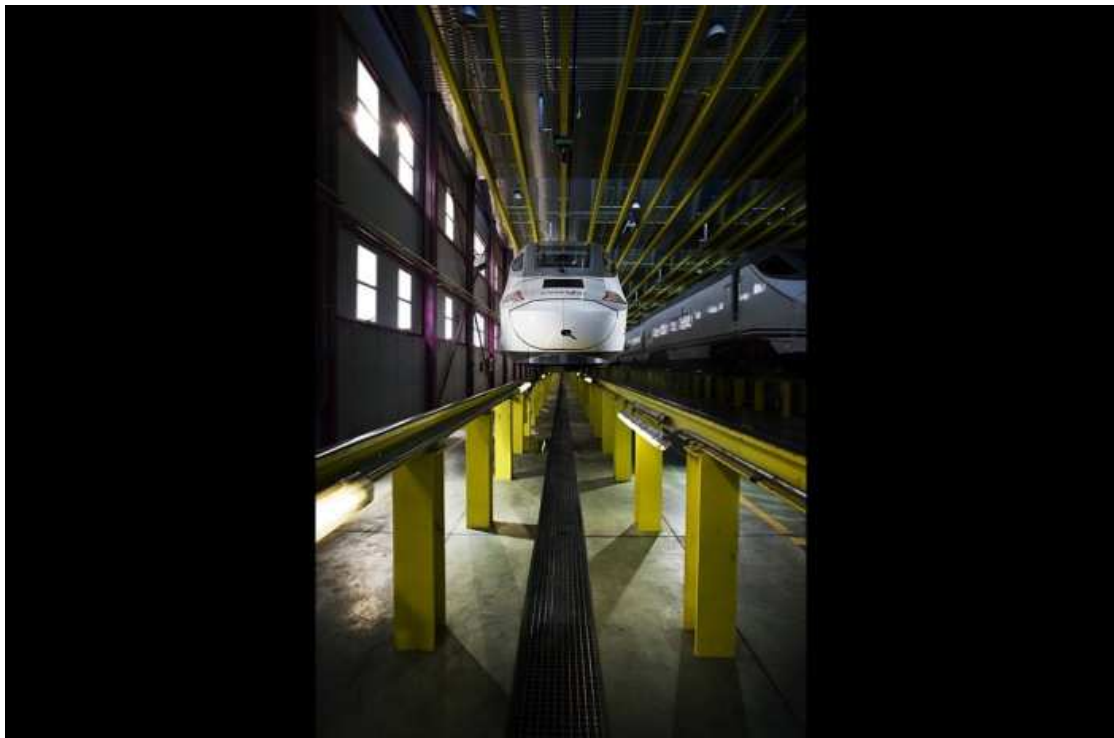




Escuela  
Universitaria  
Ingeniería  
Técnica  
Industrial  
**ZARAGOZA**



El mantenimiento electromecánico ferroviario: Adaptación de herramienta informática, modelado y análisis de sensibilidad de costes LCC en función de la fiabilidad.



Por:

**Manuel Pocino Pasías**

Dirigido por:

**Dr. Ing. Ind. Luis Lezaún Martínez de Ubago**

Zaragoza, Curso 2009/2010

## **CONTENIDO:**

- El material rodante desde el punto de vista del mantenimiento-
- Las instalaciones para el mantenimiento ferroviario-
- La gestión del mantenimiento aplicada al material rodante-
  - Software de mantenimiento-
- Calculo de coste de mantenimiento de una flota-
- Conclusiones-





**El mantenimiento electromecánico ferroviario: Adaptación de herramienta informática, modelado y análisis de sensibilidad de costes LCC en función de la fiabilidad.**

Manuel Pocino Pasías



## **-INDICE:**

### **Introducción:**

- Situación actual del mantenimiento ferroviario.
- Introducción al mantenimiento.
- Ciclo de vida de un equipo.

### **Parte I: El material rodante desde el punto de vista del mantenimiento.**

- Material Mecánico (estructura, rodadura, suspensiones, frenos...).
- Material Eléctrico (baja tensión, transformación, telecomunicaciones...).
- Material Confort (saneamientos, sillones...).

### **Parte II: Las instalaciones para el mantenimiento ferroviario.**

- Instalaciones para mantenimiento mecánico.
- Instalaciones para mantenimiento eléctrico.
- Instalaciones para mantenimiento de limpieza interior y exterior.

### **Parte III: La gestión del mantenimiento aplicada al material rodante.**

- Mantenimiento preventivo, preventivo y predictivo.
- La gestión económica del mantenimiento y el LCC (life cycle cost).
- FMD-fiabilidad mantenibilidad y disponibilidad de sistemas. Calidad del mantenimiento.
- La gestión de repuestos.
- Históricos. Mejoras sistemáticas. Mantenimiento modificativo.
- TPM: Mantenimiento total productivo.
- Seguridad de funcionamiento de sistemas (SDF- Dependability).
- Mantenimiento contratado y legal-reglamentario.

### **Parte IV: Software de mantenimiento.**

- Objetivos GMAO (Gestion mantenimiento asistido por ordenador).
- Comparación de software de mantenimiento.
- Conclusiones GMAO.
- Integración de software.
- Comparación de softwares de cálculo de LCC en el mundo ferroviario.

### **Parte V: Cálculo de coste de mantenimiento de un flota**

- Revisión de metodologías de cálculo y LLC (UNIFE).
- Introducción al software de presupuestos.
- Modelo de cálculo de Plan de mantenimiento preventivo y correctivo.
  - o Base de datos de árbol de producto
  - o Base de datos de operaciones de mantenimiento
- Mejora del modelo: La fiabilidad y su impacto en el coste de mantenimiento correctivo

## **Parte VI: Conclusiones**

- Resultados
- Futuras investigaciones

## **ABSTRACT:**

Este documento tiene que ver con los típicos problemas relacionados con el life cycle cost (LCC). La filosofía del LCC se encuentra en plena efervescencia dentro del ámbito ferroviario, ya que se está demostrando que puede ser una muy buena herramienta tanto para la comparación de vehículos en el momento de compra, como para hallar la variación que sufre el coste total en la vida de un conjunto ferroviario en función de la fiabilidad exigida. Pero el problema principal es la falta de esta herramienta debido a la dificultad que conlleva este cálculo en el ámbito ferroviario.

En este documento precisamente se desea comenzar a despejar un camino sobre el que continuar investigando a cerca de la creación de estas herramientas que tan útiles resultarían tanto para la industria ferroviaria como para los clientes de esa industria.

## **Conceptos previos.**

Antes de comenzar a fondo con la descripción de los temas que nos ocupan en este proyecto, debemos tener claros unos conceptos relacionados tanto con el mundo ferroviario como con el mundo del mantenimiento teniendo muy presente también el ámbito económico sobre el que se basa todo el interés de este análisis a fondo del mantenimiento ferroviario. Tantos los conceptos necesarios sobre el mantenimiento como los conceptos económicos se detallan a continuación mientras que los conceptos ferroviarios vienen desarrollados en el anexo correspondiente por tener una mayor extensión y mayor importancia.

## **Conceptos Mantenimiento.**

### **.- Mantenimiento**

Es un servicio que agrupa una serie de actividades cuya ejecución permite alcanzar un mayor grado de confiabilidad en los equipos, máquinas, construcciones civiles, instalaciones.

Objetivos del Mantenimiento;

- Evitar, reducir, y en su caso, reparar, las fallas sobre los bienes precitados.
- Disminuir la gravedad de las fallas que no se lleguen a evitar.
- Evitar detenciones inútiles o para de máquinas.
- Evitar accidentes.
- Evitar incidentes y aumentar la seguridad para las personas.
- Conservar los bienes productivos en condiciones seguras y preestablecidas de operación.

- Balancear el costo de mantenimiento con el correspondiente al lucro cesante.
- Alcanzar o prolongar la vida útil de los bienes.
- El mantenimiento adecuado, tiende a prolongar la vida útil de los bienes, a obtener un rendimiento aceptable de los mismos durante más tiempo y a reducir el número de fallas.

### **.-Clasificación de las Fallas**

#### **-Fallas Tempranas**

Ocurren al principio de la vida útil y constituyen un porcentaje pequeño del total de fallas. Pueden ser causadas por problemas de materiales, de diseño o de montaje.

#### **-Fallas adultas**

Son las fallas que presentan mayor frecuencia durante la vida útil. Son derivadas de las condiciones de operación y se presentan más lentamente que las anteriores (suciedad en un filtro de aire, cambios de rodamientos de una máquina, etc.).

#### **-Fallas tardías**

Representan una pequeña fracción de las fallas totales, aparecen en forma lenta y ocurren en la etapa final de la vida del bien (envejecimiento de la aislación de un pequeño motor eléctrico, pérdida de flujo luminoso de una lámpara, etc.).



## **.-Tipos de Mantenimiento**

### **-Mantenimiento Correctivo**

Este mantenimiento también es denominado "mantenimiento reactivo", tiene lugar luego que ocurre una falla o avería, es decir, solo actuará cuando se presenta un error en el sistema. En este caso si no se produce ninguna falla, el mantenimiento será nulo, por lo que se tendrá que esperar hasta que se presente el desperfecto para recién tomar medidas de corrección de errores. Este mantenimiento trae consigo las siguientes consecuencias:

- . Paradas no previstas en el proceso productivo, disminuyendo las horas operativas.
- . Afecta las cadenas productivas, es decir, que los ciclos productivos posteriores se verán parados a la espera de la corrección de la etapa anterior.
- . Presenta costos por reparación y repuestos no presupuestados, por lo que se dará el caso que por falta de recursos económicos no se podrán comprar los repuestos en el momento deseado
- . La planificación del tiempo que estará el sistema fuera de operación no es predecible.

### **-Mantenimiento Preventivo**

Este mantenimiento también es denominado "mantenimiento planificado", tiene lugar antes de que ocurra una falla o avería, se efectúa bajo condiciones controladas sin la existencia de algún error en el sistema. Se realiza a razón de la experiencia y pericia del personal a cargo, los cuales son los encargados de determinar el momento necesario para llevar a cabo dicho procedimiento; el fabricante también puede estipular el momento adecuado a través de los manuales técnicos. Presenta las siguientes características:

- . Se realiza en un momento en que no se está produciendo, por lo que se aprovecha las horas ociosas de la planta.
- . Se lleva a cabo siguiente un programa previamente elaborado donde se detalla el procedimiento a seguir, y las actividades a realizar, a fin de tener las herramientas y repuestos necesarios "a la mano".

- . Cuenta con una fecha programada, además de un tiempo de inicio y de terminación preestablecido y aprobado por la directiva de la empresa.
- . Esta destinado a un área en particular y a ciertos equipos específicamente. Aunque también se puede llevar a cabo un mantenimiento generalizado de todos los componentes de la planta.
- . Permite a la empresa contar con un historial de todos los equipos, además brinda la posibilidad de actualizar la información técnica de los equipos.
- . Permite contar con un presupuesto aprobado por la directiva.

#### -Mantenimiento Predictivo

Consiste en determinar en todo instante la condición técnica (mecánica y eléctrica) real de la máquina examinada, mientras esta se encuentre en pleno funcionamiento, para ello se hace uso de un programa sistemático de mediciones de los parámetros más importantes del equipo. El sustento tecnológico de este mantenimiento consiste en la aplicaciones de algoritmos matemáticos agregados a las operaciones de diagnóstico, que juntos pueden brindar información referente a las condiciones del equipo. Tiene como objetivo disminuir las paradas por mantenimientos preventivos, y de esta manera minimizar los costos por mantenimiento y por no producción. La implementación de este tipo de métodos requiere de inversión en equipos, en instrumentos, y en contratación de personal calificado. Técnicas utilizadas para la estimación del mantenimiento predictivo:

- . Analizadores de Fourier (para análisis de vibraciones)
- . Endoscopia (para poder ver lugares ocultos)
- . Ensayos no destructivos (a través de líquidos penetrantes, ultrasonido, radiografías, partículas magnéticas, entre otros)
- . Termovisión (detección de condiciones a través del calor desplegado)
- . Medición de parámetros de operación (viscosidad, voltaje, corriente, potencia, presión, temperatura, etc.)

### -Mantenimiento Proactivo

Este mantenimiento tiene como fundamento los principios de solidaridad, colaboración, iniciativa propia, sensibilización, trabajo en equipo, de modo tal que todos los involucrados directa o indirectamente en la gestión del mantenimiento deben conocer la problemática del mantenimiento, es decir, que tanto técnicos, profesionales, ejecutivos, y directivos deben estar concientes de las actividades que se llevan a cabo para desarrollar las labores de mantenimiento. Cada individuo desde su cargo o función dentro de la organización, actuará de acuerdo a este cargo, asumiendo un rol en las operaciones de mantenimiento, bajo la premisa de que se debe atender las prioridades del mantenimiento en forma oportuna y eficiente. El mantenimiento proactivo implica contar con una planificación de operaciones, la cual debe estar incluida en el Plan Estratégico de la organización. Este mantenimiento a su vez debe brindar indicadores (informes) hacia la gerencia, respecto del progreso de las actividades, los logros, aciertos, y también errores.

## **Conceptos Económicos.**

### **.- Life Cycle Cost (LCC).**

El coste de ciclo de vida (en castellano) se trata de un indicador económico que resulta del sumatorio de todos los costes incurridos en un elemento a lo largo de toda su vida útil. Los costes que suelen ser más importantes por su volumen sobre todo en el ámbito ferroviario son; costes de adquisición, costes de mantenimiento, costes energéticos, costes de operación, etc. Cabe pensar que cada uno de estos costes se producirán en un momento determinado de la vida del elemento en conjunto, así pues es necesario transportar todos esos costes a un momento en el tiempo determinado en el que poderlos comparar, de ahí la importancia del siguiente concepto.

### **.- VAN (Valor Actual Neto).**

Valor actual neto procede de la expresión inglesa *Net present value*. El acrónimo es NPV en inglés y VAN en español. Es un procedimiento que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión. La metodología consiste en descontar al momento actual (es decir, actualizar mediante una tasa) todos los *flujos de caja* futuros del proyecto. A este valor se le resta la inversión inicial, de tal modo que el valor obtenido es el valor actual neto del proyecto.

La fórmula que nos permite calcular el Valor Actual Neto es:

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

$V_t$  representa los flujos de caja en cada periodo  $t$ .

$I_0$  es el valor del desembolso inicial de la inversión.

$n$  es el número de períodos considerado.

El tipo de interés es  $k$ . Si el proyecto no tiene riesgo, se tomará como referencia el tipo de la renta fija, de tal manera que con el VAN se estimará si la inversión es mejor que invertir en algo seguro, sin riesgo específico. En otros casos, se utilizará el coste de oportunidad.

Cuando el VAN toma un valor igual a 0,  $k$  pasa a llamarse TIR (tasa interna de retorno). La TIR es la rentabilidad que nos está proporcionando el proyecto.

## **Introducción.**

### **Situación actual del mantenimiento ferroviario.**

La filosofía del LCC (life cycle cost – coste de ciclo de vida) en el mundo ferroviario está entrando en la tercera década desde su nacimiento y comienza a contribuir hacia el acercamiento de las relaciones entre productores de vehículos ferroviarios y clientes (administración). Esto lleva conjuntamente una solución económico-técnica conveniente para ambas partes.

Menores costes operacionales podrían ser alcanzados mediante el buen diseño y una buena estructuración del plan de mantenimiento. Esta dupla proporciona un análisis técnico de los componentes críticos que se traduce en una disminución de los costes de mantenimiento y una fiabilidad superior sin aumentar el capital invertido.

Debido a las diferencias existentes entre los diferentes métodos de cálculo de este coste de ciclo de vida se creó una asociación de industrias ferroviarias europeas llamada UNIFE, que contribuyó a crear un modelo común para el cálculo de LCC y utilizado tanto por los fabricantes de vehículos como por la esfera de los consumidores de este tipo de vehículos, que suelen ser las administraciones.

Es importante destacar que en el cálculo del LCC de un vehículo ferroviario podemos observar que el coste directo dependiente del mantenimiento es al menos el 50% del coste total. De ahí la importancia en el mundo ferroviario del contrato de mantenimiento, el cual supondrá mayor coste todavía si se pide una mayor fiabilidad general del vehículo.

Existen algunas herramientas especialmente diseñadas para el cálculo de LCC, aunque bastante generales en cuanto a sistemas aplicables. Enumerando alguna de ellas: RELEX-LCC, LCCWare, CATALOC, D-LCC.

Debido a esta oscuridad entorno al tema del cálculo de LCC ferroviario, UNIFE creó un software llamado UNILIFE del que hablaremos más adelante, pero que como introducción podemos decir que es un programa que podría ser el comienzo de una buena herramienta de

benchmarking entre flotas de vehículos ferroviarios, aunque todavía está lejos ya que como más adelante veremos posee demasiadas limitaciones.

## **Introducción al mantenimiento.**

MANTENIMIENTO: 'Conjunto de acciones que permiten mantener o restablecer un bien en un estado específico, o en la medida de asegurar un servicio determinado a un coste global óptimo'.

Suele establecer un paralelismo entre "salud humana" y "salud máquina"; entonces podemos decir que el mantenimiento representa la medicina de las máquinas y tiene relación por tanto con su ciclo de vida:

1.- Desde su diseño, donde se determinan:

- Mantenibilidad (aptitud para ser mantenido).
- Disponibilidad y fiabilidad (aptitud para ser operacional).
- Durabilidad (duración provisional de su vida).

2.- En el seno de la empresa que se la va a utilizar: mantenimiento ha de dejar "consejo de compra" teniendo en cuenta que ha de participar en la instalación y puesta en marcha. Así, en cuanto empiece a funcionar (posibilidad de averías potenciales), conoce la máquina, posee la información y el programa de mantenimiento, para llevar a cabo la triple misión.

- Vigilancia permanente o periódica.
- Arreglos y reparaciones.
- Acciones preventivas.

3.-Llevando a cabo correcciones y mejoras derivadas del conocimiento del material, sus debilidades, degradaciones y desviaciones. En el plano económico, optimizaciones que tienen por objetivo reducir al mínimo el ratio.

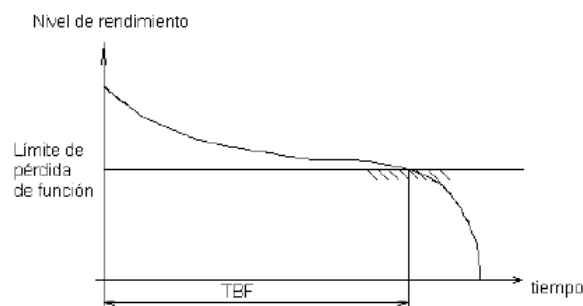
4.- Indicando el momento económico del cambio de la máquina (cuando su mantenimiento no es rentable) y participar en la elección del reemplazamiento (muerte de la máquina).

A nivel industrial, se suele entender por avería, un fallo que impide que la instalación mantenga el nivel productivo. Esta idea se debe ampliar a los fallos que ocasionan falta de calidad del producto, falta de seguridad, pérdidas energéticas y contaminación ambiental. Respecto a la contaminación la norma cada vez es más exigente y no afecta sólo a procesos productivos sino también al estado y mantenimiento de los equipos.

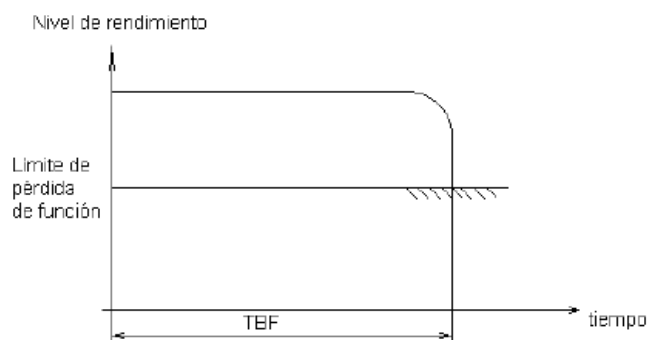
**FALLO:** Es la alteración o interrupción de una bien en el cumplimiento de una función requerida.

En función de la velocidad de aparición del fallo podemos diferenciar entre dos tipos de fallos:

- De degradación o progresivo, son los que de alguna manera u otra hacen prever su aparición. Figura inferior: ejemplo de fallo progresivo.



- Cataléctico o repentino, son los que corresponden a una función aleatoria y suelen depender de que coincidan con una serie de factores difíciles de predecir. Figura inferior: ejemplo de fallo repentino.



El fallo sufre un proceso evolutivo; cada forma de fallo degrada un órgano de una forma específica, sin embargo es frecuente que varias formas encadenen según el siguiente esquema:

INICIACIÓN---→PROPAGACIÓN---→RUPTURA (Evolución rápida final).

- Iniciación: a menudo se presenta como un defecto de "salud-material", un defecto de concepción, de fabricación y/o una causa de extrínseca (golpe, sobrecarga...).
- Propagación: Se produce a menudo por formas de fallo de funcionamiento (fatiga, desgaste...).
- Pérdida de buen funcionamiento: Generalmente aparece de forma acelerada como consecuencia de propagación en el tiempo, o de manera repentina.

CLASIFICACIÓN DE FALLOS: En función del origen de la avería.

- 1.- Mal diseño o errores de cálculo del equipo, generalmente por: no conocer exactamente las condiciones en que trabajará. (Se le atribuirán del orden del 12% de los fallos).
- 2.- Defectos durante la fabricación del equipo: se descuidan los controles de calidad con lo que tiene fallos potenciales que aparecerán. (Representan el 10,45% de los fallos).
- 3.- Mal uso de la instalación, generalmente por desconocimiento de su manejo, por emplearlo en aplicaciones para las que no está diseñado. (Se la atribuyen el 40% de los fallos. Es el más numeroso).
- 4.- Desgaste natural o envejecimiento. (Supone el 10,45%).
- 5.- Fenómenos naturales y otras causas: meteorológicas y otras causas exteriores al equipo. (Suponen el 27%).



## **Ciclo de vida.**

El mantenimiento nos va a marcar de algún modo el ciclo de vida del sistema que estudiemos, ya que como se ha dicho anteriormente es posible alargar la vida de un elemento realizando el mantenimiento oportuno.

A continuación se muestran las diferentes fases por las que pasa un elemento a lo largo de la su vida.

JUVENTUD: fallos precoces.

- Puesta en servicio
- Periodo de rodaje.
- Preselección de componentes.

MADUREZ: Periodo de vida útil y fallos aleatorios.

- Periodo de rendimiento óptimo del material.
- Tasa de fallo constante.
- Los fallos aparecen sin degradaciones previas visibles.

OBSOLESCENCIA: Vejez, desgaste.

- Una forma de fallo predominante da lugar a una degradación acelerada.
- A cierto nivel de fiabilidad, el material está "muerto". Entonces es descalificado o desechado.

## **I: El material rodante y sus sistemas desde el punto de vista del mantenimiento.**

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 solidarios al ferrocarril.

Es el material sobre el que 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.

Para hacernos una idea de la importancia del mantenimiento ferroviario sólo tenemos que prestar atención a los costes derivados de cualquier administración ferroviaria que en muchas ocasiones supera el 50% en el apartado de mantenimiento. En el caso del mantenimiento ferroviario es importante explicar que ha tenido un retraso considerable con respecto a otros campos tecnológicos como por ejemplo la aviación o la informática que presentan unos índices de fiabilidad muy superiores.

Dentro del apartado de material móvil es necesario establecer unas unidades de medida para lograr programar el mantenimiento preventivo. Habitualmente se elige una unidad que represente el desgaste de los elementos y en este caso ferroviario podríamos escoger la unidad de kilómetros.

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
REDUCTORES	X	X			X	X
FRENO	X	X				X
SUSPENSIONES					X	
MOTORES	X	X	X		X	X
APARELLAJE ELEC.	X	X	X			X
COMPRESORES	X	X	X		X	X
PUERTAS	X	X	X		X	X
GANCHOS	X	X				X
PANTÓGRAFOS	X	X	X		X	X
ELECT. CONTROL	X		X			X
ELECT. POTENCIA	X		X			X
NEUMÁTICA	X	X	X	X	X	X
VENTILACIÓN A/A	X	X	X		X	X
DECORACIÓN	X	X	X			X

**FIGURA I.I Elementos susceptibles de mantenimiento.**

Podemos diferenciar tres grandes grupos dentro del material móvil dividiéndolo según tipo de trabajo; mecánicos, eléctricos y de confort. Nos deberemos centrar en cada uno por separado.

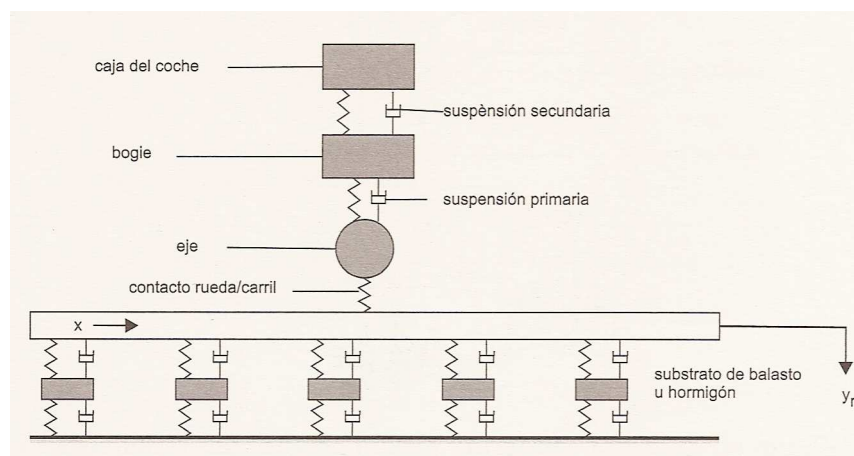
### **I.I: Elementos mecánicos.**

El sistema mecánico es el sistema más importante dentro de los embarcados en el material móvil. Esta importancia viene determinada por el importante desgaste los que están sometidos todos los elementos mecánicos.

Es importante destacar que en la actualidad todavía podemos observar locomotoras que funcionan mediante motores de combustión interna. Esto significa que en la siguiente enumeración vamos poder observar elementos propios de estos motores como podrían ser filtros de combustible.

### -SUSPENSIONES:

Dentro del mundo ferroviario las suspensiones tienen un papel importante en el confort y la seguridad de los viajeros o las cargas y por este motivo se han tomado medidas importantes en éstas. Existen dos niveles de suspensiones la suspensión primaria (entre rueda y bogie) y la secundaria (entre bogie y el coche ó vagón), como se muestra en la siguiente figura.



**FIGURA I.II Esquema de suspensiones.**

Para hablar un poco más a fondo de cada tipo de suspensión podemos comentar las características principales de cada una de ellas..

La suspensión primaria de los ferrocarriles suelen ser aparentemente bastante simples, siendo crucial en su diseño tener en cuenta la fatiga del material elástico que con el paso del tiempo reducirá su altura inicial. Ello implica las continuas y periódicas mediciones con el objetivo de incorporación de calas de suplemento para mantener la medida oportuna.

En el caso de la suspensión secundaria puede ser también de muelles o mediante gomas o balones llenos de aire comprimido; sistema cada vez más utilizado por la comodidad que implica para el viajero. Lo conseguido de este diseño, con un mínimo e incluso nulo mantenimiento con la facilidad de regulación mediante la incorporación de mayor o menor

presión en el mismo según la carga de viajeros que soporta el coche ó la situación del tren en curva o recta.

Dentro del sistema de suspensiones podemos distinguir varios elementos susceptibles de ser mantenidos, que a continuación se enumeran y se comentan.

### **-Globo de la suspensión:**

Como antes se ha nombrado el globo o balón de la suspensión en la parte secundaria de la misma tiene un mantenimiento prácticamente nulo ya que su regulación se lleva a cabo mediante la acción neumática.

En este elemento el mantenimiento se centrará en la inspección de los conductos de aire comprimido que permitirán la regulación de la suspensión.

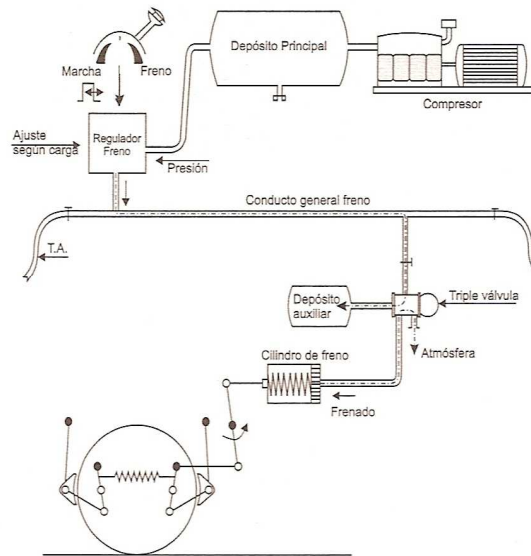
### **-Viga de la suspensión:**

El sistema de suspensión ejerce unas fuerzas sobre los coches que se transmiten a través de una viga. Esta viga esta muy solicitada y por ello es necesario prestarle especial atención. El mantenimiento consistirá en al inspección, y cuando se vea algún desperfecto se informará al personal adecuado para su análisis o reparación.

### **-FRENOS:**

Los frenos pueden ser de varios tipos: zapatas de metal, madera o compuesta (las modernas) que presionan contra la banda de rodamiento de las ruedas (accionadas por aire, hay dos sistemas, por presión de aire o por entrada de aire en el sistema que esta en vacío), frenos de disco en los ejes (además de zapatas), frenos electromagnéticos (que se "adhieren" magnéticamente al riel y detienen el tren, se utilizan mucho en vehículos de menor tamaño - tranvías y ferrobuses), frenos reostatitos y eléctricos utilizando los motores para reducir la velocidad y frenos de mano, que consisten en un dispositivo mecánico (generalmente un

volante) que lo que hace es aplicar los frenos (zapatas) contra las ruedas y actualmente se utiliza para frenar los vagones en maniobras o para inmovilizar material que va a estar detenido por un periodo de tiempo mas o menos prolongado sin tener aire o vacío para mantener accionadas las zapatas.



**FIGURA I.III Mecanismo de freno.**

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

#### **-Freno de emergencia o de auxilio:**

Es el sistema de freno que se utiliza cuando el freno normal no funciona por el motivo que sea y es muy importante que este en condiciones de funcionamiento por motivos sobradamente justificados.

### **-Disco de freno:**

Son discos metálicos que sirven para el frenado, exactamente se utilizan para comprimirlos con las pastillas de freno y evitar su giro. Son elementos de desgaste y por este motivo es necesario inspeccionarlos y sustituirlos cuando sea necesario.

### **-Presión sistema de freno:**

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

### **-Tuberías de presión de freno:**

Hay que mantenerlas ya que la presión que circula en su interior suele ser alta y se pueden dañar. Es un elemento fundamental para la seguridad del vehículo.

### **-Brazo de frenado:**

Es el mecanismo que transmite las fuerzas a los discos y debido a la fuerza que tiene que realizar se puede dañar, por este motivo debemos mantenerlo mediante reparaciones o sustituciones.

### **-Convertidor de freno hidráulico-neumático:**

Como su propio nombre indica es un mecanismo que transforma la forma de ejercer la presión sobre el freno. Es un sistema muy sensible y es necesario de mantenimiento para la no aparición de problemas.

### **-Indicador de frenado:**

El maquinista debe llevar un sistema de indicación de frenado para evitar circular con el freno activado. Estos indicadores también han de ser oportunamente inspeccionados.

### **-ACOPLAMIENTOS:**

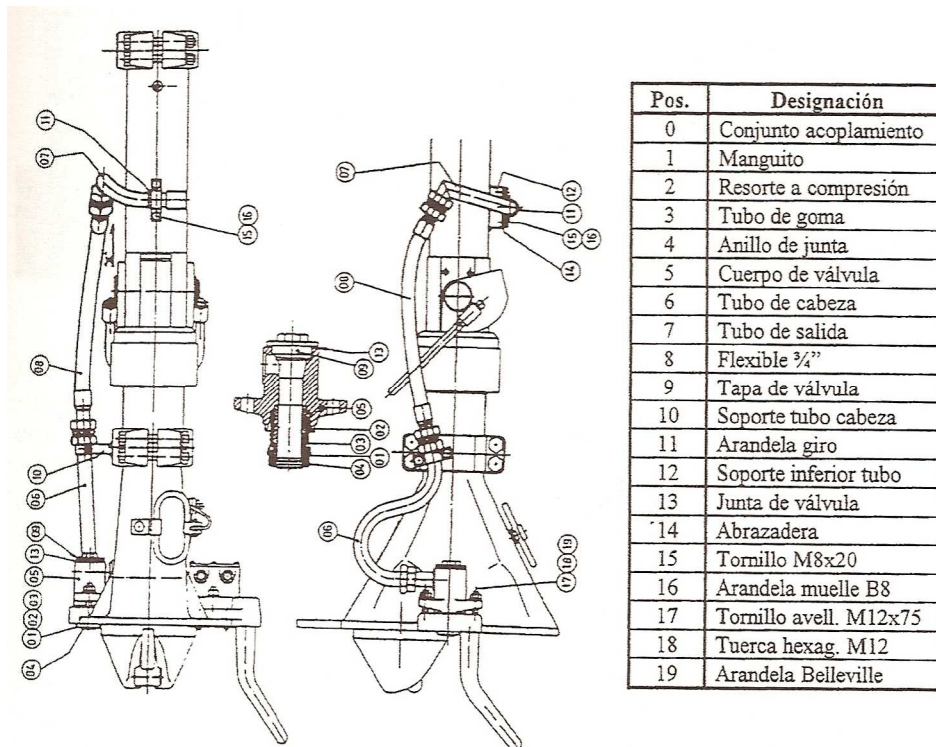
Las unidades de material móvil ferroviario autopulsado de coches pueden ser compuestas y estas unidades deben estar comunicadas mediante elementos de acoplamiento tanto neumática, eléctrica y electrónica estos elementos suelen ser llamados enganches.

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

### **-Acoplamientos automáticos:**

Son sistemas de acoplamiento que mediante elementos neumáticos, mecánicos y motores permiten al conductor la desconexión mecánica como la transmisión eléctrica. Son sistemas que aúnan robustez mecánica, sistemas de amortiguamiento y absorción de impactos, esto implica una complejidad importante y por este motivo hay muy pocos fabricantes en el mercado. Debido también a esta dificultad deberán ser mantenidos correctamente. En la siguiente imagen se especifican las partes de estos acoplamientos.





**FIGURA I.IV Acoplamiento automático.**

#### **-Gomas de acoplamiento:**

Los diferentes coches para pasajeros deben estar unidos para la libre circulación de los usuarios y esto implica una seguridad añadida en las conexiones entre los diferentes coches para que los usuarios no puedan caer a las vías ni hacia los lados. Pero al mismo tiempo debe ser un elemento de conexión flexible para que el tren no tenga problemas en los giros. Éstos elementos son las gomas de acoplamiento que también han de ser mantenidas.



**FIGURA I.V Sistemas de acoplamiento por gomas entre coches.**

### -Absorbedor de choques:

Estos 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 puedan almacenar.

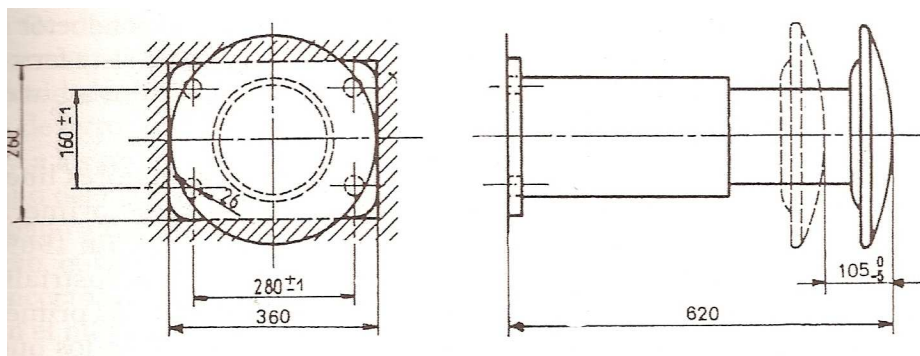
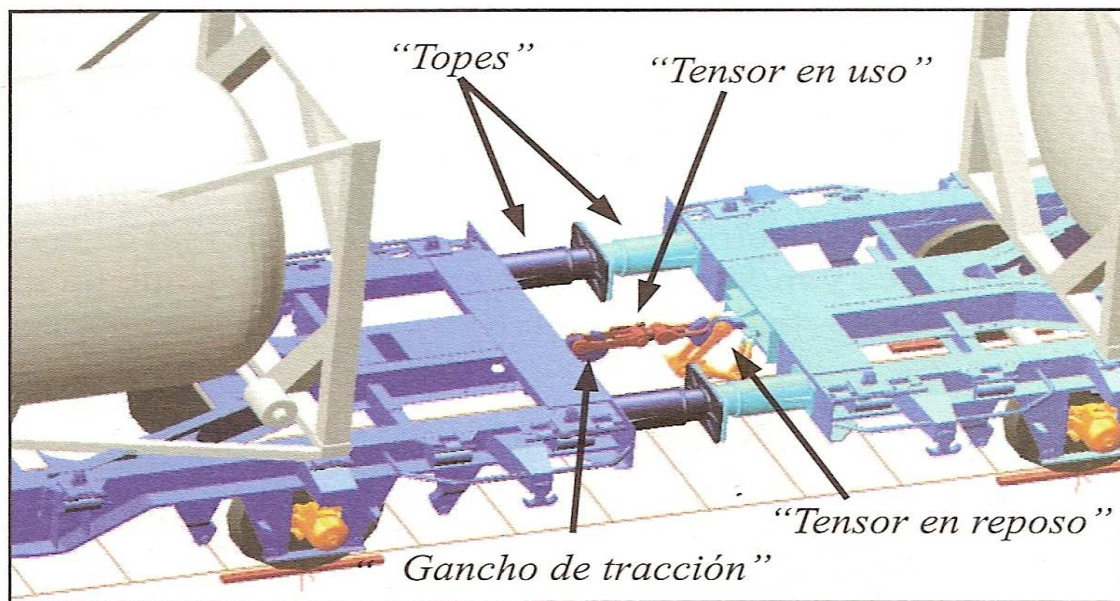


FIGURA I.VI Sistemas de absorción de choques.

### -MOTOR:

En este apartado nos vamos a centrar simplemente en la flota de coches sin contar con las locomotoras. Pero aun con todo hay que hablar de sistema de motor, o mejor dicho, de sistema de motores, ya que los conjuntos de vehículos ferroviarios poseen un coche en el que se presentan dos motores gemelos que son los encargados de proporcionar energía al conjunto de coches en el momento en el que se encuentra sin locomotora, por la cual se suele transmitir energía eléctrica a los coches.

A continuación se enumeran los elementos susceptibles de ser mantenidos de los que consta este sistema.

### **-Aceite de motor:**

Como en el caso de todos los motores es necesaria la lubricación de los sistemas mecánicos para evitar desgaste excesivo y sobrecalentamiento que pueden originar la rotura del motor. Por este motivo debemos mantener el aceite de motor sustituyéndolo cuando sea necesario, (normalmente según recomendaciones del fabricante).

### **-Culata:**

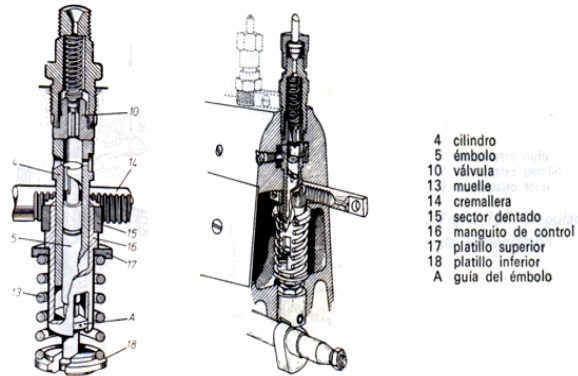
Debido al propio desgaste del motor y a las elevadas presiones que en su interior se desarrollan es posible que a través de la culata se pueda perder algo de aceite, lo que se conoce como que el motor 'suda'. Esto es un claro síntoma de que el motor está empezando a fallar y por eso es necesario llevar un control sobre el mismo ya que puede desencadenar un fallo de mucha mayor importancia, llegando incluso a tener que cambiar el motor completo.

### **-Filtro aceite:**

La inspección del filtro de aceite es una operación que se debe realizar de forma periódica y que normalmente se soluciona solamente con la limpieza del mismo.

### **-Bomba inyectora:**

La bomba inyectora de combustible es un elemento muy importante en el funcionamiento óptimo de motor y por eso debe estar siempre en un correcto funcionamiento. En la imagen de la derecha observamos un tipo de bomba inyectora lineal.



**FIGURA I.VII Bomba inyectora lineal.**

### **-Filtro combustible:**

La inspección del filtro de combustible es una operación que se debe realizar de forma periódica y que normalmente se soluciona solamente con la limpieza del mismo.

### **-Filtro aire:**

La inspección del filtro de aire es una operación que se debe realizar de forma periódica y que normalmente se soluciona solamente con la limpieza del mismo. Éste filtro es más peculiar que el resto ya que para evitar la entrada de partículas va mojado con un aceite que hace todavía más difícil la entrada de estas partículas.

### **-Líquido refrigerante:**

El líquido refrigerante es uno de los consumibles más importantes dentro de cualquier motor ya que es el responsable de evitar el calentamiento excesivo del mismo y en consecuencia de evitar su desgaste excesivo y su rotura. Es muy importante que los niveles nunca descendan del mínimo.

### **-Radiador de motor:**

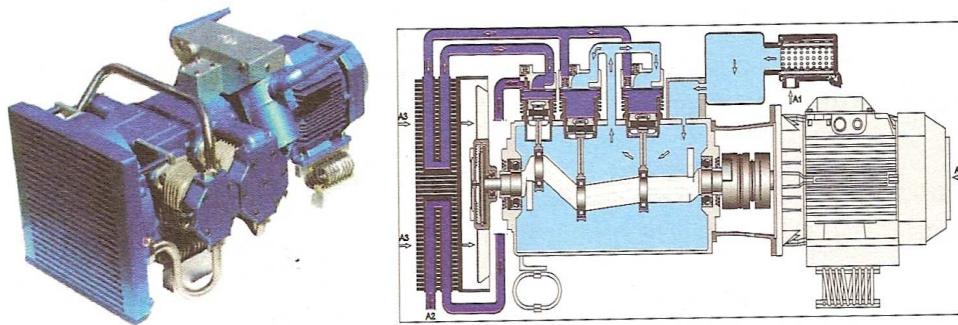
El radiador es el elemento responsable de la refrigeración del líquido refrigerante ya que en el momento de salida del mismo del bloque motor, éste sale a una temperatura demasiado alta para la vuelta a su cometido. Este radiador funciona mediante la acción del aire o agua que circula a través de unas láminas de gran superficie y enfría al líquido refrigerante. Es muy importante que estas láminas estén limpias para que el aire pueda circular con libertad ó que el agua pueda enfriar correctamente.



**FIGURA I.VIII Radiador de motor.**

### **-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 neumático eran dos compresores uno principal neumático y auxiliado por uno secundario alimentado por la batería del vehículo. Esta concepción ha sido desarrollada a lo largo del tiempo hasta llegar a un sistema neumático muy complejo que por esa característica se hace cada vez más importante en el funcionamiento del vehículo ferroviario y que deberemos mantener de forma precisa y por tanto con muchos elementos susceptibles de ser mantenidos.



**FIGURA I.IX Compresor.**

Tras ésta imagen de la apariencia física y el esquema de funcionamiento de un compresor vamos a enumerar y comentar los principales elementos de un compresor y en general de toda la línea neumática.

#### **-Filtro de aire:**

En el sistema neumático de cualquier máquina será tremendamente importante que no sea posible la intrusión de partículas en la línea de reparto ya que esto puede dañar tanto las propias tuberías como los elementos finales sobre los que va a trabajar la presión (frenos, etc). Para ello se colocan unos filtros en la captación de aire para impedir la entrada a éstas partículas. Es muy importante mantener estos filtros limpios ya que si se ciegan parcial ó totalmente podría incrementar la fuerza necesaria en el compresor para la captación de ese aire lo que se traduciría un aumento significativo del consumo e incluso podría llegar ha quemar el mismo.

#### **-Válvula de seguridad:**

En el sistema neumático es de clara importancia la tenencia de posibilidad de liberar de presión la línea en un momento dado. Para ello la válvula de seguridad debe ser regulada a no más de un 10% por encima de la presión de trabajo y deberá poder descargar el total del caudal



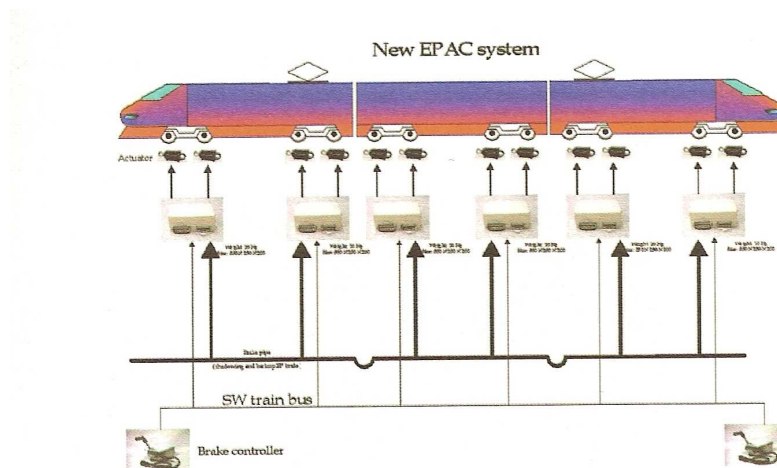
generado por el compresor. Deberá contar además con un dispositivo de accionamiento manual para poder probar periódicamente su funcionamiento.

#### **-Secador de aire:**

El excesivo desgaste de las tuberías de presión debido a la humedad del aire fue corregido mediante un secador de aire que impide la entrada de humedad en la línea. Este elemento tiene vital importancia en el tiempo de vida de las tuberías y por eso es importante prestarle importancia en tema de 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 y debido a eso 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.



**FIGURA I.X Sistema de distribución de presión.**

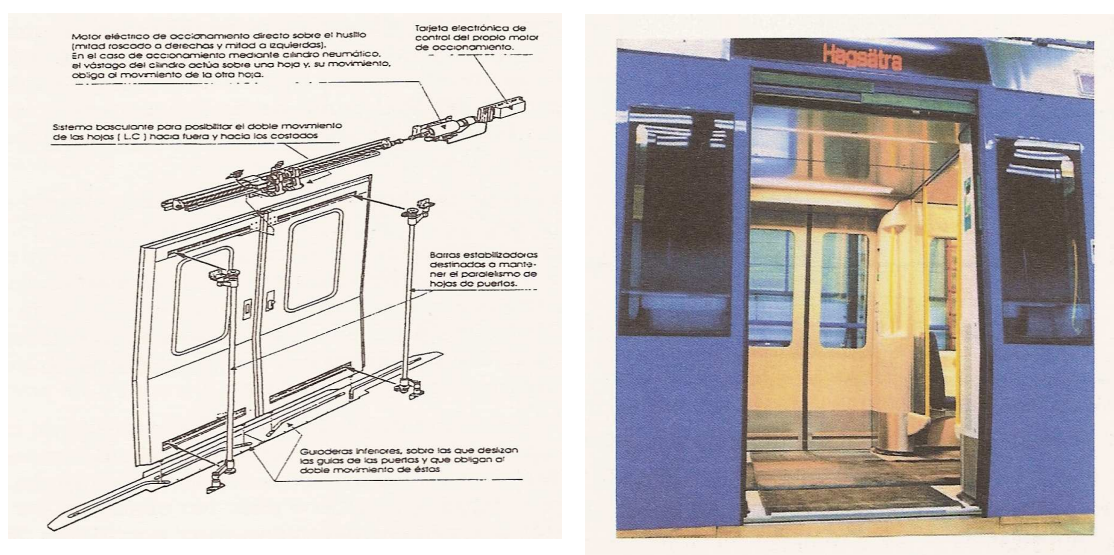
### -SISTEMA DE PUERTAS E INTERIORISMO:

Desde un punto de vista profano y exterior puede parecer que el sistema de puertas es un sistema simple y de fácil mantenimiento, pero nada más lejos de la realidad. Se trata de un sistema complejo y problemático que se puede achacar a la importante 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 en la velocidad comercial.

El número de puertas dependerá del tipo de explotación aunque una medida correcta sería cada 4m una puerta de 1.5-2m de apertura libre en caso de tráfico denso de viajeros.

Las puertas suelen diseñarse atendiendo a tres criterios básicos en cuanto a su cinemática: mediante corredera (que se abren sobre el paramento exterior de la caja), 'de petaca' (que se escamotean al abrirse entre el decorado interior y el costado exterior) y las de doble movimiento (que se desplazan como las anteriores. Es el funcionamiento más complejo cinemáticamente pero da un buen aprovechamiento interior y exterior).

En las siguientes figuras se incluyen un conjunto de puerta del sistema más complejo, el 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.



**FIGURA I.XI Sistema puertas de doble movimiento.**



En el caso del interiorismo es muy difícil explicar unos sistemas generales ya que deberá intervenir el interiorismo propio 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 acústico como además de protección ante el fuego.

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

#### -SISTEMA DE ESTRUCTURA:

En este bloque de sistema de estructura trataremos todo lo referido a la construcción de los coches utilizados en el sistema ferroviario dejando más de lado los vagones que simplemente transportan carga, y que son particulares de cada mercancía.

Al principio el transporte se realizaba mediante berlinas y diligencias que se situaban sobre plataformas con ruedas. Pero más tarde comenzaron a construirse los coches propiamente dichos, formados por una carrocería y un chasis, con muelles de ballesta y provistos de parachoques y enganches. La carrocería y el chasis solía ser de madera. En 1865 se comenzaron a construir chasis de hierro y al mismo tiempo se instalaron asientos mullidos y un pasillo a lo largo de todo el coche, servicios higiénicos, etc. Y a partir de 1920 se afirmó la construcción de carrocerías totalmente metálicas.

La iluminación de los coches, obtenida al principio con velas y más tarde con lámparas de aceite, hasta terminar con lámparas eléctricas y el sistema de calefacción que comenzó con una circulación de vapor de la locomotora por los coches hasta que en nuestros días se utilizan calefacciones eléctricas a baja tensión, han sido los cambios más significativos que se han producido en la vida de los transportes ferroviarios.

A continuación se muestra una imagen de la estructura de un coche en el momento de su construcción, en la que se pueden observar los elementos ventanas y la placa inferior de recubrimiento.



**FIGURA I.XII Estructura de un coche en construcción.**

Tras ésta breve introducción se va a enumerar las diferentes partes dentro del sistema de estructura de los coches que sus susceptibles de ser mantenidas.

#### **-Placa más baja de recubrimiento:**

Es muy importante inspeccionar la placa más baja del recubrimiento ya que es la base sobre la que básicamente está todo construido y por tanto una rotura de esta podría ser fatal para el coche.

#### **-Ventanas:**

Las ventanas son un elemento importante en el aspecto físico de los vehículos de tren y se deben mantener en el sentido de limpieza de forma más frecuente aunque se habrá de llevar también un mantenimiento correctivo en el momento de rotura de la misma. Existen unos tipos de ventanas, como son las ventanas de emergencia que requieren un mayor control ya que en el momento de emergencia son las principales zonas de salida de las personas.

### **-Agujeros de drenaje:**

Los agujeros de drenaje, como su propio nombre indica son unos agujeros que se sitúan cerca de las puertas y que son muy importantes de cara a la evacuación del agua sobrante en el interior del tren. El mantenimiento de estos agujeros estará enfocado a mantenerlos operativos eliminando posibles partículas de su interior que impidan la actuación correcta de estos.

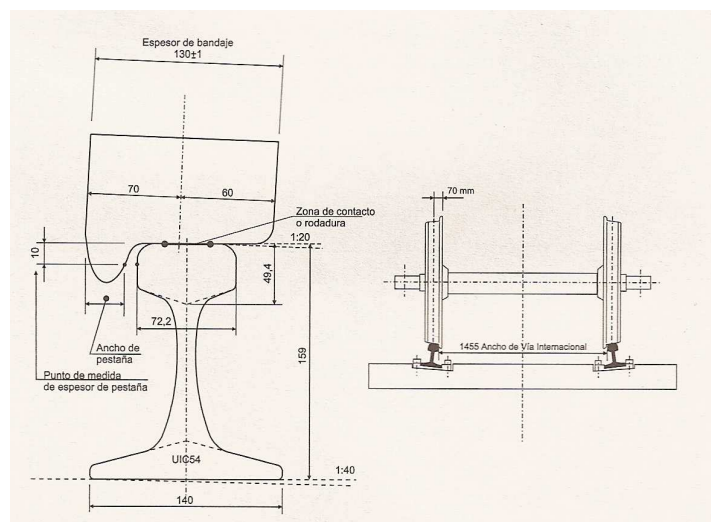
### **-SISTEMA DE RODADURA:**

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 y de mayor importancia llevará consigo.

La idea y concepción del eje del ferrocarril con dos ruedas cónicas unidas por un eje, tiene como finalidad la de compensar de forma natural la diferencia de camino recorrido entre carril interior y exterior en una curva sin deslizamiento. Asimismo favorece el autocentrado del eje sobre la vía.

Las ruedas ferroviarias suelen tener diámetros comprendidos entre los 600mm y los 900mm según el servicio que vayan a prestar; con diámetros menores para el caso de servicios tranviarios y mayores para transportes de trenes puros. Las ruedas caladas a alta presión (del orden de 40Tn de presión de calado) están a su vez sometidas a importantes esfuerzos por el continuo ataque rueda-carril y el efecto de guiado. Los perfiles de las llantas de estas ruedas normalizados según UIC, utilizándose en estos casos perfiles UIC 45 y UIC 54, correspondientes a carriles de 45 Kg por metro y 54 Kg por metro respectivamente.



**FIGURA I.XIII Sistema de rodadura.**

En los servicios ferroviarios metropolitanos en los que, normalmente, los radios de curvatura de sus trazados son mucho más reducidos que en los ferrocarriles deservicios 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 ser basado en equipos fijos instalados en la vía y que proyectan pequeñas cantidades de grasa al paso del tren mediante sensores de proximidad ó de vibración.

El ataque rueda-carril, además del lógico desgaste, implica problemas de ruido generado, ruido muy difícil de minimizar, y que sitúa en frecuencias de 400 a 4000Hz.

En el mercado hay diversas soluciones para reducir éste efecto, mediante la incorporación de absorbedores atornillados ó soluciones basadas en vulcanizar un polímero viscoelástico en la propia rueda.

Dada la agresiva situación a que se someten las ruedas de los metros, tranvías y trenes, se hacen precisas operaciones de reperfilado de dichas ruedas, con el objetivo de mantener la altura mínima aceptada para la pestaña, ya que dicha pestaña es un elemento de mucha importancia para la seguridad contra el descarrilamiento. Esta operación se realiza mediante tornos, que pueden ser de tipo convencional o los llamados "de foso" que evitan desmontajes innecesarios.

Como es lógico, la fabricación de ruedas ferroviarias debe estar sujeta a exigentes requisitos. Y a continuación se presentan los principales requerimientos de las mismas.

**a.- DIMENSIONES DE LAS RUEDAS.** 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 ó fabricante el que especifica estos aspectos.

**b.- 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.

**c.- CARACTERÍSTICAS DE ACERO.** Si bien no vamos a abordar el desarrollo detallado de los tipos de acero utilizados en la fabricación de ruedas, sí conviene indicar que se catalogan en los tipos R1, R2, R3, R6, R7, R8, R9. Distinguiéndose entre ellos por sus características metalúrgicas: No tratadas y normalizadas. Símbolo (N) para R1, R2, R3 y tratadas superficialmente, Símbolo (T) para templadas por inmersión y revenidas, Símbolo (E) para las categorías, Símbolo (N) para R6, R7, R8, R9. La normalización (N) se entiende por el proceso del calentamiento de las ruedas a alrededor de 540°C y dejar enfriar al aire calmado hasta 25°C, dejándolas así un cierto tiempo.

**D.- PRESCRIPCIONES DE EXAMEN Y ENSAYOS.** La gran parte de las características dimensionales y metalográficas de ruedas son verificables mediante las siguientes pruebas.

1.-Exámenes micrográficos de la estructura, así como macroscópicos y micrográficos mediante ataque (método Baumann).

2.-Exámenes por ultrasonidos tanto mediante sondaje como axial como radial.

## **I.II: Elementos eléctricos.**

Dentro de los sistemas embarcados en un vehículo ferroviario, uno de los más importantes es el sistema eléctrico que en muchas ocasiones no se le da la importancia que tiene.

A continuación se muestran diferentes elementos del sistema eléctrico que son susceptibles de ser mantenidos. A diferencia del sistema mecánico estos elementos son de difícil clasificación en sistemas más generales. Así que es necesario crear grupos más amplios.

### **-SISTEMAS ELÉCTRICOS PARA CONFORT:**

Dentro de este grupo podemos introducir elementos para el confort de los pasajeros que tienen un mantenimiento que se puede considerar eléctrico.

#### **-Cafetera:**

La cafetera es un elemento de sobrada importancia en el servicio de los viajeros y por lo tanto es necesario mantenerla adecuadamente para evitar incomodidades de viajeros y penalizaciones establecidas por contrato.

#### **-Video y audio:**

Otro elemento muy importante tanto para el confort como para el servicio de los viajeros serán los sistemas de audio y video que serán indispensables en desplazamiento sobre todo de larga distancia.

#### **-Refrigerador:**

Otro elemento importante es el refrigerador. Que no puede faltar en el sistema de servicios de trenes de larga distancia.

### **-Creador de vacío en el retrete.**

Es un sistema muy importante para el confort de los viajeros que utilicen éste servicio. Normalmente éste servicio sólo se encontrará en vehículos ferroviarios de media y larga distancia.

### **-SISTEMAS ELÉCTRICOS COMPLEMENTARIOS:**

#### **-Circuito del compresor:**

El compresor es uno de los aparatos de primordial importancia dentro de un vehículo ferroviario y por tanto es de vital importancia el mantenimiento tanto mecánico como el mantenimiento del sistema eléctrico (circuito).

#### **-Circuito del sistema de paneles de información:**

Para asegurarse del funcionamiento de los paneles de información es necesario hacer inspecciones periódicas que eviten el desconocimiento de errores o situaciones en el vehículo.

### **-CONTROL ELECTRÓNICO:**

El control electrónico es un sistema muy importante dentro del vehículo ferroviario y por lo tanto es muy importante su mantenimiento. Se encarga de controlar electrónicamente las actuaciones que sobre el tren se presentan. Realiza este control desde el punto de vista de la seguridad. Así pues es capaz de limitar las posibilidades del vehículo ferroviario con el objetivo de proporcionar mayor seguridad al desplazamiento del mismo.

#### -INTERRUPTOR DE VOLTAJE:

Es el sistema capaz de aislar al vehículo de la corriente eléctrica que normalmente circula entre pantógrafos y ruedas. Es un elemento de crucial importancia ya que un error en el momento de la desconexión o conexión supone mucho peligro debido a la enorme cantidad de corriente que circula por el mismo.

#### -BATERIAS:

Las baterías tienen el cometido de proporcionar energía a elementos de bajo voltaje. Tienen una gran importancia y por lo tanto deberemos prestarles atención e inspeccionarlas sistemáticamente.

### **I.III: Elementos limpieza.**

Los elementos susceptibles de limpieza son evidentes en un vehículo ferroviario pero no debemos descuidarlos por ello. A continuación se muestran los sistemas más importantes que necesitan 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.



**FIGURA I.XIV Asientos vehículo ferroviario.**

### -MOQUETA:

En el caso de la moqueta tenemos el mismo problema de limpieza que en los asientos pero agravado por la situación de la misma. El método de limpieza será el mismo que los asientos, mediante un aspirador, pero deberá ser más frecuente.

### -MALETEROS:

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

## **II: La flota de instalaciones para el mantenimiento ferroviario.**

Las instalaciones para el mantenimiento ferroviario son muy importantes para el buen desarrollo del mismo y como consecuencia de los diferentes problemas que se pueden dar en el ámbito ferroviario se han llevado a fin diferentes tipos de talleres ferroviarios en los cuales se procederán a reparar problemas de diferente importancia, siendo lógico que los talleres centrales se encontraran en los finales de línea y serán los lugares en los que se realizarán las reparaciones más importantes y los desmontajes completos para las revisiones periódicas.

Desde la creación en 1941, RENFE contaba con unas infraestructuras de talleres sobre la cual se ha apoyado para el desarrollo del sector ferroviario en nuestro país. Los talleres ferroviarios vieron su época de esplendor durante las décadas de los setenta y ochenta, con innumerables instalaciones repartidas por la geografía española, en las que vagones, coches y locomotoras eran reparados, revisados y en muchas ocasiones custodiados.

A principios de los noventa, y con la necesidad de crear un ferrocarril de calidad con el objetivo de rentabilizar los recursos de los que disponían las resentidas administraciones ferroviarias europeas. Una década más tarde un consejo de ministros en Marzo de 2003 se dictaminó la privatización de RENFE en un periodo de tres años, que supuso el acceso a la red nacional a cualquier institución privada que se dedicara al transporte internacional de mercancías.

El conjunto de los talleres se vio también involucrado en éste cambio y supuso la nueva orientación hacia la calidad como objetivo primordial. Y así nació MIT (mantenimiento integral de trenes), que en 2006 con la creación de RENFE operadora pasó a llamarse 'integria'.

Bajo el nombre de taller ferroviario se engloban las instalaciones normalmente cerradas, en donde de repara, se mantiene y se revisa el material móvil.

Podemos clasificar los talleres ferroviarios en cuatro categorías diferentes, atendiendo a diversos aspectos; función gestora, capacidad de intervención, material intervenido y movilidad. La forma de clasificación principal es en base al material con el que se trabaja, mientras que la función gestora es un concepto nuevo y de momento poco utilizado.

No existe en España ningún criterio de diferenciación entre talleres por categoría o rango.

Vamos a establecer una diferenciación que puede resultar interesante, en primer caso los talleres centrales de reparación son los encargados de grandes levantes en los que se revisa y repara si son necesarios los elementos dañados. También se dedican a modificaciones en series concretas de vehículos. En segundo lugar se encuentran los talleres de pequeña o mediana intervención, que se dedican a la mayoría de las intervenciones que se efectúan en cualquier elemento ferroviario, ya sean de intervenciones correctivas, preventivas ó predictivas. En tercer y último caso los puestos fijos son dependencias de taller de escasa capacidad de actuación que habitualmente se encuentran circunscritos en dependencias de mayor envergadura como un taller de mediana intervención.

En la figura siguiente se muestran la distribución de talleres en el territorio español a fecha de Enero de 2006. Como puede observarse los puestos fijos no aparecen porque son elementos adscritos a un taller de mayor envergadura. Cabe destacar que el taller de Zaragoza y en definitiva todos los talleres ferroviarios importantes de RENFE están bajo la certificación de la norma ISO-9001 ó ISO-9002.



**FIGURA II.I Reparto de talleres en la geografía Española.**

Tras esta introducción a los talleres ferroviarios vamos a estudiar más a fondo los elementos que son necesarios en ellos para el desarrollo del trabajo, dividiendo éste en tres grandes grupos; flota mecánica, flota eléctrica y flota de limpieza (tanto interior como exterior).

### **II.I: Flota de instalaciones para mantenimiento mecánico.**

La flota de instalaciones para mantenimiento mecánico es la más compleja de las tres ya que lógicamente es éste sistema el que más desgaste sufre con el desplazamiento del material móvil.

El mantenimiento de una gran parte de instalaciones mecánicas ferroviarias, así como el caso de las escaleras mecánicas y ascensores, se encuentra tipificado en la normativa y reglamentos de cada administración local o autónoma que, a su vez han extrapolado directivas de la Comunidad Europea o normativas especiales.

Para comenzar con los elementos necesarios para el dicho mantenimiento, debemos fijarnos en la máquina que probablemente sea la más importante dentro de un taller de mantenimiento ferroviario, el torno de foso. Se trata como su propio nombre indica de un torno que se encuentra en un foso y que se utiliza para reperfilear las ruedas del vehículo ferroviario sin necesidad de desmontar ejes, y que permite tornear simultáneamente las dos ruedas de un eje. Ésta es sin duda una de las operaciones más importantes dentro del mantenimiento mecánico, ya que como se indicó anteriormente el perfil de la rueda debe tener una altura mínima para la seguridad de los ocupantes, y con el desgaste esa altura queda insuficiente.



**FIGURA II.II Fotografía torno de foso.**

A partir de esta máquina tan importante y especial para el mantenimiento ferroviario mecánico los demás elementos necesarios serán los normalmente utilizados en cualquier taller de reparación mecánica. Haciendo especial hincapié en elementos de sobrada importancia como por ejemplo, un puente grúa, que debido al elevado peso de los elementos a elevar en el ámbito ferroviario será imprescindible.

## **II.II: Flota de instalaciones para mantenimiento eléctrico.**

El mantenimiento eléctrico es mucho más simple que el mecánico por lo tanto los elementos que utilizaremos será de menor importancia, y por tanto no específicos del ámbito ferroviario.

Los problemas eléctricos se podrán identificar mediante simples medidores de intensidades, tensiones y resistencias. Y para la consiguiente reparación bastará con las herramientas típicas de un taller normal además de repuestos de los que hablaremos más adelante.

Cabe destacar que en el tema de iluminación, que sin duda se encuentra dentro del mantenimiento eléctrico, se deberá contar con un medidor de intensidad luminaria, sobre todo para la iluminación exterior.

### **II.III: Flota de instalaciones para mantenimiento de limpieza.**

La limpieza del material móvil es de evidente importancia tanto interior (confort de los viajeros), como exterior (aspecto general exterior). Los elementos utilizados para la limpieza de vehículo se diferencian entre limpieza exterior e interior.

#### **-ELEMENTOS PARA MANTENIMIENTO DE LIMPIEZA INTERIOR:**

Para la limpieza interior se suele utilizar productos de limpieza habituales en cualquier zona de trasiego de personas, como podrían ser productos de limpieza tales como limpia cristales ó productos para el suelo. Éste tipo de limpieza se viene realizando con mano de obra y sin ayuda de máquinas.

En los últimos tiempos y como consecuencia de la creciente importancia de economizar tiempos se han ideado sistemas de limpieza que permiten la limpieza del suelo interior sin necesidad de tanta mano de obra y mediante una máquina. Éste sistema tiene su comienzo en la construcción de los coches ya que se construyen de forma que los asientos se aseguran a las paredes de los coches en lugar de hacerlo al suelo como se hacía habitualmente. De esta forma es posible hacer pasar una máquina a lo largo de todo el coche sin necesidad de tener que ir esquivando las patas de los asientos.

A continuación se muestran unas máquinas de limpieza de suelos comunes que sin duda servirían para éste cometido.



**FIGURA II.III Máquinas de limpieza de suelos.**

A parte de éstas limpiezas que podrían parecer lógicas, existen normativas nacionales en al menos todos los países desarrollados que exigen la pulverización interior de productos desinfectantes como ya se comentó anteriormente.

#### -ELEMENTOS PARA MANTENIMIENTO DE LIMPIEZA EXTERIOR:

Para la limpieza exterior se utilizará un sistema mucho más automatizado. Un túnel de lavado para trenes. Que similarmente al que se utiliza para los coches funciona automáticamente.

A continuación se muestra una imagen de un túnel de lavado para trenes en la que se puede observar la similitud con los de coches que tan acostumbrados estamos a ver.



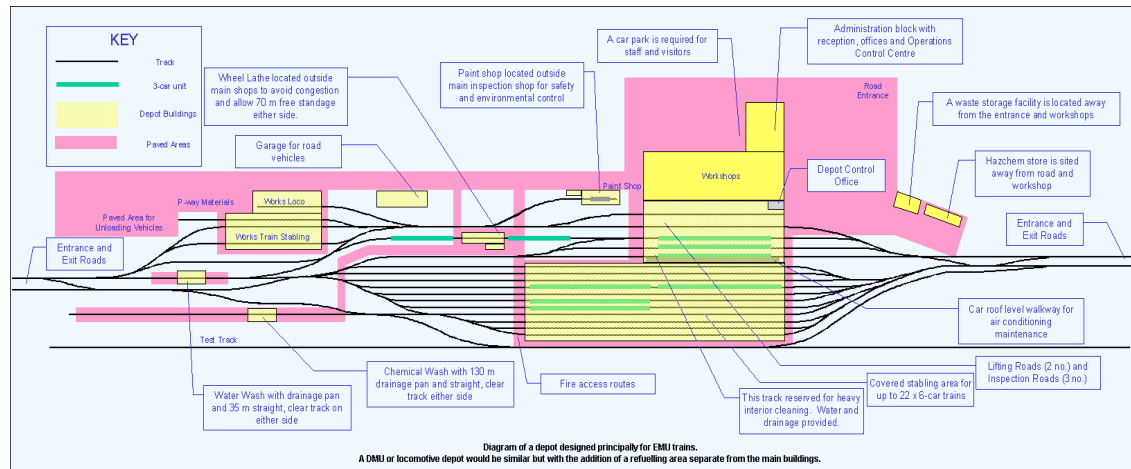
**FIGURA II.IV Túnel de lavado.**

Como es lógico este sistema de limpieza deberá encontrarse en un lugar aislado del resto del taller para evitar posibles problemas relacionados con la humedad que sin duda producirá ésta máquina.

Es importante también destacar que los talleres ferroviarios estarán compuestos de muchos y diferentes apartados y que para mover los trenes de unos a otros serán necesarias playas de vías para realizar las maniobras oportunas para la colocación de los trenes.

A continuación se muestra una división de un taller ferroviario general con los diferentes apartados.





**FIGURA II.V División de una taller ferroviario.**

Cabe también destacar que dentro de un taller ferroviario debe encontrarse también un almacén de repuestos del que todavía no hemos hablado. La gestión de este apartado estará a cargo de la dirección del taller que a su vez tendrá un presupuesto al que ajustarse.

### **III: La gestión del mantenimiento aplicada al material rodante.**

A lo largo de la historia la experiencia nos indica que las máquinas disminuyen su rendimiento con el paso del tiempo, afectando esto a su vida útil. Pero por otra parte sabemos también que eliminando las degradaciones que producen esas ineficiencias, podemos lograr que los equipos de producción alcancen unos niveles de calidad aceptables.

Así pues aparece el mantenimiento como un conjunto de acciones con el fin de alargar la vida útil de cualquier equipo e instalación reduciendo costes, evitando paradas innecesarias, contribuyendo en la calidad de la producción. Sirviendo de apoyo al proceso productivo y a la empresa.

Con el paso del tiempo los equipos se vuelven más sofisticados por lo que el mantenimiento crece en importancia debido al interés de las empresas en mantener eficacia de aquellos.

#### **Definición de mantenimiento:**

-Normas AFNOR (NF X 60-010): 'Conjunto de acciones que permiten mantener o restablecer un bien en un estado específico o en la medida de asegurar un servicio determinado'.

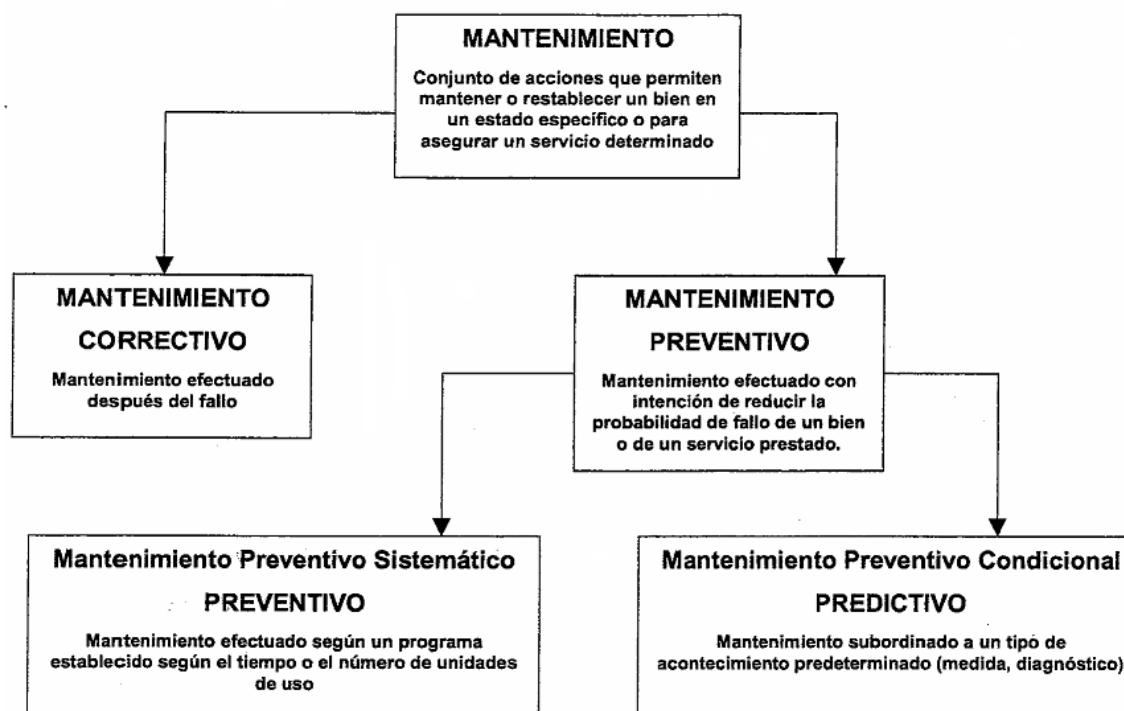
OBJETIVOS DE MANTENIMIENTO				
		Costes ↓	Tiempo de Servicio ↑	Calidad y prontitud de servicio ↑
		Costes bajos	Horas de funcionamiento elevado	Seguridad de funcionamiento elevada
Mano de obra (Fabricación + Mantenimiento)	↓	↓	↓	↓
Repuestos	↓	↓	↓	↓
Disfuncionamientos y averías	↓	↓	↑	↑

Ideal →

**FIGURA III.I Objetivos del mantenimiento.**

### **III.I: Tipos de mantenimiento: preventivo, predictivo y correctivo.**

La evolución del concepto de mantenimiento ha llevado a éste a alcanzar diferentes ámbitos y formas de aplicación diferenciándose en función del momento de aplicación del arreglo o reparación; (ARREGLO: Acción sobre un bien para devolverlo a funcionamiento antes de ser totalmente reparado. REPARACIÓN: Intervención definitiva sobre un elemento fallo).



**FIGURA III.II Tipos de mantenimiento según AFNOR.**

#### **-Correctivo:**

El mantenimiento correctivo consiste en ir reparando las averías a medida que se van produciendo. El personal encargado de avisar de las averías es el propio usuario de los equipos y el encargado de las reparaciones el personal de mantenimiento. Se define como la operación efectuada después de fallo.

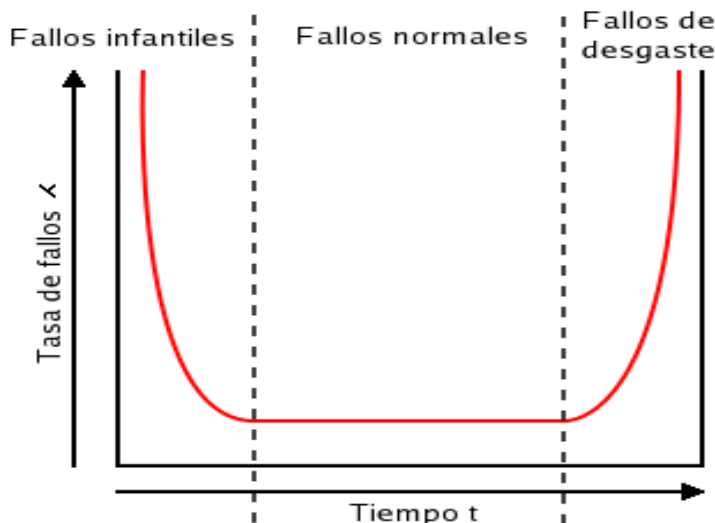
Ésta definición incluye también las acciones de todos los mantenimientos como es la de apuntar los materiales, tiempo y herramientas empleados para obtener costes del mismo.

Cuando aparece el fallo de manera imprevista y no afecta a la capacidad productiva de forma instantánea, las reparaciones se pueden realizar sin perjudicar a esa capacidad y los costes son inferiores a la inversión necesaria para aplicar un mantenimiento más complejo. Éste sería el caso donde mayores ventajas se pueden conseguir, a partir de aquí es mucho más fácil encontrar inconvenientes.

El principal inconveniente que presenta este tipo de mantenimiento, es que el usuario detecta la avería cuando es necesario utilizar el equipo, es decir, se encuentra con el problema bien al poner en marcha el sistema o en el desarrollo de la tarea durante la utilización de la máquina.

Aunque éste mantenimiento presente más inconvenientes nos será imprescindible ya que siempre habrá algún elemento que escape a nuestras expectativas de durabilidad.

A continuación se muestra una gráfica que representa los fallos de máquinas en función del tiempo de trabajo de la máquina.



**FIGURA III.III Curva de bañera.**

#### -Preventivo:

Como ya se ha indicado el mantenimiento debe asegurar la disponibilidad de los equipos e instalaciones industriales, para obtener un rendimiento óptimo de los sistemas de producción.

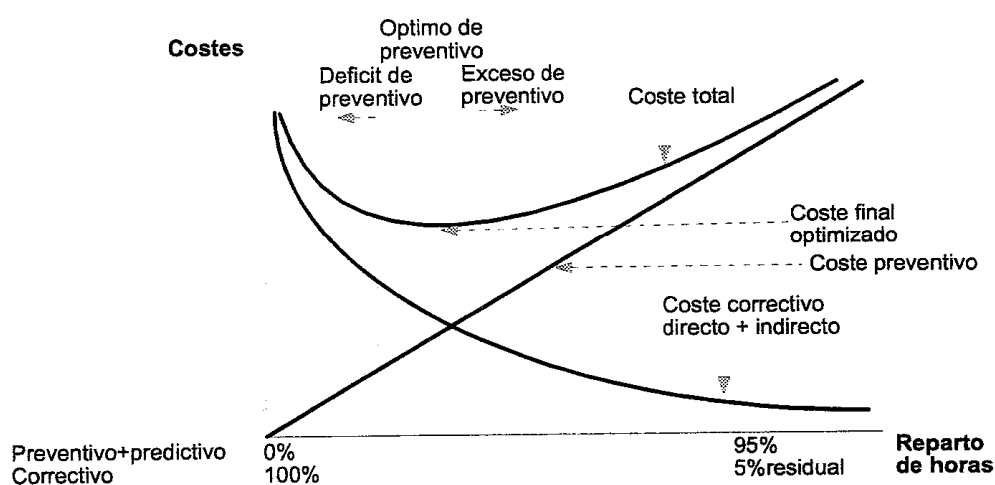
El mantenimiento preventivo pretende disminuir, evitando en cierta manera, las reparaciones mediante revisiones periódicas y renovación de elementos deteriorados.

En las inspecciones se procede al desmontaje total o parcial de la máquina con el fin de revisar el estado de sus componentes, siendo reemplazados aquellos que se estimen oportunos. El prolongado tiempo que lleva hacer estas revisiones obliga a elegir cuidadosamente el momento a realizarlas. Habrá algunos elementos que se deberán sustituir por nuevos sistemáticamente cada periodo de tiempo. Esto es lo que conocemos como mantenimiento sistemático.

Parece sencillo pensar que no será posible realizar todo el mantenimiento del tipo preventivo y además no debemos intentarlo ya que los costes se dispararían y no es lo que pretendemos. Debemos estudiar la distribución de tiempos de mantenimiento en función de los costes.

En la siguiente gráfica observamos la distribución de los tiempos en porcentaje frente a los costes de la misma. Es lógico pensar que estas gráficas dependerán totalmente de la empresa o sistema que estudiemos, aunque una buena aproximación total será: (80% preventivo/predictivo - 20% correctivo).

Se establecen juntos los mantenimientos de predictivo y preventivo porque los dos se basan en la anticipación del fallo.



#### **FIGURA III.IV Costes en función de tipos de mantenimiento.**

##### -Predictivo:

Este mantenimiento está dirigido al estudio de las técnicas y metodología del mantenimiento predictivo usadas en inspecciones sobre la maquinaria para evitar posibles roturas por desgaste.

Alguna de las técnicas más utilizadas son las medidas de presión y temperatura, detección de grietas y fugas, el análisis termográfico, análisis de aceites, análisis de vibraciones, ultrasonidos, partículas magnéticas y el análisis radiográfico entre otras.

Se ha demostrado que las continuas inspecciones preventivas de ciertos equipos como por ejemplo los relativos al transporte aéreo aumentan el riesgo de averías 'no es bueno montar y desmontar piezas repetidamente'. Se hace necesario desarrollar un tipo de mantenimiento que permita prever cuando es necesaria la programación de una intervención de forma que reduzca los costes de correctivo y prevenido.

La norma AFNOR X 60-010 define mantenimiento predictivo como 'mantenimiento condicional: mantenimiento subordinado a la superación de un umbral predeterminado y significativo del estado de deterioro de un bien'.

#### **III.II: La gestión económica del mantenimiento y LCC (Life Cycle Cost).**

Aunque por lo general basta con una observación general para poder enjuiciar la situación de una empresa, es necesario tener un control más metódico y gráfico. Debemos obtener datos de costes, unidades producidas, tiempo, etc. Para poder analizar profundamente la misma.

Una vez obtenidos estos datos referidos al mantenimiento se deberán tener en cuenta a la hora de toma de decisiones con el principal objetivo de mejorar el funcionamiento de la

empresa. Estos análisis de datos y tomas de decisiones corresponderán al jefe de mantenimiento.

Es trivial señalar que los datos deberán ser actualizados periódicamente y cuanto más se actualicen, más fiables serán los resultados obtenidos.

Hay modelos de gestión basados en índices técnicos, de tiempo, de calidad... pero el más importante y más utilizado es el basado en los índices económicos que a nivel empresarial son los más valorados.

#### -GESTIÓN ECONÓMICA:

Ésta gestión está basada como ya hemos dicho en indicadores económicos y es la más utilizada. Los indicadores más utilizados son:

-Influencia del coste de mantenimiento en el coste final de producto.

$\frac{\text{Costes totales de mantenimiento}}{\text{Costes de producción}} \cdot 100$
--

Suele representar entre un 5 % y un 6 % del coste total.

-Indicador de dependencia con otras empresas para afrontar el mantenimiento.

$\frac{\text{Costes totales de subcontratación}}{\text{Costes totales de mantenimiento}} \cdot 100$
---

Su valor medio se encuentra entre el 20 % y 40 %.

-Indicador de grado de utilización de técnicas preventivas frente a las correctivas.

$$\frac{\text{Costes de preventivo+predictivo}}{\text{Costes totales de mantenimiento}} \cdot 100$$

Es importante señalar que éstos indicadores son los más básicos pero que con ayuda de muchos más (aunque el exceso de indicadores puede llegar a confundirnos) y de técnicas de optimización podemos realizar planes de mantenimiento adaptados a fechas y a costes más reducidos posibles.

Éstos costes mínimos se encuentran mediante la modificación de tiempos destinados a cada tipo de mantenimiento (como ya se ha dicho anteriormente), preventivo+predictivo y correctivo, además de la importancia que también tiene la diferencia entre gestión propia del mantenimiento o la gestión subcontratada. El punto de equilibrio se debe encontrar mediante los indicadores de costes anteriormente mencionados y como conclusión final se suele obtener que para pequeñas fallas la empresa debe ser capaz de superarlas mientras que para trabajos que necesiten una especialización elevada de los operarios será mejor la subcontratación ya que normalmente éstas averías son puntuales y no merece la pena mantener un grupo de trabajadores especializados además de repuestos y herramientas demasiado caras y específicas.

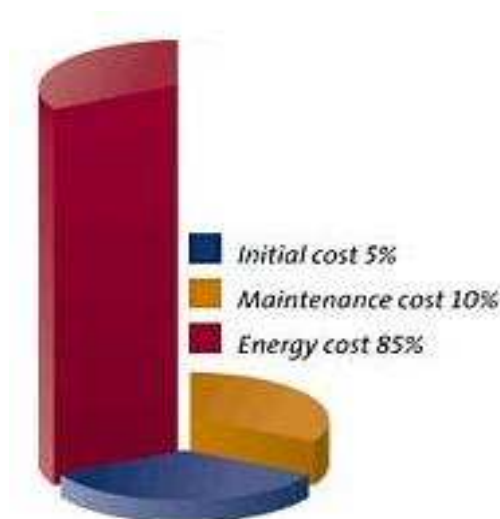
### **-LCC (life cycle cost).**

Hay que señalar que el ciclo de vida de un activo es el coste de todo lo que ocurre desde la idea de crearlo hasta su descarte final, venta o reciclaje del mismo.

Definiremos costo de ciclo de vida como la sumatoria de todos los gastos asignables al activo (directos e indirectos, variables y fijos) desde los costos iniciales del proyecto y adquisición hasta los costos de operación, mantenimiento, y disposición final.



A continuación se ofrece una gráfica que representa los porcentajes de costes en el LCC general de un sistema de bombeo, en la que se puede observar la poca importancia del coste inicial en relación al coste de mantenimiento y al coste energético

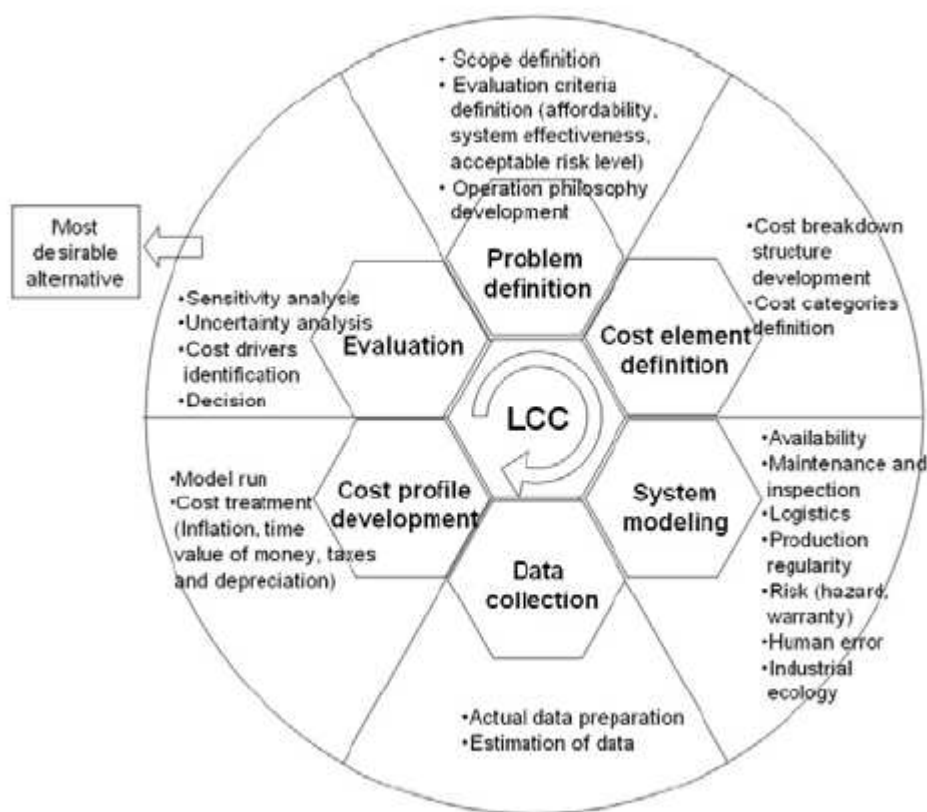


**FIGURA III.V Gráfica de reparto LCC (Particular para sistema de bombeo).**

Para dar cuenta de la necesidad de realizar un life cycle cost podemos decir que como consecuencia de las limitaciones que se pueden poner a las averías de una máquina por motivos de necesidad de funcionamiento, fiabilidad, es necesario prever los posibles gastos.

Para obtener los datos de tiempos mínimos de funcionamiento general de la máquina deberemos hacer un árbol de la máquina con sus correspondientes elementos, cada uno de los cuales tendrán un tiempo estimado de funcionamiento. A través de este tiempo de funcionamiento de cada elemento deberemos prever el tiempo general de funcionamiento de la máquina para satisfacer las necesidades previamente establecidas.

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.



**FIGURA III.VI Gráfica intuitiva del proceso de modela LCC.**

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 ayuden a 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.
- Nn, 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 llamarte 'TIR' (tasa interna de retorno), rentabilidad que nos está proporcionando el proyecto.

### **III.III: Fiabilidad. Mantenibilidad. Disponibilidad de sistemas. Calidad del mantenimiento.**

Como primeras definiciones de éstos términos podemos establecer:

#### **-Disponibilidad:**

Norma AFNOR; *'Adecuación de un bien para estar a disposición de cumplir una función exigida en las condiciones dadas, en un instante dada o durante un intervalo de tiempo dado, suponiendo que el abastecimiento de los medios externos necesarios quede asegurado'.*

#### **-Fiabilidad:**

Norma AFNOR; *'Fiabilidad es la característica de un dispositivo expresada por la probabilidad de que este dispositivo cumpla una función requerida en las condiciones de utilización y para un periodo de tiempo determinado'.*

#### -Mantenibilidad:

Norma AFNOR; *'La aptitud de un dispositivo para ser mantenido o restablecido al estado en que pueda cumplir su función requerida, cuando el mantenimiento se cumple en las condiciones dadas, con los procedimientos y medios prescritos'.*

Todas estas definiciones se pueden transformar en indicadores numéricos mediante formulas estadísticas.

Una vez claras las definiciones es interesante mostrar las relaciones que existen entre ellas ya que son términos de difícil ensamblaje.

-La relación entre **fiabilidad y disponibilidad** es que dentro del mantenimiento uno de los objetivos es aumentar la disponibilidad, que se traduce en un incremento de la fiabilidad de los equipos.

-La relación entre **mantenibilidad y disponibilidad** está viene relacionada por los tiempos técnicos de reparación, que con una buena planificación del mantenimiento es posible reducirlos dando lugar a un aumento de la disponibilidad.

### **III.IV: Gestión de los repuestos.**

La gestión de los repuestos es un ámbito que ha ido creciendo en importancia a lo largo del tiempo y como consecuencia de un aumento de la complejidad de los sistemas a mantener que conlleva un incremento del número de repuestos a almacenar.

Hay dos tendencias en la gestión de los repuestos referidos al mantenimiento. Por un lado la que establece, que los pedidos de repuestos son responsabilidad del departamento administrativo general de la empresa que también se ocupa de pedidos generales para la empresa. Mientras que por otro lado hay otra tendencia cada vez más en auge que piensa que por la complejidad y la variedad de los repuestos de mantenimiento es éste mismo

departamento el que se debe ocupar tanto de los pedidos como del almacenaje en almacenes propios, llevando su propio control de existencias.

Como ya hemos dicho antes cuando se realiza un trabajo se debe establecer el tiempo y materiales utilizados para calcular costes del mismo pero de esta forma también podemos llevar un inventario definido del almacén de materias primas del departamento de mantenimiento. Éste control se lleva a cabo mediante lo que se conoce como orden de trabajo (OT) que es una tabla en la cual se establece la operación que hay que realizar. Una vez realizada el operario deberá completar esa tabla con datos sobre materiales utilizados y tiempos empleados.

Orden de Trabajo		Nº		
Descripción del trabajo				
Reparación de baches en calle Alsina al 900				
Concepto		Estimado	Real	Desvíos
Costos variables	Materiales (1)	2.000,00	2.300,00	300,00
	Otros (2)	500,00	540,00	40,00
Total de costos variables		2.500,00	2.840,00	340,00
Mano de obra (3)		4.200,00	3.950,00	250,00
Total de costos directos		6.700,00	6.790,00	90,00

Orden de los datos:

(1) De los vales de salida de almacenes.

(2) De los registros de compras.

(3) Del cuadro de distribución de mano de obra.

**FIGURA III.VII Ejemplo orden de trabajo.**

### III.V: Historicos. Mejoras sistemáticas.

Principalmente debido al control que se a efectuado sobre el mantenimiento mediante ordenes de trabajo, inventarios de equipos...y demás métodos de control hemos llegado a tener unos historiales de averías muy amplios mediante los cuales podemos ser capaces de tener mucha información sobre las averías que se suceden una vez tras otra en las máquina o sistemas estudiados.

Se ha procurado utilizar estos datos en la mejora del proceso de mantenimiento de máquinas y sistemas. Un ejemplo sería que si un elemento se rompe cada cierto tiempo por el mismo lugar una vez tras otra deberemos procurar reforzar esa zona para evitar reparar más veces esa zona. Éste modo de utilizar los historiales de averías es la más primitiva pero poniéndonos en sobre el punto de vista de la ingeniería de tiempos podemos avanzar mucho ya que tenemos sobrada información para saber que acciones hay que llevar a cabo en el elemento a reparar. Con esto podemos crear instrucciones claras para el desarrollo del trabajo y con ello economizar en gran medida la reparación. Éstas instrucciones reciben el nombre de check-list.

Safety Overhead Crane Safety Safety		Daily/Shift Check List		OK N/A	
N/A= Needs Attention					
<b>Hoist</b>					
#1-Check hoisting speeds and brakes for proper operation.					
#2-Without load, run hoist to upper limit to insure that limit shuts down hoisting operation.					
Check lower limit if equipped.					
#3-Check load cable/chain for damage or wear.					
#4-Check safety latch for proper operation.					
#5-Check load hook for proper rotation and deformation.					
#6-Check load block sheave/pocket wheel for easy rotation.					
#7-Check lifting attachments for damage or wear.					
<b>Trolley</b>					
#8-Check trolley speeds and travel for proper operation.					
#9-If equipped, check travel limits for proper operation.					
#10-If equipped, check brakes for proper operation.					
<b>Bridge</b>					
#11-Check bridge speeds and travel for proper operation.					
#12-Check bridge brakes for proper operation.					
#13-If equipped, check travel limits for proper operation.					
<b>Misc.</b>					
#14-Check warning bells, horns, lights for proper operation.					
#15-Pendant station sealed from dirt and moisture.					
#16-Directional labels on pendant station/radio legible.					
#17-Operator warning label legible.					
#18-Strain relief cable or chain supporting pendant.					
<b>Information</b>					
Crane Capacity	Crane Description				
Crane ID	Department Location				
<b>List problems:</b>					

**New Equipment**

Ferris

Service

Slings

Signatures

**A&C**

**Don't Take a Chance Call Advanced**

Advanced Overhead Crane

22531 FM 2100 Crosby, TX 77532

1-800-413-2103 Fax 281-324-3185

ac@acac.com

**Shackles**

**Runners/Control**

**Brake Bar**

**Used Equipment**

**Magnets**

FIGURA III.VIII Ejemplo hoja check-list.

### **III.VI: Mantenimiento total productivo (TPM).**

El TPM, (Total Productive Maintenance) es el objetivo final del mantenimiento industrial, integra recursos y actuaciones que garantizan que la organización, máquinas e instalaciones que intervienen en un proceso industrial desarrollen las tareas previstas en el marco de mejora continua.

#### **-OBJETIVOS DE TPM:**

El TPM pretende alcanzar la meta de cero fallos, cero defectos para mejorar la eficacia de un proceso reduciendo costes y stocks. Para ello debe:

- Mejorar fiabilidad.
- Mejorar disponibilidad.

#### **-CONTEXTO PARA PUESTA EN MARCHA TPM:**

La intención de hacer un todo del TPM nos lleva a tener una organización importante en la empresa para poder hacer frente a todas las situaciones que conlleva el TPM.

La estructura puede definirse:

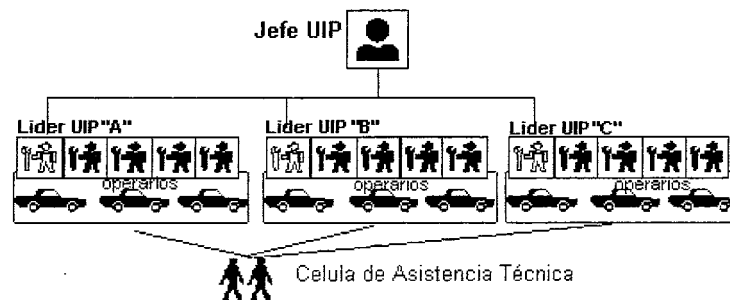
**-Línea jerárquica corta;** La reducción de la cadena de mando dará más libertad a los talleres.

**-Unidades integradas de producción (UIP);** Son las unidades básicas en la organización del trabajo. Estos equipos realizan tanto tareas de producción como de mantenimiento del equipamiento.

**-Célula de asistencia técnica (CAT);** Ha de ser una pequeña pero especializada que preste ayuda a las UIP.

**-La filosofía;** Deben plantearse las averías como fracasos y las metas deben estar siempre presentes.

En la siguiente imagen podemos ver la distribución gráfica de la estructura industrial.



**FIGURA III.IX Estructura TPM.**

#### -ETAPAS DEL TPM:

En el momento que se decide implantar un proyecto TPM debe tenerse en cuenta que la planificación debe ser apropiada para afrontar los problemas que pueden surgir.

Hay que saber que la calve del éxito será sin duda el rigor de actuación y tanto más fácil será cuanto mejor hayamos preparado los pasos intermedios.

Podemos dividir la implantación en 3 fases muy importantes y diferenciadas, que a su vez se dividen en etapas.

#### **-FASE 1; Etapas preparativas.**

- .Toma de decisión por parte de la empresa.
- .Campaña de información sobre la implantación TPM.



- .Creación de la estructura de monitores y pilotaje.
- .Diagnóstico de la situación de partida (indicadores técnicos y organizativos).
- .Proyecto de actuación, líneas de acción y objetivos.

#### **-FASE 2; Etapas desarrollo.**

- .Lanzamiento del TPM.
- .Implantación de la mejora continua en sistemas y procesos.
- .Mantenimiento de la calidad, desarrollo del mantenimiento.
- .Mantenimiento de la calidad, desarrollo del mantenimiento programado.

#### **-FASE 3; Etapas de optimización.**

- .Formación del personal en los métodos experiencias del mantenimiento.
- .Integración del TPM en los sistemas de gestión, diseño y construcción de los equipos.
- .Certificar la aplicación del TPM.

### **III.VII: Mantenimiento basado en la fiabilidad (RCM).**

#### **-INTRODUCCIÓN:**

El mantenimiento centrado en la fiabilidad es un tipo de mantenimiento aplicable a cualquier tipo de instalación industrial y resulta de gran ayuda para la optimización de un plan de mantenimiento preventivo.

#### **-MÉTODO:**

Cuando comienza la vida de un sistema operativo el punto de partida para el mantenimiento será las recomendaciones del fabricante así como las experiencias propias de los operarios, Esto puede llevar a un sobremantenimiento que el RCM pretende subsanar. Éste pretende aligerar las horas-hombre iniciales ya que el fabricante tendrá un punto de vista conservador.

El objetivo del RCM es renovar el concepto de mantenimiento modificando la concepción actual de pequeñas partes del sistema y llevándolo a significar un todo en conjunto. En resumen el RCM orienta el mantenimiento a mejorar la disponibilidad y menor modo la seguridad.

Normalmente deberíamos pensar que el mantenimiento preventivo sólo se debería aplicar a elementos que tuvieran un factor crítico de fallos mientras que el resto se debería dejar funcionar hasta su fallo aplicando entonces el mantenimiento correctivo. Pero debido a la concepción global del mantenimiento basado en la fiabilidad deberemos contemplar todas las actuaciones por igual para evitar posibles actividades duplicadas que empeorarían nuestro objetivo final, bajar costes.

Un proceso general de análisis RCM requiere la realización de las siguientes tareas:

### **-Planteamiento del análisis:**

Se seleccionarán los sistemas objeto de evaluación y se establecerá el significado del proyecto identificando recursos necesarios.

### **-Análisis de criticidad:**

Consiste en un análisis de fiabilidad del sistema considerado y suele consumir un importante nivel de recursos. El resultado del análisis es una lista de componentes críticos y no críticos.

### **-Selección de tareas de mantenimiento:**

Para los componentes considerados críticos se identificarán sus causas de fallo dominantes, la mecánica más habitual para realizar la selección es el árbol lógico de decisión (ALO) que consiste en un esquema de decisión para la selección del tipo de actividad genérica que debe llevarse a cabo para atajar el problema. Para ello será necesario investigar los indicadores de mantenimiento y crear un cuadro de mando.

### **-Implantación de recomendaciones:**

Aprobadas por la dirección las recomendaciones que se crean oportunas se pondrán en el programa de mantenimiento, aunque siempre prevalecerán las tareas propuestas por el RCM.

### **-Seguimiento de resultados:**

La aparición de nuevas técnicas de mantenimiento aconseja la actualización del análisis RCM cada cierto tiempo con el fin de minimizar la pérdida de eficiencia que pueden sufrir las acciones con el paso del tiempo.

Como conclusión se obtiene que la implantación del RCM en una instalación industrial trae consigo un ahorro económico y una mayor disponibilidad de equipos.

### **III.VIII: Mantenimiento contratado y legal-reglamentario.**

#### **-Mantenimiento contratado:**

En el mundo de los ferrocarriles habitualmente el mantenimiento es responsabilidad de la empresa fabricante del vehículo. Y esto significa que en el momento de compra del vehículo también es necesaria la negociación del mismo. Siendo una parte muy importante del coste final del producto.

Estos mantenimientos contratados cada vez son más exigentes con lo que aumenta el coste de los mismos para de esta forma ampliar también la fiabilidad que pueden prestar los sistemas. También es importante señalar que la corporación (normalmente nacional) que compra el vehículo y contrata el mantenimiento establece un contrato en el que se estipulan penalizaciones para la empresa que presta el servicio con el efecto de exigir una fiabilidad importante. Es sin duda esta exigencia de incremento de la fiabilidad lo que produce un mayor y en ocasiones desmesurado crecimiento del coste del mantenimiento contratado.

La tendencia existente en las empresas a reducir personal de la plantillas influye también en el departamento de mantenimiento. Muchos operarios prefieren contratar trabajadores temporales ó echar mano de mantenimiento contratado antes de incrementar al plantilla con trabajadores fijos.

En el caso del mundo de los ferrocarriles el mantenimiento contratado se basa en la fiabilidad que se requiere por entidad compradora del aparato, y como anteriormente se ha mencionado consta de cláusulas de penalización necesarias en caso del no cumplimiento de esa fiabilidad exigida. A continuación se muestran tipologías de fallos con sus correspondientes costes de penalización y los diferentes ratios de gestión de mantenimiento que suelen utilizar las empresas que se dedican al mantenimiento ferroviario.

#### **-TIPOLOGÍAS DE FALLO:**

Los tipos de fallos se suelen clasificar en varios tipos dependiendo de su gravedad. En este caso se exponen los tipos de fallos con los que normalmente las empresas de construcción y mantenimiento ferroviario trabajan, y que lógicamente son aceptados por la corporación gubernamental.

Se exponen diferentes tipos de fallos, de menor a mayor gravedad, con sus correspondientes penalizaciones de la administración en el supuesto de que ocurra alguno de ellos.

1.- Fallo de confort; Fallo relacionado con el confort de los pasajeros (Aire- acondicionado, Iluminación interior, Audio...). La penalización por el suceso del mismo es de 200\$.

2.- Fallo de servicio; Fallo relacionado con los servicios prestados a bordo del tren a los viajeros (Cafetería, Microondas, Puertas interiores...). La penalización es también de 200\$.

3.- Fallo por retraso >15min; Fallo relacionado con un retraso de más de 15 minutos. Por el motivo que sea. La penalización en este caso es de 1000\$.

4.- Fallo por retraso >2h ó cancelación; Fallo relacionado con un retraso de más de 2 horas ó por la cancelación del tren. La penalización estipulada en este caso es de 2900\$.

\*Debemos señalar que los costes que se han expuesto son por fallo y ruta. Es decir, se acumulan fallos por cada ruta que haga el tren sin que sea reparado.

#### -RATIOS DE GESTIÓN:

A continuación se van a tratar diferentes datos de los que se echa mano a la hora de valorar un plan de mantenimiento. En este caso también tomaremos los datos con los que habitualmente trabajan las empresas de este sector.

-Fiabilidad.- La fiabilidad es el indicador más importante en la valoración de un plan de mantenimiento. Es sin duda el indicador que más importa para la corporación contratadora del

mantenimiento. Podríamos definir este indicador con la siguiente formula, en la que se observa que se le da mayor valor a los fallos más graves.

$$\text{Fiabilidad} = \frac{\text{Nº Km}}{\text{Nº fallos nivel 3} + \text{Nº fallos nivel 4} * 2}$$

Es importante destacar que no se tienen en cuenta los tipos de fallo más leves, ya que no implica paro ó retraso del tren.

-Disponibilidad.- Este indicador se refiere al número de fallos relacionados con la disponibilidad del tren. Se considera un fallo de disponibilidad si el vehiculo a estado sin servicio más de 10 min.

-Seguridad.- Este indicador suele ser común a todas las empresas aunque no sean específicas de mantenimiento. Consta de dos indicadores; número de accidentes al año y número de horas sin accidentes.

-Desgaste de ruedas.- Es un muy buen indicador ya que mide el desgaste que hemos hecho en las ruedas por el torneado anteriormente explicado. Es un muy buen indicador para comparar entre planes distintos de mantenimiento.

-Nº horas de preventivo.- Es un indicador típico de mantenimiento. Puede verse tanto en porcentaje sobre las horas totales de mantenimiento como en número absoluto.

-Nº horas correctivo.- Es un indicador típico de mantenimiento. Puede verse tanto en porcentaje sobre las horas totales de mantenimiento como en número absoluto.

## **-Mantenimiento legal-reglamentario.**

Existe una normativa legal vigente que afecta al mantenimiento de instalaciones y equipos industriales.

A continuación se enumeran diferentes manuales sobre normas de mantenimiento vigentes que es necesario que los responsables de mantenimiento conozcan.

- I.- Instalaciones de calefacción, climatización y agua caliente sanitaria.
- II.- Aparatos a presión.
- III.- Instalaciones nucleares y radiactivas.
- IV.- Plantas frigoríficas.
- V.- Almacenamiento de productos químicos.
- VI.- Instalaciones eléctricas.
- VII.- Instalaciones de almacenamiento de G.L.P. para su consumo.
- VIII.- Protección contra incendios.
- IX.- Ascensores y montacargas.
- X.- Homologación de diversos aparatos y elementos.
- XI.- Seguridad en el trabajo.
- XII.- Medio ambiente (Desarrollado en el módulo XVI).

Se pueden señalar unas pinceladas sobre el contenido de la documentación legal vigente sobre el mantenimiento.

-El jefe de mantenimiento es responsable de este tipo de instalaciones mientras no demuestre lo contrario.

-Este mantenimiento lo puede hacer la propia empresa, siempre que demuestre capacidad ante el ministerio de Industria como mantenedor-reparador.

-En cuanto a las instalaciones de tipo, I, II, IV y IX es obligatorio llevar al día el libro de mantenimiento, en instalaciones de potencia superiores a 100 kw.

- La persona que firma el libro es la responsable legal, y puede ser:
  - .La propia empresa.

- .Una entidad colaboradora del ministerio de industria.
- .Una persona con carnet de mantenedor-reparador.

### ENUMERACIÓN DELA NORMATIVA.

En este capítulo, se realiza un estudio de las normativas aplicables para la realización del proyecto de mantenimiento. Primeramente se realiza una enumeración de las normas a las que esta sujeto el proyecto.

#### Enumeración normativa:

- **LEY 39/2003**, de 17 de noviembre del Sector Ferroviario.
- **REAL DECRETO 2387/2004**, de 30 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento del Sector Ferroviario.
- **ORDEN FOM/233/2006**, 31 de enero, por la que se regulan las condiciones para la homologación del material rodante ferroviario y de los centros de mantenimiento y se fijan las cuantías de la tasa por certificación de dicho material.



## **IV: Revisión de software de gestión de mantenimiento.**

En la actualidad el desarrollo informático nos permite simular casos hipotéticos y organizar ágilmente nuestra información. Es decir, podemos gestionar nuestras bases de datos para mejorar la producción que sin duda es el objetivo principal.

En esta parte se explicarán las herramientas de software empleadas en la actualidad para comprender las ventajas que se obtienen con ellas.

### **IV.I: Objetivos del GMAO (Gestión de Mantenimiento Asistido por Ordenador).**

El GMAO tiene como principal objetivo la gestión y organización industrial, para conseguir un modo de trabajo mucho más eficaz y económico sobre unas unidades de fabricación. Los impedimentos que surgen en una empresa son enemigos de la producción y de ofrecer al cliente un trabajo con la máxima calidad posible. Mediante una persona que sea conocedora del mundo del mantenimiento y ayudándose de un software puede llegar a controlar y resolver los problemas ó impedimentos de forma económica y eficaz.

Hoy en día los problemas relacionados con mantenimiento son muy cuantiosos y costosos, lo que se traduce en un incremento del interés en el mismo, con el objetivo de no desajustar en exceso los presupuestos.

Es importante señalar que el mantenimiento comienza en el momento en el que una máquina se pone en marcha, pero esto no significa que cualquier problema que pueda ocurrir en una unidad de fabricación sea responsabilidad absoluta del mantenimiento. Es necesario dotar al departamento de mantenimiento de un buen GMAO que va a ayudar en la resolución de los problemas y que también debe resultar de fácil manejo de cara al personal no informático.

A la hora de elegir un GMAO habrá dos grandes posibilidades:

- Elegir un programa standard del mercado y adaptarlo a nuestra empresa.
- Definir y crear nuestro propio software de gestión de mantenimiento.

Cabe destacar que la creación de nuestro propio software es una tarea ardua y que requiere tiempo y dedicación.

#### **IV.II: Gestión de mantenimiento en función del tipo de empresa.**

Para poder tener una referencia de las exigencias en cuanto a gestión de mantenimiento de cada uno de los sectores más importantes, vamos a observar la siguiente figura en la que quedan meridianamente claras las orquillas de porcentajes en las que se mueven en cada sector.

	CORRECTIVO	PREVENTIVO	PREDICTIVO
FABRICACIÓN	60-70%	20-40%	0-5%
OBRAS PÚBLICAS	20-30%	70-80%	0%
TRANSFORMACIÓN	25-40%	40-60%	0-20%
ALIMENTICIA	10-20%	40-50%	0-40%
PEQUEÑA EMPRESA	90-95%	0-10%	0%

**FIGURA IV.I Los sectores y su mantenimiento.**

Las empresas de fabricación necesitan un software de control del mantenimiento correctivo muy exigente para poder controlar los costes, evaluar la fiabilidad y tomar decisiones importantes para el futuro. Mientras que se conforman con un módulo sencillo de gestión del preventivo. Suelen querer un software de gestión de almacenes y pedidos.

Las empresas de obras públicas, sin embargo, quieren un módulo mucho más potente en cuanto a preventivo. Puede ser necesario incluir un módulo de mantenimiento predictivo.

La pequeña empresa busca lo mínimo posible para poder gestionar el mantenimiento, obtener costes y disponibilidad globales. Junto con una simplicidad máxima en el manejo y rapidez en la introducción de datos.

En el caso de las empresas de transformación necesitan módulos tanto de predictivo como de preventivo, y el tratamiento de estos datos permitirá establecer informes y avisos precisos y su tratamiento posterior.

Mientras, las empresas del sector de la alimentación se precisa un control semejante al de las empresas de transformación, aunque sus necesidades suelen ser menores. Conviene que tenga en cuenta aspectos como seguridad e higiene.

#### **IV.III: Comparación de softwares de gestión de mantenimiento.**

Dentro del mundo de los softwares de mantenimiento existe un gran número de programas que desarrollan tareas para diferentes presupuestos y tamaños de empresas.

A continuación, se muestra una tabla detallada de las diferentes herramientas de las que consta un cada programa. Lógicamente los programas que más puntos tienen son los más completos y por tanto los más caros.

	D-MANT	GIM	MAXIMO	Max & Maint	micro-MANT	MP2 para Windows	P-MANT	PRIMA II	ROSMIMAN	WinMaint
Aplicación del TMP		*	*	*				*	*	*
Gestión gráfica y documental		*	*	*		*	*	*	*	*
Códigos de barras			*	*		*		*	*	*
Correo electrónico		*	*	*		*		*	*	*
Terminales móviles			*	*		*		*	*	*
Escáner		*	*	*		*		*	*	*
FUNCIONES DE LA ADMINISTRACIÓN DEL SISTEMA										
Seguridad respecto a la acceso al sistema	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Seguridad respecto a la utilización del sistema	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Borrado de información del disco duro	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Copias de seguridad	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

		D-MANT	GIM	MAXIMO	Max & Maint	micro-MANT	MP2 para Windows	P-MANT	PRIMA II	ROSMIMAN	WinMaint
EMPRESA		DISC Informática	TCMAN	PSDI	SIM	NORMATEC	Ghesa	PRAUTINSA	SISTEPLANT	Ingeniería de Aplicaciones	EUSTEN
C P U	Servidor	PC 486 a 66 MHz, 8 MB de RAM	PC 486 a 66 MHz, 8 MB de RAM	Pentium a 300 MHz, 128 MB RAM	Pentium II a 200 MHz, 64 MB de RAM	Pentium a 133 MHz, 16 MB de RAM	Pentium a 200 MHz, 64 MB de RAM	PC 486 a 40 MHz, 8 MB de RAM	Pentium II a 233 MHz, 64 MB de RAM	Pentium a 166 MHz, 64 MB de RAM	Pentium a 133 MHz, 16 MB de RAM
	Puesto	PC 486 a 66 MHz, 8 MB de RAM	PC 486 a 66 MHz, 8 MB de RAM	Pentium a 200 MHz, 64 MB de RAM	Pentium a 166 MHz, 32 MB de RAM	Pentium a 133 MHz, 16 MB de RAM	Pentium a 133 MHz, 32 MB de RAM	PC 486 a 40 MHz, 8 MB de RAM	Pentium a 166 MHz, 32 MB de RAM	PC 486 a 66 MHz, 16 MB de RAM	Pentium a 133 MHz, 16 MB de RAM
SISTEMA OPERATIVO		Windows 95 / 98 / NT	Windows 3.xx / 95 / 98 / NT Novell, LAN Manager, LANtastic, WFW 3.11	Windows 95 / 98 / NT, Novell, UNIX	Windows 95 / 98 / NT	Windows 3.11 / 95 / 98	Windows 3.11 / 95 / 98 / NT	Windows 3.11 / 95 / 98 / NT	Windows 95 / 98 / NT, Novell, UNIX	Windows 3.11 / 95 / 98 / NT Novell, UNIX, OS/2, Windows Trabajo en grupo	Windows 95 / 98 / NT, Novell LAN Manager, LAN Server, Banyan Vines, LANtastic, UNIX, Windows Trabajo en grupo
BASE DATOS		dBASE	dBASE, MDB, ORACLE, Informix, SyBase, SQL Server	ORACLE, SQL Base, SyBase, SQL Server	ORACLE, Informix, SyBase, SQL Base, SQL Server	Paradox	ORACLE, Access, SQL Server	Access	ORACLE, SQL Base, SQL Server	ORACLE, SQL Base, SQL Server	FoxPro
EQUIPOS E INSTALACIONES											
Estructura Jerarquizada		.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Información de carácter económico		.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Control de garantías		.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Control de útiles para el mantenimiento		.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Control de repuestos		.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
ÓRDENES DE TRABAJO											
Planificación		.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Presupuestos		.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Medidas de seguridad		.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
MANTENIMIENTO PREVENTIVO											
Programación de tareas		.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Gamas de preventivo asociadas a una principal		.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Estudio de la rentabilidad de la acción preventiva		.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Tratamiento de riesgos de fallo		.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Lanzamiento de OT's en función del porcentaje de MTBF transcurrido		.	.	.	.	.	.	.	.	.	.



	D-MANT	GIM	MAXIMO	Max & Maint	micro-MANT	MP2 para Windows	P-MANT	PRIMA II	ROSMIMAN	WinMaint
<b>MANTENIMIENTO CORRECTIVO</b>										
Generación de OT's correctivas	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Diagnóstico de averías		*	*	*		*	*	*	*	*
Codificación de sintoma/causa/solución	*		*	*		*		*	*	*
<b>MANTENIMIENTO PREDICTIVO</b>										
Introducción manual de valores de variables			*	*		*		*	*	*
Monitorización			*	*		*		*	*	
Análisis de las lecturas			*	*		*		*	*	*
<b>INVENTARIO</b>										
Información sobre cada artículo	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Funciones de control de inventario especializadas	*		*	*		*		*	*	*
Asistencia en el ajuste del inventario	*	*	*	*	*	*		*	*	*
Impresión de etiquetas para cada artículo			*	*		*		*	*	*
Reserva de existencias para OT's		*	*	*		*		*	*	*
<b>COMPRAS</b>										
Información sobre proveedores	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Control de artículos con stock por debajo del requerido	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Gestión del albaranes	*	*	*	*		*		*	*	*
Peticiones de precios a los proveedores			*	*		*		*	*	*
Envío de órdenes de compra por fax		*	*	*		*		*	*	*
Gestión a través de Internet		*	*	*		*		*	*	*
Tipos de cambio			*	*		*		*	*	*
<b>MANO DE OBRA</b>										
Control de personal	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Tratamiento de contratos		*	*	*		*		*	*	*
<b>ANÁLISIS</b>										
Informes	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Gráficos		*	*	*	*	*		*	*	*
Indicadores		*	*	*	*	*		*	*	*
Funciones de auditoría			*	*		*		*	*	*
<b>OTRAS FUNCIONES</b>										

**FIGURA IV.II Comparativa de softwares de gestión de mantenimiento.**

#### **IV.IV: Conclusiones GMAO.**

En el apartado anterior se ha presentado el estudio de comparación de todos los softwares de mantenimiento y en este apartado se va a deducir y analizar las siguientes frases:

-El 70% de los paquetes contienen una información completa de los equipos e instalaciones.

-La generación de órdenes de trabajo, planificación y medida de costes, es completa en un 95% de los casos.

-El mantenimiento preventivo se gestiona en un 60% de los paquetes.

-El mantenimiento correctivo se gestiona en un 90% de los paquetes.

-Solo se tiene en cuenta en un 50% de los paquetes el mantenimiento predictivo.

-El 80% de los paquetes tienen un control completo sobre el inventario y las compras.

-La gestión de la mano de obra es contemplada por un 85% de los paquetes.

-El análisis y control de las funciones realizadas para gestionar el mantenimiento se realizará en un 85% de los softwares.

La expansión de la información de la importancia del mantenimiento ha sido incrementada en gran importancia en los últimos tiempos, y se denota una considerable falta de orientación y preparación de los usuarios, previos a la implantación de los programas GMAO. Esto significa que desde el punto de vista de la organización y gestión es necesario optimizar el mantenimiento mediante programas GMAO, tanto de compra de programa standard como de creación propia.

Es importante señalar que será necesario un mayor desarrollo de informes de gestión, como consecuencia de las cada vez mayores exigencias de la dirección hacia el enfoque económico de la función de mantenimiento. Estos informes serán un elemento clave para viabilizar todo el círculo de gestión de activos y su integración.

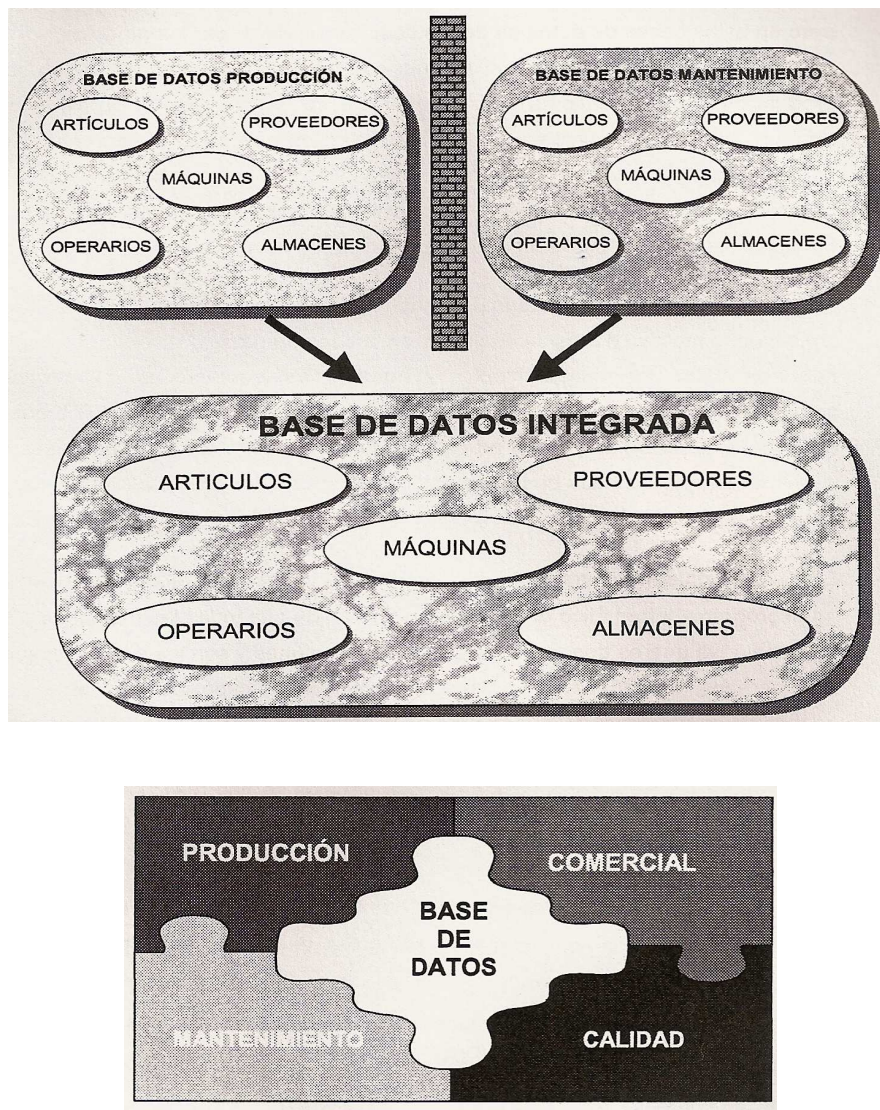
#### **IV.V: La integración de los softwares.**

Existen sistemas comerciales asistidos por ordenador, gestión de producción asistida por ordenador, gestión del mantenimiento asistido por ordenador, etc. Pero como ya se ha dicho anteriormente estos sistemas son normalmente complejos, incapaces de adaptarse a tamaños y tipos de empresas y lo más importante, inconexos entre sí, lo que viene a reforzar la idea de que la conexión interdepartamental en una empresa es una tarea aún por realizar.

En concreto la integración de los sistemas informáticos de gestión de producción y gestión de mantenimiento es completamente nula. Los softwares de gestión de producción existentes en el mercado, no tienen un módulo de gestión de mantenimiento. Y los softwares de gestión de mantenimiento tampoco se conectan a ningún sistema informático de gestión de producción, y mucho menos de gestión integral de la empresa.

Estas inconexiones implican una duplicidad de información, ya que existirá una base de datos para el sistema de producción y otra para el sistema de mantenimiento.

La solución trata de crear una base de datos integrada como se puede observar en la siguiente figura. Siendo ésta base de datos integrada el punto de conexión de todos los departamentos.



**FIGURA IV.III Base de datos integrada y conexión interdepartamental.**



#### **IV.VI: Comparación de software de cálculo de LCC en el mundo ferroviario.**

En el mercado existen varias herramientas comerciales de cálculo de LCC para vehículos ferroviarios pero en este apartado vamos a analizar cinco de ellos: RELEX lcc, LCCWare, D-LCC, CATLOC y UNIFE-UNILIFE.

Con el objetivo de facilitar el proceso de comparación entre ellos vamos a definir unos campos en los que dividir esta comparación. Por ejemplo:

- Características generales.
- Principales estructuras.
- Ínter cambiabilidad de datos y resultados con otros software.
- Exactitud de los datos obtenidos.
- Características de contabilidad.

##### **-Características generales.**

Como podemos observar en la figura inferior todos los software de LCC procuran tener un buen interfaces. Por ello todos ellos poseen acciones como copiar y pegar que sin duda son muy útiles para el intercambio rápido de datos.

General features	Relex LCC	LCCWare	D-LCC	CATLOC	UNIFE-UNILIFE
User friendly interface?	✓	✓	✓	✓	✓
Allows copy/paste functions?	✓	✓	✓	✓	✓
Allows undo/redo functions? Multiple undo?	✓	✓	✗	✓	✓
Can manage different projects at the same time?	✗	✗	✗	✓	✗
Can you compare different alternatives within one single project?	✓	✓	✓	✗	--

**FIGURA IV.IV Tabla de características generales.**

## -Principales estructuras.

En este apartado la rotura de la estructura del coste de ciclo de vida es analizado con el objetivo de adaptar de acuerdo a la necesidad de fabricación y a los datos disponibles.

La mayoría de los software estudian la flexibilidad y facilidad de adaptar cada necesidad de proyecto. Además la gran parte de estos software proporcionan representaciones gráficas del coste de los elementos con altos niveles de detalle.

Main structures (CBS/PBS)	Relex LCC	LCCWare	D-LCC	CATLOC	UNIFE-UNILIFE
Is your program spreadsheet-like, flexible and easy to modify cost models for each CBS element?	✓	✓	✓	✓	✗
Does it allow drag-and-drop and cut-paste for copying and editing of CBS/PBS elements?	✓	✓	✓	✓	✓
Does it allow graphical representation of CBS providing convenient and fast data input and search?	✓	✓	✓	✓	✗
Is able to perform comparisons with pre-existing LCC models to recognise the elementary cost elements?	✗	✗	✗	✗	✗
Is it possible to create user subroutines for specialised calculations?	✓	✓	✗	✓	✓
Can variables be stochastic?	✗	✗	✗	✗	✗
Is able to perform interactions between cost elements?	✗	✗	✗	✗	✓
Is it possible to define cost functions that change over time?	✗	✗	✗	✓	✗

Main structures (CBS/PBS)	Relex LCC	LCCWare	D-LCC	CATLOC	UNIFE-UNILIFE
Is it possible to trace the path of each parameter in the CBS?	✓	✗	✓	✓	✗
Is it possible to estimate a parameter's intervention degree in each CBS element?	✗	✗	✗	✓	✗
Is your software able to perform comparisons between its inputs/outputs and historical data or reference values?	✓	✗	✗	✓	✗
Is it possible to compute element's life cycle costs using different operators?	✗	✗	✓	✗	✓
Is your program able to compute life cycle using variables with different weights?	✗	✗	✓	✗	✗
Is your program able to limit the computation time?	✓	✓	✓	✓	✗

FIGURA IV.V Tabla de comparación estructuras.

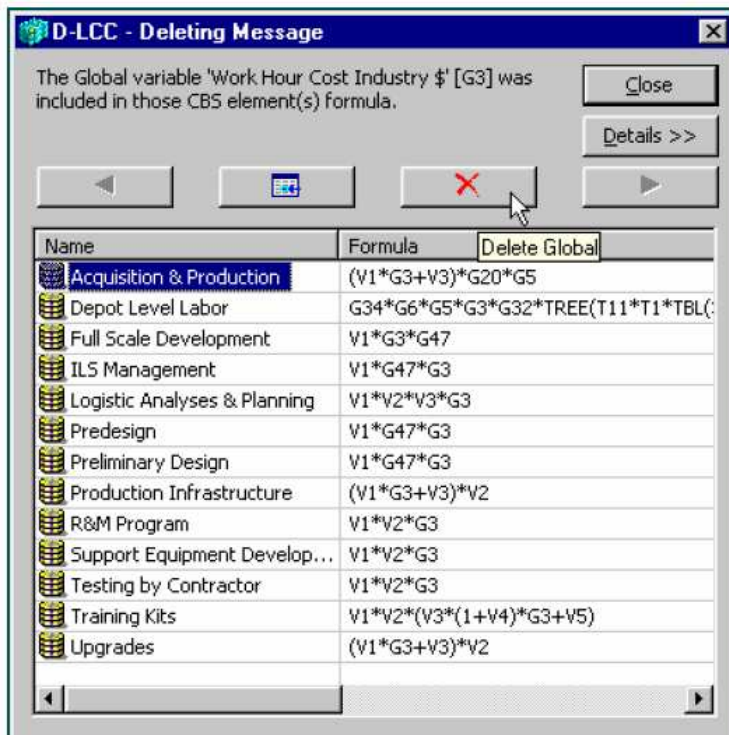
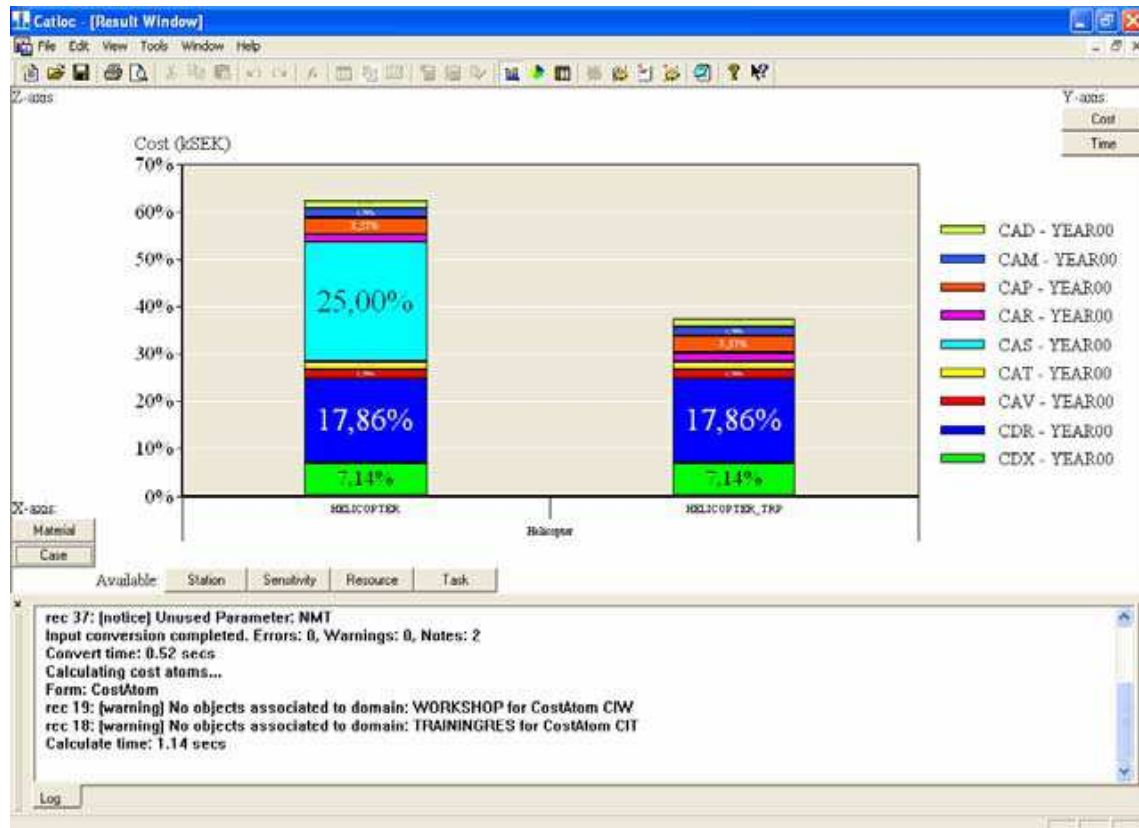


FIGURA IV.VI Apariencia de D-LCC (Cálculo de costes mediante variables).

A continuación se muestran unas cuantas capturas de pantallas que hemos obtenidos de los diferentes software que estamos estudiando.

Podemos observar en ésta imagen como están definidas las fórmulas para el cálculo de costes mediante variables dentro de la apariencia del software D-LCC.



**FIGURA IV.VII Ejemplo de visión gráficos en el entorno CATALOC.**

En la anterior imagen podemos observar, como antes se ha mencionado el gran detalle de los gráficos en los que se puede observar el porcentaje del costo de ciclo de vida destinado a cada gasto, como por ejemplo, mantenimiento, conste inicial...

### **-Ínter cambiabilidad de datos y resultados con otros software.**

La ínter cambiabilidad de datos con otro software, como hojas de cálculo es fundamental en cualquier tipo de software. Debido a este apartado y como se observa en la gráfica podemos concretar que no es una buena opción la adquisición de CATALOC ya que presenta altas dificultades tanto para exportar como para importar datos.

Data/Results interaction with other software	Relex LCC	LCCWare	D-LCC	CATLOC	UNIFE-UNILIFE
Import data from					
MS Excel	✓	✓	✓	✓	✓
MS Access	✓	✓	✓	✓	✓
Export data from					
MS Excel	✓	✓	✓	✗	✓
MS Access	✓	✓	✓	✗	✓
Can the imported data be up-dated automatically?	✓	✗	✗	✗	✗

**FIGURA IV.VIII Comparación de intercambiabilidad de datos.**

#### **-Precisión de resultados.**

La precisión en los resultados es lógicamente fundamental a la hora de decidirse por la adquisición de uno de estos programas. En este apartado la mayoría de los programas son capaces de realizar un análisis sensible para la obtención de parámetros fiables. Pero por otro lado existe la excepción, que en este caso es UNIFE-UNILIFE. Por lo tanto mediante la utilización del programa de UNIFE se corre un riesgo importante de hallar datos incorrectos o poco fiables para sucesivos cálculos.

A continuación se muestra la tabla comparativa.

Data/Results accuracy	Relex LCC	LCCWare	D-LCC	CATLOC	UNIFE-UNILIFE
Is your program able to track errors in input data?	✓	✗	✗	✓	✓
Is your program able to track errors in CBS equations?	✓	✓	✓	✓	✗

Data/Results accuracy	Relex LCC	LCCWare	D-LCC	CATLOC	UNIFE-UNILIFE
Is your program able to perform a standard sensitivity analysis?	✓	✓	✓	✓	✗
Is your program able to perform a risk analysis to LCC parameters?	✗	✗	✗	✗	✗
Is your program able to notify the user if the alternatives in study have or have not the same level of detail and boundary conditions?	✗	✗	✗	✗	✗
Is your program able to identify the cost drivers with conclusively reports with different modes of presentation?	✓	✓	✓	✓	✗
Does it provide reports for both total and detailed costs for any combination of Product Tree items and CBS elements?	✓	✓	✓	✓	✗

**FIGURA IV.IX Comparación de precisión de resultados.**

#### **-Características de contabilidad.**

Como se puede observar en la siguiente figura ningún software proporciona una herramienta para realizar un análisis del alcance del coste. No permite al usuario mejorar el proceso considerando alternativas de diseño.

Accounting features	Relex LCC	LCCWare	D-LCC	CATLOC	UNIFE-UNILIFE
Does the tool allow target costing?	✗	✗	✗	✗	✗

**FIGURA IV.X Tabla de características de contabilidad.**

## **V: Cálculo de coste de mantenimiento de una flota.**

### **V.I.-Revisión de metodologías de cálculo de costes y LLC (UNIFE).**

#### **-Metodologías de cálculo de costes de mantenimiento.**

El cálculo de los costes de mantenimiento es una tarea que debe ser realizada día a día para obtener unos resultados fiables sobre los que sustentar nuestros estudios de optimización, hacia la cuál todo el mundo empresarial se mueve.

Existen tantos métodos de cálculo como podamos pensar ya que a través de la suma de todos los costes lo obtendremos. Aunque es común la opinión de que se hace mucho más sencillo mediante la utilización de una hoja de cálculo en que anotar periódicamente los trabajos.

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. Y 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 para un año 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)'.

Como es lógico para el cálculo de los costes de mantenimiento debemos tener un plan de mantenimiento previsto ó un historial tanto preventivo como correctivo a través de los cuales obtener datos de tiempos de trabajo y número de elementos sustituidos. Este historial ó plan de mantenimiento se ha creado en una hoja de cálculo ya que el software universal de control de costes tiene limitaciones para adaptarlo a éste fin.

### **-Metodologías de cálculo de LCC.**

El LCC es uno de las mejores herramientas de comparación (benchmarking) entre diferentes máquinas a la hora de decidirse a la compra de una de ellas, en él podemos contemplar todos los gastos que necesitará la máquina para su vida como por ejemplo; coste inicial de la máquina, coste de consumo de energía..., pero lo que verdaderamente nos ocupa a nosotros es el coste en mantenimiento que en la mayoría de las ocasiones es el más elevado de todos, y en el mundo ferroviario sin duda. Tras todo esto, el LCC puede definirse como el coste global de una instalación durante su ciclo de vida, que se divide en coste de adquisición y coste de explotación.

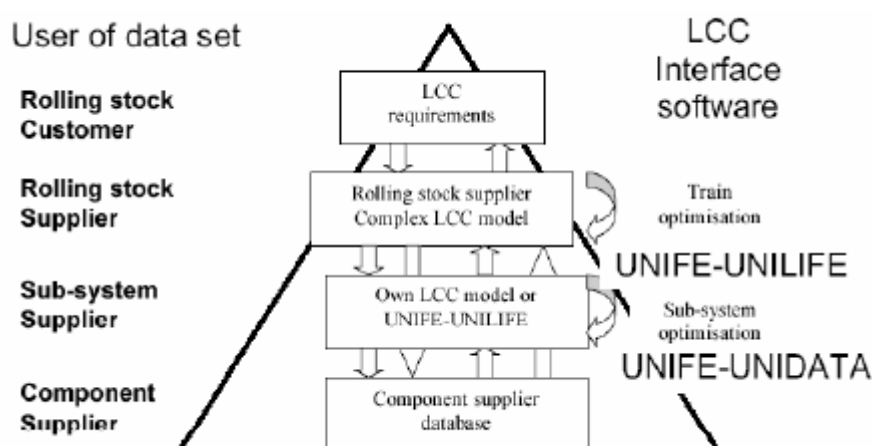
Dentro del LCC el punto que nos ocupa es el coste del mantenimiento en el ciclo de vida de conjunto de vehículo ferroviario, y para ello podemos basarnos en un método general para el cálculo de costes de mantenimiento en vehículos ferroviarios proporcionado por UNIFE, la unión de fabricantes de vehículos 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.

Pero en el caso de 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 éstos costes como costes de adquisición del vehículo.

Una vez presentado todo esto se debe centrar el estudio en el software UNILIFE creado por UNIFE, una de las uniones más importantes, si no la más, en el ámbito ferroviario mundial. Éste software consiste en dos libros de trabajo 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 podemos observar la siguiente figura en la que observaremos un buen esquema de lo que debe ser UNILIFE.





**FIGURA V.I Tabla Esquema de funcionamiento 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 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 cálculos de fiabilidad.

Hay que mencionar que UNILIFE es un software diseñado para la comunicación de información de LCC. Pero en la que 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 ó cálculos de tiempos entre fallos más que como un software de cálculo de LCC.

En caso de que un elemento falle es necesario decidir si este fallo es reparable o no, y a continuación se muestra una figura en la que podemos observar las posibles combinaciones de cambios ó reparaciones.

Revision 0		CORRECTIVE MAINTENANCE			
Project:	UNIFE test proj	Errorcheck			
Sub-syst. Supplier:	Example: Electric	Errorlist			
Equipment:	UNIFE test syste				
Identify	Name	Spare Part Price DEM	Exch-able Y/N	Fraction by exchange	Repar-able Y/N
IDBT	NAME	PRICE	LINE DEM	EDC LINE	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

Reparable	
Yes	No
Replaceable and repairable	Replaceable and discardable
No	Repairable item
	Discardable item

Exchangeable in 1<sup>st</sup> or 2<sup>nd</sup> line

FIGURA V.II Posibles combinaciones entre cambios y reparaciones.

Otra limitación detectada en éste software es 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										
1	Revision 0	Project:	UNIFE test proj	Errorcheck								
2	Sub-syst. Supplier:	Example: Electric	Errorlist									
3	Equipment:	UNIFE test syste										
4	Identify	Name										
5	IDBT	NAME										
6	Do not delete this line data entry											
7	3	Power Supply										
8	3.01	Line Voltage System										
9	3.01.01	A-component										
10	3.01.02	B-component										
11	3.01.03	C-component										
12	3.01.04	D-component										
13	3.01.04.01	Header 1										
14	3.01.04.01.01	Header 2										
15	3.01.04.01.01.01	Header 3										
16	3.01.04.01.01.01.01	E-component										
17												
18												
19												
20												
21												
22	SUM											

FIGURA V.III Apariencia de la introducción de datos.

Todavía podríamos mencionar más limitaciones como por ejemplo el forzamiento a la utilización de determinados modos de cálculo, por la imposibilidad de utilizar otro, 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.

Todas 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.

## **V.II.-Introducción a la herramienta universal de control de costes.**

Para realizar un plan de mantenimiento y obtener los costes del mismo se ha pensado en crear un software basado en Excel, pero debido a las limitaciones que esto supone en cuanto a la apariencia intuitiva del árbol que se debe crear como esquema de las diferentes partes del vehículo ferroviario para poder establecer distinciones entre los grandes sistemas, como mecánico y eléctrico en cuanto a costes, se ha pensado en utilizar otro tipo de software y adaptarlo a nuestro fin.

Tras una búsqueda de software propios de mantenimiento se ha observado que no existe ninguno con las suficientes herramientas que se necesitan y que por otro lado sea de libre utilización (sin coste). Por lo que nos hemos decantado 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 ferroviarios.

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 y fiabilidad exigida.

A continuación se estudiará más a fondo el modelo presentado.

### **V.III.-Modelo de cálculo de costes de plan de mantenimiento ferroviario preventivo y correctivo.**

El modelo que se va a utilizar en este estudio es un modelo primitivo en sobre el que se puede trabajar para obtener mayores precisiones. Antes de comenzar a explicar el modelo se debe hacer una breve introducción en la que aparecerán las variables principales de problema que vamos a solucionar.

Las variables principales del sistema son: fiabilidad, número de coches divididos por tipos de coches (cada tipo de coche poseerá unos elementos determinados), fiabilidad, tiempo medio de reparación para cada elemento, y reparabilidad. Es a partir de estas variables principales a partir de las cuales habrá que desarrollar el modelo final, en el que sin duda será precisa la utilización de la estadística.

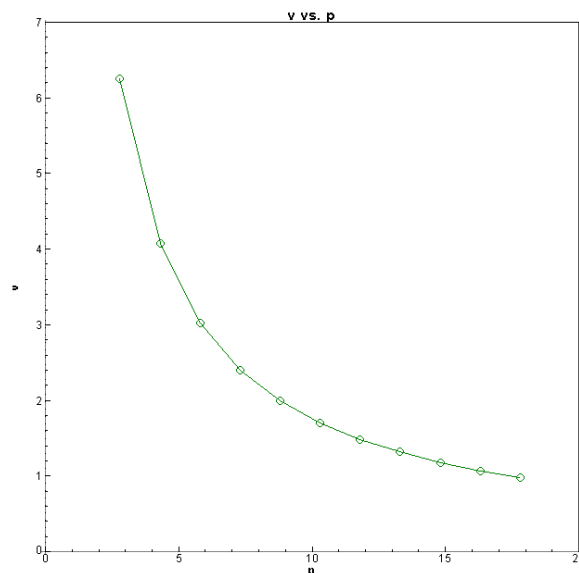
En este caso y para simplificar el estudio con el fin de hallar un modelo de cálculo podemos tomar como variables principales: fiabilidad exigida por el cliente (administración), número de kilómetros anuales, número de coches. Podemos observar que hemos simplificado bastante las variables. Hemos supuesto que todos los coches llevan los mismos elementos y el mismo número de ellos.

Las últimas tendencias en el mundo ferroviario apuntan a que cada vez, las administraciones exigen mayor fiabilidad a los trenes que adquieren. Queda claro pues que cuanto mejor fiabilidad pretenda obtener la administración (cliente), mayor va a ser también el coste del contrato de mantenimiento. Y por ello mayor importancia va a tener el mantenimiento en lograr esa fiabilidad.

En términos de mantenimiento podríamos decir que mediante el número de acciones anuales de mantenimiento correctivo a un elemento, y pensando que cada acción de correctivo ha sido un fallo inesperado, podemos obtener la fiabilidad que posee ese sistema. Ya que una de nuestras variables principales es el número de kilómetros anuales.

Es necesario pues pensar en la necesidad de hallar la relación que existe entre mantenimiento preventivo y correctivo. Ya que es lógico que a mayor numero de preventivo existirá por tanto menor número de correctivo, y por tanto mayor fiabilidad.

De nuevo en este momento nos topamos con la estadística, pero haciendo alusión al señor 'Adolfo Alcalá' que en su publicación en la revista 'para conocer y transformar' de una articulo alusivo al tema que tratamos, podemos establecer en un primer análisis que la relación entre el mantenimiento preventivo y correctivo sigue una función como se muestra en la figura. Una hipérbola de la forma  $F(X)=K/X$  con la constante propia de cada elemento.



**FIGURA V.IV Hipérbola relación entre preventivo-correctivo.**

Esta relación es sin duda uno de los puntos más importantes para el buen funcionamiento del modelo y por ello deberemos hallarla más profundamente mediante análisis estadísticos (modelo bayesiano) o simplemente mediante la experiencia.

La ventaja que nos proporciona la utilización de la función anterior es que simplemente con el historial de fallos y mantenimiento preventivo para un año tendremos definida ya la misma.

Como modelo que es. Simplemente vamos a estudiar dos de los elementos que existen en un vehículo ferroviario. En este caso hemos escogido el convertidor hidráulico-neumático del sistema de frenos y el climatizador del sistema de climatización.

Observamos el historial de fallos y de preventivo de ambos elementos para establecer la relación existente entre mantenimiento preventivo y correctivo. A continuación se muestra el plan de preventivo y el historial de correctivo del año anterior (sólo se muestran los elementos mecánicos). En él se puede observar tanto las inspecciones como las sustituciones y reparaciones que hubo que hacer en cada caso.

MECANICOS

PREVENTIVO															
ELEMENTO	SUBELEMENTO	FRECUENCIA	INSPECCION MES POR AÑO	NUMERO DE SURELEMENTOS POR COCHE	INSPECCIONES			SUSTITUCIONES				REPARACIONES			
					NUMERO DE SURELEMENTOS EN TODA LA FLOTA	TIEMPO DE INSPECCION DE UNA PIEZA (HORAS)	TIEMPO TOTAL DE INSPECCION AL AÑO (HORAS)	PORCENTAJE DE SUSTITUCION	NUMERO DE SUSTITUCIONES	TIEMPO DE SUSTITUCION DE UNA PIEZA (HORAS)	TIEMPO TOTAL DE SUSTITUCION AL AÑO (HORAS)	PORCENTAJE DE REPARACIONES	NUMERO DE REPARACIONES	TIEMPO DE REPARACION DE UNA PIEZA	TIEMPO TOTAL DE REPARACION AL AÑO (HORAS)
Suspensiones	Balón de la suspensión	Anual	1	2	60	0,25	15	0,1	6	15	9	0,05	3	2,25	6,75
	Viga de la suspensión	Mensual	12	1	30	0,25	90	0,05	1,5	15	27	0,025	0,75	2,25	20,25
	Freno de emergencia	6 meses	2	4	120	0,3	72	0,01	1,2	18	4,32	0,005	0,6	2,7	3,24
	Disco de fraso	Anual	1	4	120	0,1	12	0,07	0,4	0,6	5,04	0,035	4,2	0,9	3,78
	Presión sistema freno	4 meses	3	-	3	0,4	3,6	0	0	2,4	0	0	3,6	0	10,8
	Mangueras de freno	Anual	1	-	3	2	2	0	0	12	0	0	0,2	0,6	18
	Brazo de frenado	Diario	360	2	60	0,1	2160	0,01	0,6	0,6	129,6	0,005	0,3	0,9	97,2
	Convertidor hidráulico-neumático	4 años	0,25	-	3	0,5	0,375	0,01	0,03	3	0,0225	0,005	0,015	4,5	0,916875
	Indicador de frenado	Anual	1	-	3	0,1	0,3	0,1	0,3	0,6	0,18	0,05	0,15	0,9	0,135
	Acoplamiento automático	6 meses	2	1	30	0,5	30	0,11	3,3	3	19,8	0,005	0,65	4,5	14,95
Acoplamientos	Goma de acoplamiento	6 meses	2	1	30	0,25	15	0,01	0,3	15	0,9	0,005	0,15	2,25	0,675
	Absorbedor de choques	Anual	1	4	120	0,1	12	0,01	1,2	0,6	0,72	0,005	0,6	0,9	0,54
Motor	Acete motor	6 meses	2	-	3	0,1	0,6	1	3	0,6	3,6	0	0	0,9	0
	Culata	5 años	0,2	-	3	0,25	0,15	1	0,05	1,15	15	0,045	0,025	0,075	0,83375
	Filtro de aceite	3 meses	4	-	3	0,2	2,4	1	3	12	14,4	0	0	1,8	0
	Bomba inyectora	5 años	0,2	-	3	0,75	0,45	1	3	4,5	2,7	0	0	6,75	0
	Filtro combustible	3 meses	4	-	3	0,2	2,4	1	3	12	14,4	0	0	1,8	0
	Filtro aire	Mensual	12	-	3	0,2	7,2	1	3	12	43,2	0	0	1,8	0
	Líquido refrigerante	6 meses	2	-	3	0,1	0,6	1	3	0,6	3,6	0	0	0,9	0
	Radiador motor	Anual	1	-	3	0,5	1,5	0,5	1,5	3	4,5	0,25	0,75	4,5	3,375
	Filtro aire	3 meses	4	-	3	0,2	2,4	1	3	12	14,4	0	0	1,8	0
	Valvula seguridad	6 meses	2	-	3	0,25	1,5	0,3	0,9	1,5	2,7	0,15	0,45	2,25	2,025
Neumático	Secador de aire	3 meses	4	-	3	0,5	6	0,09	0,27	3	3,24	0,045	0,135	4,5	2,43
	Unión de reparto	Anual	1	-	3	0	0	0	0	18	0	0	0	27	0,91
Estructura	Placa baja de recubrimiento	5 años	0,2	1	30	2	12	0	0	12	0	0	0	18	0
	Ventanas	6 meses	2	10	300	0,25	150	0,04	12	15	36	0,02	6	2,25	27
Rodadura	Puertas	Anual	1	4	120	0,3	36	0,01	1,2	18	2,16	0,005	0,6	2,7	1,62
	Agujeros drenaje	Anual	1	20	600	0,001	0,6	0	0	0,006	0	0	0,003	0,04	0,54
	Ruedas	Diario	360	4	120	0,15	6480	0,1	12	0,9	3888	0,2	24	1,35	1664

MECANICOS

CORRECTIVO													
ELEMENTO	SUBELEMENTO	FALLOS AL AÑO	PORCENTAJE DE SUSTITUCION	NUMERO DE SUSTITUCIONES	TIEMPO DE SUSTITUCION DE UNA PIEZA (HORAS)	TIEMPO TOTAL DE SUSTITUCION (HORAS)	PORCENTAJE DE REPARACIONES	NUMERO DE REPARACIONES	TIEMPO DE REPARACION DE UNA PIEZA	TIEMPO TOTAL DE REPARACION			
Suspensiones	Balón de la suspensión	6	0,3	1,8	1,5	2,7	0,7	4,2	2,25	9,45			
	Viga de la suspensión	3	0,2	0,6	1,5	0,8	2,4	2,25	5,4				
	Freno de emergencia	12	0,7	8,4	1,8	0,3	3,6	2,7	9,72				
	Disco de freno	12	0,6	7,2	0,6	0,4	4,8	0,9	4,32				
	Presión sistema freno	5	0	0	2,4	0	5	3,6	18				
	Mangueras de freno	1	0	0	12	0	1	18	18				
	Brazo de frenado	2	0,5	1	0,6	0,5	1	0,9	0,9				
	Convertidor hidráulico-neumático	1	1	1	3	0	0	4,5	0				
	Indicador de frenado	2	1	2	0,8	0	0	0,9	0				
	Acoplamiento automático	10	0,8	8	3	0,2	2	4,5	9				
Acoplamientos	Goma de acoplamiento	3	0,4	1,2	1,5	1,8	0,6	1,8	2,25	4,05			
	Absorbedor de choques	5	0,5	2,5	0,8	0,5	2,5	0,9	2,25				
Motor	Acete motor	0	0	0	0,6	0	0	0,9	0				
	Culata	1	1	1	1,5	1,5	0	2,25	0				
	Filtro de aceite	0	0	0	1,2	0	0	1,8	0				
	Bomba inyectora	1	1	1	4,5	4,5	0	6,75	0				
	Filtro combustible	0	0	0	1,2	0	0	1,8	0				
	Filtro aire	0	0	0	1,2	0	0	1,8	0				
	Líquido refrigerante	0	0	0	0,6	0	0	0,9	0				
	Radiador motor	2	0,5	1	3	0,5	1	4,5	4,5				
	Filtro aire	0	0	0	1,2	0	0	1,8	0				
	Valvula seguridad	1	1	1	1,5	1,5	0	2,25	0				
Neumático	Secador de aire	3	0,7	2,1	0,3	0,3	0,9	4,05	4,05				
	Unión de reparto	15	0	0	18	0	15	27	405				
Estructura	Placa baja de recubrimiento	2	0	0	12	0	2	18	36				
	Ventanas	23	1	23	1,5	34,5	0	2,25	0				
Rodadura	Puertas	7	0,2	1,4	1,8	2,52	0,8	5,6	2,7	15,12			
	Agujeros drenaje	0	0	0	0,006	0	0	0,003	0				
	Ruedas	0	0	0	0,9	0	0	1,35	0				

FIGURA V.V Plan de preventivo e historial de correctivo elementos mecánicos.

De estos historiales obtenemos:

**Climatizador:** Relación preventivo-correctivo:

$$N^{\circ}\text{Correc} = 720 / N^{\circ}\text{Prevent}$$

**Convertidor:** Relación preventivo-correctivo:

$$N^{\circ}\text{Correc} = 1.25 / N^{\circ}\text{Prevent}$$

Ahora debemos definir nuestros variables principales sobre las que trabajar:

-Kilómetros anuales de funcionamiento: **130.000 Km.**

-Fiabilidad requerida: **500.000 Km. sin fallos.**

-Número de coches: **60.**

Basándonos en estas variables principales y en las relaciones de preventivo-correctivo que arriba se detallan podemos comenzar a introducir datos al software universal del control de costes. Y calcular los costes en mantenimiento tanto preventivo como correctivo.

Para calcular estos costes deberemos definir previamente el tiempo de mano de obra y el coste de la misma, así como el precio de los elementos que habrán de ser sustituidos.

El precio de los elementos no tiene mayor dificultad de concertación, así como el precio de las hora-hombre. Lo más variable es sin duda el tiempo tanto de inspección de cada aparato como el de sustitución o reparación. Para su aproximación más cercana podremos hacerlo mediante la ecuación:

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

D= tiempo medio de operación.  
a= tiempo más optimista.  
b= tiempo más pesimista.

m= tiempo más probable.

La introducción de datos al programa de control de costes ha de hacerse de una forma que variando simplemente el número de preventivos y correctivos obtengamos el coste total, de forma que en el caso del correctivo deberemos introducir los datos de modo porcentual, en tanto por uno. A continuación se muestra una captura de pantalla del programa de control de costes en la que podemos observarlo.

Código	Doc.	Pli.	Ud	Resumen	Cant.	Coste	Importe
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	15.065,04	15.065,04
MPf6		ud		Mantenimiento Preventivo	2,000	7.046,02	14.092,04
MCf6		ud		Mantenimiento Correctivo	0,600	1.621,67	973,00
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
F7				Indicador de frenado	1,000		
ACO				Elementos de acoplamiento	1,000		
MOT				Elementos de motor	1,000		
NEU				Elementos neumáticos	1,000		
EST				Elementos de estructura	1,000		
BOD				Elementos de rodadura	1,000		

**FIGURA V.VI Ejemplo de introducción de datos.**

Podemos observar que en el caso del convertido hidráulico-neumático el 40% de los fallos conllevan sustitución y el 60% reparación. Por otro lado el 75% de ellos también lleva consigo penalización por contrato.

De momento hemos creado una herramienta básica que permite calcular el coste del plan de mantenimiento en función de una fiabilidad dada. Es una herramienta muy oportuna para las empresas productoras de vehículos ferroviarios que normalmente también se ocupan de mantenimiento de los mismos. Así pues cuando la administración (cliente) le exija una mejora de fiabilidad permitirá obtener el incremento de precio que debe tener el contrato para poder cumplirla.



Ahora pues, para obtener una herramienta de benchmarking de planes de mantenimiento basada en el cálculo de LCC deberemos obtener el coste total del plan de mantenimiento tanto preventivo como correctivo. Para ello estimamos que para la fiabilidad proporcionada anteriormente en las variables principales, el coste de mantenimiento que hemos obtenido es alrededor de un 1.1% del total.

COSTE MANTENIMIENTO	COSTE [Eur]	Estimacion %
Elementos estudiados	46.184,00 €	1,1
Total flota	4.198.545,45 €	

FIGURA V.VII Estimación coste total mantenimiento anual.

Ahora bien, podemos calcular el LCC de mantenimiento de cada uno de los elementos estudiados por separado de modo que obtendríamos una tabla como la siguiente.

WACC (weighted average capital cost)		IPC									
		5,00%									
		3,00%									
ANOS		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CONVERTIDOR HIDRAULICO	LCC Mantenimiento	Coste primer año									
	86.330,03 €	9.859,00 €	10.165,07 €	10.470,02 €	10.784,12 €	11.107,85 €	11.440,88 €	11.784,10 €	12.137,83 €	12.501,75 €	12.876,81 €
	74.240,85 €	8.487,00 €	8.741,81 €	9.003,38 €	9.273,97 €	9.552,19 €	9.838,78 €	10.133,92 €	10.437,94 €	10.751,08 €	11.073,81 €
	66.280,54 €	7.577,00 €	7.804,31 €	8.038,44 €	8.279,59 €	8.527,98 €	8.783,82 €	9.047,33 €	9.318,75 €	9.598,32 €	9.886,27 €
	66.770,40 €	7.833,00 €	7.881,99 €	8.097,38 €	8.340,79 €	8.597,01 €	8.848,74 €	9.114,20 €	9.387,83 €	9.669,28 €	9.959,33 €
	68.877,38 €	7.851,00 €	8.088,53 €	8.329,13 €	8.579,00 €	8.838,37 €	9.107,48 €	9.374,50 €	9.655,74 €	9.945,41 €	10.243,77 €
	72.001,46 €	8.231,00 €	8.477,93 €	8.732,27 €	8.994,24 €	9.264,08 €	9.541,98 €	9.828,24 €	10.123,09 €	10.426,78 €	10.739,59 €
	75.325,55 €	8.611,00 €	8.859,33 €	9.130,41 €	9.406,47 €	9.691,76 €	9.982,51 €	10.281,99 €	10.590,44 €	10.908,18 €	11.236,40 €
	80.075,50 €	9.154,00 €	9.428,82 €	9.711,48 €	10.002,82 €	10.302,81 €	10.611,99 €	10.930,35 €	11.258,27 €	11.596,01 €	11.943,89 €
	103.798,36 €	11.385,00 €	12.221,39 €	12.588,84 €	12.966,30 €	13.355,29 €	13.755,95 €	14.168,82 €	14.593,88 €	15.031,49 €	15.482,44 €
	131.782,54 €	15.095,00 €	15.578,95 €	15.992,48 €	16.437,93 €	16.915,79 €	17.426,45 €	17.969,40 €	18.545,05 €	19.153,89 €	19.796,41 €
CLIMATIZADOR	401.803,33 €	48.933,00 €	47.310,99 €	48.730,32 €	50.192,23 €	51.698,00 €	53.248,94 €	54.845,40 €	56.489,80 €	58.186,55 €	59.936,15 €
	340.159,02 €	38.880,00 €	40.052,58 €	41.254,18 €	42.491,78 €	43.768,84 €	45.079,53 €	46.431,52 €	47.824,88 €	49.259,82 €	50.737,41 €
	306.454,54 €	35.033,00 €	35.083,99 €	37.180,51 €	38.281,50 €	39.429,95 €	40.612,85 €	41.831,23 €	43.088,17 €	44.378,78 €	45.710,12 €
	299.113,30 €	34.194,00 €	35.219,82 €	36.278,41 €	37.364,71 €	38.488,85 €	39.640,22 €	40.829,42 €	42.054,31 €	43.315,94 €	44.610,41 €
	317.990,21 €	36.314,00 €	37.403,42 €	38.525,32 €	39.681,29 €	40.871,73 €	42.097,88 €	43.360,82 €	44.661,84 €	46.001,49 €	47.381,53 €
	335.435,32 €	38.348,00 €	39.498,39 €	40.681,27 €	41.901,71 €	43.158,78 €	44.453,52 €	45.787,13 €	47.160,74 €	48.575,57 €	50.032,83 €
	349.921,34 €	40.002,00 €	41.202,08 €	42.438,12 €	43.711,27 €	45.022,80 €	46.373,28 €	47.764,48 €	49.197,41 €	50.673,34 €	52.193,54 €
	365.813,72 €	41.819,00 €	43.073,87 €	44.368,78 €	45.696,75 €	47.067,85 €	48.479,88 €	49.934,07 €	51.432,10 €	52.975,08 €	54.564,31 €

FIGURA V.VIII Herramienta creada en EXCEL para el cálculo LCC.

En esta tabla hemos creado una herramienta a través de la cual podemos realizar el cálculo de LCC de mantenimiento para cada tipo de elemento a 10 años partiendo de las premisas de IPC y coste medio ponderado del capital (WACC) y lo más importante, con diferentes costes de mantenimiento preventivo, es decir, con diferentes niveles de fiabilidad.

En esta dirección vamos a relacionar los diferentes LCC con sus correspondientes costes de preventivo, que en nuestro modelo se puede relacionar directamente con la fiabilidad.

A continuación se muestran imágenes de las tablas obtenidas mediante el programa de control de costes y mediante la anterior tabla de cálculo de LCC, para cada elemento.

<b>CONVERTIDOR Hydra-Neuma</b>		<b>SUPONEMOS cte--&gt;</b>		<b>1,25</b>
<u>COSTE LCC</u>	<u>COSTE PREVENTIVO</u>	<u>NUMERO PREVENTIVO OS AL AÑO</u>	<u>NUMERO CORRECTIVO S AL AÑO</u>	<u>fiabilidad [km sin fallos]</u>
86.330,00 €	1.761,00 €	0,25	5,0	156000
74.240,00 €	2.325,00 €	0,33	3,8	205920
66.280,00 €	3.523,00 €	0,5	2,5	312000
66.770,00 €	4.227,00 €	0,6	2,1	374400
68.677,00 €	4.932,00 €	0,7	1,8	436800
72.001,00 €	5.636,00 €	0,8	1,6	499200
75.325,00 €	6.341,00 €	0,9	1,4	561600
80.075,00 €	7.046,00 €	1	1,3	624000
103.798,00 €	10.569,00 €	1,5	0,8	936000
131.782,00 €	14.092,00 €	2	0,6	1248000

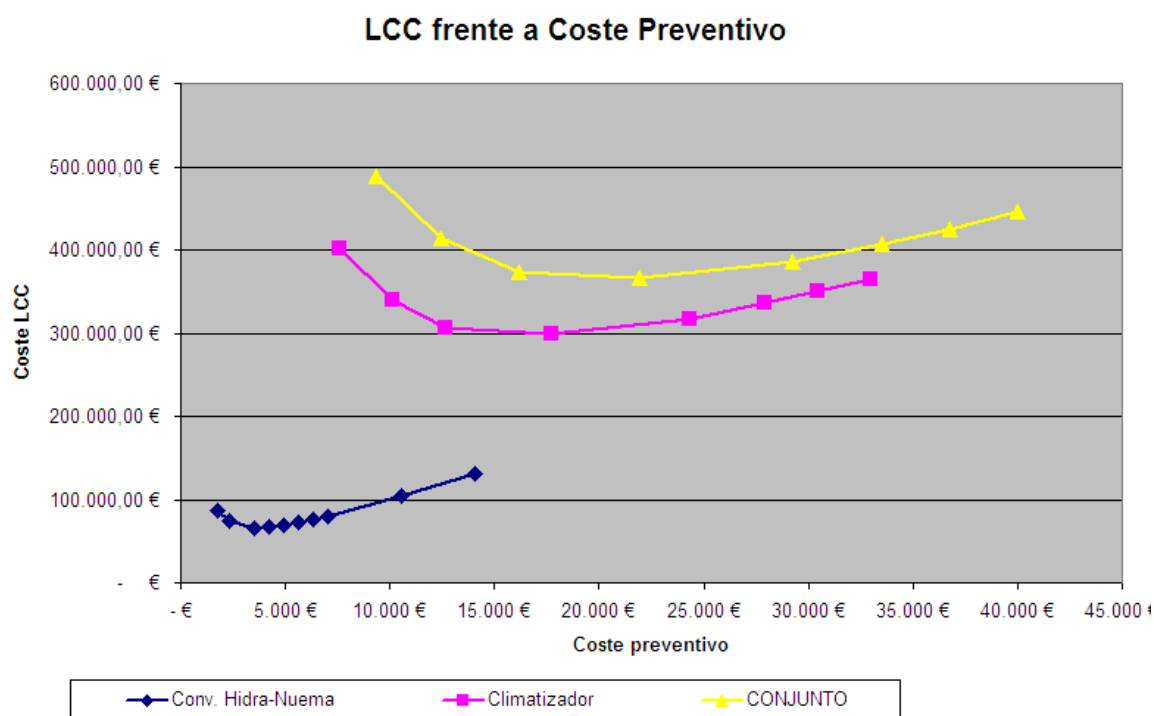
<b>CLIMATIZADOR</b>		<b>SUPONEMOS cte--&gt;</b>		<b>720</b>
<u>COSTE LCC</u>	<u>COSTE PREVENTIVO</u>	<u>NUMERO PREVENTIVO OS AL AÑO</u>	<u>NUMERO CORRECTIVO S AL AÑO</u>	<u>fiabilidad [km sin fallos]</u>
401.803,00 €	7.605,00 €	15	48,0	16250
340.159,00 €	10.140,00 €	20	36,0	21667
306.454,00 €	12.675,00 €	25	28,8	27083
299.115,00 €	17.745,00 €	35	20,6	37917
317.660,00 €	24.336,00 €	48	15,0	52000
335.435,00 €	27.885,00 €	55	13,1	59583
349.921,00 €	30.420,00 €	60	12,0	65000
365.185,00 €	32.955,00 €	65	11,1	70417

**FIGURA V.IX Tablas de relación de costes en función de la fiabilidad.**

Mediante estas tablas podemos realizar un gráfico. En el que aparece la relación entre LCC y coste de mantenimiento preventivo, que se relaciona directamente con la fiabilidad. A continuación se muestra una imagen de dicha gráfica mediante en la cual se observan los dos elementos en estudio y la suma de los dos. Para el caso del conjunto de la flora habría que hacerlo como la suma de todos los elementos de la misma.

Cada punto de esta gráfica está relacionado con una fiabilidad dada y sigue la dirección del coste preventivo, es decir, cuanto más aumenta el coste en preventivo también aumenta más la

fiabilidad. Pero como se observa en la gráfica, el aumento de la fiabilidad implica un gran aumento también del coste del ciclo de vida en mantenimiento y por tanto un gran incremento en el coste del contrato de mantenimiento.



**FIGURA V.X Gráfica de preventivo frente a LCC.**

Hay que decir también sobre esta gráfica, que la razón del repentino bajón que sufre la gráfica al comienzo del aumento del coste de preventivo es debido a que en nuestro modelo tenemos en cuenta penalizaciones por fallo y lo incluimos en el mantenimiento correctivo. Entonces cuando aumentamos el coste en preventivo y disminuimos el correctivo, hasta que no llegue a una tasa muy baja no comenzará a aumentar el LCC ya que el coste de las penalizaciones hace que los costes de mantenimiento preventivo y correctivo sean muy similares e incluso superior el coste en correctivo, al contrario que si fuera un correctivo sin contar la penalizaciones.

### -BASE DE DATOS DE ÁRBOL DE PRODUCTO.

La base de datos de árbol de producto consisten en una base de datos en la que aparecerán desglosadamente los elementos de los que consta un tren, como por ejemplo (SISTEMAS MECÁNICOS/ SUSPENSIONES/BALONA DE LA SUSPENSIÓN), hasta llegar al elemento menor que es el susceptible de ser mantenido cada uno de estos elementos tendrán tanto mantenimiento correctivo como preventivo, y dentro de ellos podremos definir varias acciones como por ejemplo (INSPECCION, SUSTITUCION, REPARACION Y PENALIZACIONES), que se completarán con la base de datos de operaciones de mantenimiento, que definiremos en el siguiente punto. A continuación se muestra una imagen con el árbol de lo anteriormente explicado.

Código	Doc.	Pli.	Ud	Resumen	Cant.	Coste	Importe
GENERAL ..				Presupuesto plan de mantenimiento ferro	1,000	46.183,99	46.183,99
MEC				Sistemas mecánicos	1,000	9.869,86	9.869,86
SUSP				Elementos de suspensiones	1,000		
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
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
F7				Indicador de frenado	1,000		
ACO				Elementos de acoplamientos	1,000		
MOT				Elementos de motor	1,000		
NEU				Elementos neumáticos	1,000		
EST				Elementos de estructura	1,000		
ROD				Elementos de rodadura	1,000		
ELE				Sistemas eléctricos	1,000	36.314,13	36.314,13
LIM				Sistemas limpieza	1,000		
.				---	1,000		

FIGURA V.XI Base de datos árbol de producto.

## -BASE DE DATOS DE OPERACIONES DE MANTENIMIENTO

La base de datos de operaciones de mantenimiento contiene todo lo referido a los costes fijos, tanto de horas de operario como de costes de recambios como de las penalizaciones, mediante esta base de datos podremos completar la primera con el objetivo de no tener que definir un operario para cada acción de mantenimiento. A continuación se muestra este árbol.

Código	Doc.	Pli.	Ud	Resumen	Cant.	Coste	Importe
SUB				subacarpetas	1,000		
Sub				Subcarpetas	1,000		
OMP				Operarios, Materiales, Penalizaciones	1,000		
Operarios			ud	Operarios tipos			
OMECE			Horas	Oficial Mecánico		20,00	
PMECE			Horas	Peón Mecánico		15,00	
OEELE			Horas	Oficial eléctrico		20,00	
PEELE			Horas	Peón eléctrico		15,00	
MAT			ud	Materiales			
S1M			ud	Balona de la suspensión		500,00	
S2M			ud	Viga de la suspensión		200,00	
F2M			ud	Disco de freno		100,00	
F5M			ud	Brazo de frenado		500,00	
F6M			ud	Convertidor Hidráulico-Neumático		500,00	
F7M			ud	Indicador de frenado		50,00	
A1M			ud	Acoplador automático		300,00	
A2M			ud	Goma de acoplamiento		200,00	
A3M			ud	Absorbedor de choques		150,00	
M1M			litros	Aceite motor		6,00	
C1M			ud	Climatizador		9.000,00	
%Mat			%	Materiales Auxiliares			
PEN			ud	Penalizaciones			
CONF			ud	Fallo de confort		200,00	
SERV			ud	Fallo de servicio		200,00	
15min			ud	Retraso > 15 min		1.000,00	
2horas			ud	Retraso > 2h ó cancelación		1.900,00	

**FIGURA V.XII Base de datos árbol de costes fijos.**

### **V.V.- Mejora del modelo: La fiabilidad y su impacto en el coste de mantenimiento correctivo**

La fiabilidad influye de una forma muy acentuada en el mantenimiento correctivo. Es sencillo pensar que la fiabilidad esta meridianamente relacionada con los fallos y por tanto con el mantenimiento correctivo que no es otra cosa que la reparación de esos fallos imprevistos. De este modo, la relación entre ellos es evidente. La fiabilidad marcará el número de fallos en un tiempo determinado si no se realiza nada para evitarlo.

El apartado de mejora del modelo habrá de ser basado en la aplicación de la estadística a este modelo inicial. Como primera idea podemos pensar que mediante un modelo bayesiano aplicado al mantenimiento podemos obtener mejores precisiones sobre los datos obtenidos en este primer modelo. Podremos obtener datos más precisos sobre temas como: tiempo medio transcurrido hasta la sustitución, porcentaje de unidades inspeccionadas que son sustituidas. En definitiva un estudio estadístico de la mantenibilidad de un equipo.

## **VI.- Conclusiones**

### **VI.I.- Resultados:**

Actualmente existen muchas herramientas de cálculo de LCC para sistemas en general, pero debido a la mayor dificultad que presentan los sistemas ferroviarios, ninguno de ellos es lo suficientemente aceptable para ello. Probablemente el software desarrollado por UNIFE sea el mejor de ellos pero todavía tiene limitaciones que anteriormente ya hemos comentado. A modo de conclusión podemos obtener que se podría mejorar mucho el software desarrollado en la actualidad por UNIFE, y que sin duda un programa de estas características sería de un valor increíble en el mundo ferroviario, ya que sería una herramienta excepcional, para que, en conjunción con un buen modelo en el que quedara bien definida la relación entre fiabilidad y cantidad de mantenimiento, crear sucesivas herramientas como por ejemplo de benchmarking entre flotas de vehículos ferroviarios, que se podría utilizar para la decisión de compra entre varias de ellas, en la que sin duda deberemos tener algún medio en el que basar nuestra decisión. Un vehículo que en principio parece demasiado caro, tras el correspondiente análisis de coste de ciclo de vida podemos observar que en realidad no lo es. Ya que puede ser que la fiabilidad de los elementos con los que está construido sea tan grande que apenas vamos a tener mantenimiento preventivo ni correctivo.

### **VI.II.- Futuras investigaciones:**

Las futuras investigaciones deberán adoptar el camino que ya se ha mencionado a lo largo de todo el documento. Deberán basarse en la mejora de las relaciones establecidas tanto entre fiabilidad y cantidad de mantenimiento como en la relación que sin duda existe entre cantidad de mantenimiento preventivo y correctivo, a través de las cuales se puede crear un modelo de mayor precisión. No es posible escapar de la idea de que la estadística tiene mucho que ver en una estimación adecuada de las relaciones anteriores. Y por ello como primera idea se ha pensado en la adaptación del modelo primitivo mediante otro modelo BAYESIANO de mantenimiento a través del cual, calcular estadísticamente tanto el tiempo transcurrido hasta la sustitución de un elemento como el porcentaje de piezas inspeccionadas que son sustituidas hasta la calidad media de los elementos en funcionamiento.

Sin duda se ha abierto una brecha en este tema sobre la cual poder seguir realizando estudios y mejorando el modelo expuesto hasta su concreción final.



## **-BIBLIOGRAFÍA.**

- Jesús A. Royo Sánchez, Mariano Bolea Bitrián, Fernando Torres Leza, Juan José Aguilar Martín. '**Mantenimiento Industrial Integral**'. Imprenta KRONOS.
  
- Francisco Javier González Fernández, Julio Fuentes Losa (Coordinador). '**Ingeniería Ferroviaria**'. Universidad Nacional de Educación a Distancia, (UNED).
  
- David González de la Peña. '**Introducción al cálculo del LCC (life cycle cost) de vehículos ferroviarios**'. Anales de mecánica y electricidad / noviembre-diciembre 2004, (ANEXO 1).
  
- Medardo Yañez, José L. Perdomo, Hernando Gómez de la Vega. '**Ingeniería de la fiabilidad. Pilar fundamental del mantenimiento**'. Reliability and Risk Management S.A, (ANEXO 2).
  
- Hyun-Kyu Jun , Jae-Hoon Kim , Jun-Seo Park. '**Maintenance cost prediction model for railway vehicle**'. Department of Vehicle Track Research, Korea Railroad Research Institute, 360-1 Woram-dong, Uiwang-city, (ANEXO 3).
  
- A. 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, (ANEXO 4).
  
- Adolfo Alcalá. '**Propuesta de un modelo matemático de optimización de costes de mantenimiento preventivo**'. CULTCA, (ANEXO 5).

- Felipe Gallardo Quesada. **'Plan de mantenimiento de los trenes de la serie 6000 de metro de Barcelona'**. Universitat Politècnica de Catalunya.
- Fernando Pascual, José Antonio Marcos. **'Wheel wear management on high-speed passenger rail: A common playground for design and maintenance engineering in the TALGO engineering cycle'**. 2004 ASME/IEEE Joint Rail Conference. April 6-8, 2004, Baltimore, Maryland, USA, (ANEXO 6).
- Fernando Pacual Andreu, Luis Lezaún Martínez de Ubago, Miguel García Garcés. **'Modelos dinámicos para el estudio del confort en locomotoras con motores suspendidos por nariz'**. Santander – CIT 2002.
- Fernando Pacual Andreu, Emilio Larrodé Pellicer, Tony Szwilski. **'Modelo de análisis numérico de placa de asiento de carril sobre traviesa de hormig'**. Santander – CIT 2002.
- ADIF, **'Conceptos básicos ferroviarios'**. 2007-2008, (ANEXO 7).