciona valores muy precisos. Es la distribución que se puede utilizar para casi todo tipo de componentes, lo que la convierte en la función más utilizada por los diferentes autores.

Su principal característica es considerar una tasa instantánea de fallo, $\lambda(t)$, constante a lo largo del tiempo.

El resto de sus características principales son las siguientes:



$$f(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda \cdot t}$$

$$R(t) = \int f(t) dt = e^{-\lambda \cdot t}$$

$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = cte$$

Dónde:

- $R(t)$: fiabilidad.
- $F(t)$: función de distribución de fallo.
- $f(t)$: función de densidad de fallo.
- $h(t)$: tasa de fallo.

Otro parámetro muy usado en estudios de fiabilidad es el “Tiempo Medio entre Fallos”, también conocido como MTBF, que a su vez queda definido de la siguiente forma:

$$MTBF = \int_0^{\infty} R(t) dt$$

Concretamente en el caso de la distribución de fallo exponencial, la que se va a escoger para realizar los análisis posteriores, se cumple que:

$$MTBF = \frac{1}{\lambda}$$

CÁLCULO DE FIABILIDAD EN VEHÍCULOS FERROVIARIOS

En el ámbito del ferrocarril, en lugar de la MTBF, se suele utilizar también el parámetro “Kilómetros Medios entre fallos”, o MKBF, que en otra bibliografía toma también el nombre de MDBF, o “Distancia Media entre Fallos”. Esto se calcularía con el dato de la velocidad media (en km/h, suponiendo que la tasa de fallos viene dada en fallos por hora).

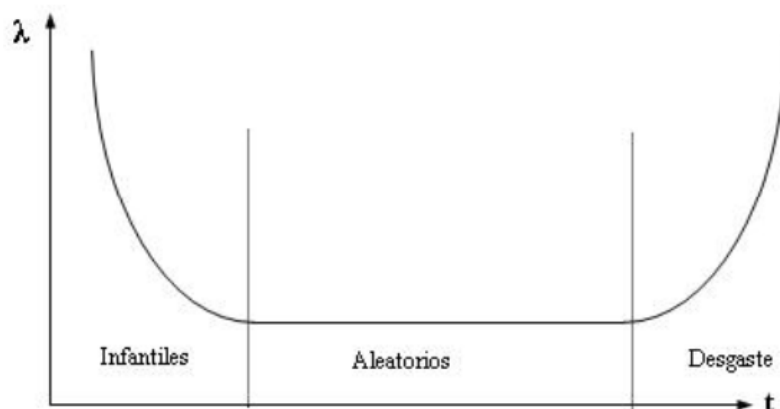
$$MKBF (Km) = MDNF (Km) = MTBF (h) \cdot Velocidad\ media (Km/h)$$

Por tanto, y para el caso de la Distribución Exponencial en la que la tasa de fallos es constante, el MTBF se define como la inversa de la tasa de fallos constante, λ . Hay que recalcar que esta igualdad ampliamente utilizada en los estudios de fiabilidad y en particular en los referidos a material ferroviario, es únicamente cierta para el caso de que el sistema siga un comportamiento definido por la Distribución Exponencial de fallo.

El citado modelo matemático, basado en la Distribución Exponencial, es el que ha sido usado en este estudio. A continuación se justifica el uso de este modelo en los estudios de fiabilidad de material ferroviario.

La variación de la tasa instantánea de fallos $h(t)$ con respecto al tiempo se representa en la mayoría de los casos con la curva conocida como “la curva de la bañera”. Dicha curva tiene tres etapas diferentes muy definidas:

- Etapa de fallos infantiles: Corresponde a dispositivos defectuosos con una tasa de fallos superior a lo normal debido a fallos latentes del propio material, fallos de fabricación, etc.
- Etapa de fallos aleatorios: Son fallos que ocurren durante la vida normal del equipo. Los fallos son inesperados.
- Etapa de fallos de desgaste o envejecimiento: Ocurre cuando se supera la vida prevista del componente debido a factores tales como el desgaste, la fatiga, etc.



La Distribución Exponencial describe el comportamiento en la zona de fallos aleatorios en la que la tasa de fallos es constante. Las características de esta distribución hacen que los cálculos sean menos complejos, por lo que su uso es muy común en estudios de gran variedad de campos. Ha existido cierto conflicto en cuanto a la validez de la función exponencial en lo que se refiere a su aplicación en todo tipo de sistemas o conjuntos. Sin embargo hoy en día numerosos estudios coinciden en que su utilización en sistemas de carácter eléctrico/electrónico es más que correcto. En nuestro caso, en sistemas mecánicos que van a sufrir desgaste y fatiga, se considera más adecuado el uso de la función Weibull, si bien, también se ha demostrado que en el caso de sistemas multicomponentes e incluso a nivel de componentes individuales mecánicos los resultados de fiabilidad alcanzados por la función Weibull respecto de la Exponencial son muy similares.

Por lo tanto, en nuestro caso, el uso de la Función Exponencial es igualmente válido, además de ser mucho más cómodo e intuitivo. De esta forma queda sobradamente justificado el uso de la distribución exponencial para el desarrollo de los distintos apartados de este PFC.

El siguiente paso va a ser el cálculo de la fiabilidad, en el que la variable fundamental que hay que calcular es la tasa de fallo (λ). Para ello se puede proceder de dos formas distintas, una de ellas es de forma teórica y la otra basada en la experiencia y en históricos. La variación de resultados obtenidos entre una y otra es muy similar y el uso de un método u otro dependerá de la disponibilidad o no de históricos y datos fiables.

Se muestran a continuación una serie de ejemplos de ambos métodos, aunque en este PFC se ha utilizado el método experimental, ya que se disponía de los datos necesarios para ello.

CÁLCULO DE FIABILIDAD DE FORMA TEÓRICA

Se recomienda el uso de este método cuando no se disponga de históricos fiables o de otras bases de datos, o bien, en el caso de que el equipo que se va a estudiar sea novedoso y no pueda ser comparable con ningún otro.

Para ello se debe disponer de un manual que nos indique los pasos a seguir. Algunos de los más comunes son por ejemplo el “Naval Surface Warfare Center-Handbook of Reliability Prediction Procedures for Mechanical Equipment” o bien el que hemos seguido en nuestro caso “Military Handbook MIL-STD-756 Reliability Modelling and Prediction”.

A continuación pasamos a describir los pasos a seguir, acompañado de un ejemplo, en este caso de un compresor según el “NSWC-2011”.

1) Descomposición en elementos más sencillos:

$$\lambda_C = (\lambda^* \text{CSF}) + \lambda_{CA} + \lambda_{BE} + \lambda_{VA} + \lambda_{SE} + \lambda_{SH}$$

Siendo cada uno de los componentes de la ecuación:

- λ_C = Tasa de fallo total del compresor, en Fallos/Millón de horas.
- λ_{FD} = Tasa de fallo de los conductores, en Fallos/Millón de horas.
- CSF = Factor de Multiplicación por servicio.
- λ_{CA} = Tasa de fallo de la cubierta del compresor, en Fallos/Millón de horas.
- λ_{BE} = Tasa de fallo de los rodamientos, en Fallos/Millón de horas.
- λ_{VA} = Tasa de fallo de las válvulas de control, en Fallos/Millón de horas.
- λ_{SE} = Tasa de fallos de las juntas, en Fallos/Millón de horas.
- λ_{SH} = Tasa de fallos del eje, en Fallos/Millón de horas.

2) Cálculo de la tasa de fallo del compresor

El procedimiento va a consistir en calcular cada una de las tasas de fallo de los elementos que componen el compresor, según el manual mencionado anteriormente.

El resultado final muestra una tasa de fallo $\lambda_C = 8E-5$ Fallos/hora.

CÁLCULO DE FIABILIDAD DE FORMA EXPERIMENTAL

Es la forma más intuitiva. Consiste en el cálculo de la tasa de fallos del sistema en base a datos de históricos.

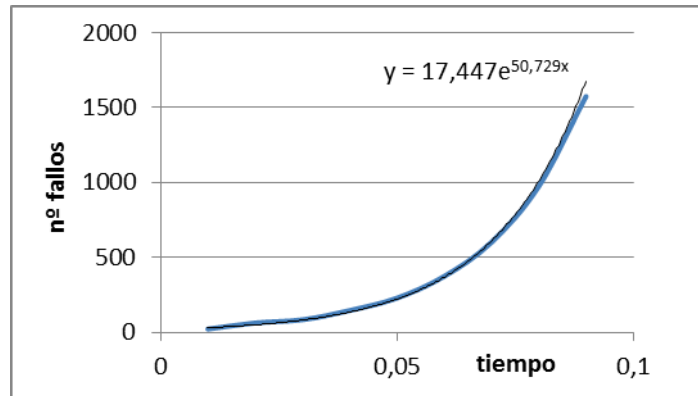
Hay que seguir una serie de pasos para calcular el coste de un plan de mantenimiento basándonos en la variable fiabilidad.

A continuación pasamos a resolver el ejemplo de una viga de la suspensión de un tren según este método, el cual cabe recordar será el método que se empleará en los cálculos de fiabilidad de este PFC.

Los datos recogidos en la siguiente tabla será nuestro punto de partida:

| Nº FALLOS | TIEMPO (Mh) |
|------------------|--------------------|
| 21 | 0,01 |
| 62 | 0,02 |
| 83 | 0,03 |
| 145 | 0,04 |
| 228 | 0,05 |
| 373 | 0,06 |
| 601 | 0,07 |
| 974 | 0,08 |
| 1575 | 0,09 |

Con estos datos y haciendo uso de la distribución de densidad de probabilidad de fallo exponencial, se puede realizar la siguiente gráfica y de esta forma representar el nº de fallos de la viga de suspensión en función del tiempo.



Podemos obtener la ecuación de la recta de ajuste, a partir de la cual obtenemos una $\lambda = 1,74 \text{ E-}5 \text{ Fallos/hora}$ y por tanto una $\text{MTBF} = 57316,44 \text{ h}$.

Este segundo método está más que recomendado, vemos que es mucho más rápido y mucho menos laborioso, siempre que se disponga de los datos adecuados, lo cual no siempre es posible.

Una vez obtenida la tasa de fallo, ya sea de forma experimental o teórica, se puede calcular la fiabilidad y no fiabilidad del sistema aplicando las siguientes fórmulas:

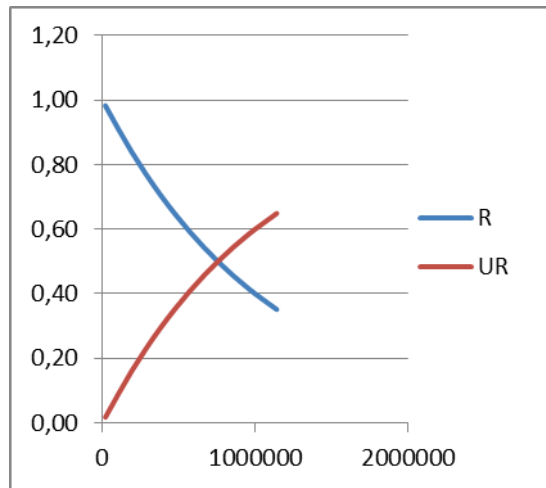
$$R(t) = \int f(t) dt = e^{-\lambda \cdot t}$$

$$UR = 1 - R(t) dt$$

De tal forma que se obtiene la fiabilidad en función de los Km:

| km | R | UR |
|---------|------|------|
| 19000 | 0,98 | 0,02 |
| 190000 | 0,84 | 0,16 |
| 380000 | 0,71 | 0,29 |
| 570000 | 0,59 | 0,41 |
| 760000 | 0,50 | 0,50 |
| 950000 | 0,42 | 0,58 |
| 1140000 | 0,35 | 0,65 |
| 1330000 | 0,29 | 0,71 |

Representando gráficamente estos datos se tiene una visión más global:



MODELO DE CÁLCULO DE OPERACIONES DE MANTENIMIENTO

Una vez que disponemos del modelo de cálculo de costes, falta establecer la relación de operaciones tanto de mantenimiento preventivo como de correctivo. Hay que tener en cuenta que esta relación va a ser distinta para cada equipo, dado que va a depender de la fiabilidad (parámetro fundamental y distinto para cada sistema).

Para poder establecer las operaciones de mantenimiento, ya sea preventivo o correctivo, se requiere de una serie de datos cuya obtención no supone un gran problema dado que aparecen en el pliego de condiciones y son los siguientes:

- N° de Km anuales recorridos.
- Velocidad media establecida.

CÁLCULO DE OPERACIONES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Según se entiende por operación de mantenimiento preventivo, podemos establecer su formulación:

$$N^{\circ}P = \frac{Km \text{ anuales a recorrer}}{Km \text{ recorridos a } R \text{ dada}}$$

De esta forma obtenemos una relación directa entre el número de operaciones de preventivo y la fiabilidad. Así pues podremos observar cómo va a variar el preventivo en función de cómo varíe la fiabilidad, lo cual es el principal objetivo.

Los pasos a seguir para el cálculo de preventivo serán pues los siguientes:

- 1) Obtener la tasa de fallo, bien por método teórico o experimental.
- 2) De la fórmula de la fiabilidad según distribución la distribución exponencial se despeja el tiempo “t”, prestando especial atención a las unidades:

$$t = \frac{\ln(R)}{-\lambda}$$

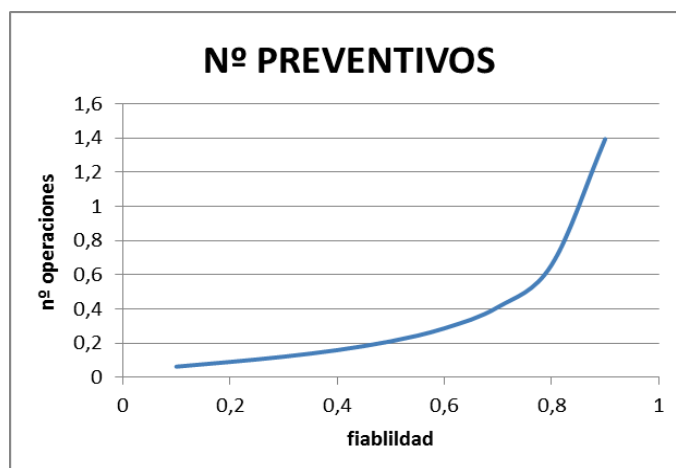
- 3) Multiplicar el tiempo (horas) por la velocidad media para obtener km recorridos a la fiabilidad dada.

Siguiendo con el ejemplo de la viga de la suspensión, de la cual se ha calculado la tasa de fallos, procedemos al cálculo del número de operaciones de preventivo anuales en función de su fiabilidad:

Los resultados obtenidos, quedan reflejados en la siguiente tabla:

| R | horas | km | NºP |
|----------|--------------|-----------|----------------|
| 0,1 | 131976 | 2507544 | 0,06381 |
| 0,2 | 92247 | 1752698 | 0,09129 |
| 0,3 | 69007 | 1311141 | 0,12203 |
| 0,4 | 52519 | 997852 | 0,16034 |
| 0,5 | 39729 | 754846 | 0,21196 |
| 0,6 | 29279 | 556295 | 0,28762 |
| 0,7 | 20443 | 388423 | 0,41192 |
| 0,8 | 12790 | 243006 | 0,65842 |
| 0,9 | 6039 | 114739 | 1,39447 |

Se observa que el aumento la fiabilidad del sistema lleva consigo un aumento de operaciones de preventivo, es lógico dado que un aumento de la fiabilidad se traduce por una disminución del número de fallos. Para ello es necesario realizar un mayor control, lo cual implica aumentar el número de inspecciones.



CÁLCULO DE OPERACIONES DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO

El cálculo de operaciones de correctivo se va a realizar de una forma muy similar a la del apartado anterior, salvo que en este caso el parámetro a tener en cuenta va a ser la no fiabilidad. En definitiva lo que se calcula es cada cuantos kilómetros vamos a tener que realizar una operación de correctivo, ya que asumimos que el sistema fallará.

La fórmula que se utiliza es la siguiente:

$$N^{\circ}C = \frac{Km \text{ anuales a recorrer}}{Km \text{ recorridos a UR dada}}$$

Así pues, los pasos a seguir para el cálculo de preventivo serán los siguientes:

- 1) Obtener la tasa de fallo, bien por método teórico o experimental.
- 2) Calcular la no fiabilidad: $UR=1-R$
- 3) Despejar el tiempo "t", prestando especial atención a las unidades:

$$t = \frac{\ln(R)}{-\lambda}$$

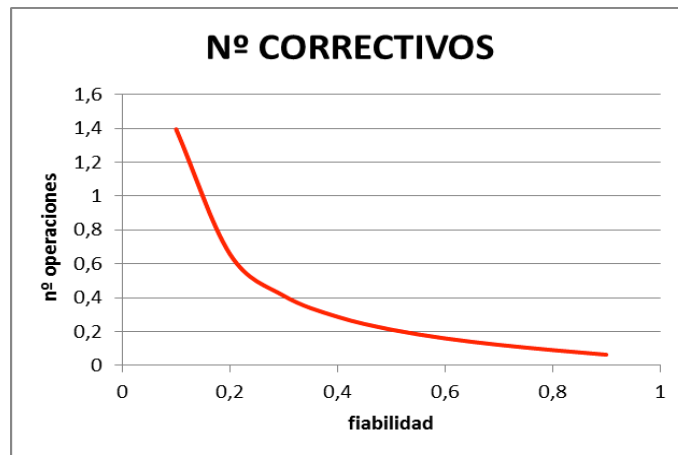
- 4) Multiplicar el tiempo (horas) por la velocidad media para obtener km a los cuales el sistema fallará.

Siguiendo con el ejemplo de la viga de la suspensión, procedemos al cálculo del número de operaciones de correctivo anuales:

Los resultados obtenidos, quedan reflejados en la siguiente tabla

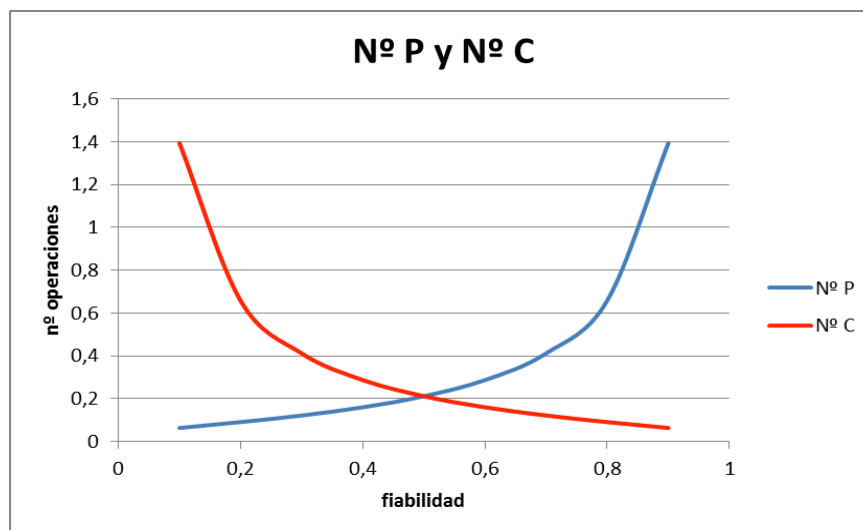
| UR | horas | km | N°C |
|-----------|--------------|-----------|----------------|
| 0,9 | 6039 | 114739 | 1,39447 |
| 0,8 | 12790 | 243006 | 0,65842 |
| 0,7 | 20443 | 388423 | 0,41192 |
| 0,6 | 29279 | 556295 | 0,28762 |
| 0,5 | 39729 | 754846 | 0,21196 |
| 0,4 | 52519 | 997852 | 0,16034 |
| 0,3 | 69007 | 1311141 | 0,12203 |
| 0,2 | 92247 | 1752698 | 0,09129 |
| 0,1 | 131976 | 2507544 | 0,06381 |

Se observa que conforme disminuye la no fiabilidad (o lo que es lo mismo, que conforme aumenta la fiabilidad del sistema) se produce una disminución del número de operaciones de correctivo, lo cual es lógico dado que un aumento de la fiabilidad se traduce por una disminución del número de fallos y por tanto, en una disminución del número de correctivo, ya que éstas se aplican únicamente en caso de que el sistema falle.



RESUMEN

En este apartado se ha cumplido con el objetivo buscado, de tal forma que ha quedado establecido un modelo de cálculo de operaciones de mantenimiento, tanto preventivo como correctivo, en función de la fiabilidad.



CÁLCULO DE COSTES DE MANTENIMIENTO

Una vez que se han calculado el número de operaciones de preventivo y correctivo estamos en disposición de calcular los costes derivados del mantenimiento.

En este caso la herramienta informática que hemos adaptado (“Arquímedes”), es de gran utilidad dado que nos proporciona el coste de mantenimiento de cada uno de los componentes que conforman el vehículo ferroviario en cuestión. De esta forma una vez obtenido el número de operaciones de mantenimiento de cada tipo, calculamos el coste total anual de mantenimiento preventivo y correctivo, y

por tanto, el coste total anual del plan de mantenimiento, todo ello en función de la variable principal de la fiabilidad.

Antes de continuar es importante aclarar que el coste unidad de cada componente es fijo, y que por tanto lo que hace variar el coste total es el número de operaciones de cada tipo, es decir, la fiabilidad.

Los pasos a seguir son pues los siguientes:

- 1) Calcular datos correctos de número de operaciones de preventivo y correctivo (ver apartado anterior), e introducirlos en Arquímedes. El usuario es quien decide qué valor va a introducir, en función de la fiabilidad que desee obtener en dicho componente.
- 2) Una vez introducidos los datos de número de preventivos y correctivos, la herramienta traduce esos términos a costes, tal y como se muestra en la siguientes imagen.

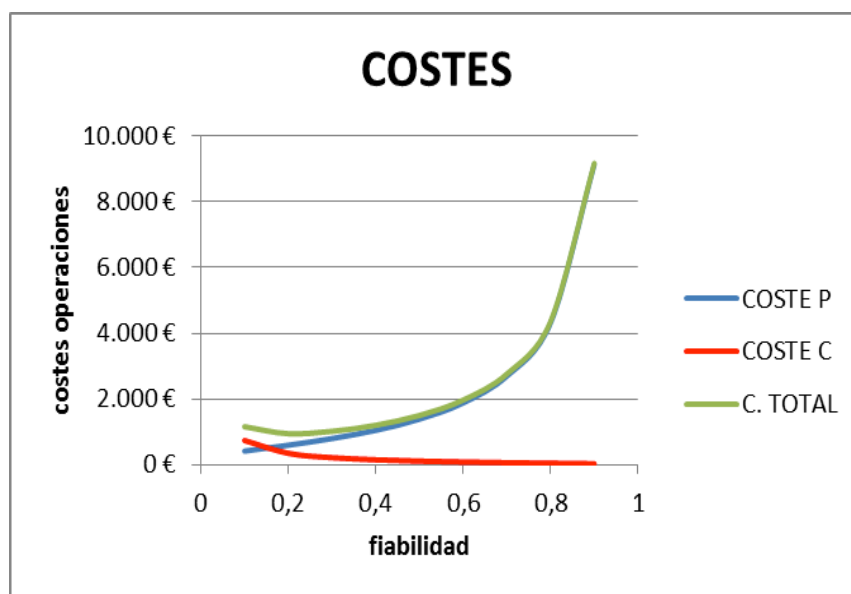
| Código | Doc Pli Ud | Resumen | Cant | Coste | Importe |
|---------|------------|--------------------------|---------|----------|----------|
| MPS2 | ud | Mantenimiento Preventivo | 0,286 | 6.550,55 | 1.873,46 |
| InspPS2 | ud | Inspecciones | 360,000 | 5,00 | 1.800,00 |
| OMECS2 | ud | Horas Oficial Mecánico | 0,250 | 20,00 | 5,00 |
| SustPS2 | ud | Sustituciones | 18,000 | 233,04 | 4.194,72 |
| OMECS2 | ud | Horas Oficial Mecánico | 0,750 | 20,00 | 15,00 |
| PMECS2 | ud | Horas Peón Mecánico | 0,750 | 15,00 | 11,25 |
| S2M | ud | Viga de la suspensión | 1,000 | 200,00 | 200,00 |
| %Mat | % | Materiales Auxiliares | 3,000 | 226,25 | 6,79 |
| RepaPS2 | ud | Reparaciones | 9,000 | 40,56 | 365,04 |
| OMECS2 | ud | Horas Oficial Mecánico | 1,125 | 20,00 | 22,50 |
| PMECS2 | ud | Horas Peón Mecánico | 1,125 | 15,00 | 16,88 |
| %Mat | % | Materiales Auxiliares | 3,000 | 39,38 | 1,18 |
| MCS2 | ud | Mantenimiento Correctivo | 1,033 | 532,31 | 549,88 |
| SustCS2 | ud | Sustituciones | 1,800 | 233,04 | 419,47 |
| OMECS2 | ud | Horas Oficial Mecánico | 0,750 | 20,00 | 15,00 |
| PMECS2 | ud | Horas Peón Mecánico | 0,750 | 15,00 | 11,25 |
| S2M | ud | Viga de la suspensión | 1,000 | 200,00 | 200,00 |
| %Mat | % | Materiales Auxiliares | 3,000 | 226,25 | 6,79 |
| RepaCS2 | ud | Reparaciones | 2,400 | 40,56 | 97,34 |
| OMECS2 | ud | Horas Oficial Mecánico | 1,125 | 20,00 | 22,50 |
| PMECS2 | ud | Horas Peón Mecánico | 1,125 | 15,00 | 16,88 |
| %Mat | % | Materiales Auxiliares | 3,000 | 39,38 | 1,18 |

Siguiendo con el ejemplo de la viga de la suspensión de los aparatados anteriores, pasamos a resolver el coste de mantenimiento anual de la misma, en función de la fiabilidad.

| | |
|--------------------------------|----------------|
| COSTE PREVENTIVO UNIDAD | 6.551 € |
| COSTE CORRECTIVO UNIDAD | 532 € |

| R | NºP | NºC | COSTE P | COSTE C | C. TOTAL |
|----------|------------|------------|----------------|----------------|-----------------|
| 0,1 | 0,0638 | 1,3945 | 417,97 | 742,29 | 1160,26 |
| 0,2 | 0,0913 | 0,6584 | 597,99 | 350,48 | 948,47 |
| 0,3 | 0,1220 | 0,4119 | 799,37 | 219,27 | 1018,64 |
| 0,4 | 0,1603 | 0,2876 | 1050,34 | 153,10 | 1203,45 |
| 0,5 | 0,2120 | 0,2120 | 1388,48 | 112,83 | 1501,31 |
| 0,6 | 0,2876 | 0,1603 | 1884,05 | 85,35 | 1969,40 |
| 0,7 | 0,4119 | 0,1220 | 2698,31 | 64,96 | 2763,27 |
| 0,8 | 0,6584 | 0,0913 | 4313,01 | 48,59 | 4361,60 |
| 0,9 | 1,3945 | 0,0638 | 9134,55 | 33,97 | 9168,51 |

Representando gráficamente los datos obtenidos de costes:



A la vista de la figura anterior, se puede constatar la existencia de un coste de mantenimiento total mínimo si somos capaces de establecer las relaciones adecuadas del número de operaciones de preventivo y correctivo anuales.

IMPLEMENTACION DEL MODELO EN LA HERRAMIENTA INFORMATICA

INTRODUCCIÓN

Una vez establecido el modelo de costes, adaptada la herramienta informática de acuerdo a las necesidades de cálculo y habiendo establecido una relación directa entre las operaciones de mantenimiento preventivo/correctivo y la fiabilidad, nos disponemos a dar un valor añadido a todo lo anterior.

Se pretende implementar en la herramienta informática el modelo de cálculo de operaciones de mantenimiento, de tal forma que la herramienta informática no necesite alimentarse de una hoja "Excel" y ésta sirva únicamente como complemento a la hora de representar gráficamente los datos para una mejor comprensión de los mismos.

Concretamente el objetivo es obtener de forma directa el número de operaciones de mantenimiento correctivo y de mantenimiento preventivo de cada uno de los componentes en función de la fiabilidad, sin la necesidad de utilizar ninguna otra herramienta de cálculo.

Se han estudiado las distintas posibilidades que Arquímedes es capaz de ofrecer a un usuario y se ha podido observar que este programa posee permite la utilización de lo que denominan "subtablas".

SUBTABLAS

Una subtabla es una pequeña herramienta de cálculo dentro del programa, que nos permite obtener el resultado directo de una operación que previamente ha sido programada por el usuario. No posee de gran potencia de cálculo, aunque en nuestro caso va a ser más que suficiente. El propio programa incluye una serie de subtablas predeterminadas, pero también nos da la opción de editarlas e incluso nos permite crear las nuestras propias. Esta última opción ha sido la que se ha escogido.

Una subtabla permite hacer cálculos de operaciones, condicionado al uso de máximo de cuatro variables. Por ejemplo si se requiere del cálculo de un volumen de una zanja que se va a rellenar de hormigón las variables que se utilizan son: anchura (A), altura (B), largura (C) y la fórmula será $Volumen\ zanja = A * B * C$.

El formato de la subtabla que proporciona Arquímedes y que por tanto hay que seguir es el siguiente:

| NOMBRE DE LA SUBTABLA | FORMULA | A | B | C | D | PARCIAL |
|-----------------------|---------|---|---|---|---|---------|
| | | | | | | |
| | | | | | | |

- NOMBRE DE LA SUBTABLA: se le da el nombre adecuado y elegido por el usuario.
- FÓRMULA: introduce la operación de cálculo que queremos que realice, utilizando las variables A,B,C,D.
- A,B,C,D: son las cuatro variables de las que se va a disponer para realizar el cálculo.
- PARCIAL: proporciona el resultado obtenido de la operación.

Es fundamental entender lo que es una subtabla, por ese motivo antes de continuar vamos a mostrar un ejemplo sencillo en el que quedará completamente definido este concepto. Para ello y siguiendo con el ejemplo del volumen de la zanja, vamos a proceder:

- 1) Introducimos el nombre de la subtabla: “VOLUMEN ZANJA”.
- 2) En este caso vamos a requerir de 3 variables (largura, anchura y altura), las cuales asignamos a una letra, (A, B, C).
- 3) Introducimos la fórmula, en este caso al volumen es igual al largo x alto x ancho, en este caso Volumen =A*B*C.
- 4) Introducimos los datos reales de las variables:
 - o Largo= 2 m
 - o Ancho= 4 m
 - o Alto = 6 m
- 5) Obtenemos el resultado en la casilla de parcial, en este caso 48 m3.

Así pues la subtabla quedaría de la siguiente manera:

| VOLUMEN ZANJA | FÓRMULA | A | B | C | D | PARCIAL |
|---------------|---------|-----------|-----------|----------|---|-----------|
| | | largo (m) | ancho (m) | alto (m) | | m3 |
| | A*B*C | 2 | 4 | 6 | | 48 |

Vemos como programando el cálculo en la fórmula usando las variables y asignándoles un valor, el programa devuelve el resultado.

METODOLOGÍA

Recordar que para calcular el número de operaciones de mantenimiento al aplicar la función de fallo exponencial, vamos a requerir de una serie de datos, los cuales van a pasar a ser nuestras variables a introducir en las subtablas:

- Kilómetros anuales recorridos (km).
- Fiabilidad requerida (de 0 a 1), a elección por el usuario.
- Velocidad media del tren (km/h).

- Tasa de fallo (fallo/millones de hora), ya sea calculada por método teórico o experimental.

En nuestro caso las necesidades son dos, el cálculo de operaciones de preventivo y el cálculo de operaciones de correctivo, por lo que hemos procedido a la creación de dos modelos de subtablas (una para cada tipo de operación).

CREACIÓN SUBTABLA OPERACIONES DE PREVENTIVO

Considerando distribución de fallo exponencial y lo que ello implica, se han considerado las fórmulas utilizada en el modelo de cálculo de tal forma que el número de operaciones de preventivo se define de la siguiente manera:

$$N^{\circ}P = \frac{Km \cdot Vel}{\ln(R) \cdot \lambda \cdot 1E6}$$

Una vez establecida la fórmula a implementar, se procede a la creación de la subtabla:

| OPERACIONES PREVENTIVO | FÓRMULA | A | B | C | D | PARCIAL |
|------------------------|---|----|-------|------|-----------|---------|
| | | Km | Fiab. | Vel. | λ | Nº P |
| | $-(A \cdot C) / \ln(B) \cdot D \cdot 1E6$ | | | | | |

CREACIÓN SUBTABLA OPERACIONES DE CORRECTIVO

Se procede de manera análoga al apartado anterior, de tal forma que el número de operaciones de mantenimiento correctivo queda definido de la siguiente manera:

$$N^{\circ}C = \frac{Km \cdot Vel}{\ln(1-R) \cdot \lambda \cdot 1E6}$$

Una vez establecida la fórmula a implementar, se procede a la creación de la subtabla:

| OPERACIONES PREVENTIVO | FÓRMULA | A | B | C | D | PARCIAL |
|------------------------|---|----|-------|------|-----------|---------|
| | | Km | Fiab. | Vel. | λ | Nº P |
| | $-(A \cdot C) / \ln(1-B) \cdot D \cdot 1E6$ | | | | | |

EJEMPLO

Siguiendo con el ejemplo de la viga de la suspensión utilizada en apartados anteriores, se va a mostrar el proceso de creación de las subtablas de este componente mecánico.

Los datos de partida son los siguientes:

- Kilómetros anuales: 160000 km.
- Fiabilidad requerida (de 0 a 1).
- Velocidad media del tren= 19 km/h.
- Tasa de fallo= 42 fallos/Mh.

De esta forma las subtablas se muestran a continuación:

| OPERACIONES PREVENTIVO | FÓRMULA | A | B | C | D | PARCIAL |
|------------------------|-----------------------|--------|------------|------|-----------|-------------|
| | | Km | Fiab. Req. | Vel. | λ | Nº P |
| | $-(A*C)/\ln(B)*D*1E6$ | 160000 | 0,9 | 19 | 42 | 3.35 |

| OPERACIONES PREVENTIVO | FÓRMULA | A | B | C | D | PARCIAL |
|------------------------|-------------------------|--------|------------|------|-----------|-------------|
| | | Km | Fiab. Req. | Vel. | λ | Nº P |
| | $-(A*C)/\ln(1-B)*D*1E6$ | 160000 | 0,9 | 19 | 42 | 0.15 |

Tal y como se muestra en Arquímedes:

| Detalle de medición | | CantCertOrig | Cant | Diferencia | | | | |
|---------------------|------------|---------------------------|------------|------------|-----------------------|-------------------|---------|----------|
| | | 0,000 | 0,286 | -0,286 | | | | |
| Loc | Comentario | Fórmula | A | B | C | D | Parcial | Subtotal |
| | PREVENTIVO | $-A*C/(\ln(B)*D*1000000)$ | Km anuales | Fiabilidad | tasa fallo (fallo/Mh) | Vel. media (Km/h) | | |
| 1 | | $-A*C/(\ln(B)*D*1000000)$ | 160.000 | 0,29 | 42,00 | 19,00 | 0,286 | |
| | | $-A*C/(\ln(B)*D*1000000)$ | | | | | | |
| | (1) | | | | | | 0,286 | 0,286 |
| | | | | | | | 0,286 | 0,286 |

| Detalle de medición | | CantCertOrig | Cant | Diferencia | | | | |
|---------------------|------------|-----------------------------|------------|------------|-----------------------|-------------------|---------|----------|
| | | 0,000 | 1,033 | -1,033 | | | | |
| Loc | Comentario | Fórmula | A | B | C | D | Parcial | Subtotal |
| | CORRECTIVO | $-A*C/(\ln(1-B)*D*1000000)$ | Km anuales | Fiabilidad | tasa fallo (fallo/Mh) | Vel. media (Km/h) | | |
| 1 | | $-A*C/(\ln(1-B)*D*1000000)$ | 160.000 | 0,29 | 42,00 | 19,00 | 1,033 | |
| | | $-A*C/(\ln(1-B)*D*1000000)$ | | | | | | |
| | (1) | | | | | | 1,033 | 1,033 |
| | | | | | | | 1,033 | 1,033 |

CONCEPTO DE REFERENCIA

Tras la creación y puesta en funcionamiento de las subtablas para el cálculo de las operaciones de mantenimiento preventivo y correctivo se ha introducido una última mejora haciendo uso de otra de las múltiples opciones que nos proporciona Arquímedes, lo que se denomina “referencias al concepto”.

Referenciar un concepto en Arquímedes significa que un concepto pasa a depender directamente de otro, en nuestro caso hemos referenciado los conceptos operaciones de preventivo y de correctivo al concepto fiabilidad.

Se ha creado un nuevo apartado dentro de cada uno de los componentes del tren al que se le ha llamado fiabilidad cuyo valor estará comprendido entre cero y uno, y que es introducido por el usuario. A continuación, haciendo uso de la opción de “referencias al concepto”, se “referencia” el valor del nuevo apartado “fiabilidad” a las subtablas de preventivo y correctivo, más concretamente a la variable fiabilidad requerida que compone de cada subtabla. De esta forma la variable fiabilidad requerida de ambas subtablas va tomar el valor que el usuario introduzca de forma automática, lo cual hace que la herramienta sea mucho más flexible y mucho más rápida.

| | |
|-------------------|------------|
| FIABILIDAD | 0.9 |
|-------------------|------------|

| OPERACIONES PREVENTIVO | FORMULA | A | B | C | D | PARCIAL |
|------------------------|-----------------------|--------|------------|------|-----------|-------------|
| | | Km | Fiab. Req. | Vel. | λ | Nº P |
| | $-(A*C)/\ln(B)*D*1E6$ | 160000 | 0,9 | 19 | 42 | 3.35 |

| OPERACIONES PREVENTIVO | FORMULA | A | B | C | D | PARCIAL |
|------------------------|-------------------------|--------|------------|------|-----------|-------------|
| | | Km | Fiab. Req. | Vel. | λ | Nº P |
| | $-(A*C)/\ln1-(B)*D*1E6$ | 160000 | 0,9 | 19 | 42 | 0.15 |

En las siguientes imágenes obtenidas de Arquímedes se puede observar como al introducir un valor en el campo fiabilidad, ambas subtablas (preventivo y correctivo) asumen ese valor para el cálculo de forma automática.

| | | | | |
|------------|----------------------------|-------|------------|------------|
| S1. | Balona de Suspensión | 1,000 | 1.933,66 | 1.933,66 |
| S2. | Viga de la suspensión | 1,000 | 10.499,73 | 10.499,73 |
| FIABILIDAD | ud fiabilidad | 0,800 | | |
| MPS2 | Mantenimiento Preventivo | 1,585 | 6.550,55 | 10.382,62 |
| MCS2 | Mantenimiento Correctivo | 0,220 | 532,31 | 117,11 |
| FRE | Elementos de frenos | 1,000 | 75.350,39 | 75.350,39 |
| ACO | Elementos de acoplamientos | 1,000 | 4.804,39 | 4.804,39 |
| MOT | Elementos de motor | 1,000 | 32.781,87 | 32.781,87 |
| NEU | Elementos neumáticos | 1,000 | 6.433,25 | 6.433,25 |
| EST | Elementos de estructura | 1,000 | 13.473,44 | 13.473,44 |
| ROD | Elementos de roadura | 1,000 | 166.790,18 | 166.790,18 |
| ELE | Sistemas eléctricos | 1,000 | | |
| LIM | Sistemas limpieza | 1,000 | | |
| LCC | life cycle cost | 1,000 | | |

| Detalle de medición | | CantCertOrig | Cant | Diferencia | | | | |
|---------------------|------------|--------------------------|------------|------------|-----------------------|-------------------|---------|----------|
| | | 0,000 | 1,585 | -1,585 | | | | |
| Loc | Comentario | Fórmula | A | B | C | D | Parcial | Subtotal |
| | PREVENTIVO | $-A*C/(LN(B)*D*1000000)$ | Km anuales | Fiabilidad | tasa fallo (fallo/Mh) | Vel. media (Km/h) | | |
| 1 | | $-A*C/(LN(B)*D*1000000)$ | 160.000 | 0,80 | 42,00 | 19,00 | 1,585 | |
| | | $-A*C/(LN(B)*D*1000000)$ | | | | | 1,585 | 1,585 |
| [1] | | | | | | | 1,585 | 1,585 |

| | | | | |
|------------|----------------------------|-------|------------|------------|
| S1. | Balona de Suspensión | 1,000 | 1.933,66 | 1.933,66 |
| S2. | Viga de la suspensión | 1,000 | 10.499,73 | 10.499,73 |
| FIABILIDAD | ud fiabilidad | 0,800 | | |
| MPS2 | Mantenimiento Preventivo | 1,585 | 6.550,55 | 10.382,62 |
| MCS2 | Mantenimiento Correctivo | 0,220 | 532,31 | 117,11 |
| FRE | Elementos de frenos | 1,000 | 75.350,39 | 75.350,39 |
| ACO | Elementos de acoplamientos | 1,000 | 4.804,39 | 4.804,39 |
| MOT | Elementos de motor | 1,000 | 32.781,87 | 32.781,87 |
| NEU | Elementos neumáticos | 1,000 | 6.433,25 | 6.433,25 |
| EST | Elementos de estructura | 1,000 | 13.473,44 | 13.473,44 |
| ROD | Elementos de roadura | 1,000 | 166.790,18 | 166.790,18 |
| ELE | Sistemas eléctricos | 1,000 | | |
| LIM | Sistemas limpieza | 1,000 | | |
| LCC | life cycle cost | 1,000 | | |

| Detalle de medición | | CantCertOrig | Cant | Diferencia | | | | |
|---------------------|------------|----------------------------|------------|------------|-----------------------|-------------------|---------|----------|
| | | 0,000 | 0,220 | -0,220 | | | | |
| Loc | Comentario | Fórmula | A | B | C | D | Parcial | Subtotal |
| | CORRECTIVO | $-A*C/(LN(1-B)*D*1000000)$ | Km anuales | Fiabilidad | tasa fallo (fallo/Mh) | Vel. media (Km/h) | | |
| 1 | | $-A*C/(LN(1-B)*D*1000000)$ | 160.000 | 0,80 | 42,00 | 19,00 | 0,220 | |
| | | $-A*C/(LN(1-B)*D*1000000)$ | | | | | 0,220 | 0,220 |
| [1] | | | | | | | 0,220 | 0,220 |

Por lo tanto el número de operaciones de preventivo también va a variar automáticamente con los distintos valores de fiabilidad que introduzca el usuario, lo cual va a permitir observar de forma instantánea las variaciones anuales de los costes de mantenimiento preventivo y correctivo del elemento en cuestión, así como la repercusión que tiene en el coste final del plan de mantenimiento anual del vehículo.

Una vez implementado el modelo de cálculo se obtiene como resultado una herramienta mucho más completa que va a proporcionar una serie de ventajas:

- ✓ Permite una comparación instantánea, en función de la fiabilidad, de costes de mantenimiento tanto a nivel de componente como a nivel global.
- ✓ Se obtienen resultados de número de operaciones de preventivo y correctivo de forma automática.
- ✓ No se requiere de una hoja de cálculo Excel para alimentar la herramienta, de tal forma que sólo se hará uso de las hojas de cálculo para graficar los resultados, en caso de que se crea conveniente.
- ✓ El proceso de introducción de datos en la herramienta es mucho mayor, dado que no es necesario recurrir a una hoja de cálculo constantemente.

CATEGORIZACIÓN DE ELEMENTOS FERROVIARIOS

Una vez se tiene la herramienta de cálculo se va a hacer uso de ella. La idea es poder hacer una diferenciación de los distintos componentes mecánicos de un tren, de tal forma que se puedan clasificar o categorizar en distintos grupos en función del peso que cada uno de ellos pueda tener dentro de un plan de mantenimiento. Todo ello en función de la fiabilidad de los mismos y considerando el coste LCC de cada uno de los componentes en lugar del coste anual, para poder ver la repercusión de los mismos a largo plazo, de tal forma que se tiene un criterio más sólido para la categorización.

Para desarrollar este apartado se han escogido siete componentes mecánicos de un tren, dado que son los que mayor desgaste sufren y por tanto aquellos en los que el mantenimiento es más importante:

- Viga de la suspensión.
- Balona de la suspensión.
- Convertidor.
- Acoplamiento automático.
- Bomba motor.
- Puertas.
- Ventanas.

DESARROLLO DEL PROCESO

El proceso que se va seguir es el siguiente:

1. Cálculo del coste anual de mantenimiento de los componentes.
2. Cálculo del coste LCC de los componentes en un periodo de 10 años.
3. Análisis de componentes.
4. Definición del método de categorización.
5. Categorización de componentes.

CÁLCULO DEL COSTE ANUAL

Aplicando el modelo de cálculo obtenido junto con la herramienta de cálculo desarrollada, se procede a analizar cada uno de los siete componentes escogidos para este estudio con el fin de determinar el coste total anual de mantenimiento de los mismos y posteriormente poder calcular el coste LCC.

Uno de ellos ya ha sido estudiado detalladamente en el apartado anterior (viga de la suspensión), con el resto se ha procedido de la misma manera y el resultado obtenido queda reflejado en las siguientes tablas:

➤ VIGA DE LA SUSPENSIÓN:

| R | COSTE P | COSTE C | C. TOTAL |
|----------|----------------|----------------|-----------------|
| 0,1 | 417,97 | 742,29 | 1160,26 |
| 0,2 | 597,99 | 350,48 | 948,47 |
| 0,3 | 799,37 | 219,27 | 1018,64 |
| 0,4 | 1050,34 | 153,10 | 1203,45 |
| 0,5 | 1388,48 | 112,83 | 1501,31 |
| 0,6 | 1884,05 | 85,35 | 1969,40 |
| 0,7 | 2698,31 | 64,96 | 2763,27 |
| 0,8 | 4313,01 | 48,59 | 4361,60 |
| 0,9 | 9134,55 | 33,97 | 9168,51 |

➤ BALONA DE LA SUSPENSIÓN:

| R | COSTE P | COSTE C | C. TOTAL |
|----------|----------------|----------------|-----------------|
| 0,1 | 456,68 | 3112,32 | 3569,01 |
| 0,2 | 653,37 | 1469,53 | 2122,90 |
| 0,3 | 873,40 | 919,37 | 1792,77 |
| 0,4 | 1147,62 | 641,93 | 1789,55 |
| 0,5 | 1517,07 | 473,08 | 1990,15 |
| 0,6 | 2058,54 | 357,87 | 2416,41 |
| 0,7 | 2948,21 | 272,36 | 3220,57 |
| 0,8 | 4712,45 | 203,75 | 4916,20 |
| 0,9 | 9980,53 | 142,41 | 10122,94 |

➤ CONVERTIDOR:

| R | COSTE P | COSTE C | C. TOTAL |
|----------|----------------|----------------|-----------------|
| 0,1 | 10,14 | 9680,57 | 9690,71 |
| 0,2 | 14,51 | 4570,82 | 4585,33 |
| 0,3 | 19,40 | 2859,61 | 2879,00 |
| 0,4 | 25,48 | 1996,67 | 2022,15 |
| 0,5 | 33,69 | 1471,48 | 1505,17 |
| 0,6 | 45,71 | 1113,13 | 1158,84 |
| 0,7 | 65,47 | 847,15 | 912,62 |
| 0,8 | 104,65 | 633,73 | 738,38 |
| 0,9 | 221,64 | 442,96 | 664,59 |

➤ ACOPLAMIENTO AUTOMÁTICO:

| R | COSTE P | COSTE C | C. TOTAL |
|----------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 0,1 | 553,14 | 11358,29 | 11911,43 |
| 0,2 | 791,36 | 5362,99 | 6154,34 |
| 0,3 | 1057,87 | 3355,20 | 4413,07 |
| 0,4 | 1390,00 | 2342,71 | 3732,71 |
| 0,5 | 1837,48 | 1726,50 | 3563,97 |
| 0,6 | 2493,30 | 1306,04 | 3799,34 |
| 0,7 | 3570,88 | 993,97 | 4564,85 |
| 0,8 | 5707,73 | 743,56 | 6451,29 |
| 0,9 | 12088,42 | 519,73 | 12608,15 |

➤ BOMBA MOTOR:

| R | COSTE P | COSTE C | C. TOTAL |
|----------|----------------|----------------|-----------------|
| 0,1 | 14,08 | 475,56 | 489,64 |
| 0,2 | 20,14 | 224,54 | 244,69 |
| 0,3 | 26,93 | 140,48 | 167,41 |
| 0,4 | 35,38 | 98,09 | 133,47 |
| 0,5 | 46,77 | 72,29 | 119,06 |
| 0,6 | 63,47 | 54,68 | 118,15 |
| 0,7 | 90,90 | 41,62 | 132,51 |
| 0,8 | 145,29 | 31,13 | 176,42 |
| 0,9 | 307,72 | 21,76 | 329,48 |

➤ PUERTAS:

| R | COSTE P | COSTE C | C. TOTAL |
|----------|----------------|----------------|-----------------|
| 0,1 | 203,56 | 4100,53 | 4304,09 |
| 0,2 | 291,23 | 1936,12 | 2227,35 |
| 0,3 | 389,31 | 1211,28 | 1600,59 |
| 0,4 | 511,54 | 845,76 | 1357,29 |
| 0,5 | 676,21 | 623,29 | 1299,51 |
| 0,6 | 917,57 | 471,50 | 1389,07 |
| 0,7 | 1314,13 | 358,84 | 1672,97 |
| 0,8 | 2100,51 | 268,44 | 2368,95 |
| 0,9 | 4448,69 | 187,63 | 4636,32 |

➤ VENTANAS:

| R | COSTE P | COSTE C | C. TOTAL |
|----------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 0,1 | 1215,44 | 15622,35 | 16837,79 |
| 0,2 | 1738,90 | 7376,32 | 9115,22 |
| 0,3 | 2324,51 | 4614,79 | 6939,30 |
| 0,4 | 3054,33 | 3222,19 | 6276,52 |
| 0,5 | 4037,60 | 2374,65 | 6412,25 |
| 0,6 | 5478,68 | 1796,35 | 7275,03 |
| 0,7 | 7846,51 | 1367,12 | 9213,63 |
| 0,8 | 12541,94 | 1022,70 | 13564,64 |
| 0,9 | 26562,63 | 714,84 | 27277,47 |

CÁLCULO COSTE LCC

En el apartado de introducción al mantenimiento ferroviario ya se ha explicado el concepto de Life Cycle Cost y la manera de calcularlo. De esta forma se van a mostrar los cálculos realizados sobre los siete componentes mecánicos, en un periodo futuro correspondiente a diez años.

Para realizar el cálculo se han utilizado los siguientes valores del IPC y tasa de retorno:

| | |
|-----------------|-----------|
| TASA VAN | 5% |
| IPC (%) | 3% |

También conviene aclarar que los costes del primer año se han supuesto iguales a los costes de mantenimiento anual para cada componente.

El coste LCC va a ser un argumento de mayor peso a la hora de sacar conclusiones, dado que, en este caso, en un periodo de diez años el impacto que fiabilidad puede tener sobre un elemento se aprecia de manera más clara.

➤ VIGA DE LA SUSPENSIÓN:

| LCC | AÑO 1 | AÑO 2 | AÑO 3 | AÑO 4 | AÑO 5 | AÑO 6 | AÑO 7 | AÑO 8 | AÑO 9 | AÑO 10 |
|----------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 10.150 € | 1.160 | 1.195 | 1.231 | 1.268 | 1.306 | 1.345 | 1.385 | 1.427 | 1.470 | 1.514 |
| 8.297 € | 948 | 977 | 1.006 | 1.036 | 1.068 | 1.100 | 1.133 | 1.166 | 1.201 | 1.238 |
| 8.911 € | 1.019 | 1.049 | 1.081 | 1.113 | 1.146 | 1.181 | 1.216 | 1.253 | 1.290 | 1.329 |
| 10.527 € | 1.203 | 1.240 | 1.277 | 1.315 | 1.354 | 1.395 | 1.437 | 1.480 | 1.524 | 1.570 |
| 13.133 € | 1.501 | 1.546 | 1.593 | 1.641 | 1.690 | 1.740 | 1.793 | 1.846 | 1.902 | 1.959 |
| 17.228 € | 1.969 | 2.028 | 2.089 | 2.152 | 2.217 | 2.283 | 2.352 | 2.422 | 2.495 | 2.570 |
| 24.172 € | 2.763 | 2.846 | 2.932 | 3.020 | 3.110 | 3.203 | 3.299 | 3.398 | 3.500 | 3.605 |
| 38.154 € | 4.362 | 4.492 | 4.627 | 4.766 | 4.909 | 5.056 | 5.208 | 5.364 | 5.525 | 5.691 |
| 80.202 € | 9.169 | 9.444 | 9.727 | 10.019 | 10.319 | 10.629 | 10.948 | 11.276 | 11.614 | 11.963 |

➤ BALONA DE LA SUSPENSIÓN:

| LCC | AÑO 1 | AÑO 2 | AÑO 3 | AÑO 4 | AÑO 5 | AÑO 6 | AÑO 7 | AÑO 8 | AÑO 9 | AÑO 10 |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 31.220 € | 3.569 | 3.676 | 3.786 | 3.900 | 4.017 | 4.137 | 4.262 | 4.389 | 4.521 | 4.657 |
| 18.570 € | 2.123 | 2.187 | 2.252 | 2.320 | 2.389 | 2.461 | 2.535 | 2.611 | 2.689 | 2.770 |
| 15.682 € | 1.793 | 1.847 | 1.902 | 1.959 | 2.018 | 2.078 | 2.141 | 2.205 | 2.271 | 2.339 |
| 15.654 € | 1.790 | 1.843 | 1.899 | 1.955 | 2.014 | 2.075 | 2.137 | 2.201 | 2.267 | 2.335 |
| 17.409 € | 1.990 | 2.050 | 2.111 | 2.175 | 2.240 | 2.307 | 2.376 | 2.448 | 2.521 | 2.597 |
| 21.138 € | 2.416 | 2.489 | 2.564 | 2.640 | 2.720 | 2.801 | 2.885 | 2.972 | 3.061 | 3.153 |
| 28.172 € | 3.221 | 3.317 | 3.417 | 3.519 | 3.625 | 3.734 | 3.846 | 3.961 | 4.080 | 4.202 |
| 43.005 € | 4.916 | 5.064 | 5.216 | 5.372 | 5.533 | 5.699 | 5.870 | 6.046 | 6.228 | 6.415 |
| 88.551 € | 10.123 | 10.427 | 10.739 | 11.062 | 11.393 | 11.735 | 12.087 | 12.450 | 12.823 | 13.208 |

➤ CONVERTIDOR:

| LCC | AÑO 1 | AÑO 2 | AÑO 3 | AÑO 4 | AÑO 5 | AÑO 6 | AÑO 7 | AÑO 8 | AÑO 9 | AÑO 10 |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 84.770 € | 9.691 | 9981 | 10281 | 10589 | 10907 | 11234 | 11571 | 11918 | 12276 | 12644 |
| 40.111 € | 4.585 | 4723 | 4865 | 5011 | 5161 | 5316 | 5475 | 5639 | 5809 | 5983 |
| 25.184 € | 2.879 | 2965 | 3054 | 3146 | 3240 | 3338 | 3438 | 3541 | 3647 | 3756 |
| 17.689 € | 2.022 | 2083 | 2145 | 2210 | 2276 | 2344 | 2415 | 2487 | 2562 | 2638 |
| 13.167 € | 1.505 | 1550 | 1597 | 1645 | 1694 | 1745 | 1797 | 1851 | 1907 | 1964 |
| 10.137 € | 1.159 | 1194 | 1229 | 1266 | 1304 | 1343 | 1384 | 1425 | 1468 | 1512 |
| 7.983 € | 913 | 940 | 968 | 997 | 1027 | 1058 | 1090 | 1122 | 1156 | 1191 |
| 6.459 € | 738 | 761 | 783 | 807 | 831 | 856 | 882 | 908 | 935 | 963 |
| 5.814 € | 665 | 685 | 705 | 726 | 748 | 770 | 794 | 817 | 842 | 867 |

➤ ACOPLAMIENTO AUTOMÁTICO:

| LCC | AÑO 1 | AÑO 2 | AÑO 3 | AÑO 4 | AÑO 5 | AÑO 6 | AÑO 7 | AÑO 8 | AÑO 9 | AÑO 10 |
|------------------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 104.196 € | 11.911 | 12269 | 12637 | 13016 | 13406 | 13809 | 14223 | 14650 | 15089 | 15542 |
| 53.836 € | 6.154 | 6339 | 6529 | 6725 | 6926,8 | 7134,6 | 7348,6 | 7569,1 | 7796,1 | 8030 |
| 38.604 € | 4.413 | 4545 | 4682 | 4822 | 4966,9 | 5116 | 5269,4 | 5427,5 | 5590,3 | 5758 |
| 32.652 € | 3.733 | 3845 | 3960 | 4079 | 4201,2 | 4327,2 | 4457 | 4590,8 | 4728,5 | 4870 |
| 31.176 € | 3.564 | 3671 | 3781 | 3894 | 4011,3 | 4131,6 | 4255,6 | 4383,2 | 4514,7 | 4650 |
| 33.235 € | 3.799 | 3913 | 4031 | 4152 | 4276,2 | 4404,5 | 4536,6 | 4672,7 | 4812,9 | 4957 |
| 39.931 € | 4.565 | 4702 | 4843 | 4988 | 5137,8 | 5291,9 | 5450,7 | 5614,2 | 5782,6 | 5956 |
| 56.433 € | 6.451 | 6645 | 6844 | 7049 | 7261 | 7478,8 | 7703,2 | 7934,3 | 8172,3 | 8417 |
| 110.291 € | 12.608 | 12986 | 13376 | 13777 | 14191 | 14616 | 15055 | 15506 | 15972 | 16451 |

➤ BOMBA MOTOR:

| LCC | AÑO 1 | AÑO 2 | AÑO 3 | AÑO 4 | AÑO 5 | AÑO 6 | AÑO 7 | AÑO 8 | AÑO 9 | AÑO 10 |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 4.283 € | 490 | 504 | 519 | 535 | 551 | 568 | 585 | 602 | 620 | 639 |
| 2.140 € | 245 | 252 | 260 | 267 | 275 | 284 | 292 | 301 | 310 | 319 |
| 1.464 € | 167 | 172 | 178 | 183 | 188 | 194 | 200 | 206 | 212 | 218 |
| 1.168 € | 133 | 137 | 142 | 146 | 150 | 155 | 159 | 164 | 169 | 174 |
| 1.041 € | 119 | 123 | 126 | 130 | 134 | 138 | 142 | 146 | 151 | 155 |
| 1.034 € | 118 | 122 | 125 | 129 | 133 | 137 | 141 | 145 | 150 | 154 |
| 1.159 € | 133 | 136 | 141 | 145 | 149 | 154 | 158 | 163 | 168 | 173 |
| 1.543 € | 176 | 182 | 187 | 193 | 199 | 205 | 211 | 217 | 223 | 230 |
| 2.882 € | 329 | 339 | 350 | 360 | 371 | 382 | 393 | 405 | 417 | 430 |

➤ PUERTAS:

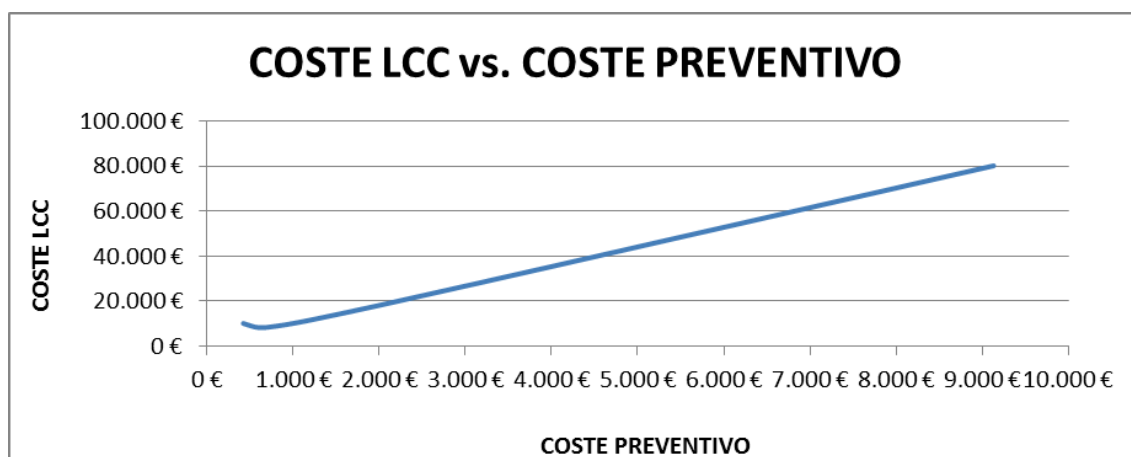
| LCC | AÑO 1 | AÑO 2 | AÑO 3 | AÑO 4 | AÑO 5 | AÑO 6 | AÑO 7 | AÑO 8 | AÑO 9 | AÑO 10 |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 37.650 € | 4.304 | 4433 | 4566 | 4703 | 4844 | 4990 | 5139 | 5293 | 5452 | 5616 |
| 19.484 € | 2.227 | 2294 | 2363 | 2434 | 2507 | 2582 | 2660 | 2739 | 2822 | 2906 |
| 14.001 € | 1.601 | 1649 | 1698 | 1749 | 1801 | 1856 | 1911 | 1969 | 2028 | 2088 |
| 11.873 € | 1.357 | 1398 | 1440 | 1483 | 1528 | 1573 | 1621 | 1669 | 1719 | 1771 |
| 11.368 € | 1.300 | 1338 | 1379 | 1420 | 1463 | 1506 | 1552 | 1598 | 1646 | 1696 |
| 12.151 € | 1.389 | 1431 | 1474 | 1518 | 1563 | 1610 | 1659 | 1708 | 1760 | 1812 |
| 14.634 € | 1.673 | 1723 | 1775 | 1828 | 1883 | 1939 | 1998 | 2058 | 2119 | 2183 |
| 20.723 € | 2.369 | 2440 | 2513 | 2589 | 2666 | 2746 | 2829 | 2914 | 3001 | 3091 |
| 40.557 € | 4.636 | 4775 | 4919 | 5066 | 5218 | 5375 | 5536 | 5702 | 5873 | 6049 |

➤ VENTANAS:

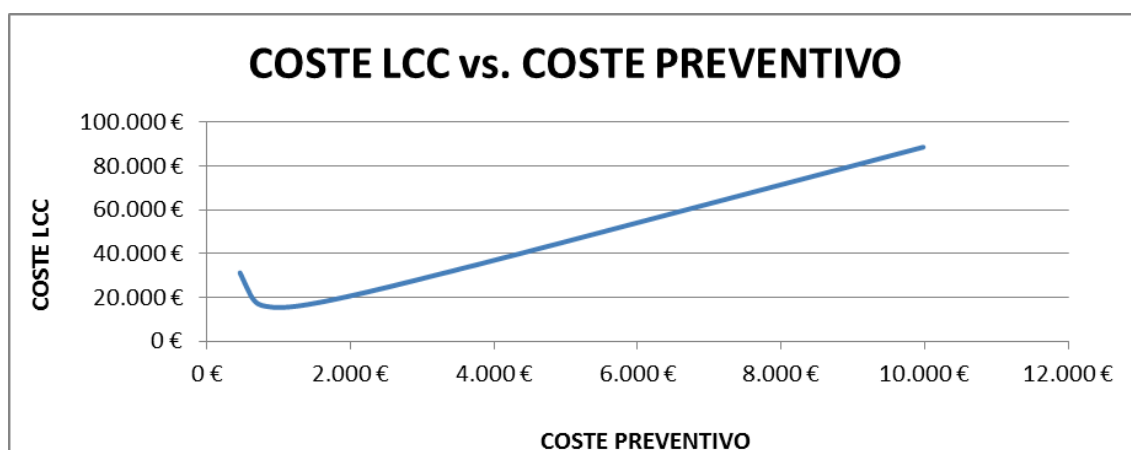
| LCC | AÑO 1 | AÑO 2 | AÑO 3 | AÑO 4 | AÑO 5 | AÑO 6 | AÑO 7 | AÑO 8 | AÑO 9 | AÑO 10 |
|-----------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 147.290 € | 16.838 | 17343 | 17863 | 18399 | 18951 | 19520 | 20105 | 20708 | 21330 | 21969 |
| 79.736 € | 9.115 | 9389 | 9670 | 9960 | 10259 | 10567 | 10884 | 11211 | 11547 | 11893 |
| 60.702 € | 6.939 | 7147 | 7362 | 7583 | 7810 | 8045 | 8286 | 8534 | 8791 | 9054 |
| 54.904 € | 6.277 | 6465 | 6659 | 6859 | 7064 | 7276 | 7494 | 7719 | 7951 | 8189 |
| 56.092 € | 6.412 | 6605 | 6803 | 7007 | 7217 | 7434 | 7657 | 7886 | 8123 | 8367 |
| 63.639 € | 7.275 | 7493 | 7718 | 7950 | 8188 | 8434 | 8687 | 8947 | 9216 | 9492 |
| 80.597 € | 9.214 | 9490 | 9775 | 10068 | 10370 | 10681 | 11002 | 11332 | 11672 | 12022 |
| 118.658 € | 13.565 | 13972 | 14391 | 14822 | 15267 | 15725 | 16197 | 16683 | 17183 | 17699 |
| 238.612 € | 27.277 | 28096 | 28939 | 29807 | 30701 | 31622 | 32571 | 33548 | 34554 | 35591 |

Pasamos a representar gráficamente los resultados obtenidos dado que será de gran ayuda para desarrollos posteriores en este PFC:

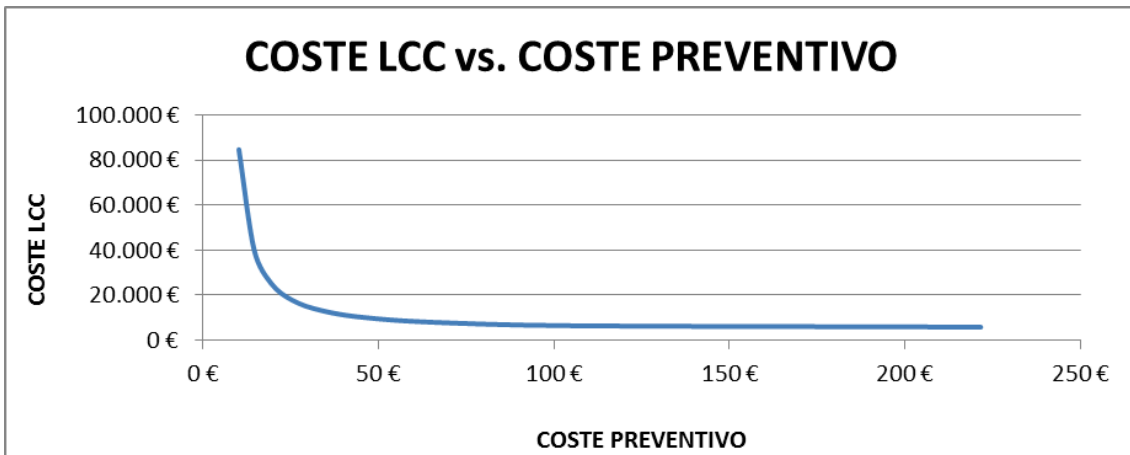
➤ VIGA DE LA SUSPENSIÓN:



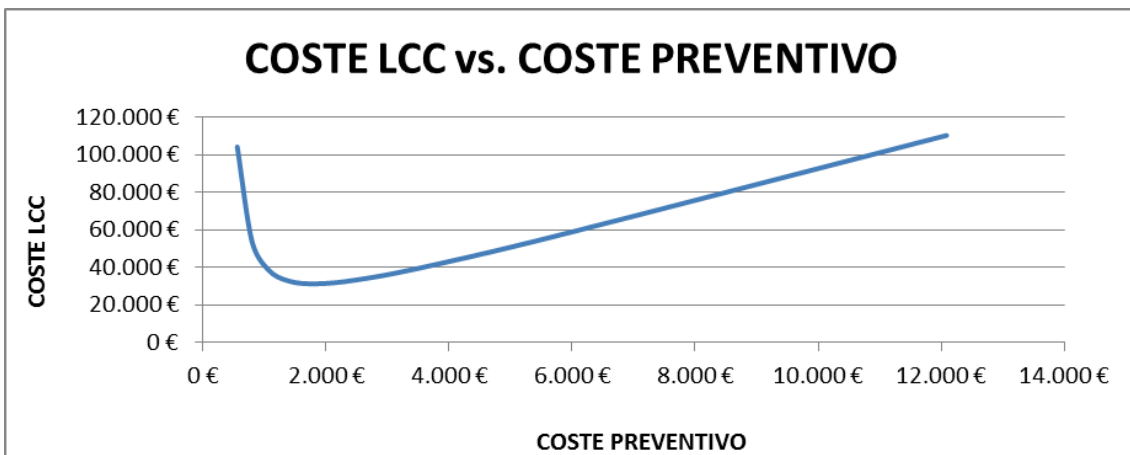
➤ BALONA DE LA SUSPENSIÓN:



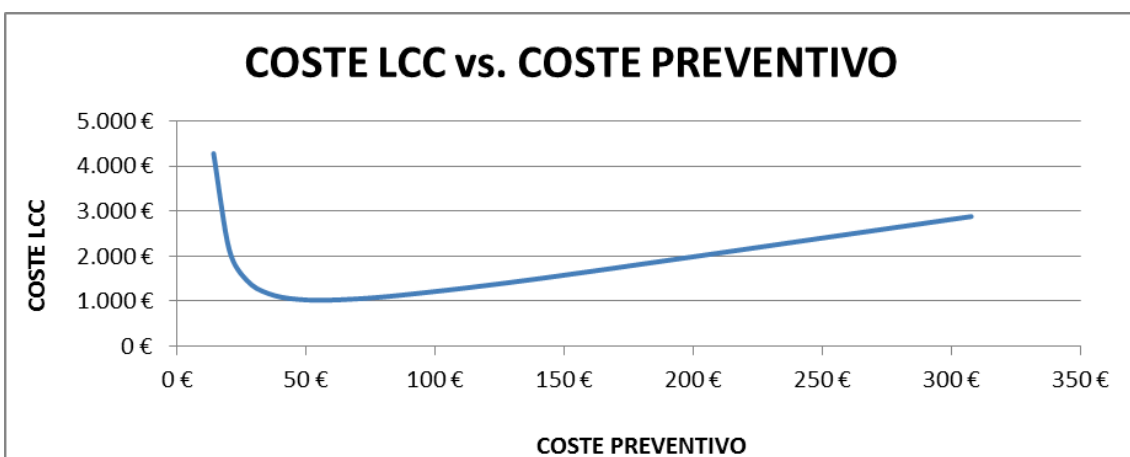
➤ CONVERTIDOR:



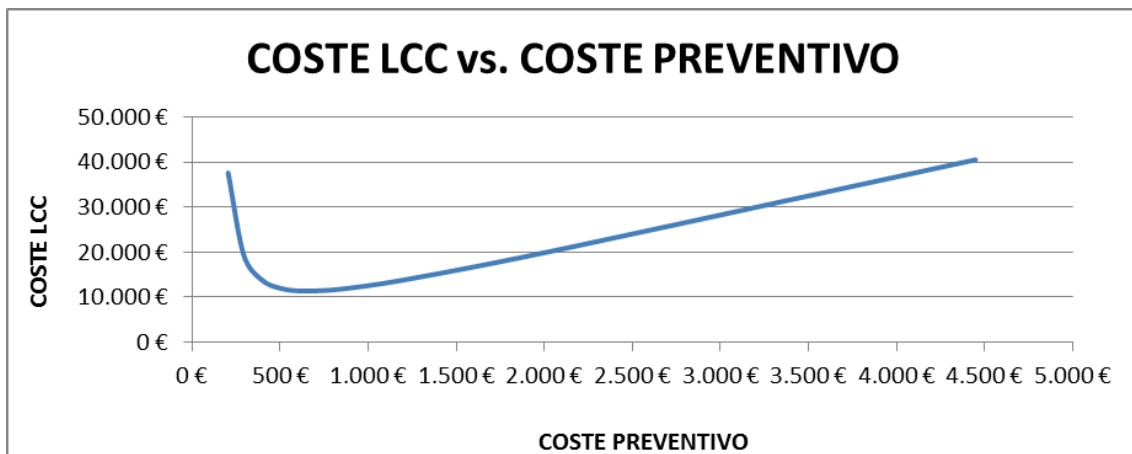
➤ ACOPLAMIENTO AUTOMÁTICO:



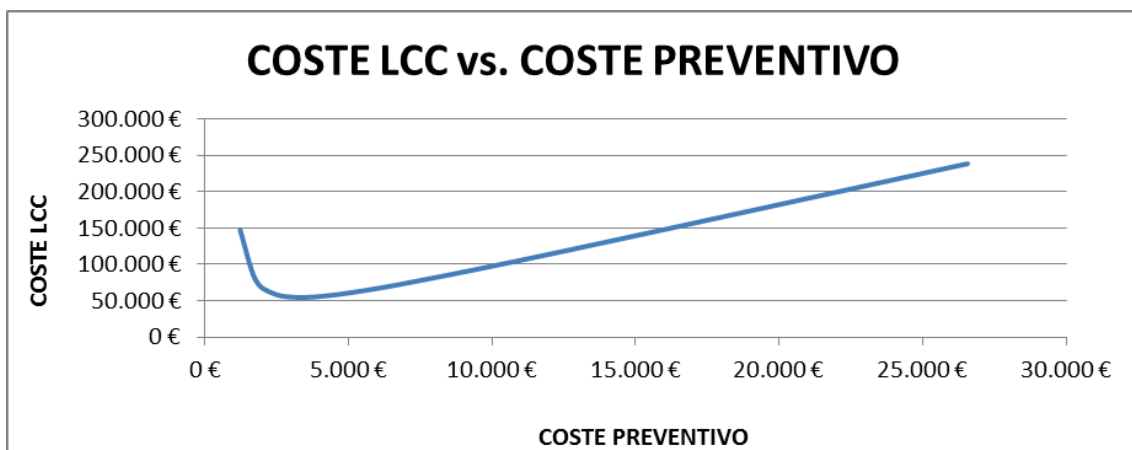
➤ BOMBA MOTOR:



➤ PUERTAS:

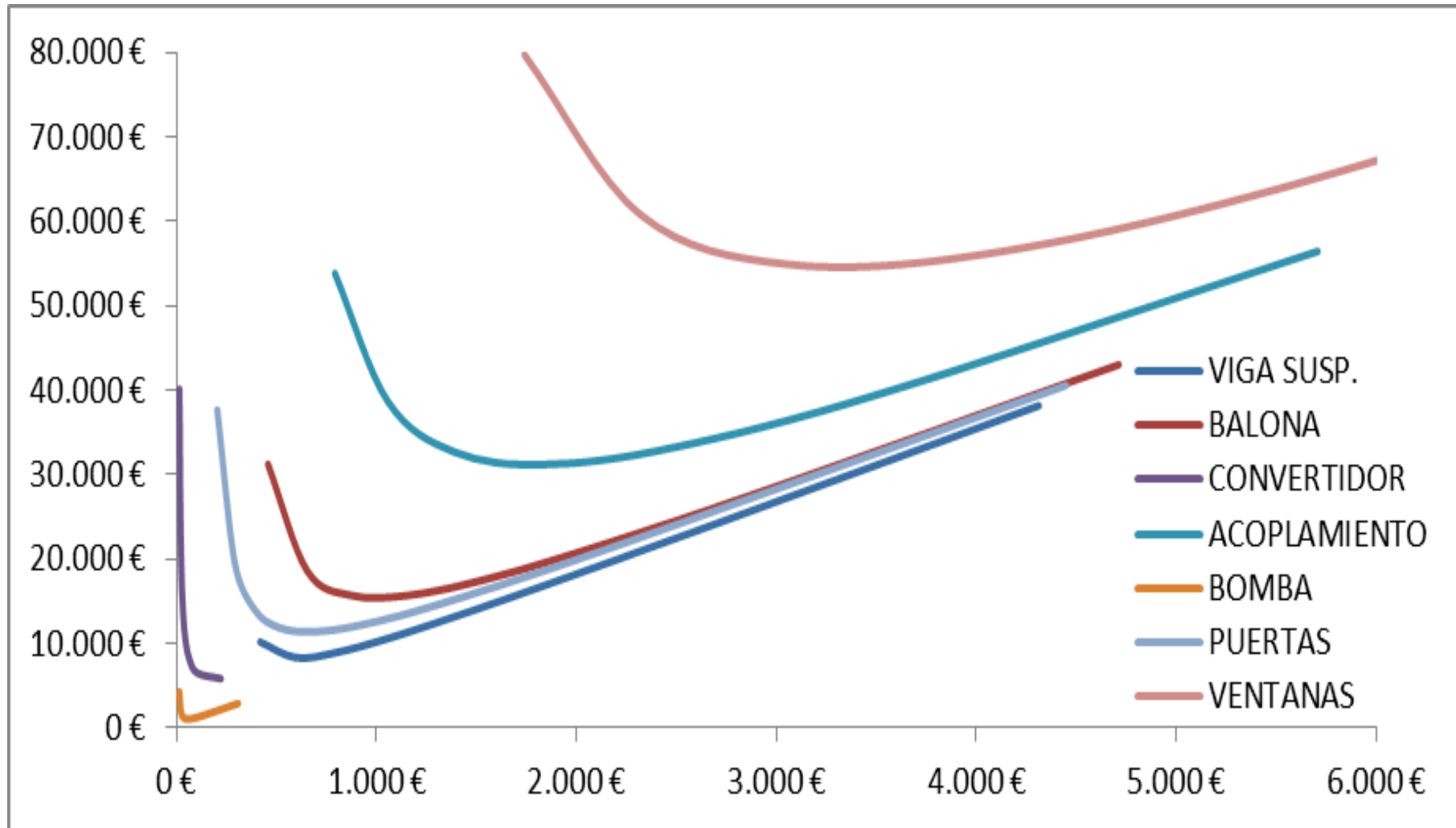


➤ VENTANAS:



Se observan curvas de distinta naturaleza entre componentes, pero dado que muchos de ellos se encuentran en escalas distintas, es decir los valores de los ejes no son homogéneos. Por este motivo para poder hacer un análisis coherente de los resultados que se han obtenido se ha decidido representar todos ellos en un mismo gráfico, tal y como se muestra a continuación:

COSTE LCC vs. COSTE PREVENTIVO



ANÁLISIS DE COMPONENTES

En este último gráfico se puede observar distintas naturalezas de los siete componentes mecánicos que son objeto de estudio.

Existen dos parámetros que van a ser fundamentales para poder hacer una categorización de elementos que son el coste mínimo LCC y la geometría de la curva de cada componente:

- Coste mínimo LCC:

Es un factor clave, ya que influye de forma directa al coste del plan de mantenimiento. Podemos observar componentes cuyo coste mínimo LCC es elevado, tales como las ventanas y el acoplamiento automático, y otros cuyo coste mínimo LCC es menor como sucede en el caso de la bomba de inyección, la viga de la suspensión y el convertidor.

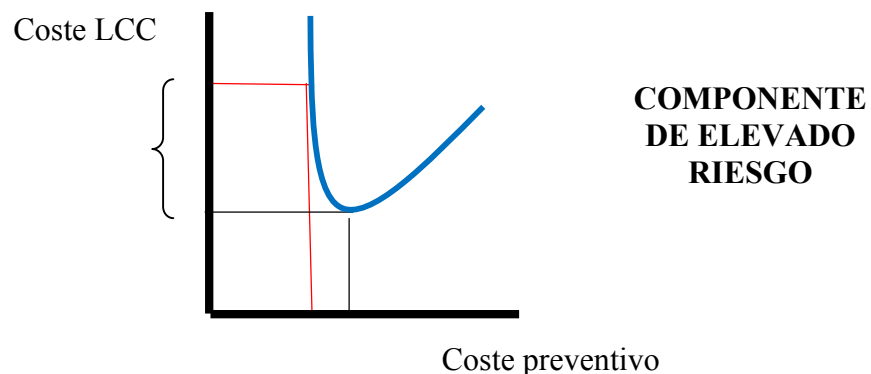
De este forma ya tenemos establecido un criterio para categorizar componentes, ya que, en términos de mantenimiento, deberemos prestar especial atención a aquellos que presentan un coste LCC elevado e intentar hacer un mantenimiento preventivo que se acerque lo máximo posible al mínimo coste.

- Geometría de la curva:

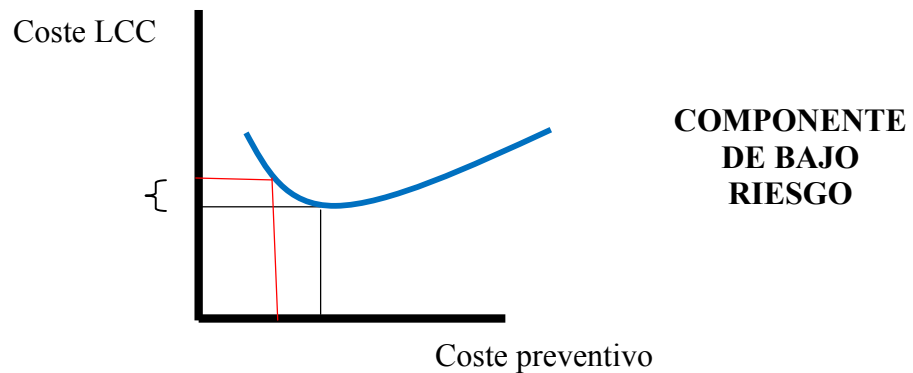
Otro factor a tener en cuenta es la forma que presenta el coste LCC de cada componente. Podemos encontrarnos con elementos que presentan una curva con una pendiente muy elevada a partir del punto de mínimo coste LCC, ya sea a izquierda o derecha del mismo, mientras que encontramos otras cuya amplitud es mayor y por tanto las pendientes son menores.

Este factor es importante, ya que un error de cálculo del mantenimiento preventivo que recibe cada componente va a tener consecuencias muy diferentes, por ello será considerado como el RIESGO.

- En componentes que presenten valores de pendiente elevado,s un fallo en el mantenimiento preventivo que éste recibe puede tener grandes consecuencias económicas, tal y como se aprecia en la siguiente figura:



- Por el contrario aquellos que presenten valores de pendiente menores, acarrearán consecuencias económicas de menor importancia:



DEFINICIÓN DEL MÉTODO DE CATEGORIZACION

Una vez que se han establecido los dos parámetros de categorización, se procede a desarrollar el método mediante el cual se pueda llevar a cabo dicha categorización:

1. Dado que las curvas LCC-PREVENTIVO se han obtenido a partir de una serie de datos reales, se procede al cálculo de una ecuación que se aproxime a dicha curva.
Para ello se ha optado por aproximarlas a través de una función polinómica de tercer grado (Ax^3+Bx^2+Cx+D) con la herramienta Excel.
2. Una vez que se ha obtenido la ecuación de cada curva se deriva, obteniendo la ecuación que define la pendiente de la misma ($3Ax^2+2Bx+C$)
3. Igualando esta ecuación a cero y resolviendo la ecuación se obtiene la x mínima, que es a su vez el valor de coste preventivo que hace que el LCC sea mínimo. Al ser la derivada una ecuación de segundo grado se van a obtener dos resultados para el mínimo, pero sólo uno de ellos es coherente, en este caso será el positivo.
4. Una vez tenemos el coste de preventivo que hace el coste LCC mínimo, se observa a partir de ese punto qué parte de la curva tiene mayor pendiente: puede ser la parte derecha o la izquierda. La parte que tenga mayor pendiente es la más crítica (tal y como se ha visto en el apartado análisis de componentes) y por tanto será parte con la que vamos a trabajar.
5. Disponemos de la parte de la curva que va a ser objeto de estudio, de la ecuación de la recta que define la pendiente de la curva, así como del valor de preventivo mínimo y con ello el coste LCC mínimo. Con todo ello nos disponemos a dar valores a la x cercanos al mínimo y en la

parte crítica de la curva, de tal forma que obtendremos valores aproximados de la pendiente crítica, y así habremos obtenido nuestro segundo parámetro de categorización.

A continuación se muestra este proceso aplicado a los 7 elementos mecánicos seleccionado y usados en apartados anteriores:

1. Ecuación de la curva.

| COMPONENTE | ECUACIÓN | | | |
|--------------|------------|--------|---------|--------|
| | AX3 | BX2 | CX | D |
| VIGA | -0,0000007 | 0,0055 | -4,3916 | 10003 |
| BALONA | -0,000002 | 0,0193 | -41,674 | 41943 |
| CONVERTIDOR | -0,0418 | 15,519 | -1601,2 | 53735 |
| ACOPLAMIENTO | -0,000002 | 0,021 | -64,194 | 88877 |
| BOMBA | -0,0017 | 0,8489 | -105,24 | 4411,3 |
| PUERTAS | -0,000005 | 0,035 | -59,237 | 38037 |
| VENTANAS | -0,0000009 | 0,0148 | -73,011 | 164730 |

2. Derivada: ecuación de la pendiente.

| COMPONENTE | EC. PENDIENTE | | |
|--------------|---------------|--------|---------|
| | AX2 | BX | C |
| VIGA | -0,0000021 | 0,011 | -4,3916 |
| BALONA | -0,000006 | 0,0386 | -41,674 |
| CONVERTIDOR | -0,1254 | 31,038 | -1601,2 |
| ACOPLAMIENTO | -0,000006 | 0,042 | -64,194 |
| BOMBA | -0,0051 | 1,6978 | -105,24 |
| PUERTAS | -0,000015 | 0,07 | -59,237 |
| VENTANAS | -0,0000027 | 0,0296 | -73,011 |

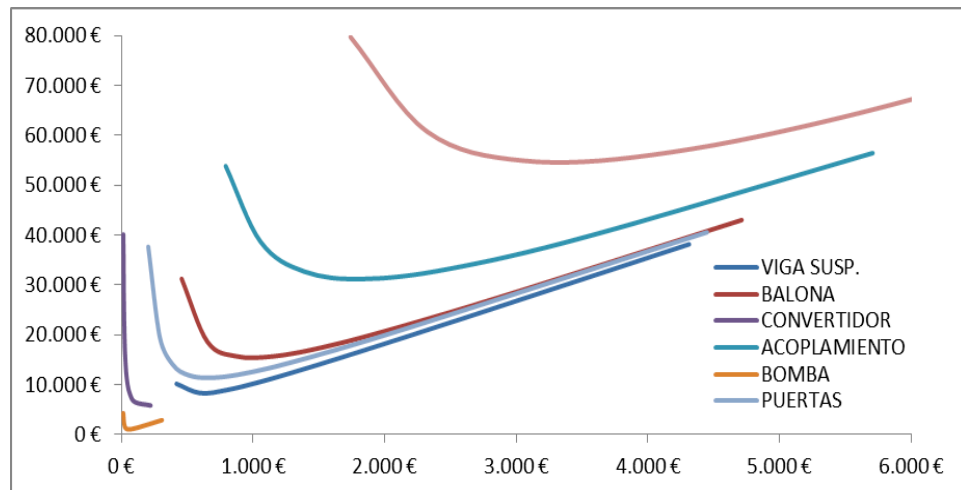
3. Mínimo.

| COMPONENTE | EC. PENDIENTE | | | MINIMO preventivo |
|--------------|---------------|--------|---------|-------------------|
| | AX2 | BX | C | positivo |
| VIGA | -0,0000021 | 0,011 | -4,3916 | 435 |
| BALONA | -0,000006 | 0,0386 | -41,674 | 1372 |
| CONVERTIDOR | -0,1254 | 31,038 | -1601,2 | 73 |
| ACOPLAMIENTO | -0,000006 | 0,042 | -64,194 | 2255 |
| BOMBA | -0,0051 | 1,6978 | -105,24 | 82 |
| PUERTAS | -0,000015 | 0,07 | -59,237 | 1111 |
| VENTANAS | -0,0000027 | 0,0296 | -73,011 | 3748 |

Con el preventivo mínimo se obtiene el coste LCC mínimo sustituyendo en la polinómica de grado 3:

| COMPONENTE | Coste LCC mín. |
|--------------|----------------|
| VIGA | 8900 |
| BALONA | 15650 |
| CONVERTIDOR | 5800 |
| ACOPLAMIENTO | 31170 |
| BOMBA | 1024 |
| PUERTAS | 11268 |
| VENTANAS | 54904 |

4. Observación visual.



Vemos que los valores críticos de la pendiente se encuentran en la parte izquierda del el mínimo de cada curva, dado que la pendiente es de mayor magnitud.

5. Cálculo de la pendiente.

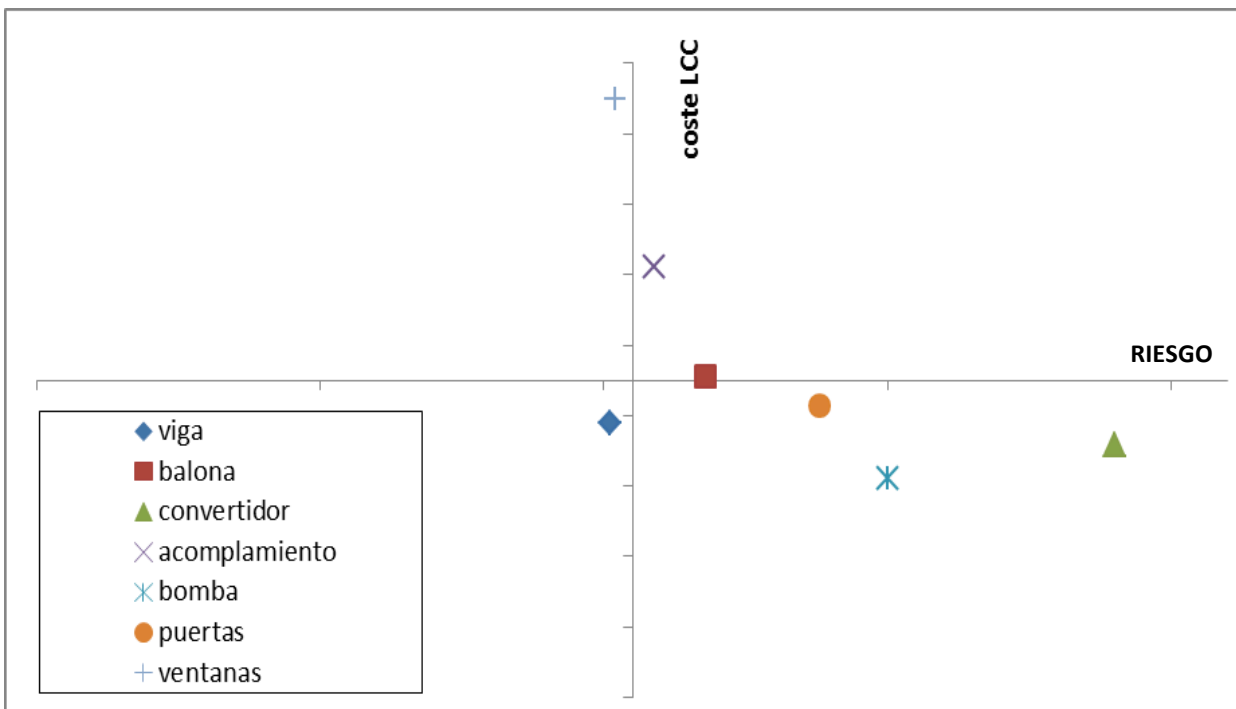
| COMPONENTE | Pendiente |
|--------------|------------|
| VIGA | 11 |
| BALONA | 28 |
| CONVERTIDOR | 100 |
| ACOPLAMIENTO | 19 |
| BOMBA | 60 |
| PUERTAS | 48 |
| VENTANAS | 12 |

El valor de la pendiente va a mostrar el riesgo de cada componente, es decir, lo crítico que puede llegar a ser cada uno de ellos.

Así pues ya disponemos de nuestros dos parámetros de categorización:

| COMPONENTE | Coste LCC mín. | Riesgo |
|--------------|----------------|------------|
| VIGA | 8900 | 11 |
| BALONA | 15650 | 28 |
| CONVERTIDOR | 5800 | 100 |
| ACOPLAMIENTO | 31170 | 19 |
| BOMBA | 1024 | 60 |
| PUERTAS | 11268 | 48 |
| VENTANAS | 54904 | 12 |

Representando los resultados obtenidos en un mapa perceptual vamos a poder apreciar la naturaleza de cada uno de ellos, lo cual nos permitirá categorizarlos.

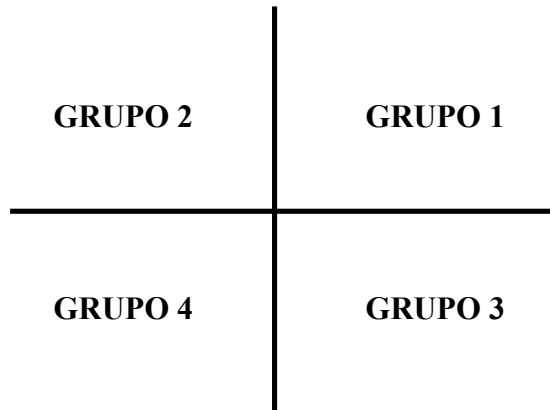


CATEGORIZACIÓN

Según se puede observar en el mapa perceptual de la figura anterior se pueden observar distintos grupos de componentes, con naturalezas diferentes.

Vamos a basarnos en un análisis de criticidad para establecer la categorización de componentes y para ello se toman como los elementos principales para la categorización el mínimo coste LCC y el riesgo.

Se ha decidido establecer una escala de criticidad en la cual se van a definir una categorización en cuatro grupos de componentes, que van de mayor a menor importancia:



- **GRUPO 1: COMPONENTES ÁLTAMENTE CRÍTICOS**

Los componentes que forman parte de este grupo presentan un alto coste LCC, así como un elevado riesgo, por ese motivo se consideran altamente críticos.

En cuanto al mantenimiento preventivo, requieren un elevado control, ya que en caso de cometerse un fallo en el cálculo del número de operaciones de preventivo, las repercusiones económicas serían muy importantes.

- **GRUPO 2: COMPONENTES CRÍTICOS**

Los componentes que forman parte de este grupo presentan un alto coste LCC, y un riesgo moderado.

En cuanto al mantenimiento preventivo, requieren un control periódico, y que en caso de cometerse un fallo en el cálculo del número de operaciones de preventivo, las repercusiones económicas serían considerables, pero no tan elevadas como en el caso anterior.

- **GRUPO 3: COMPONENTES DE CRITICIDAD MEDIA**

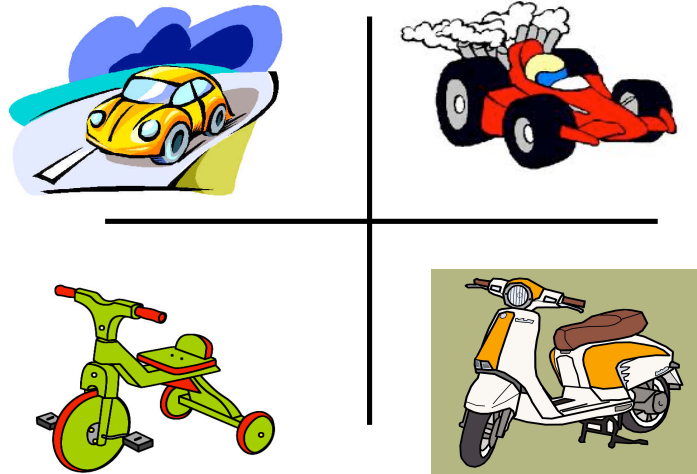
Los componentes que forman parte de este grupo presentan un bajo coste LCC y un riesgo considerable.

Analizando en conjunto el coste LCC y el riesgo llegamos a la conclusión de que el número de operaciones de mantenimiento preventivo que requieren es menor.

- **GRUPO 4: COMPONENTES DE BAJA CRITICIDAD**

Los componentes que forman parte de este grupo presentan un bajo coste LCC, así como un bajo riesgo, por lo que el mantenimiento preventivo será mínimo.

Para recordar mejor esta escala de criticidad se propone la siguiente comparación que resulta muy ilustrativa:



RESULTADO

Tras haber establecido el modelo de categorización en base a una escala de criticidad de componentes, se procede a aplicarla sobre los siete componentes mecánicos que han sido objeto de estudio, el resultado obtenido ha sido el siguiente:

| | |
|--|-----------------------|
| COMPONENTES ÁLTAMENTE CRÍTICOS | ACOPLAMIENTO |
| | BALONA |
| COMPONENTES CRÍTICOS | VENTANAS |
| COMPONENTES DE CRITICIDAD MEDIA | BOMBA DE INYECCIÓN |
| | CONVERTIDOR |
| | PUERTAS |
| COMPONENTES DE BAJA CRITICIDAD | VIGA DE LA SUSPENSIÓN |

CONCLUSIONES Y FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACIÓN

En este apartado se va a proceder a citar las conclusiones obtenidas tras el desarrollo de este trabajo, así como de las futuras líneas de investigación a las que da entrada este proyecto.

En primer lugar se puede decir que se ha adaptado una herramienta de cálculo, mediante la creación dos bases de datos: una de ellas refleja los precios de componentes y mano de obra, mientras que en la otra queda reflejado el modelo de cálculo desarrollado en este proyecto. De esta forma otorga potencia de cálculo, así como la posibilidad de una actualización constante de los planes de mantenimiento realizados con esta herramienta.

Del mismo modo se han descrito dos métodos de cálculo de fiabilidad de los componentes ferroviarios: uno de ellos teórico en el que se sigue el método descrito en los manuales de fiabilidad y el otro suponiendo que se dispone de históricos y datos fiables.

Por otra parte se ha establecido un método de cálculo de operaciones de mantenimiento preventivo y correctivo en función de la fiabilidad, lo cual nos asegura el buen funcionamiento de componentes y sistemas de un vehículo ferroviario.

Siguiendo con el punto anterior y con la ayuda de la herramienta informática, se ha logrado hacer una traducción desde operaciones de mantenimiento anual a costes de mantenimiento anual. De esta forma se puede apreciar el impacto de la fiabilidad sobre el coste de mantenimiento y, en caso de que por ejemplo un cliente requiera fiabilidades mayores para determinados componentes, puede conocerse cuál va a ser el impacto económico.

Se ha logrado implementar todo lo descrito anteriormente en la herramienta informática con la creación de las subtablas de preventivo y correctivo, lo cual permite al usuario escoger una fiabilidad y que automáticamente dé como resultado tanto el número de operaciones de correctivo y preventivo, así como los costes de los mismos.

También se ha introducido el concepto de coste LCC y se ha desarrollado un modelo de categorización de componentes en función del mismo. Gracias a la potencia de cálculo de la herramienta informática, que nos proporciona costes de mantenimiento anual de cada componente, se ha procedido al cálculo del coste LCC de siete componentes ferroviarios. A partir de este punto, se ha establecido una relación entre el coste LCC y mantenimiento preventivo que ha permitido detectar y calcular dos parámetros de categorización de componentes: el mínimo coste LCC y el riesgo, obteniendo como resultado un método de categorización de componentes mecánicos en cuatro grupos, lo cual va a permitir identificar los elementos críticos de los no críticos.

Sería conveniente analizar mediante el modelo propuesto un plan de mantenimiento completo y una vez aplicado el método de categorización basado en un análisis de criticidad, se tendrían todos los componentes de un vehículo ferroviario distribuidos en cuatro grupos, de tal forma que facilitaría mucho las labores de mantenimiento y sería posible establecer un listado de componentes críticos, así como establecer prioridades.

También sería interesante introducir el término de confiabilidad, dado que este término contempla fiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad, lo cual daría como resultado un plan de mantenimiento completísimo.

En cuanto al camino a seguir, desde el punto de vista de la investigación, se propone la aplicación de las “redes neuronales” como herramienta de cálculo fundamental de fiabilidad de componentes, donde podrían obtenerse mejoras, dado que la fiabilidad es el parámetro fundamental sobre el cual se basan los planes de mantenimiento.

BIBLIOGRAFIA

- Z. Vintr, University of Defence, Czech Republic, M. Vintr Brno University of Technology Brno, Czech Republic Reliability and Safety of Rail Vehicle Electromechanical Systems, 12th IFToMM World Congress, Besançon (France), June 18-21, 2007.
- Hyun Kyu Jun , Jae Hoon Kim , JunSeo Park. 'Maintenance cost prediction model for railway vehicle'. Department of Vehicle Track Research, Korea Railroad Research institute, 3601 Woram-dong, Uiwangcity.
- Daneka y M. Richtara. 'New Approaches to the Life Cycle Costs Philosophy of the Railway Vehicles'. Institute of Transport, VSB – Technical University of Ostrava 17, listopadu 15, Ostrava – Poruba, 708 33, Czech republic.
- Dušan Milutinović, Executive Manager of Rolling Stock Research and Development Serbian Railway, Vojkan Lučanin Professor University of Belgrade Faculty of Mechanical Engineering. Relation between Reliability and Availability of Railway vehicles, FME Transactions (2005).
- Mineta Transportation Institute Report,. Reliability Centered Maintenance: A Case Study of Railway Transit Maintenance to Achieve Optimal Performance, San José State University, California. 2010.
- Felipe Gallardo Quesada. 'Plan de mantenimiento de los trenes de la serie 6000 de metro de Barcelona'. Universitat Politècnica de Catalunya.
- N. Cotaina, J. Carretero et al. Study Of Existing Reliability Centered Maintenance (RCM) Approaches Used In Different Industries. Adepa Paris (France) □ UPM Madrid (Spain). Junio 2000.
- N.A.S.A - National Aeronautics And Space Administration. Reliability Centered Maintenance Guide For Facilities And Collateral Equipment 2000.
- Jesús A. Royo Sánchez, Mariano Bolea Bitrián, Fernando Torres Leza, Juan José Aguilar Martín. 'Mantenimiento Industrial Integral'.
- David González de la Peña. 'Introducción al cálculo del LCC (life cycle cost) de vehículos ferroviarios'. Anales de mecánica y electricidad / noviembre - diciembre 2004.
- Medardo Yañez, José L. Perdomo, Hernando Gómez de la Vega. 'Ingeniería de la fiabilidad. Pilar fundamental del mantenimiento'. Reliability and Risk Management S.A.
- Adolfo Alcalá. 'Propuesta de un modelo matemático de optimización de costes de mantenimiento preventivo'. CULTCA.

- UNE-EN-15380 Aplicaciones ferroviarias: Sistema de designación para vehículos ferroviarios.
- UNE-EN-61703 Expresiones matemáticas para los términos de fiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad y de logística del mantenimiento.
- UNE-50126. Aplicaciones ferroviarias. Especificación y demostración de la fiabilidad, la disponibilidad, la mantenibilidad y la seguridad.
- UNE-20-609 Pruebas de fiabilidad en equipos basadas en la distribución exponencial.
- UNE-20-654 Guía de mantenibilidad de equipos.
- UNE-20-932 ensayos de fiabilidad.
- UNE-200001. Gestión de la confiabilidad. Guía de aplicación.
- UNE-13460. Mantenimiento, documentos para el mantenimiento.
- UNE-EN 60300. Gestión de la confiabilidad.
- UNE-EN-60706. Mantenibilidad de equipos.
- UNE-EN-60812-Técnicas de análisis de fiabilidad de sistemas. Procedimiento de análisis de los modos de fallo y sus efectos (AMFE).
- UNE-EN-61014 -Programas de crecimiento de la fiabilidad.
- UNE-EN-61124 – Ensayos de fiabilidad. Planes de ensayo de conformidad para tasa de fallo constante y para intensidad de fallo constante.
- UNE-EN-61025 – Análisis por árbol de fallos (AAF).
- UNE-EN-62347 - Directrices para especificaciones de confiabilidad de sistemas.
- IEC 60300-3-11. Dependability Management – Application Guide – Reliability Centred Maintenance.
- MIL-HDBK-217 Reliability Prediction of Electronic Equipment.
- MIL-HDBK-338 Electronic Reliability Project Handbook.
- NSWC-11 Naval Surface Warfare Center. Handbook of Reliability Prediction Procedures for Mechanical Equipment. Última versión año 2011.
- MIL-STD-470 Maintainability Program for Systems and Equipment.
- MIL-STD-471 Maintainability Verification / Demonstration / Evaluation.

- MIL-STD-721 Definitions of Terms for Reliability and Maintainability.
- MIL-STD-756 Reliability Modelling and Prediction.
- MIL-STD-781 Reliability Testing for Engineering Development, Qualification and Production.
- MIL-STD-785 Reliability Program for Systems and Equipment Development and Production.
- MIL-STD-810 Environmental Test Methods and Engineering Guidelines.
- MIL-STD-882 System Safety Program Requirements.
- MIL-STD-1629.
- NPRD-95 Nonelectronics Parts Reliability Data (RIAC, Reliability Information Analysis Center) Última versión, año 2011.
- Failure Mode/Mechanism Distributions. (RIAC, Reliability Information Analysis Center) Última versión, año 1997.