



Universidad
Zaragoza

1542

Trabajo Fin de Grado

[Desarrollo de Sistemas RAMS]

Autor

[Adrián Magallón Calvo]

Director

[Enrique Hernández Hernández]

Escuela Universitaria Politécnica La Almunia
2015



eupla



Universidad
Zaragoza

**ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA
DE LA ALMUNIA DE DOÑA GODINA (ZARAGOZA)**

MEMORIA

[Desarrollo de Sistemas RAMS]

[425.13.188]

Autor: [Adrián Magallón Calvo]

Director: [Enrique Hernández Hernández]

Fecha: Julio 2015

INDICE DE CONTENIDO

1. RESUMEN	1
2. ABSTRACT	3
3. INTRODUCCIÓN	4
4. ESTADO DEL ARTE	5
4.1. RELIABILITY (FIABILIDAD)	5
4.1.1. <i>Introducción</i>	5
4.1.2. <i>Modelo de Fiabilidad</i>	6
4.1.2.1. Variable aleatoria continua	6
4.1.2.1.1. Función de Densidad de Fallo $f(t)$	6
4.1.2.1.2. Función de Distribución de Fallo $F(t)$	7
4.1.2.1.3. Aplicación de la estadística	7
4.1.3. <i>Entendiendo Parámetros de Fiabilidad</i>	10
4.1.4. <i>Formas de Interpretar la Fiabilidad</i>	11
4.1.4.1. MTBF (Tiempo Medio Entre Fallo)	11
4.1.4.2. MKBF (Distancia Media Entre Fallo)	11
4.2. MAINTAINABILITY (MANTENIBILIDAD)	12
4.2.1. <i>Introducción</i>	12
4.2.2. <i>Aplicación a Material Rodante</i>	14
4.2.3. <i>Formas de interpretar la Mantenibilidad</i>	14
4.2.3.1. MTTR (Tiempo Medio de Reparación)	14
4.3. AVAILABILITY (DISPONIBILIDAD)	16
4.3.1. <i>Introducción</i>	16
4.3.2. <i>Aplicación a material rodante</i>	16
4.3.3. <i>Formas de Interpretar la Disponibilidad</i>	16
4.3.3.1. Antes de Servicio	16
4.3.3.2. Durante el Servicio	17
5. DESARROLLO	19
5.0. LA EMPRESA	19
5.0.1. <i>ORGANIGRAMA DE LA EMPRESA</i>	19
5.0.2. <i>ANTES DE SISTEMAS RAM</i>	20
5.1. INGENIERÍA BÁSICA	24
5.1.1. <i>Tipo de Material Rodante</i>	24

5.1.1.1. Tranvía	24
5.1.2. <i>Identificación de Requisitos RAM contractuales</i>	24
5.1.2.1. Requisitos/Pliego de Condiciones	24
5.1.2.2. Contrato	26
5.1.2.3. Oferta	27
5.1.2.4. Documento resumen de requisitos RAM	27
5.1.3. <i>Definición del Alcance RAM</i>	28
5.1.3.1. Programa RAM	29
5.1.3.1.1. Actividades y Documentos generados	30
5.1.3.2. Plan RAM	31
5.1.4. <i>Ánálisis FMEA: Lista de fallos</i>	33
5.1.5. <i>Lista de elementos RAM Críticos</i>	36
5.1.5.1. Sistema de Freno	36
5.1.5.2. Pantógrafo	37
5.1.5.3. Climatización	38
5.1.5.4. Manipulador	39
5.1.5.5. Puertas	40
5.1.5.6. Convertidor de Tracción	41
5.1.5.7. Pasillo de Intercomunicación	42
5.1.5.8. Registrador de Eventos	43
5.1.6. <i>Asignaciones RAM</i>	43
5.1.6.1. Asignación de Fiabilidad	45
5.1.6.2. Asignación de Mantenibilidad	55
5.1.6.3. Asignación de Disponibilidad	57
5.1.7. <i>Requisitos RAM para Proveedores</i>	60
5.1.8. <i>Contrato de Suministro</i>	60
5.1.8.1. Introducción	60
5.1.8.2. Medidas a tener en cuenta	61
5.1.8.3. Hoja y Tabla de control	61
5.1.8.4. Valores de proveedores cumplen	67
5.1.8.5. Valores de proveedores no cumplen	67
5.2. <i>INGENIERÍA DE DETALLE</i>	68
5.2.1. <i>Desarrollo del proyecto</i>	68
5.2.2. <i>Predicción RAM</i>	68
5.2.2.1. Predicción de Fiabilidad	69
5.2.2.2. Predicción de Mantenibilidad	74
5.2.2.3. Predicción de Disponibilidad	75
5.2.3. <i>Ánálisis RAM</i>	77
5.2.3.1. Análisis de Fiabilidad	77
5.2.3.2. Análisis de Mantenibilidad	87

5.2.3.3. Análisis de Disponibilidad	88
5.2.4. <i>Protocolo Demostración RAM</i>	89
5.2.5. <i>Cierre Programa RAM</i>	91
5.3. FABRICACION, INSTALACIÓN Y ENSAYOS	93
5.3.1. <i>Fase de Fabricación</i>	93
5.3.1.1. Objetivos	93
5.3.1.2. Fabricados por la empresa	93
5.3.1.2.1. Lean Manufacturing	93
5.3.1.3. Fabricados por proveedores	94
5.3.1.4. Presencia RAM	94
5.3.2. <i>Fase de instalación</i>	95
5.3.2.1. Objetivos	95
5.3.2.2. Presencia RAM	95
5.3.3. <i>Pruebas</i>	96
5.3.3.1. Objetivos	96
5.3.3.2. Presencia RAM	97
5.4. ENTRADA EN SERVICIO, GARANTIA Y MANTENIMIENTO	99
5.4.1. <i>Objetivos</i>	99
5.4.2. <i>Presencia RAM</i>	99
6. CONCLUSIONES	100
7. BIBLIOGRAFÍA	102

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Tipos de Mantenimiento	13
Ilustración 2 Organigrama	19
Ilustración 3. Proceso antes de empezar con el estudio RAM	20
Ilustración 3 Programa RAM	30
Ilustración 5 Análisis FMEA	35
Ilustración 6 Pantógrafo	38
Ilustración 7 Sistema de Climatización.....	39
Ilustración 18 Manipulador	40

Ilustración 9 Puertas	41
Ilustración 10 Convertidor de Tracción	42
Ilustración 11 Pasillo de Intercomunicación	43
Ilustración 12 Asignación FM	49
Ilustración 13 Asignación de Mantenibilidad	56
Ilustración 7 Comprobación Requisitos RAM (Asignación)	59
Ilustración 15 Tabla de Control	66
Ilustración 9 Predicción FM	71
Ilustración 10 Predicción de FS Nivel 2	72
Ilustración 11 Predicción FS Nivel 3	73
Ilustración 12 Predicción FS Nivel 4	74
Ilustración 13 Predicción de Mantenibilidad	74
Ilustración 14 Predicción de Disponibilidad	75
Ilustración 15 Comprobación Requisitos RAM (Predicción)	76

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Perfil de la Misión	27
Tabla 2 Objetivos de Fiabilidad del Pliego	28
Tabla 3 Objetivos de Mantenibilidad del Pliego	28
Tabla 4 Objetivos de Disponibilidad del Pliego	28
Tabla 5 Formulas FM _S	46
Tabla 6 Fórmulas FS	51
Tabla 7 FS nivel 2	53
Tabla 8 FS nivel 3	54
Tabla 9 FS nivel 4	55
Tabla 10 Asignación de disponibilidad	58

Tabla 11 Hoja de Control	62
Tabla 12 Análisis Fiabilidad de Material	81
Tabla 13 Análisis FS Nivel 2	83
Tabla 14 Análisis FS Nivel 3	86
Tabla 15 Análisis FS Nivel 4	86
Tabla 16 Análisis de Mantenibilidad	88
Tabla 17 Análisis de Disponibilidad	88
Tabla 18 Hoja de Información de Averías	90
Tabla 19 Hoja de Registro de Actividades en fase de Fabricación	95
Tabla 20 Hoja de Registro de Actividades en fase de Instalación	96
Tabla 21 Hoja de Registro de Actividades en Fase de Pruebas	98

1. RESUMEN

El presente trabajo de fin de grado, a partir de ahora TFG, va a tratar sobre el desarrollo de un Sistemas RAM en una empresa ferroviaria.

El término RAM viene de un acrónimo inglés donde R es "Reliability", A "Availability" y M "Maintainability". Por lo tanto al traducirlo en español podemos decir que los sistemas RAM, son Sistemas de Fiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad.

Este TFG surge para la resolución del siguiente problema

Los fabricantes de material Rodante saben que sus trenes pueden fallar, que deberán ser reparados y estar disponibles para sus clientes. El problema viene cuando el cliente pide al fabricante que le dé garantías de que su tren, tranvía, cercanías o cualquier tipo de material rodante sea fiable, que no haya que dedicarle mucho tiempo de mantenimiento o que va a estar disponible para realizar todos los viajes que están programados.

Hasta hace unos años los fabricantes, podían abusar mucho del principio de "prueba error", para realizar un incremento de fiabilidad, aunque no podían dar un valor concreto de fiabilidad, e intentaban obtener grandes niveles de fiabilidad a base de sobre diseño, donde no se valoraba usar técnicas que cuantificaran esa fiabilidad. Por lo tanto se tenían que realizar más ensayos y pruebas en los procesos de fabricación y con numerosos controles de calidad.

Lo explicado anteriormente para fiabilidad, también sucedía con la mantenibilidad y la disponibilidad de este material rodante.

Por lo tanto el principal fabricante en ningún momento podía dar valores cuantitativos de su material rodante y tampoco podía demostrar que tras el ensamblado del material rodante la fiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad de sus componentes iba a aumentar o disminuir ni en qué grado.

Entonces para subsanar este problema lo que se va a realizar a lo largo de este TFG es realizar un estudio RAM y la implantación de la norma Europea EN 50126.

Esta norma Europea EN 50126, (Railway applications – The specification and demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety), se adaptará conforme se necesite, por lo tanto a lo largo de este TFG se incluirán fragmentos de la misma.

Y el análisis RAM se hará con el objetivo de mostrar cómo se puede garantizar a los clientes que el material rodante va a alcanzar unos niveles de fiabilidad,

mantenibilidad y disponibilidad óptimos y acordes a sus requisitos de una manera cuantitativa y cualitativa.

Para conseguir la total implantación de la norma se desarrollaran las diversas etapas que figuran en la misma, aunque adaptadas, en las cuales se aplicarán, entre otros, formulas estadísticas, modelos matemáticos, análisis de fallos, asignaciones y predicciones de Fiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad entre otros.

Como no se pretende que este TFG sea solo teórico se expondrá un caso práctico de material rodante, para poder analizar si este es fiable, mantenible y disponible.

Finalmente se realizará una conclusión del caso práctico así como lo aprendido con este trabajo.

Palabras clave:

- Desarrollo
- Gestión
- Fiabilidad
- Mantenibilidad
- Disponibilidad

2. ABSTRACT

The Final Project subject is about developing a RAM system, where the term RAM means Reliability, Availability and Maintainability

This final project comes from the resolution of the next problem.

In the rolling stock world everybody knows that the vehicles can fail, they must be repaired and available but the problem is that the manufacturer cannot guaranty reliability, availability or maintainability.

Years ago, those manufacturers abused of many quality controls, test or trials therefore they got overpriced vehicles and in the same time they could not prove those RAM values neither quantitatively nor qualitatively.

For these reasons the European Standard En 50126 is going to be used in order to solve the problem.

Besides a RAM analysis is going to be done too with the object of show how the manufacturer can guaranty reliability, availability and maintainability levels.

In order to get the fully implantation of the European Standard is necessary to develop the different phases which are explained in the Standard, using different statistics or mathematical methods, failure analysis, RAM allocation and RAM prediction. In addition practical exercises will be made in order to show some examples.

Finally a conclusion will be elaborate, explaining everything that this project has shown.

Key word:

- Development
- Management
- Reliability
- Maintainability
- Availability

3. INTRODUCCIÓN

La idea de este TFG viene marcada por las prácticas que realice en la empresa CAF (Construcción y Auxiliar de Ferrocarriles), a la cual estoy muy agradecido que me introdujera en el estudio de Sistemas RAMS.

Antes de dichas prácticas no tenía ningún tipo de conocimiento sobre este tema, pero mediante estaba realizando tales prácticas fui adentrándome en este tipo de conceptos, lo cual me hizo sentir la curiosidad por un estudio mucho más profundo sobre RAM, para lograr una total compresión sobre el tema.

Lo explicado anteriormente ha sido mi principal motivación para realizar este TFG, pero no la única.

Como todo estudiante, desde que comienzas tu estudios básicos hasta que te encuentras en la universidad no sabes si lo que has estado estudiando en la carrera lo vas a aplicar en un futuro o si te puede llegar a servir para algo. En mi caso los conocimientos que he ido adquiriendo a lo largo del grado me han servido para enfocar este TFG de una manera objetiva y eficaz, planificando las distintas etapas que puedo realizar y como lo voy a llevar a cabo.

Y por lo tanto otra motivación para realizar este trabajo ha sido el reto de intentar adaptar las aptitudes que he desarrollado en el grado a un proyecto en la vida real, viendo sus complicaciones e intentando resolverlas.

Como modo de introducción al desarrollo de este TFG me gustaría aclarar cuáles son los objetivos de la realización de este TFG

- Mostar como se puede garantizar a los clientes que el material rodante tiene los niveles de fiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad que ellos requieran de una manera cuantitativa y cualitativa.
- Mostrar un procedimiento, explicando los pasos necesarios para llevar a cabo el primer objetivo y los resultados que podemos obtener.

4. ESTADO DEL ARTE

4.1. RELIABILITY (FIABILIDAD)

4.1.1. *Introducción*

La fiabilidad viene definida como la probabilidad de que un componente o sistema realice una función requerida por un periodo de tiempo dado bajo ciertas condiciones durante un tiempo determinado. Es la probabilidad del no fallo en un tiempo determinado.

Aunque para determinar la fiabilidad en el sentido operacional, esta definición debe de ser más específica:

Primero, se debe establecer una descripción de fallo que sea observable y no ambigua. Los fallos deben ser definidos en relación con la función que va a llevar a cabo el sistema.

Segundo, la unidad de tiempo debe de ser definida, es decir, el intervalo específico de tiempo entre los fallos deben estar basados en tiempo de reloj, en horas de operación o en ciclos. Aunque también se puede encontrar a la fiabilidad no definida por el tiempo sino por la distancia, dependiendo de los kilómetros que haga el material rodante sin fallos.

Tercero, el sistema debe ser observado bajo una actuación normal, incluyendo factores como cargas diseñadas (peso, presión), medio ambiente (temperatura, humedad, vibraciones, altura) y condiciones de operación (uso, almacenaje, mantenimiento, transporte).

Antes de introducir varios parámetros de la fiabilidad es muy importante que la palabra "fallo" quede definida y entendida completamente, por lo tanto la definición de fallo es la siguiente:

"Es la no conformidad de algún criterio de rendimiento definido"

El hecho de hablar de la palabra "fallo", serviría para estudiar cualquier caso de fiabilidad, pero para concretar en el estudio de la fiabilidad de material rodante y en este caso de un tranvía, interesa conocer la definición de "avería" la cual es:

"Cualquier disfunción en el material móvil, desde sus características funcionales hasta sus condiciones de integridad, que se produzcan durante la circulación en línea o

talleres, que impida al material móvil disponer de sus prestaciones de servicio normales, y que requiera una intervención de mantenimiento imprevisible”

Por lo tanto se puede considerar “fallo” y “avería” como análogas

Cabe destacar que esta intervención puede reducirse a un simple diagnóstico y nueva puesta en servicio o puede requerir muchas horas de trabajo para arreglar la avería. Quedan fuera del concepto de avería aquellos fallos o mal funcionamientos causados por:

- Mal trato del material móvil o de los equipos
- Uso indebido de las funciones o los equipos del tren
- Vandalismo
- Maniobras falsas o indebidas
- Averías inducidas por otra, en el mismo momento. Únicamente se contarán como averías diferentes si inciden sobre grupos funcionales diferentes
- Reemplazo en su fecha prevista de materiales y partes fungibles (consumibles)

4.1.2. Modelo de Fiabilidad

Una vez ha quedado clara todas las definiciones de fiabilidad hay que destacar que esta fiabilidad va a ir ligada a eventos aleatorios (por eso haremos uso de la estadística).

Tales eventos se modelan asumiendo una “Función Fallo”, la cual es una variable aleatoria continua.

4.1.2.1. Variable aleatoria continua

Una variable aleatoria continua puede concebirse como un valor numérico afectado por eventos aleatorios, como puede ser las averías. Esta variable aleatoria no podrá concretar con exactitud el valor pero si que otorgará una distribución de probabilidad asociada al conjunto de valores posibles.

Esta variable aleatoria continua proporciona la probabilidad de fallo en un tiempo determinado para un Elemento /Componente / Subsistema / Sistema, función la cual se caracteriza por una “Función de Densidad de Fallo” $f(t)$ y una “Función de Distribución de Fallo” $F(t)$.

4.1.2.1.1. Función de Densidad de Fallo $f(t)$

Esta $f(t)$, permitirá calcular la probabilidad de nuestra variable aleatoria la cual este entre un intervalo $[a,b]$, para ello se calculará la integral definida de esta $f(t)$ con límite inferior “a” y límite superior “b”, siendo “a” y “b” números reales.

$$P[a \leq t \leq b] = \int_a^b f(t) dt$$

4.1.2.1.2. Función de Distribución de Fallo $F(t)$

Dada nuestra $f(t)$ podemos definir $F(t)$ como la probabilidad de que nuestra variable aleatoria sea menor o igual que un determinado valor "x"

Y como la variable aleatoria "t" hace referencia al tiempo podemos considerar que el límite inferior será 0, por lo tanto:

$$F(x) = P[t \leq x] = \int_0^x f(t) dt$$

4.1.2.1.3. Aplicación de la estadística

Dada la definición de fiabilidad que se ha explicado anteriormente se puede aplicar a la estadística como una función $R(t)$ que representa la probabilidad de que el sistema/componente, etc. no falle dentro del intervalo $(0,t)$

Dicha función presenta la siguiente relación con la función de distribución de Fallos $F(t)$:

$$R(t) = 1 - F(t) = P(T > t)$$

Existen varias Funciones de Fallo asociadas con los estudios de Fiabilidad. La adopción de cualquiera de estas funciones depende del grado de ajuste de los datos al proceso a considerar o de la función considerada o del tipo de fenómeno a analizar. Las funciones más usuales son la Distribución Exponencial, la Distribución Weibull, la Distribución Normal, la Distribución Log-Normal, la Distribución Binomial y la Distribución de Poisson.

De todas ellas, la más ampliamente utilizada en cálculos de fiabilidad es la distribución Exponencial, por su comodidad a la hora de efectuar cálculos y por su adecuada representación de todo tipo de sucesos, dentro del rango de tiempos de la vida del sistema en estudio, en el que los fallos del mismo se deben a sucesos aleatorios.

- Distribución Exponencial

Se caracteriza por el hecho de que asume que el índice de fallos es constante. Y si utilizamos la distribución exponencial como función de densidad de probabilidad podemos obtener lo siguiente:

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

Por lo tanto podemos obtener la siguiente función de Distribución de Fallo $F(t)$:

$$F(t) = \int_0^t \lambda \cdot e^{-\lambda \cdot t} = [-e^{-\lambda \cdot t}]_0^t = 1 - e^{-\lambda \cdot t}$$

Una vez obtenida la función de Distribución de Fallo $F(t)$, pasaremos a la obtención de la función de probabilidad de que un sistema/componente no falle dentro del intervalo a estudiar.

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

Por lo tanto todas las formulas serán las siguientes y se demostrará que la tasa de fallos es constante

$$\begin{aligned} f(t) &= \lambda \cdot e^{-\lambda t} \\ R(t) &= e^{-\lambda t} \\ F(t) &= 1 - e^{-\lambda t} \\ \lambda &= h(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \text{cons.} \end{aligned}$$

Siendo,

$R(t)$:fiabilidad

$F(t)$:función de distribución de fallo

$f(t)$:función de densidad de fallo

$h(t)$:tasa de fallo

Un parámetro ampliamente utilizado en los estudios de fiabilidad es el "Tiempo Medio entre fallos" (MTBF), el cual se explica y se realiza un caso práctico en el apartado 4.1.4.1, que se define del siguiente modo:

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

En el caso de la Distribución Exponencial se cumple lo siguiente:

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

Por tanto, en el caso de la Distribución Exponencial, en la que la tasa de fallos/avería es constante, el MTBF se define como la inversa de la tasa de fallos constante λ .

Es importante mencionar que el hecho de que la tasa de fallo sea constante es únicamente cierta para el caso de que el sistema siga un comportamiento definido por la Función Exponencial de fallo. Por lo tanto para justificar esto haremos uso de este modelo para los estudios de fiabilidad del material rodante

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

- **Fase de fallos infantiles:** corresponde a dispositivos defectuosos con una tasa de fallos superior al índice normal debido a fallos latentes del propio material, fallos de fabricación, etc.
- **Fase de fallos aleatorios:** estos fallos se producen durante la vida operativa normal del equipo. Estos fallos son inesperados.
- **Fase de fallos por envejecimiento y/o desgaste:** se produce cuando se sobrepasa la vida operativa prevista del componente debido a factores como desgaste, fatiga, etc.

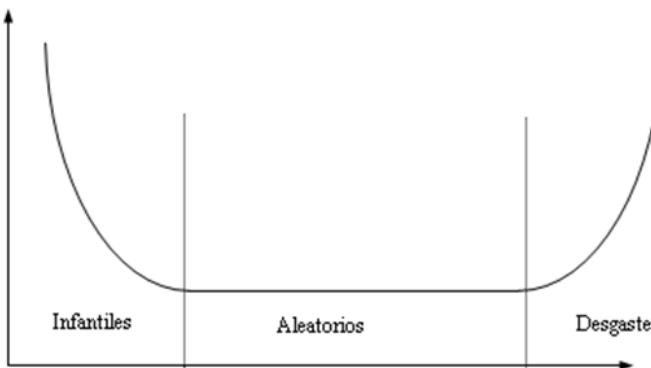


Figura 1. Curva de bañera

La Distribución Exponencial describe el comportamiento en la zona de fallos aleatorios en la que la tasa de fallos es constante. Las características particulares de esta distribución simplifican mucho los cálculos a realizar por lo que es ampliamente utilizada en estudios de diversos campos. La validez de la Función Exponencial en relación con su aplicación para todo tipo de sistemas ha sido una cuestión muy debatida. En la actualidad, rigurosos estudios han demostrado que su utilización en sistemas de índole eléctrica / electrónica está plenamente justificada y es idónea. Para los sistemas mecánicos (en los que los procesos de desgaste y fatiga son fundamentales), se considera más adecuada (desde el punto de vista de la matemática formal) la función de Weibull, si bien, se ha demostrado que para los sistemas multicomponentes, el uso

de la función Exponencial es igualmente válido (además de más cómodo e intuitivo). Incluso a nivel de componentes individuales mecánicos, se observa que los resultados de fiabilidad alcanzados por la función de Weibull respecto a la Exponencial apenas difieren. Además los cálculos necesarios para llevar a cabo cualquier estudio que intervenga la función de Weibull serán más arduos y laboriosos.

Dados estos hechos consideramos que el modelo matemático de la distribución exponencial cubrirá con creces los estudios de fiabilidad de una manera muy competente

4.1.3. Entendiendo Parámetros de Fiabilidad

Los clientes pueden definir sus requerimientos de fiabilidad de formas distintas, y a continuación trataremos de explicarlas, aunque en primer lugar debemos dejar claro lo siguiente:

El símbolo que vamos a utilizar para los ratios de fallo/avería será “ λ ” (lambda), del cual hemos hablado en el apartado anterior. Considerando que en un número de sujetos “N”, en un tiempo “t”, número “k” se ha averiado.

El tiempo acumulado “T”, será “Nt” si asumimos que cada fallo es remplazado cuando ocurre mientras que cuando en el caso de no reemplazar “T” vendría dado por:

$$T = [t_1 + t_2 + t_3 \dots t_k + (N - k)t]$$

Donde t_1 es la ocurrencia de la primera avería, t_2 la de la segunda etc... y T vendrá dado en horas (h)

Una vez entendido esto, podemos hablar de ratio de avería, el cual quedará definido como: El número total de averías respecto al tiempo acumulado en el tiempo de estudio.

Por lo tanto:

$$\lambda = \frac{k}{T}$$

Cabe destacar que el valor de “ λ ” será una media sobre el tiempo a estudio en cuestión. Y el valor obtenido tendrá una unidad de averías/hora.

A modo de ejemplo y para que quede más claro hablaremos de las averías producidas en la puertas de un tranvía.

Supongamos que el proveedor de puertas de acceso al tranvía remite unos estudios de sus ensayos, los cuales dictaminan que durante un estudio de 10.000 horas se han producido 3 averías en una puerta.

Por lo cual:

$$\lambda = \frac{3}{10.000} = 3 \cdot 10^{-4} \frac{\text{Avería}}{\text{Horas}}$$

4.1.4. Formas de Interpretar la Fiabilidad

Las formas más comunes de interpretar la fiabilidad pueden ser:

- MTBF
- MKBF

4.1.4.1. MTBF (Tiempo Medio Entre Fallo)

El MTBF viene del acrónimo Mean Time Between Failure.

En el apartado anterior en el que hablamos del ratio de avería, llegamos a un resultado el cual no aporta mucho valor al verlo a simple vista, pero si utilizamos la siguiente fórmula para obtener el MTBF dará un valor más visual:

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{3 \cdot 10^{-4}} \approx 3.333 \frac{\text{Horas}}{\text{Avería}}$$

Con el MTBF se obtiene un valor el cual expresa las horas necesarias para que se produzca una avería

4.1.4.2. MKBF (Distancia Media Entre Fallo)

Con la fiabilidad que vamos a calcular es para material rodante, podría ser interesante otra unidad de medida como puede ser el MKBF, el cual viene del acrónimo Mean Kilometers Between Failure el cual establece la distancia en kilómetros entre fallos o averías.

Para obtener esta unidad de medida solamente necesitaremos un factor de conversión de fiabilidad (FCF), el cual podremos obtener con los siguientes datos:

- Media de kilómetros realizados al año por el tranvía $\frac{km}{año}$
- Días de operación al año: $\frac{días}{año}$
- Horas de tranvía encendido al año $\frac{horas}{días}$

Por lo tanto el factor de conversión lo podremos obtener de la siguiente manera:

$$FCF = \frac{\text{Media de kilómetros realizados al año por el tranvía}}{\text{Días de operación al año} \cdot \text{Horas de tranvía encendido al año}} = \frac{\frac{km}{año}}{\frac{días}{año} \cdot \frac{horas}{días}} = \frac{km}{horas}$$

Para seguir con el ejemplo y facilitar el entendimiento de este factor de conversión consideraremos que:

- Media de kilómetros realizados al año por el tranvía: $90.000 \frac{km}{año}$
- Días de operación al año: $365 \frac{días}{año}$
- Horas de tranvía encendido al año: $19 \frac{horas}{días}$

$$FCF = \frac{90.000}{365 \cdot 19} = 13 \frac{km}{hora}$$

Siguiendo con el ejemplo de las puertas del apartado anterior:

$$MTBF \cong 3.333 \frac{Horas}{Avería}$$

$$MKBF = FCF \cdot MTBF = 13 \cdot 3.333 \approx 43.333 \frac{km}{horas}$$

De esta manera podemos interpretar que cada dos averías habrá unos 43.333 km de distancia recorrida por el tranvía.

4.2. MAINTAINABILITY (MANTENIBILIDAD)

4.2.1. *Introducción*

La mantenibilidad es definida como la probabilidad de que un componente o un sistema falle y tenga que ser reparada en unas condiciones específicas y requiera un mantenimiento en un periodo de tiempo de acuerdo a los procesos prescritos, es decir, Mantenibilidad es la probabilidad de reparar el sistema o componente en un determinado tiempo.

En este caso la unidad a utilizar va a ser el tiempo de reloj de llevar a cabo tal actividad de mantenibilidad, excluyendo el tiempo perdido por personal, tiempo de viaje o retrasos administrativos.

Para entender el concepto de mantenibilidad es necesario explicar el concepto de mantenimiento, los cuales no son iguales.

El Mantenimiento es definido como todas las acciones que tienen como objetivo mantener un artículo o restaurarlo a un estado el cual pueda llevar a cabo alguna función requerida. Siendo estas acciones de diferentes tipos.

1. Mantenimiento de Conservación: Se compensará el deterioro que ha sufrido el sistema por el uso, agentes climáticos etc

1.1. Mantenimiento Correctivo: Corregirá defectos o averías ya causadas

- 1.1.1. Inmediato: Se realiza inmediatamente al percibir la avería o defecto
- 1.1.2. Diferido: Se para la instalación, hasta que se disponga a realizar la reparación
- 1.2. Mantenimiento Preventivo: es el encargado de garantizar fiabilidad de los sistemas antes de que se produzcan averías o fallos
 - 1.2.1. Programado: Se realiza por tiempo de funcionamiento , kilometrajes etc
 - 1.2.2. Predictivo: Se realizará prediciendo el momento en el que el sistema va a quedarse fuera de servicio
 - 1.2.3. De oportunidad: Es el que aprovecha las paradas o periodos de no uso de los sistemas
- 2. Mantenimiento de Actualización: El propósito de este es compensar obsolescencia tecnológica.



Ilustración 1 Tipos de Mantenimiento

De todos estos tipos de mantenimiento que han sido explicados, se les va a prestar más atención al mantenimiento Correctivo, que es al cual se le puede aplicar el término de Mantenibilidad, ya que para que un sistema o componente falle, previamente se ha debido de estropear.

En el caso del mantenimiento preventivo no puede ser aplicable ya que las tareas que se implantan en el mantenimiento preventivo se realizarán antes de que falle el componente o sistema.

4.2.2. Aplicación a Material Rodante

El concepto de mantenibilidad definido anteriormente es una definición general, la cual debemos adaptar a los sistemas del material rodante.

Por lo tanto se entiende por Mantenibilidad de un material móvil su aptitud para ser mantenido (o reparado) hasta un estado en el que puede cumplir perfectamente la función para la que ha sido diseñado.

Una buena mantenibilidad permitirá optimizar en coste y tiempo el conjunto de las operaciones de mantenimiento, favoreciendo la disponibilidad de la flota, en momentos como horas punta dona la mayoría de la flota esta en servicio.

Los puntos que podríamos optimizar si cumplimos los objetivos de Mantenibilidad podrían ser los siguientes:

- Tiempo de mantenimiento
- El stock de piezas de repuesto
- Necesidad de personal
- Necesidades de herramientas y máquinas
- Infraestructuras del taller

Las tareas de mantenibilidad que se pueden llevar a cabo sobre el material rodante serán las propias del mantenimiento correctivo como pueden ser:

- Remplazamiento de un bogie, pantógrafo, puerta...
- Reparación de un enganche, ventana...

4.2.3. Formas de interpretar la Mantenibilidad

4.2.3.1. MTTR (Tiempo Medio de Reparación)

El MTTR viene del acrónimo Mean Time To Repair, y su función es dar la información de cuál es el tiempo medio de las actividades de reparación.

A continuación se explicará el tiempo que se utiliza en las actividades de reparación:

- Detección de fallo: Es el tiempo que transcurre desde antes de que se detecte el fallo
- Acceso a Fallo: Es el tiempo que transcurre desde que te das cuenta del fallo hasta que haces contacto con el fallo, esto puede ser de manera visual por medio de pantallas o ver el propio fallo en el sistema
- Diagnóstico: Es el tiempo que transcurre desde que el fallo ha sido detectado hasta que se toma la decisión de que medidas correctivas vamos a llevar a cabo
- Reemplazamiento: El tiempo invertido en cambiar la pieza, ajustar conexiones, cables etc...
- Comprobación: El tiempo utilizado en comprobar que las condiciones del fallo ya no están presentes y que el sistema funciona correctamente.

- Alineación: Tiempo necesario para realizar ajustes por el hecho de introducir un nuevo módulo en el sistema.

Por lo tanto el tiempo medio de reparación de un equipo o sistema sería la suma de los tiempos de las actividades anteriores. Y el MTTR global del vehículo sería la media de los tiempos medios de reparación de los equipos o sistemas más importantes.

$$MTTR_{Global} = \frac{MTTR_1 + MTTR_2 + MTTR_3 + \dots + MTTR_n}{N}$$

Esta ecuación es una simple media aritmética de los tiempos de reparación, y para que quede más claro haremos el siguiente ejemplo:

- MTTR del bogie: 4 h
- MTTR del pantógrafo: 2 h
- MTTR puerta: 1,5 h
- MTTR ventana: 0,5 h

Por lo tanto:

$$MTTR_{Global} = \frac{4 + 2 + 1,5 + 0,5}{4} = \frac{8}{4} = 2 \text{ horas}$$

De esta manera diríamos que el tiempo medio de reparación del tranvía sería de 2 horas

4.3. AVAILABILITY (DISPONIBILIDAD)

4.3.1. *Introducción*

La disponibilidad es la probabilidad de que los componentes o sistemas del vehículo puedan realizar la función para la que han sido creados en un determinado momento

4.3.2. *Aplicación a material rodante*

A la hora de dar una definición aplicada al entorno de material rodante, diremos que la disponibilidad que vamos a considerar tanto por parte de la empresa como al cliente, va a ser la disponibilidad de la flota de vehículos, por lo tanto no se profundizará en la disponibilidad de los sistemas o componentes.

La disponibilidad depende tanto de la fiabilidad como de la mantenibilidad.

4.3.3. *Formas de Interpretar la Disponibilidad*

Las maneras para interpretar y poder calcular la disponibilidad dependen de cuando las queremos calcular:

- Antes de estar en servicio el tranvía
- Durante el servicio del tranvía

4.3.3.1. *Antes de Servicio*

Para poder interpretar la disponibilidad antes de que el tranvía este puesto en servicio tendremos que utilizar cálculos teóricos, ya que todavía no podemos medir ni cuantificar la disponibilidad del tranvía.

Para ello servirá de ayuda los términos que hemos explicado anteriormente MTTR y MTBF. Aunque en este caso no será de un solo equipos particulares, como pueden ser las puertas, sino que serán de los principales sistemas del tren.

La fórmula que va a ayudar a obtener el futuro porcentaje de disponibilidad del tren se basa en que si sabemos el tiempo medio entre fallo y el tiempo medio que se va a estar reparando obtendremos el porcentaje de disponibilidad de toda la flota.

Cabe destacar que el cálculo de la citada disponibilidad excluye todas aquellas faltas de material móvil que no sean imputables al material o al Suministrador, como pueden ser vandalismo, error de un operador, parada de explotación debido a condiciones climatológicas, accidentes, parada de unidades por uso en formaciones, etc.). A los trenes detenidos por estos motivos no imputables al Suministrador se llamarán trenes inmovilizados. Para el cálculo del valor D de disponibilidad, los trenes que estén inmovilizados tal y como se ha definido más arriba, se contarán como "disponibles" (no se penalizará al Suministrador por su no disponibilidad). También se contarán como "disponibles" los trenes que estén bajo operaciones de grandes reparaciones y en la operación de media vida

Quedando la siguiente formula:

$$D = \frac{MTBF}{MTTR + MTBF} \cdot 100$$

Para entenderlo de unas manera más sencilla se considerará los siguientes datos para un ejemplo:

- MTBF = 400 horas
- MTTR = 2 horas

De esta manera:

$$D = \frac{400}{2 + 400} \cdot 100 = 99,50\%$$

Con este cálculo podríamos concluir que la disponibilidad de los tranvías es del 99,50% debido a su alta fiabilidad y su bajo tiempo medio de reparación.

4.3.3.2. Durante el Servicio

También puede ocurrir que interese medir la disponibilidad una vez el tranvía este en servicio, ya sea para comprobar que la disponibilidad prometida por parte del constructor se cumple o que el constructor quiere asegurarse de la disponibilidad actual.

Para hallar la disponibilidad de la flota tendremos que hacer mediciones durante el servicio, estas mediciones se basaran en la relación entre los vehículos listos para prestar servicio comercial y la totalidad de la flota.

Por lo tanto podríamos introducir la siguiente formula:

$$D = \frac{\text{Número de trenes listos}}{\text{Número total de trenes en la flota}} \cdot 100 \text{ [%]}$$

Expresándose en un tanto por cierto (%), y lo más recomendable sería hacer las mediciones siempre a la misma hora y a poder ser al inicio de la hora punta por la mañana.

Esta disponibilidad puede ser medida mensualmente, realizándose la media de las disponibilidades diarias.

Para introducir un ejemplo supondremos lo siguiente:

- Nº de tranvías : 30
- Número de tranvías disponibles todos los días durante 30 días
- En 4 días los tranvías disponibles son 29
- En 26 días los tranvías disponibles son 30

Por lo tanto:

$$D = \frac{\text{Número de tranvías listos en 30 días}}{\text{Número total de tranvías en 30 días}} \cdot 100 = \frac{29 \cdot 4 + 30 \cdot 26}{30 \cdot 30} \cdot 100 = 99,55\%$$

Así de esta manera podríamos corroborar que la disponibilidad calculada cuando el tranvía aún no estaba en servicio concuerda con la disponibilidad real.

5. DESARROLLO

5.0. LA EMPRESA

En este TFG se usará el rol de una empresa que genera, produce y suministra material rodante, y aunque este trabajo se encargue de estudiar el proceso RAM, para hablar de él y poderlo entender es necesario dar una información sobre la estructura de la empresa y cómo actúa.

Cabe destacar que el significado de las siglas RAM son los siguientes:

- Reliability (Fiabilidad), que se estudiará en la sección: 4.1
- Availability (Disponibilidad), que se estudiará en la sección: 4.3
- Maintainability (Mantenibilidad), que se estudiará en la sección: 4.2

5.0.1. ORGANIGRAMA DE LA EMPRESA

Para el estudio de Sistemas RAM no interesa conocer el organigrama de la empresa al completo, si no que bastará con el que a RAM se refiere y afecta. Por lo tanto el organigrama que se observa más adelante representa a la sección de ingeniería, dejando de lado áreas como Compras, Calidad, Administración etc.

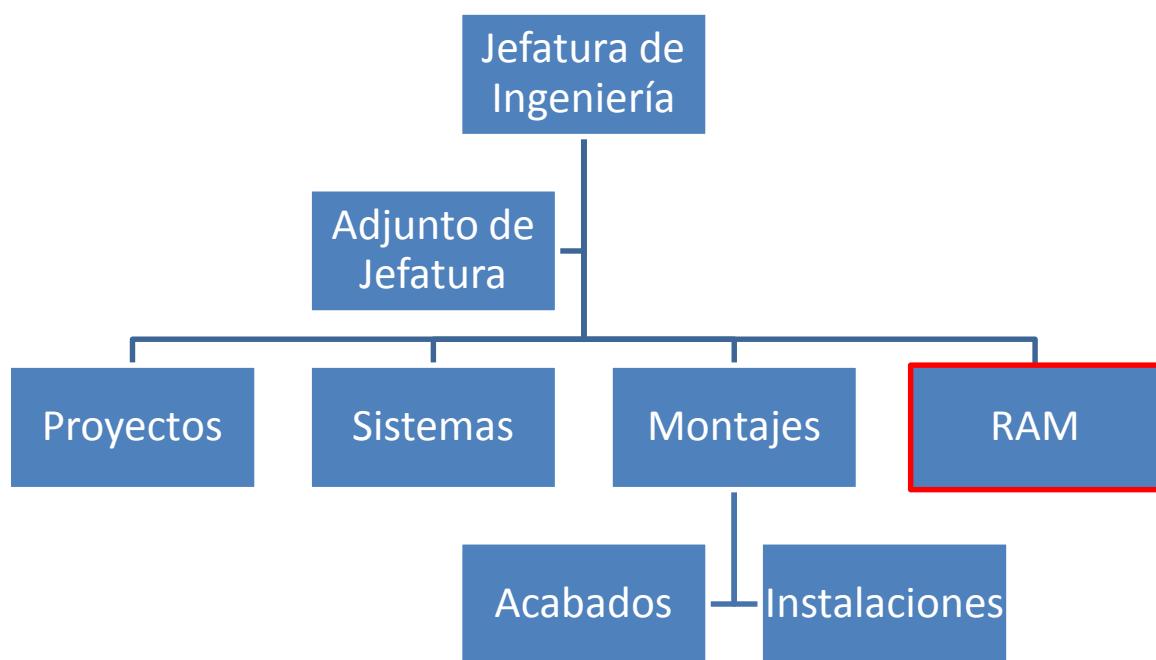


Ilustración 2 Organigrama

Una vez visto el Organigrama de la sección de ingeniería se explicará brevemente.

- Jefatura de ingeniería: El Jefe de la sección de Ingeniería por el que pasarán las decisiones más importantes y tendrá la última palabra
 - Adjunto de Jefatura: Subordinado del Jefe de ingeniería el cual le ayudará con temas burocráticos y de papeleo
- Proyectos: Aquí están los diferentes jefes de proyectos (JP), los cuales se encargarán de transferirle toda la información de su proyecto concreto, al jefe de ingeniería para que este lo valide.
- Sistemas: En este departamento se encontraran los encargados de estudiar cómo afectan los sistemas al funcionamiento del material rodante.
- Estructuras: Aquí se encontraran los trabajadores encargados de realizar los planos y cálculos de las diferentes estructuras que montará el vehículo
- Montajes: Los operarios encargados de ensamblar las diferentes piezas de los vehículos para su correcto funcionamiento
 - Acabados: Trabajarán los últimos retoques del vehículo
 - Instalaciones: Trabajarán e instalaran todos los equipos necesarios
- RAM: Equipo encargado de Fiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad

5.0.2. ANTES DE SISTEMAS RAM

Antes de comenzar con el desarrollo de este TFG se mostrará un escueto resumen, del proceso que se llevará a cabo desde que se genera un proyecto hasta que se empieza a trabajar el área RAM.

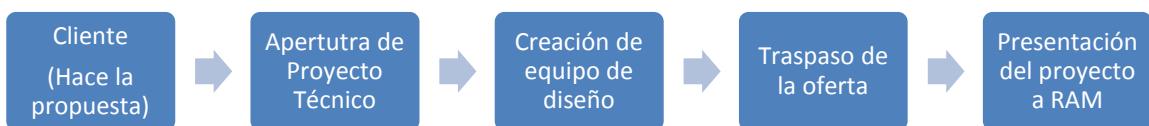


Ilustración 3. Proceso antes de empezar con el estudio RAM

A continuación se procederá a explicar estas fases, para más adelante comenzar con el desarrollo del TFG.

Cliente:

A la hora de hablar de cliente se puede hablar de empresas privadas o ayuntamientos... los cuales quieren construir algún tipo de material rodante como puede ser uno de los siguientes, los cuales introduciremos de una manera muy breve:

- Regionales, servicio de media y larga distancia:

Este tipo de trenes, en España por ejemplo, son encargados de comunicar la mayor parte de municipios de cada provincia con la capital provincial o autonómica.

Generalmente no posee una clase preferente ni cafetería y donde se puede viajar de pie. Efectuando numerosas paradas para intercomunicar la mayor parte de las localidades atravesadas por la línea.

La frecuencia de estas paradas no suele ser muy rápida, ya que pueden variar entre los 30 o 60 minutos, o en algunos casos pueden ser viajes esporádicos a lo largo del día.

- Trenes de Cercanías:

En este caso se habla de un sistema de transporte masivo, el cual conecta entre sí las ciudades principales con los alrededores o con otros núcleos de población cercanos.

Sus trayectos suelen ser interurbanos y de corta distancia

- Metros:

En este caso también se habla de transporte masivo (superando a los trenes cercanías), los cuales operan en grandes ciudades para unir diversas zonas de la ciudad y alrededores muy próximos.

Suelen circular bajo tierra con altas frecuencias y gran capacidad de transporte, siendo independiente del resto del tráfico

- Tranvías

Este medio de transporte es similar al metro, pero circula por la superficie, en calles de la ciudad, en ocasiones separadas del resto de la circulación y en otros casos compartiendo vía con otros vehículos.

El número de pasajeros suele ser, dependiendo de los módulos que tenga entre 150-250 pasajeros.

- Locomotoras:

En este caso hablamos de un material rodante con motor, el cual da tracción a los trenes, lo que le convierte en una de las partes más importantes de estos.

Apertura de proyecto Técnico:

Se procederá a abrir un nuevo proyecto, específico para el cliente

Creación de equipo de diseño:

Antes de tener una primera conversación con el cliente, tendremos que designar un Jefe de Proyecto (JPOT), el cual será designado por el jefe de Ingeniería.

De esta manera el JPOT y los responsables de cada área formarán el Equipo de Diseño.

Traspaso de Oferta:

Una vez tenemos el Equipo de Diseño deberemos realizar el traspaso de la Oferta, la cual se llevará a cabo mediante un encuentro entre el responsable técnico de la Oferta y el Jefe de Proyecto, donde se tratarán los siguientes temas:

- Traspaso del pliego de condiciones de la Oferta e información complementaria:

Esto se realizará estudiando el pliego de condiciones que remita el cliente, de donde se diferenciarán las distintas partes a las que conciernen, es decir, se diferenciarán las partes técnicas, las partes de diseño, los requisitos RAM ..etc.

Con el fin de facilitar el trabajo y la organización del mismo.

- Traspaso de la planificación del Proyecto a nivel de Oferta:

Tras haber recibido las exigencias del cliente en el pliego de condiciones, el siguiente paso será generar nuestra oferta, en la cual tendremos en cuenta todas las condiciones que ha pedido el cliente, aunque si hay algún punto en el cual no estamos conforme se puede negociar con ellos.

- Análisis inicial de aspectos críticos de la Oferta, apoyándose en la Revisión del Contrato y de la Oferta:

Tras haber lanzado nuestra oferta y haber sido aceptada por el cliente, se generará un contrato.

Una vez firmado dicho contrato habrá que hacer un análisis inicial con los aspectos más críticos de la Oferta con el fin de dar prioridad a los temas más relevantes.

Presentación del proyecto a RAM:

Una vez realizado este análisis inicial de los aspectos más críticos y del Plan de Proyecto de Ingeniería, el jefe de Proyecto realizará una presentación del Proyecto Técnico al Equipo de Diseño, a los responsables de las áreas de Ingeniería y al responsable RAM

5.1. INGENIERÍA BÁSICA

Cuando se habla de ingeniería básica, se dará, valga la redundancia, la información básica de la ingeniería del proyecto, como podría ser la principal información del mismo, definiciones, cálculos de los procesos principales así como el método, técnicas o recursos que vamos a utilizar a lo largo de todo el proyecto.

5.1.1. *Tipo de Material Rodante*

Como se comentó antes, el cliente puede pedir la fabricación de diferentes tipos de materiales rodantes, por lo tanto a continuación se particularizará en un caso concreto, al cual se le aplicaran todas las actividades, metodologías, ensayos, protocolos a lo largo de este TFG

5.1.1.1. *Tranvía*

El caso que se estudiará es que el cliente solicita la construcción de un tranvía.

El hecho de elegir el caso particular del tranvía es por hacer más fácil la recopilación de datos para este TFG, ya que nuestra ciudad de Zaragoza tiene un tranvía.

5.1.2. *Identificación de Requisitos RAM contractuales*

A partir de ahora habrá que centrarse en lo que al área RAM afecta, por lo tanto las explicaciones y descripciones que se dan a continuación es centrándose en la fiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad

Por lo tanto para la identificación de los requisitos RAM contractuales se analizaran las especificaciones técnicas y los acuerdos comerciales para extraer los requisitos RAM contractuales del proyecto, los cuales se obtendrán de los siguientes documentos:

- Pliego de Condiciones
- Contrato
- Oferta

5.1.2.1. *Requisitos/Pliego de Condiciones*

Una vez que el cliente se pone en contacto con la empresa para que diseñe el material rodante, este enviará un pliego de condiciones, donde quedará por escrito las características que el cliente desea que tenga su material rodante.

Este pliego de condiciones nunca será el mismo de dos clientes diferentes, ya que puede haber clientes, que tienen un muy buen conocimiento, en lo que material rodante se refiere, por lo tanto puede exigir muchas condiciones para lograr un gran vehículo.

Por el contrario, puede existir un cliente con poca experiencia, la cual simplemente diga la distancia y el recorrido que quieren tener, así como la cantidad de pasajeros que prevén que van a tener, por lo tanto el equipo de trabajo podría tener más holgura a la hora de hacer todo el diseño si comparamos con un cliente que pone muchas condiciones a las cuales hay que ser fieles.

A continuación se redactará una lista de posibles requisitos del proyecto o información relevante que el cliente puede aportar.

- **Background:** Información de proyectos anteriores que ya hayan realizado, así como el contexto en el que va a desarrollar su trayecto el material rodante, ya que no será lo mismo si las temperaturas exteriores son bajo 0 durante todo el año o si tienen que atravesar algún túnel, puentes o elevaciones pronunciadas.
- **Fechas:** el cliente puede trasmitir los hitos más importantes del proyecto como puede ser la puesta en marcha del servicio, o cuando quieren recibir su primer vehículo
- **Comunicación:** Donde el cliente impondrá los canales de comunicación que el considere oportunos así como la frecuencia con la que deberían ser comunicados los cambios y procesos del proyecto
- **Causas y Efectos de No Aceptación:** El cliente dictaminará las posibles situaciones en las que no se aceptaría alguna parte del vehículo, o podría llegar incluso a la no aceptación de proyecto completo, como pudiera ser defectos de la fabricación o incumplimiento del contrato
- **Composición de la Flota:** El cliente trasmitirá la cantidad de material rodante que necesita, así como los tipos de vagones que tendrá cada uno.
- **Requisitos Técnicos:** Incluyendo capacidad, infraestructura, detalles del sistemas etc...
- **Requisitos De Mantenimiento:** Alcance de limpieza necesaria, actividades de mantenimiento especificando los parámetros y restricciones de tales actividades y quién es el encargado de realizarlas

- Requisitos de Fiabilidad: Parámetros de fiabilidad que se deberán cumplir
- Requisitos de Disponibilidad: Parámetros de Disponibilidad que se deberán cumplir
- Requisitos de Entrega: Especificando qué, cómo y cuándo se van a realizar las entregas de los diferentes vehículos
- Planos: El cliente puede entregar los planos de sus futuros vehículos, así como la distribución del interior de los mismos.
- Maquetado: Se establece cuando serán presentadas las maquetas.
- Garantía : Se especificará la garantía tanto del vehículo en sí, como del proyecto completo

Cabe destacar, que sería un caso muy extraño que un cliente aportará todo este tipo de información, como hemos comentado anteriormente, todo dependerá de la experiencia del cliente en material rodante.

5.1.2.2. *Contrato*

El cliente aparte de hacer llegar el pliego de condiciones, remitirá un contrato, donde podremos ver las penalidades en las que se puede incurrir.

Estas penalidades pueden ser encontradas de diferentes maneras, ya que un cliente puede categorizar las infracciones en:

- Leves: Disminución negligente del servicio, retrasos imputables a nuestra empresa, desviaciones de itinerario, falta de mantenimiento por nuestra parte, descuido de limpieza o falta de funcionalidad de elementos de confort, entre otros...
- Graves: No cumplimiento de mantenimiento según la oferta, negligencia en la función empresarial de control de la conducta del personal, expedición de billetes no autorizados por la autoridad vigente u ocasionar daños en el pavimento o instalaciones situados en la vía publica entre otros...
- Muy graves: Obstrucción de nuestra empresa a labores de inspección por autoridades, falseamiento de documentación económica, abandono del servicio de manera injustificada o prestar servicios en condiciones que afecten a la seguridad de las personas que conlleven peligro grave directo, entre otros...

Conllevando cada tipo de infracciones una multa económica distinta.

Aunque estas penalizaciones pueden venir descrita de diferentes formas, pero casi siempre va ligada al incumplimiento de contratos u ofertas.

5.1.2.3. *Oferta*

Una vez que recibimos el pliego de condiciones del cliente, nuestra empresa tiene que hacer una oferta formal, ya que normalmente el cliente no solo ha mandado su pliego a nuestra empresa, si no que se lo ha mandado a varias y ahora espera las ofertas de las diferentes empresas.

Esta oferta tiene que cubrir con la mayoría de los requisitos del pliego, pero no absolutamente todos, ya que se puede encontrar requisitos del cliente inviables, como pudiera ser una garantía de 100 años.

Ante estos requisitos que no se puedan cumplir, se intentaría acercar lo máximo posible dentro de los límites de la empresa.

5.1.2.4. *Documento resumen de requisitos RAM*

Una vez se ha obtenido, el pliego de condiciones, el contrato y la oferta por parte de la empresa, hay que aclarar el nivel de importancia que tienen estos tres documentos, ya que puede ocurrir que en estos documentos haya información que hable del mismo tema pero sea más restrictivo en un documento o en otro.

Entonces para el equipo de ingeniería tenga toda la documentación clara y no lleve a error, se dictaminará un orden de prioridad a tales documentos.

Y cuando se tenga claro esta prioridad se redactara un documento de "Requisitos Contractuales RAM", donde quede detallado los principales requisitos del cliente, de los cuales los más importantes serán los siguientes:

- Perfil de la misión:

CONDICIONES DE OPERACIÓN POR CADA TRANVÍA	PARÁMETRO	
Días de operación al año [días/año]	365	días/año
Horas de encendido al día [h/día]	19,0	h/día
Media de kilómetros realizados al año por cada Tren [km/año - Tren]	90000	km/año-Tren
FCF (Factor de Conversión de Fiabilidad) Ver apartado 4.1.4.2	13,0	km/h

Tabla 1 Perfil de la Misión

- Requisitos de Fiabilidad (Ver apartado 4.1):

La fiabilidad será definida por el número de fallos por 100.000 kilómetros o el número de fallos en 100.000 horas de operación como unidad de fiabilidad y se diferenciaran los fallos en las siguientes categorías:

OBJETIVOS DE FIABILIDAD DEL PLIEGO					
TIPO DE FIABILIDAD	DESCRIPCIÓN	λ (Fallos/km)	MKBF (km/fallo)	λ (Fallos/km)	MKBF (km/fallo)
FM (Nivel 1)	Fiabilidad Material	3,00E-04	3.333	-	
FS	Nivel 2 Retirada a Fin de Línea	-	-	3,00E-05	33.333
	Nivel 3 Evacuación Inmediata	-	-	4,00E-06	250.000
	Nivel 4 Socorro	-	-	9,00E-07	1.111.111

Tabla 2 Objetivos de Fiabilidad del Pliego

- Requisitos de Mantenibilidad (Ver apartado 4.2):

OBJETIVOS DE MANTENIBILIDAD DEL PLIEGO	
DESCRIPCIÓN	MTTR (h)
El tiempo medio de intervención sobre el vehículo será:	1,5

Tabla 3 Objetivos de Mantenibilidad del Pliego

- Requisitos de Disponibilidad (Ver apartado 4.3):

OBJETIVOS DE DISPONIBILIDAD DEL PLIEGO	
DESCRIPCIÓN	%
El porcentaje mínimo mensual será:	96,0%

Tabla 4 Objetivos de Disponibilidad del Pliego

5.1.3. Definición del Alcance RAM

Tras la identificación de los requisitos RAM que afectan contractualmente se deberá definir el alcance RAM que va a haber.

Para ello el responsable del Área RAM definirá y especificará el alcance de las tareas RAM, nutriéndose de dos herramientas:

- Programa RAM
- Plan RAM

5.1.3.1. *Programa RAM*

Una vez analizada la parte RAM de los documentos contractuales, el siguiente paso será realizar un programa RAM, es decir, una planificación de los pasos que va a seguir en proyecto. Este programa RAM deberá ser actualizado constantemente, para poder tener una trazabilidad, la cual de transparencia al proyecto.

Para realizar este Programa habrá que centrarse en las fechas del proyecto o hitos más importantes del proyecto y los entregables que el cliente haya estimados oportunos, para poder planificar el proyecto de una forma eficiente y correcta en términos de tiempo.

Las fechas más importantes podrían ser las siguientes:

- Inicio del Proyecto: Momento en el que se oficializa el contrato
- Redacción de contrato con suministradores: Se explicará con más detalle en la sección 5.1.8
- Borrador de Esquemas: Fecha en la que quedan definidos como van a ser todos los esquemas que se incluirán en el vehículo
- Revisado final de diseño: Momento en el que se da por bueno el diseño de los equipos, en su versión final
- Inicio pruebas de factoría: Cuando se comience a realizar las pruebas con los vehículos terminados en las instalaciones de la empresa
- Fin de pruebas en vía: En el momento que se finaliza las pruebas en vías similares a las que va a utilizar en su futuro destino
- Puesta en Servicio: Fecha decretada para que todo el vehículo entre en servicio comercial

Los hitos mencionados anteriormente deberán ponerse de acuerdo con el Jefe de Proyecto, el cual tiene una vista global de todas las áreas y tiene un control general del proyecto.

Merece la pena destacar que las fechas previamente mencionadas son hitos para el área de ingeniería, por lo tanto el trabajo a desarrollar será adaptarlas al área RAM.

Para realizar este programa RAM se usará la herramienta de Microsoft "Microsoft Project", donde para darle un valor más práctico se supondrá que el inicio del proyecto ha sido el 01/01/2015

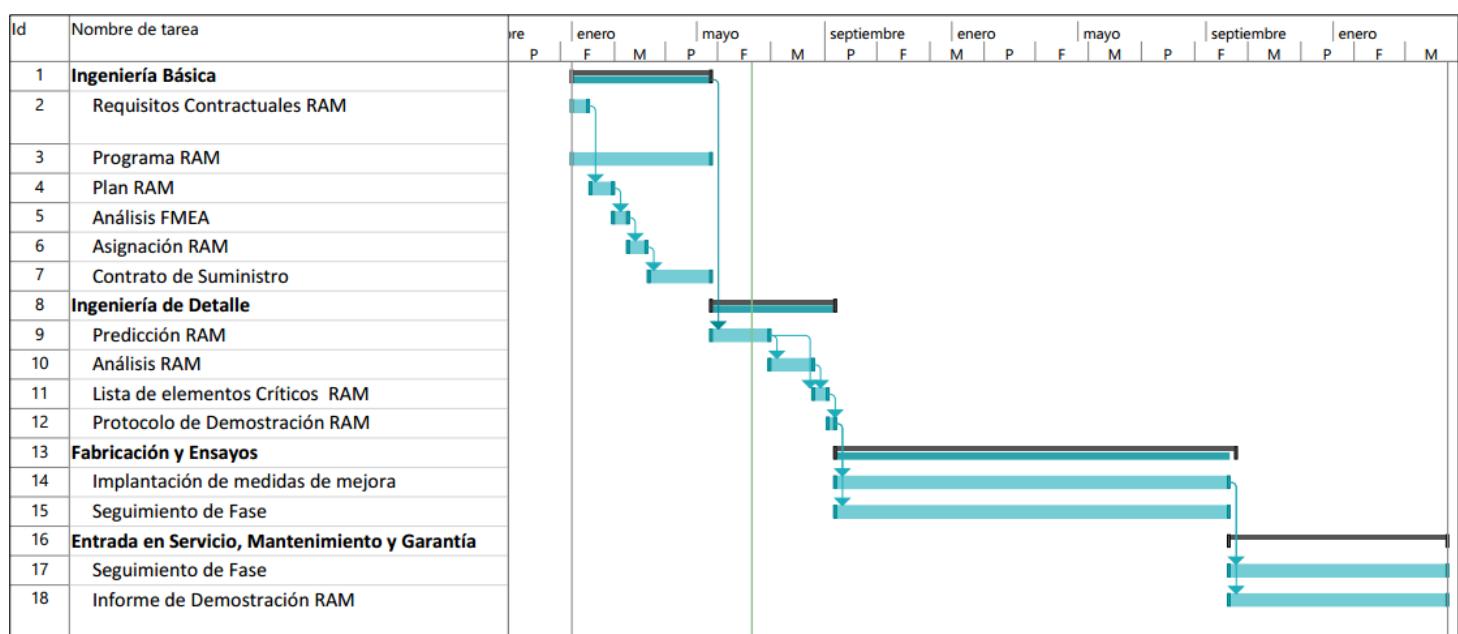


Ilustración 4 Programa RAM

En este Programa RAM se hace referencia a una serie de documentos que se generados como resultado de la implantación de la norma EN 50126. Estos documentos están explicados y desarrollados a lo largo de este TFG de manera cronológica aunque a modo de resumen se enumeraran a continuación los más importantes, indicando en que parte de este TFG se encuentra:

5.1.3.1.1. Actividades y Documentos generados

- Requisitos Contractuales: 5.1.2.4
- Programa RAM : 5.1.3.1
- Plan RAM : 5.1.3.2
- Análisis FMEA: 5.1.4
- Asignación RAM: 5.1.45.1.5
- Contrato de Suministro: 5.1.8
- Predicción RAM: 5.2.2
- Análisis RAM: 5.2.3
- Lista de elementos RAM críticos: 5.1.5

- Protocolo de Demostración RAM: 5.2.4
- Seguimiento de Fase de Fabricación, Instalación y Pruebas: 5.3
- Seguimiento de Fase de Servicio, Mantenimiento y Garantía: 5.4
- Informe Demostración RAM: 5.3.3.2

5.1.3.2. *Plan RAM*

Tras haber confeccionado el Programa RAM se deberá realizar un Plan RAM, documento el cual se entregará a cliente donde se detallará el Programa RAM con más exactitud y se definirá cómo se gestiona la RAM a lo largo del proyecto explicando de la manera que se va a implantar nuestra gestión RAM en el proyecto para que el cliente sepa cómo se va a gestionar el proyecto.

Este Plan RAM deberá ser actualizado conforme se vaya desarrollando el proyecto, con el objetivo de dar una trazabilidad y transparencia al proyecto.

Los puntos más importantes de este Plan RAM serán los siguientes:

- Introducción
- Descripción del Sistema
- Política RAM
- Gestión y Organización de la RAM
- Requisitos RAM
- Ciclo de Vida RAM
- Actividades y Estudios RAM

La configuración del Plan RAM será de la siguiente forma:

1. Introducción

Se explicará los principales términos que van a aparecer a lo largo de todo el Plan RAM, al igual que se hará referencia a todo documentos que hayamos utilizado para la realización del mismo.

- a. Objeto: Se explicará el objetivo de este Plan RAM, como pudiera ser el cumplimientos de requisitos RAM establecidos por el cliente o la definición y planificación de las actividades y recursos empleados
- b. Alcance: En este apartado habrá que dejar claro que este Plan RAM se aplicará a la totalidad del tranvía, exceptuando algún subsistema

que haya sido suministrado por el cliente, como pudiera ser alguna cabina locomotora

2. Descripción del Sistema

- a. Características Externas: Se hablará de características tales como el ancho de vía, la tensión de alimentación que tiene la catenaria o las temperaturas ambientales extremas
- b. Características del Material rodante: En este caso se documentarían características como velocidad máxima de diseño y de servicio así como la vida útil del material rodante

3. Política RAM

- a. Criterios de Diseño de Fiabilidad: Se dejará constancia de los parámetros RAM que se deben tener en cuenta para el diseño del material rodante durante todo el ciclo de vida del producto
- b. Criterios de Diseño de Mantenibilidad: se definirán los aspectos que se consideran reglas para el diseño, así como la accesibilidad, diseño modular, intercambiabilidad, herramientas especiales etc...
- c. Criterios de Diseño de Disponibilidad: Se explicará que la alta disponibilidad del tranvía será el resultado de una buena aplicación de los criterios de diseño de fiabilidad y mantenibilidad.

4. Gestión y Organización de la empresa

Definiremos la estructurada organizativa que tiene nuestra empresa, enumerando figuras y las responsabilidades de ellas. Así como un organigrama de la empresa

5. Requisitos RAM

- a. Fiabilidad: Se hará un resumen de cómo hemos realizado los cálculos de fiabilidad, para llegar a cumplir los objetivos del cliente
- b. Mantenibilidad: Exactamente lo mismo que el apartado anterior pero a lo que a mantenibilidad se refiere
- c. Disponibilidad: Se explicará las condiciones de los cálculos de disponibilidad pertinentes.

6. Consideraciones

Se dejará claro las consideraciones que se han estimado oportunas para todos los cálculos RAM, así como las horas de encendido al día que pasará

el tranvía, los días de operación del tranvía anuales o la distancia media anual del tranvía.

Destacando también los fallos no imputables a la empresa como pueden ser, fallos ocasionados del maltrato del material rodante, vandalismo, fallos en los equipos suministrados por cliente etc...

7. Ciclo de vida

Se definirá las actividades a realizar a lo largo del Proyecto, que quedarán definidos en diferentes fases, las cuales van de acuerdo a la norma europea EN 50126.

Esta norma define 13 Fases de las cuales se realizaran 10, pero que quedaran agrupadas en 4. Las cuales se pueden observar en el Programa RAM ver Ilustración 4 Programa RAM

8. Actividades y estudios

En el Plan RAM también habrá que explicar las actividades que se ha en el ciclo de vida y programa RAM, para que el cliente sepa lo que vamos a hacer y lo que vamos a entregarle.

5.1.4. Análisis FMEA: Lista de fallos

Otra de las actividades que se realizará durante la ingeniería básica es un pequeño análisis FMEA, introduciendo una lista de fallos de los sistemas.

El objetivo del análisis FMEA es clasificar los modos de fallo de los sistemas del material Rodante en base a las consecuencias que tendrá cada modo de fallo en el servicio del material rodante. Para ello hay que tener en cuenta la arquitectura actual del material rodante.

Además se establecerá un acuerdo con el cliente sobre las consecuencias de los distintos modos de fallo de los sistemas principales que actúen en el vehículo. Es muy importante que dichas consecuencias se acuerden lo más pronto posible, es decir, en la fase de diseño, ya que las fiabilidades de servicio del material rodante dependerán totalmente de la acción que se estime oportuna para cada fallo en la operación del mismo.

Con la elaboración de este análisis FMEA podremos evitar modificaciones costosas en fases posteriores de diseño ya que en esta fase inicial del proyecto podremos ver posibles puntos débiles del vehículo.

Cabe destacar que las categorías o modos de fallo que consideramos son aquellas que consideramos en el apartado 5.1.2.4 "Documento Resumen de Requisitos RAM",

Para la elaboración de este análisis hemos seguido los pasos siguientes:

- Identificación de los sistemas a nivel del vehículo
- Identificación de los principales modos de fallo asociados a cada sistema en base a las funciones que realiza
- Identificación de las consecuencias de cada modo de fallo en el material Rodante y su operación

A continuación podemos ver el análisis FMECA realizado:

SISTEMA		MODO DE FALLO		CONSECUENCIA	
Nombre	Total	ID	Descripción	Consecuencia en el Tranvía	Impacto en la operación
EQUIPO DE TRACCION					
Inversor Tracción	4	1	Pérdida total de 1	Se pierde más del 25% de la capacidad de tracción	Retirada a Fin de Línea
		2	Pérdida total de 2	Se pierde más del 50% de la capacidad de tracción	Evacuación Inmediata
Transformador	2	3	Pérdida total de 1	Se pierde más del 50% de la capacidad del transformador	Evacuación Inmediata
		4	Pérdida total de 2	Se pierde más del 75% de la capacidad del transformador	Socorro
Electrónica	4	5	Pérdida total de 1.	Se pierde más del 25% de la capacidad de la electrónica de tracción	Retirada a Fin de Línea
		6	Pérdida total de 2	Se pierde más del 50% de la capacidad de la electrónica de tracción	Evacuación Inmediata
Motores Tracción	12	7	Pérdida total de 4 Motores de Tracción del siguiente modo: -2 de un Inversor de Tracción -2 de un Inversor de Tracción distinto.	Pérdida de 50% de la capacidad de tracción o freno eléctrico.	Evacuación Inmediata
		8	Pérdida total de 2	Se pierde más del 50% de la capacidad del circuito de refrigeración	Evacuación Inmediata
Pantógrafo	1	9	Pérdida total	Pérdida del 100% de capacidad de tracción o freno eléctrico.	Socorro
Disyuntor	2	10	Pérdida total de 2	Pérdida del 100% de capacidad de tracción o freno eléctrico.	Evacuación Inmediata
Pararayos	2	11	Cortocircuito	Se para el tranvía	Evacuación Inmediata
ACR	1	12	Perdida total	La batería no se carga	Retirada a Fin de Línea
ELEMENTOS DE LA SECUENCIA DE LA PUERTA A TIERRA					
Seccionador	2		Pérdida total de 1	Pérdida del 50% de la capacidad del seccionador	Retirada a Fin de Línea
REDUCTORA	8	13	Fallo en 1	Bloqueo de reductora	Evacuación Inmediata
		14	Pérdida de 3	Perdida de más del 35% de capacidad de la reductora	Socorro
MANIPULADOR	2	15	Fallo que no requiere mantenimiento inmediato	Perdida parcial de la capacidad del manipulador	Retirada a Fin de Línea
CONVERTIDOR ESTÁTICO + CARGADOR BATERÍA					
Conv. Estático	2	16	Perdida parcial de 1	Perdida parcial de capacidad de generación de corriente Alterna	Retirada a Fin de Línea
		17	Perdida total de 2	Perdida total de la capacidad de generación de corriente Alterna	Evacuación Inmediata
Carg. Baterías	2	18	Perdida parcial de 1	Ninguna grave, siendo que el otro cargador funciona	Retirada a Fin de Línea
		19	Perdida total de 2	Perdida total de la capacidad de generación de corriente Continua	Socorro
BATERIA		20		Imposibilidad de encender el Tranvía si el Tranvía está apagado. Si el Tranvía está en servicio y también se pierde la alimentación desde la catenaria (si se pasa por la zona neutra por ejemplo), no hay alimentación DC en el Tren: el tren se queda sin iluminación de emergencia, sin ventilación de emergencia, etc.	
		1	Pérdida total		Evacuación Inmediata
CLIMATIZACIÓN SALA	3	21	Pérdida total de 1.	Se pierde la capacidad de ventilación en todo el tren. Existirá una renovación parcial de aire con la apertura de puertas en las estaciones.	Retirada a Fin de Línea
		22	Pérdida total de 2	Pérdida Total de la capacidad de enfriamiento y ventilación en sala.	Evacuación Inmediata
CLIMATIZACIÓN CABINA	2	23	Pérdida total de 2	Pérdida Total de la capacidad de enfriamiento y ventilación en la cabina activa.	Retirada a Fin de Línea
EQUIPO DE MANDO Y MONITORIZACIÓN					
HMI	2	24	Perdida total de 2	Pérdida total del Equipo de mando y monitorización	Evacuación Inmediata
REGISTRADOR EVENTOS + HOMBRE MUERTO	1	25	Pérdida total de la capacidad de grabación en el tranvía	No tiene ningún efecto sobre la operación, pero ante un incidente o accidente no se tendrían registros de señales del Tranvía	Evacuación Inmediata
FRENO CAJA + ANTIBLOQUEO	3	27	Perdida Total de 2	the 66,66% of the braking capacity is lost in a Train Unit	Evacuación Inmediata
FRENO BOGIE	3	28	Pérdida total de 2	La unidad puede continuar en operación normal ya que se garantiza la mínima deceleración de freno de emergencia y el freno de servicio	Retirada a Fin de Línea
		29	Pérdida total de 3	Se retira el tranvía porque no se garantiza la mínima deceleración de freno de emergencia	Evacuación Inmediata
PUERTAS DE ACCESO	12	30	Perdida de 2	La puerta no puede cerrarse	Evacuación Inmediata
		31	Aislamiento de puerta	No se puede utilizar esa puerta, pero esta cerrada	Retirada a Fin de Línea
PASILLO INTERCOMUNICACIÓN	4	32	Fallo en 1 o más	Fallo que afecta a la seguridad del tranvía	Evacuación Inmediata
ENGANCHE AUTOMÁTICO	2	33	Fallo en 1 o más	Fallo que afecta a la seguridad del tranvía	Evacuación Inmediata
PIS (Passenger Information System)					
Unidad de control	1	34	Pérdida total	Pérdida de comunicación entre pasajeros y conductor	Retirada a Fin de Línea
Intercomunicador (PEI)	6	35	Pérdida total de 1	Pérdida de comunicación entre pasajeros y conductor	Retirada a Fin de Línea
Amplificador sala	2	36	Pérdida total	Pérdida de comunicación entre pasajeros y conductor	Retirada a Fin de Línea
Micrófono cabina	2	37	Pérdida total	Pérdida de comunicación entre pasajeros y conductor	Retirada a Fin de Línea
HMI - PIS	2	38	Pérdida total	Pérdida de comunicación entre pasajeros y conductor	Retirada a Fin de Línea
Altavoz	12	39	Pérdida total de 5	Pérdida de comunicación entre pasajeros y conductor	Retirada a Fin de Línea
Switch ethernet	5	40	Pérdida total de 2	Pérdida total de los mapas de ruta/carteles LED/TFTs	Retirada a Fin de Línea
VIDEOENTRETENIMIENTO	0				
CCTV					
Unidad de control	1	41	Pérdida total	Pérdida total de funcionalidad CCTV	Evacuación Inmediata
HMI - CCTV	2	42	Pérdida total		Evacuación Inmediata
ALUMBRADO INTERIOR	36	45	Perdida total de 15	Reducción de la iluminación en el interior del tranvía	Evacuación Inmediata
ALUMBRADO EXTERIOR	30	46	Perdida total de 4	Reducción de visibilidad del conductor	Evacuación Inmediata

Ilustración 5 Análisis FMEA

5.1.5. *Lista de elementos RAM Críticos*

Tras realizar el análisis FMEA, y el posterior análisis RAM realizado en el apartado 5.2.3 podemos obtener una lista de elementos RAM críticos, a los cuales se debería prestar más atención, y estudiar si tales elementos nos pueden causar algún tipo de problema a nivel de material rodante.

Si estos elementos fueran muy críticos se deberían contactar con los proveedores de tales equipos o sistemas para exigir uno más competente o incluso valorar el cambio de proveedores.

Como se pueden considerar los elementos más importantes se explicarán cuáles pueden ser los posibles proveedores, que son y cómo funcionan

5.1.5.1. *Sistema de Frenado*

El suministrados que se puede encontrar para sistemas de frenado puede ser la compañía "Faiveley Transport" la cual tiene presencia en 24 países la cual se encarga de sistemas de seguridad, acceso, movilidad, energía, confort y frenado, para tranvías, trenes de alta velocidad, regionales y locomotoras entre otros

Uno de los elementos más críticos de un Tranvía es el sistema de frenado, para entender él por qué hace falta explicar cómo está estructurado el sistema de frenado y cómo puede frenar un tranvía.

En primer lugar hay que definir lo que es un bogie, el cual es un dispositivo giratorio con dos o más ejes, cada uno con dos ruedas, sobre los que se apoya el material rodante y están destinados a circular sobre los railes

También habrá que tener en cuenta las siguientes definiciones de tipo de frenado las cuales se han obtenido de la norma UNE-EN 13452-1:2004.

- Freno de Servicio: Frenado que se usa normalmente, controlado por el maquinista y/o por equipos automáticos de regulación de la velocidad
- Freno máximo de servicio: Valor máximo disponible del frenado de servicio
- Frenado de urgencia: Frenado cuyo principal objetivo es obtener el nivel máximo de seguridad para los viajeros, personal y para los no usuarios del sistema ferroviario

- Freno de seguridad: Freno cuyo objetivo es alcanzar un nivel de seguridad del sistema más elevado que el frenado de servicio y urgencia. En ese caso, las prestaciones del frenado pueden ser inferiores a las alcanzadas en el frenado de servicio o de urgencia
- Frenado irreversible: Frenado mantenido hasta la completa parada del tranvía
- Frenado de inmovilización: Frenado utilizado para impedir el movimiento de un tren detenido bajo las condiciones especificadas
- Frenado de inmovilización en línea: Freno que puede mantener parado un tren con viajeros para un tiempo y una carga definidos
- Freno de estacionamiento: freno que puede mantener un tren permanentemente detenido para una carga y una pendiente definidas.

En el caso que se estudia hay dos módulos cabinas que tienen bogie motor (cuya función es la propulsión), y un módulo suspendido el cual tiene un bogie remolque (el cual no genera propulsión), aunque todos los bogie tienen ruedas independientes pero en el caso del motor, cada rueda tiene su propio motor

Se pueden encontrar varios tipos de freno como por ejemplo:

- Freno hidráulico: El freno hidráulico irá gestionado por la unidad de control de freno, convirtiendo las órdenes del conductor en aplicaciones de freno, calculando las necesidades de frenado en cualquier tipo de situación
- Patines electromagnéticos: Es un freno adicional independiente de la adherencia de la rueda y el carril, el cual se podrá aplicar en frenados de emergencia y de seguridad

5.1.5.2. *Pantógrafo*

El pantógrafo es el mecanismo que transmite la energía eléctrica desde la catenaria al vagón.

Una de las empresas que pueden suministrar este tipo de equipo puede ser el "Grupo Schunk", es cual es un grupo multinacional de empresas de tecnología, que en España esta bajo el nombre de Schunk Ibérica desde 1982

La gama de pantógrafos es variada, pero del catálogo que esta empresa ofrece interesa el pantógrafo SBL, el cual es un pantógrafo de semitijera, sencillo y de poco peso que está adaptado para trenes ligeros, metros ligeros y Tranvías

Sus principales características principales, las cuales van a convencer por utilizar este tipo de pantógrafo son:

EL bajo mantenimiento, para el cuál no se necesita ninguna herramienta especial

Accionamiento de fuelle neumático integrado – peso total ligero

Puede contar con un dispositivo de bajada automática



Ilustración 6 Pantógrafo

5.1.5.1. *Climatización*

Los sistemas de climatización son los encargados de mantener la temperatura en el estado más agradable tanto para pasajeros como para tripulantes.

La empresa que puede suministrar estos sistemas de climatización puede ser "MERAK", que pertenece al grupo "Knorr-Bremse", esta suministra sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado para material ferroviario de manera internacional como puede ser Australia, China, USA, Reino Unido y España.

Cada tranvía tendrá dos sistemas de climatización diferenciados, por un lado el sistema de climatización de cabina y por otro el de sala.

La amplia amplitud de gama que ofrece "Merak" permite disponer de bomba de calor, conductos de aire, sistemas de tratamiento de la calidad del aire etc..

Pudiendo operar desde temperaturas de -45°C hasta +55°C

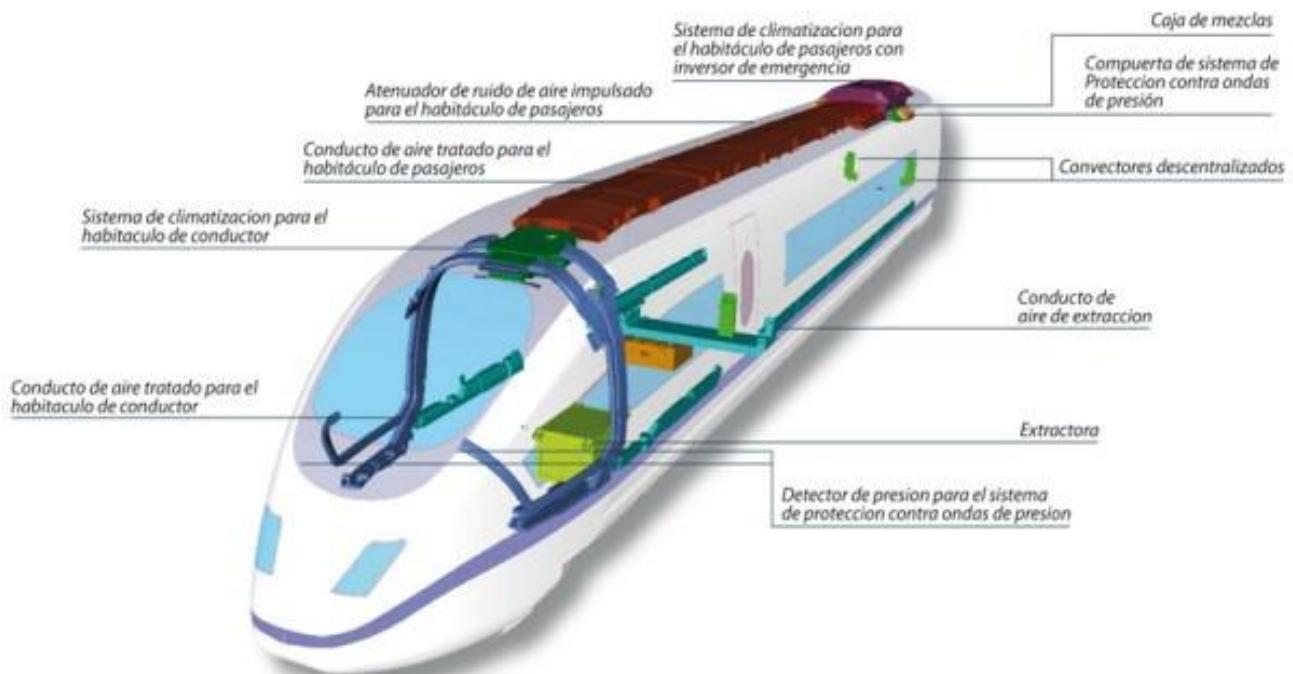


Ilustración 7 Sistema de Climatización

5.1.5.2. *Manipulador*

El manipulador del tranvía es un elemento de instrucción para material rodante, el cual está dividido en tres componentes

- Manipulador de freno: Palanca que permite acelerar o frenar, la cual incluye la función de hombre muerto
- Selector de Operación: Elección de condición de operación (marcha atrás, punto muerto, hacia delante, estacionamiento)
- Llave de Operación: La llave para encender los estados de operación (Encendido o Apagado)

La empresa que suministra este tipo de elementos, es "W. Gessmann Corporation" la cual ofrece equipos de control de grúas, barcos, aplicaciones industriales o material

ferroviario, esta empresa alemana tiene una experiencia de más de 60 años en estos sectores, adaptándose a las necesidades de los clientes.



Ilustración 8 Manipulador

5.1.5.3. *Puertas*

Otro de los elementos críticos en los estudios de fiabilidad y mantenibilidad van a ser las puertas del tranvía.

Estas puertas tendrán un sistema de doble hoja o de una sola y estarán distribuidas a lo largo del tranvía para la entrada y salida de los pasajeros.

La empresa que suministrará las puertas será "IFE", que también está dentro del grupo "Knorr-Bremse", siendo una empresa internacional en la fabricación de sistemas de puertas automáticas para material ferroviario.

Las ventajas de adquirir las puertas con este proveedor podría ser que estas puertas tuvieran un gran sellado, buen diseño resistente al agua, simple y fiable, dando también más espacio al área de pasajeros.



Ilustración 9 Puertas

5.1.5.4. *Convertidor de Tracción*

Los convertidores de tracción de DC/DC (corriente continua) están diseñados para adaptar la tensión de los supercondensadores a la tensión de la catenaria (750V nominal), estos supercondensadores son los encargados de almacenar energía con la tecnología ACR, para disponer de ella en los tramos que no existe catenaria.

Estos elementos serán suministrados por "CAF Power & Automation" la cual da respuesta de una manera global a las necesidades del entorno ferroviario como pudieran ser sistemas de Acumulación de Energía, Sistemas de monitorización, confort y diagnósticos de vehículos ferroviarios o sistemas de Tracción Eléctricos para tranvías.

Las características principales de los equipos que ofrece esta empresa puede ser , la refrigeración por aire forzado o su rango de tensión continua de 400V-720V / 500V-900V.



Ilustración 10 Convertidor de Tracción

5.1.5.5. *Pasillo de Intercomunicación*

Otro de los elementos críticos que se puede encontrar dentro de los tranvías son los denominados pasillos de intercomunicación, que son los cuales unen los diferentes módulos del tranvía.

La empresa encargada de suministrar estos elementos es la alemana "Hübner GmbH & Co", que cuenta con productos de alta tecnología durante más de 65 años entre los que se encuentran sistemas de acceso, articulaciones de vehículos, sistemas de ventanas entre otros.

Lo que ofrece esta empresa son sistemas completos de pasillos de intercomunicación, los cuales absorberán los movimientos de cada módulo de una manera segura y conveniente para los pasajeros, sin olvidar un diseño cuidado y con un bajo mantenimiento y gran fiabilidad.



Ilustración 11 Pasillo de Intercomunicación

5.1.5.6. *Registrador de Eventos*

Como último elemento crítico está el registrador de eventos, el cual se encargará de registrar los datos del funcionamiento del tranvía, así como el control de video y también se conectará un velocímetro para que muestre la velocidad leída por el registrador

“EKE- Electronics” será el suministrador del registrador, siendo la empresa finlandesa con más de 50 años de experiencia una de las líderes de Sistemas de control, monitorización, comunicación, información para pasajeros y registradores de eventos.

Uno de los productor que ofrece “EKE” es la unidad de grabación Juridical, el cual dejará registrado cualquier señal de audio o video, y contará con el estándar ERTMS/ETCS.

Este equipo asegurará un gran nivel de protección de datos y es a prueba de colisiones, garantizando de esta forma que toda las memorias de abordo este protegidas contra fuego, campos magnéticos, líquidos o estrés mecánico durante el impacto o presión continuada.

5.1.6. *Asignaciones RAM*

La intención del Área RAM es justificar que los futuros tranvías van a ser fiables, mantenibles y disponibles, para ello se ayudarán de una herramienta de ofimática Excel, con la cual podremos calcular los valores RAM. Por lo tanto se realizarán unas asignaciones de fiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad a los componentes y sistemas que tienen los tranvías.

En los próximos apartados se explicará cómo vamos a confeccionar tal herramienta y como las vamos a adaptar para el estudio de Fiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad.

Como primer paso será definir los componentes y sistemas que tiene el tranvía, los cuales se van a estudiar.

Y a lo largo de este apartado se verán ilustraciones de cómo queda esta asignación RAM en la herramienta Excel

5.1.6.1. *Asignación de Fiabilidad*

A lo largo de este apartado se van a nombrar conceptos, los cuales son necesarios para entender y comprender mejor a lo que fiabilidad se refiere, tales conceptos se encuentran en el apartado 4.1

Una vez definido el alcance RAM que pueda tener el proyecto llega el momento de la asignación la fiabilidad de todo el tren.

Una vez comprendido los términos de fiabilidad podemos realizar esta asignación, donde habrá que basarse en las condiciones contractuales a lo que a fiabilidad se refiere, y los encargados del área RAM obrarán de la siguiente manera:

1. Recopilación de objetivos contractuales

Con el documento creado "Documento Resumen de Requisitos RAM", ver apartado 5.1.2.4, obtendremos la información de una manera sencilla y rápida

2. Asignación de Fiabilidad de Material (FM)

Una vez obtenidos los valores objetivos los cuales quedan recogidos en el "Documento Resumen de Requisitos RAM" que se encuentra en el apartado 5.1.2.4, y donde queda definido el nivel de fallo que el cliente a dado y es aplicable a fiabilidad de material:

- Nivel 1: Fiabilidad Material

Definición de FM: Conjunto de incidencias imputables al material móvil correspondiente al reemplazo prematuro de piezas que deban ser cambiadas con regularidad, así como las incidencias que requieran sólo un sencillo diagnóstico y la nueva puesta en servicio

Se realizará una asignación de fiabilidad a nivel de equipo, vehículo y material rodante.

- a. Asignación de Fiabilidad de Material a nivel de equipo (FM_E) a los principales sistemas del vehículo

Esta FM_E , no va ser al azar sino que será obtenida de información de proyectos similares en los que los proveedores dieron valores de fiabilidad a los sistemas de otros proyectos similares al actual.

Cuando se habla a nivel equipo, se hace referencia a la fiabilidad que tiene ese equipo independientemente de si hay más equipos de esas características en el vehículo.

Tal FM_E , se medirá tanto con la tasa de fallo de equipo, como con MTBF y MKBF

Podemos observarlo en la Ilustración 12 Asignación

b. Asignación de Fiabilidad de Material a nivel Sistema (FM_s) a los principales sistemas del vehículo

Una vez asignada la FM_E , llega el momento de valorar a nivel de sistema, considerando que estamos evaluando la fiabilidad del material y se puede encontrar con algunos sistemas que están en serie o en paralelo, de tal forma que la tasa de fallo se calculará de la siguiente manera:

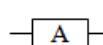
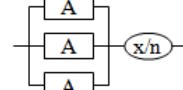
Configuración	Tasa de Fallos Equivalente	DF
Componente Individual	λ	
En serie	$\lambda_{sistema} = \sum_{i=1}^n \lambda_i$	
En Paralelo de "n" elementos	$\lambda_{sistema} = \frac{\lambda}{(1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \dots + \frac{1}{n})}$	

Tabla 5 Formulas FM_s

Donde el diagrama de fiabilidad viene definido por las siglas DF

Cabe destacar que también se introducirá un "Factor de Uso" (FU) para obtener esta FM_s

Considerando estas tasas de fallo podemos obtener la siguiente información, la cual utilizaremos para construir la Excel, ya que estas fórmulas es utilizando las tasas de fallo y la información que se dispone son los MTBF, los cuales han sido recopilados de proyectos similares anteriores. Por lo tanto es fácil llegar a la siguiente conclusión:

En el caso de que la conexión sea en serie:

$$\lambda_{sistema_Serie} = \sum_{i=1}^n \lambda_i$$

$$MTBF_{Sistema_Serie} = \frac{1}{\lambda_{sistema}} \cdot FU = \frac{MTBF_{equipo}}{n^o \text{ elementos}} \cdot \frac{1}{FU}$$

En el caso si está en paralelo:

$$\lambda_{Sistema_paralelo} = \frac{\lambda}{(1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \dots + \frac{1}{n})}$$

$$MTBF_{Sistema_paralelo} = \frac{1}{\lambda_{sistema}} \cdot \frac{1}{FU}$$

c. Obtención de la Asignación de Fiabilidad de material a nivel Material Rodante

Una vez obtenido las FM_E y FM_S , se procederá con a la obtención de la FM la cual interesa y es la del todo material rodante, la cual compararemos con los objetivos que planteo el cliente y podremos ver si lo cumplimos o no.

Aunque esto no deja de ser una asignación realizada con datos de proyectos anteriores y por lo tanto no se puede asegurar que sea del todo real, ya que puede ser que los valores obtenidos por los proveedores no se ajusten a los valores de este nuevo proyecto o no sea el mismo o haya mejorado/empeorado la fiabilidad de sus equipos o que el presupuesto de este nuevo proyecto sea mayor o menor, afectando al tipo de equipos que se puede utilizar en los futuros vehículos.

También puede ocurrir que el cliente tenga experiencia en el sector, y no solicite una fiabilidad para todo el vehículo sino que transmita una determinada fiabilidad para alguno o todos los equipos del vehículo, basándose en estudios propios que hayan realizado o basándose en referencias de proyectos que hayan realizado previamente con otros constructores.

Para la obtención de esta Fiabilidad de Material a nivel del material rodante se operará con las tasas de fallo, haciendo el sumatorio de todas las tasas de fallos de los sistemas.

Y luego aplicar las fórmulas estudiadas para obtener los MTBF y MKBF.

Que ser realizará de la siguiente manera:

$$\lambda_{tranvía} = \sum_{i=1}^n \lambda_{sistema\ i}$$

$$MTBF_{Tranvía} = \frac{1}{\lambda_{tranvía}}$$

En la Ilustración 12 Asignación , se puede observar cómo quedará la hoja Excel para este apartado

SISTEMA	C1	A1	A2	A3	C2	Total	VALOR De ASIGNACIÓN								
							Conexión	MTBF Equipo (horas/fallo)	MKBF Equipo (km/fallo)	Tasa de fallo Equipo (fallos/hora)	Factor de uso	MTBF Sistema (horas/fallo)	Tasa Fallo Sistema (fallos/hora)	MKBF Sistema (km/fallo)	Tasa de Fallo Sistema (km/fallo)
EQUIPO DE TRACCION															
Inversor Tracción	2				2	4	P	90.000,00	1.167.988,46	1,1E-05	100%	187.500,00	5,3E-06	2.433.309,30	4,11E-07
Transformador	1				1	2	P	250.000,00	3.244.412,40	4,0E-06	100%	375.000,00	2,7E-06	4.866.618,60	2,05E-07
Electrónica	2				2	4	P	133.000,00	1.726.027,40	7,5E-06	100%	277.083,33	3,6E-06	3.595.890,41	2,78E-07
Motores Tracción	3	2	2	2	3	12	P	300.000,00	3.893.294,88	3,3E-06	100%	930.963,20	1,1E-06	12.081.714,25	8,28E-08
Circuito de refrigeración	2					2	P	380.000,00	4.931.506,85	2,6E-06	100%	791.666,67	1,3E-06	10.273.972,60	9,73E-08
Pantógrafo		1				1	S	90.000,00	1.167.988,46	1,1E-05	80%	112.500,00	8,9E-06	1.459.985,58	6,85E-07
Disyuntor	1				1	2	P	1.492.537,00	19.369.622,21	6,7E-07	100%	2.238.805,50	4,5E-07	29.054.433,31	3,44E-08
Pararrayos	1				1	2	S	4.000.000,00	51.910.598,41	2,5E-07	100%	2.000.000,00	5,0E-07	25.955.299,21	3,85E-08
ACR		1				1	S	6.300,00	81.759,19	1,6E-04	20%	31.500,00	3,2E-05	408.795,96	2,45E-06
ELEMENTOS DE LA SECUENCIA DE LA PUERTA A TIERRA															
Seccionador	1				1	2	S	750.000,00	9.733.237,20	1,3E-06	100%	375.000,00	2,7E-06	4.866.618,60	2,05E-07
REDUCTORA	4				4	8	P	450.000,00	5.839.942,32	2,2E-06	100%	1.223.035,71	8,2E-07	15.872.128,95	6,30E-08
MANIPULADOR	1				1	2	S	100.000,00	1.297.764,96	1,0E-05	50%	100.000,00	1,0E-05	1.297.764,96	7,71E-07
CONVERTIDOR ESTÁTICO + CARGADOR BATERÍA															
Conv. Estático	1		1		2	P	42.000,00	545.061,28	2,4E-05	100%	63.000,00	1,6E-05	817.591,93	1,22E-06	
Carg. Baterías	1		1		2	P	81.000,00	1.051.189,62	1,2E-05	100%	121.500,00	8,2E-06	1.576.784,43	6,34E-07	
BATERÍA			1		1	S	250.000,00	3.244.412,40	4,0E-06	100%	250.000,00	4,0E-06	3.244.412,40	3,08E-07	
CLIMATIZACIÓN SALA		1	1	1	3	P	16.000,00	207.642,39	6,3E-05	100%	29.333,33	3,4E-05	380.677,72	2,63E-06	
CLIMATIZACIÓN CABINA	1				1	2	P	16.000,00	207.642,39	6,3E-05	50%	24.000,00	4,2E-05	311.463,59	3,21E-06
EQUIPO DE MANDO Y MONITORIZACIÓN															
CCU+BA	1				1	2	P	1.400.000,00	18.168.709,44	7,1E-07	100%	2.100.000,00	4,8E-07	27.253.064,17	3,67E-08
Repetidor	1				1	2	P	100.000.000,00	1.297.764.960,35	1,0E-08	100%	150.000.000,00	6,7E-09	1.946.647.440,52	5,14E-10
HMI	1				1	2	P	120.000,00	1.557.317,95	8,3E-06	50%	180.000,00	5,6E-06	2.335.976,93	4,28E-07
Gateway - WTB	1				1	2	P	300.000,00	3.893.294,88	3,3E-06	100%	450.000,00	2,2E-06	5.839.942,32	1,71E-07
REGISTRADOR EVENTOS + HOMBRE MUERTO	1					1	S	130.000,00	1.687.094,45	7,7E-06	100%	130.000,00	7,7E-06	1.687.094,45	5,93E-07
FRENO CAJA + ANTIBLOQUEO	1	1	1	1	3	P	20.000,00	259.552,99	5,0E-05	100%	36.666,67	2,7E-05	475.847,15	2,10E-06	
FRENO BOGIE	1	1	1	1	3	P	75.000,00	973.323,72	1,3E-05	100%	137.500,00	7,3E-06	1.784.426,82	5,60E-07	
PATÍN ELECTROMAG.	1	1	1	1	3	P	2.000.000,00	25.955.299,21	5,0E-07	100%	3.666.666,67	2,7E-07	47.584.715,21	2,10E-08	
PUERTAS DE ACCESO	2	4	4	2	12	P	40.000,00	519.105,98	2,5E-05	100%	124.128,43	8,1E-06	1.610.895,23	6,21E-07	
PASILLO INTERCOMUNICACIÓN	0,5	1,0	1,0	1,0	0,5	4	P	50.000,00	648.882,48	2,0E-05	100%	104.166,67	9,6E-06	1.351.838,50	7,40E-07
ENGANCHE AUTOMÁTICO	1				1	2	P	130.000,00	1.687.094,45	7,7E-06	100%	195.000,00	5,1E-06	2.530.641,67	3,95E-07
ENGANCHE SEMIPER.	1					1	P	173.000,00	2.245.133,38	5,8E-06	100%	173.000,00	5,8E-06	2.245.133,38	4,45E-07
PIS (Passenger Information System)															
Unidad de control	1				1	P	200.000,00	2.595.529,92	5,0E-06	100%	200.000,00	5,0E-06	2.595.529,92	3,85E-07	
Intercomunicador (PEI)	2	2	2		6	P	200.000,00	2.595.529,92	5,0E-06	100%	490.000,00	2,0E-06	6.359.048,31	1,57E-07	
Amplificador sala	1				1	2	P	200.000,00	2.595.529,92	5,0E-06	100%	300.000,00	3,3E-06	3.893.294,88	2,57E-07
Micrófono cabina	1				1	2	P	500.000,00	6.488.824,80	2,0E-06	50%	750.000,00	1,3E-06	9.733.237,20	1,03E-07
Cartel frontal	1				1	2	P	100.000,00	1.297.764,96	1,0E-05	100%	150.000,00	6,7E-06	1.946.647,44	5,14E-07
Cartel lateral	2	2	2		4	P	100.000,00	1.297.764,96	1,0E-05	100%	208.333,33	4,8E-06	2.703.677,00	3,70E-07	
HMI - PIS	1				1	2	P	100.000,00	1.297.764,96	1,0E-05	50%	150.000,00	6,7E-06	1.946.647,44	5,14E-07
Altavoz	3	3	3	3	12	P	1.000.000,00	12.977.649,60	1,0E-06	100%	3.103.210,68	3,2E-07	40.272.380,83	2,48E-08	
Pantalla TFT	1	1	1	1	5	P	150.000,00	1.946.647,44	6,7E-06	100%	342.500,00	2,9E-06	4.444.844,99	2,25E-07	
Switch ethernet	1	1	1	1	1	5	P	500.000,00	6.488.824,80	2,0E-06	100%	1.141.666,67	8,8E-07	14.816.149,96	6,75E-08
CCTV															
Unidad de control	1				1	P	200.000,00	2.595.529,92	5,0E-06	100%	200.000,00	5,0E-06	2.595.529,92	3,85E-07	
HMI - CCTV	1				1	2	P	100.000,00	1.297.764,96	1,0E-05	50%	150.000,00	6,7E-06	1.946.647,44	5,14E-07
Grabador de video	1				1	2	P	200.000,00	2.595.529,92	5,0E-06	100%	300.000,00	3,3E-06	3.893.294,88	2,57E-07
Cámara interior	2	1	1	1	2	7	P	150.000,00	1.946.647,44	6,7E-06	100%	388.928,57	2,6E-06	5.047.378,72	1,98E-07
Cámara exterior retrovisora	2				2	4	P	150.000,00	1.946.647,44	6,7E-06	100%	312.500,00	3,2E-06	4.055.515,50	2,47E-07
CUENTAPERSONAS	1		1	1	2	S	72.800,00	944.772,89	1,4E-05	100%	36.400,00	2,7E-05	472.386,45	2,12E-06	
ENGRASE DE PESTANA	1				1	2	S	32.000.000,00	415.284.787,31	3,1E-08	100%	16.000.000,00	6,3E-08	207.642.393,66	4,82E-09
ALUMBRADO INTERIOR	6	10	4	10	6	36	P	350.000,00	4.542.177,36	2,9E-06	100%	1.461.095,72	6,8E-07	18.961.588,28	5,27E-08
ALUMBRADO EXTERIOR	10	3	2	3	12	30	P	350.000,00	4.542.177,36	2,9E-06	100%	1.398.245,50	7,2E-07	18.145.940,10	5,51E-08
BOGIE MOTOR	1				1	2	P	120.000,00	1.557.317,95	8,3E-06	100%	180.000,00	5,6E-06	2.335.976,93	4,28E-07
BOGIE REMOLQUE		1			1	S	144.221,00	1.871.649,60	6,9E-06	100%	144.221,00	6,9E-06	1.871.649,60	5,34E-07	
TOTAL												2.870,57	3,5E-04	37.253,24	2,68E-05
												MTBF Tranvia (horas/fallo)	Tasa Fallo Tranvia (fallos/hora)	MKBF Tranvia (km/fallo)	Tasa de Fallo Tranvia (km/km)
												Nº Fallos en	100.000,00 km		3
												Nº Fallos en	100.000,00 horas		35

Ilustración 12 Asignación FM

3. Asignación de Fiabilidad de Servicio (FS)

Definición de FS: Es aquella fiabilidad que tiene en cuenta cualquier fallo que afecte al servicio del tren.

Por norma general el cliente suele establecer las diferentes fiabilidades de servicio, o al menos habrán dado la definición de ellas.

Por lo tanto habrán sido recogidas en el "documento resumen de requisitos RAM" el cual se encuentra en el apartado 5.1.2.4

Estas fiabilidades de servicio serán explicadas un poco más extensamente.

- **Nivel 2: Retirada a Fin de Línea**

Incidencias que fuercen que el tranvía pueda seguir con su itinerario pero cuando llegue a fin de línea tendrá que detenerse para realizar las reparaciones o revisiones pertinentes

- **Nivel 3: Evacuación Inmediata**

Incidencias que fuercen que el tranvía tenga que detener su operación, haciendo que los clientes abandonen el vehículo en la siguiente estación y el tranvía vaya directo a cocheras sin parar en ninguna otra estación

- **Nivel 4: Socorro**

Incidencias que fuercen que el tranvía tenga que detener su operación y no pueda moverse por sí mismo, necesitando otros medios, como puede ser un remolcado por otro vehículo. Dejando a los clientes en la siguiente estación y llevado a cocheras.

Una vez que las fiabilidades de servicio quedan definidas habrá que estudiarlas, para saber que posibles fallos pueden llevar a que se den los modos de fallo que afectan a las fiabilidades de servicio.

Para hacer este estudio se utilizará el análisis FMEA (Failure Mode Effect Analysis) o lo que es lo mismo Análisis de los efectos de los modos de fallo realizado en el apartado 5.1.4

Por lo tanto para la asignación de esas FS, se obrará de la siguiente manera:

- a. **Análisis de que fallos de equipo afectan a los modos de fallo de servicio**

Como ha sido comentado anteriormente se deberá estudiar que equipos están implicados en el fallo de servicio a estudiar, de qué manera y cómo afecta al vehículo.

Puede darse el caso que el fallo de un equipo no repercuta para nada en los modos de fallo, o al contrario, que cause un modo de fallo

b. Asignación de Fiabilidad de Servicio a nivel vehículo por sistema

Una vez detectado y estudiado los equipos que implican un determinado modo de fallo en el servicio, asignaremos la FS que aplique, y a diferencia de lo que hemos hecho con la FM, que se estudiaba la FM_E y la FM_V , con la FS solo se estudiará la Fiabilidad de servicio a nivel de los sistemas más importantes del material rodante, ya que la fiabilidad del equipo no va a cambiar, pero dependiendo el modo de fallo en el que encontremos en la fiabilidad de servicio del vehículo sí que podrá cambiar.

En la siguiente tabla podemos observar las estrategias que vamos a llevar para el estudio de la FS, donde describiremos la configuración de los equipos con diagramas de fiabilidad (DF), junto con su fórmula de tasa de fallo equivalente

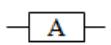
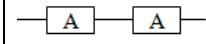
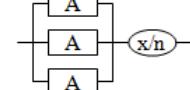
Configuración	Tasa de Fallos Equivalente	DF
Componente Individual	$\lambda_{sistema}$	
En serie	$\lambda_{serie} = \lambda_{sisema}$	
En Paralelo de "n" elementos	$\lambda_{paralelo} = (\lambda_{sisema})^{n^o \text{ fallos}}$	

Tabla 6 Fórmulas FS

La diferencia que existe entre la FM_s y la FS es que en esta última se tiene en cuenta no solo la fiabilidad del equipo si no que se estudia los fallos necesarios para que tal fiabilidad de servicio ocurra.

Por lo tanto la manera de obtener las tasas de fallo λ de la FS cuando está en serie será la misma, ya que si está en serie en el momento que falle un componente los demás también fallarán.

Pero si se encuentra en paralelo su tasa de fallo está multiplicada tantas veces como nº de fallos tenga que ocurrir en esa fiabilidad de servicio

c. Obtención de la Asignación de Fiabilidad de servicio a nivel Material Rodante

Una vez obtenido las Asignaciones de FS se obtendrá, como en el caso de la FM, la FS del material rodante, aunque en este caso no será única, ya que habrá tantas FS como modo de fallo, y en este caso hay 3 diferentes FS.

Estas FS a nivel de material rodante serán las que interesa comparar con los objetivos del cliente, y hacer una estimación de si se cumplen o no tales objetivos

Merece la pena volver a recalcar que esto es una mera asignación, la cual hay que corroborar con los proveedores.

A continuación se puede ver nuestras asignaciones de FS para los tres diferentes niveles. Donde la aparición de los símbolos "###" es muestra de que la fiabilidad es muy alta, y por lo tanto despreciable para cálculos

SISTEMA	Total	Nº de fallos	VALOR REQUERIDO			
			MTBF Sistema (horas/fallo)	MKBF Sistema (km/fallo)	Tasa Fallo Sistema (fallos/hora)	Tasa de Fallo Sistema (fallos/km)
EQUIPO DE TRACCION						
Inversor Tracción	4	1	187.500	2.433.309,30	5,33E-06	4,11E-07
Electrónica	4	1	277.083	3.595.890,41	3,61E-06	2,78E-07
ACR	1	1	31.500	408795,9625	3,17E-05	2,45E-06
EQUIPO DE TRACCIÓN DIESEL						
MANIPULADOR	2	1	100.000	1.297.764,96	1,00E-05	7,71E-07
CONVERTIDOR ESTÁTICO + CARGADOR BATERÍA						
Conv. Estático	2	1	63.000	817.591,93	1,59E-05	1,22E-06
Carg. Baterías	2	1	121.500	1.576.784,43	8,23E-06	6,34E-07
CLIMATIZACIÓN SALA	3	1	29.333	380.677,72	3,41E-05	2,63E-06
CLIMATIZACIÓN CABINA	2	2	576.000.000	7.475.126.171,59	1,74E-09	1,34E-10
EQUIPO DE MANDO Y MONITORIZACIÓN						
FRENO BOGIE	3	2	18.906.250.000	245.358.687.815,43	5,29E-11	4,08E-12
PUERTAS DE ACCESO	12	1	124.128	1.610.895,23	8,06E-06	6,21E-07
PIS (Passenger Information System)						
Unidad de control	1	1	200.000	2595529,921	5,00E-06	3,85E-07
Intercomunicador (PEI)	6	1	490.000	6.359.048,31	2,04E-06	1,57E-07
Amplificador sala	2	2	90.000.000.000	#####	1,11E-11	8,56E-13
Micrófono cabina	2	2	562.500.000.000	#####	1,78E-12	1,37E-13
HMI - PIS	2	2	22.500.000.000	291.997.116.077,87	4,44E-11	3,42E-12
Altavoz	12	5	#####	#####	3,47E-33	2,68E-34
Switch ethernet	5	2	1.303.402.777.778	#####	7,67E-13	5,91E-14
TOTAL			8.065,71	104.674,00	1,24E-04	9,55E-06
			MTBF Tranvía (horas/fallo)	MKBF Tranvía (km/fallo)	Tasa Fallo Tranvía (fallos/hora)	Tasa de Fallo Tranvía (fallos/km)
			Nº Fallos en	100.000,00	km	1
			Nº Fallos en	100.000,00	horas	12

Tabla 7 FS nivel 2

SISTEMA	Total	Nº de fallos	VALOR REQUERIDO			
			MTBF Sistema (horas/fallo)	MKBF Sistema (km/fallo)	Tasa Fallo Sistema (fallos/hora)	Tasa de Fallo Sistema
EQUIPO DE TRACCION						
Inversor Tracción	4	2	35.156.250.000,00	456.245.493.871,67	2,84E-11	2,19E-12
Transformador	2	1	375.000,00	4.866.618,60	2,67E-06	2,05E-07
Electrónica	4	2	76.775.173.611,11	996.361.301.369,86	1,30E-11	1,00E-12
Motores Tracción	12	4	#####	#####	1,33E-24	1,03E-25
Círculo de refrigeración	4	2	626.736.111.111,11	8.133.561.643.835,61	1,60E-12	1,23E-13
Disyuntor	2	2	5.012.250.066.830,25	#####	2,00E-13	1,54E-14
Pararayos	2	2	2.000.000,00	25.955.299,21	5,00E-07	3,85E-08
EQUIPO DE TRACCIÓN DIESEL						
REDUCTORA	8	1	1.223.035,71	15.872.128,95	8,18E-07	6,30E-08
CONVERTIDOR ESTÁTICO + CARGADOR BATERÍA						
Conv. Estático	2	2	3.969.000.000,00	51.508.291.276,14	2,52E-10	1,94E-11
BATERÍA	1	1	250.000,00	3.244.412,40	4,00E-06	3,08E-07
CLIMATIZACIÓN SALA	3	2	860.444.444,44	11.166.546.503,24	1,16E-09	8,96E-11
EQUIPO DE MANDO Y MONITORIZACIÓN						
HMI	2	2	32.400.000.000,00	420.475.847.152,13	3,09E-11	2,38E-12
REGISTRADOR EVENTOS + HOMBRE MUERTO	1	1	130.000,00	1.687.094,45	7,69E-06	5,93E-07
FRENO CAJA + ANTIBLOQUEO	3	2	1.344.444.444,44	17.447.728.911,32	7,44E-10	5,73E-11
FRENO BOGIE	3	3	#####	#####	3,85E-16	2,96E-17
PUERTAS DE ACCESO	12	2	15.407.866.421,38	199.957.891.553,56	6,49E-11	5,00E-12
PASILLO INTERCOMUNICACIÓN	4	1	104.166,67	1.351.838,50	9,60E-06	7,40E-07
ENGANCHE AUTOMÁTICO	2	1	195.000,00	2.530.641,67	5,13E-06	3,95E-07
CCTV						
Unidad de control	1	1	200.000,00	2.595.529,92	5,00E-06	3,85E-07
HMI - CCTV	2	2	22.500.000.000,00	291.997.116.077,87	4,44E-11	3,42E-12
ALUMBRADO INTERIOR	36	15	#####	#####	3,39E-93	2,61E-94
ALUMBRADO EXTERIOR	30	4	#####	#####	2,62E-25	2,02E-26
TOTAL			28.242,88	366.526,15	3,54E-05	2,7283E-06
			MTBF Tranvía (horas/fallo)	MKBF Tranvía (km/fallo)	Tasa Fallo Tranvía (fallos/hora)	Tasa de Fallo Tranvía (fallo/km)
			Nº Fallos en	100.000,00 km		0
			Nº Fallos en	100.000,00 horas		4

Tabla 8 FS nivel 3

SISTEMA	Total	Nº de fallos	VALOR REQUERIDO			
			MTBF Sistema (horas/fallo)	MKBF Sistema (km/fallo)	Tasa Fallo Sistema (fallos/hora)	Tasa de Fallo Sistema
EQUIPO DE TRACCION						
Transformador	2	2	140.625.000.000,00	1.824.981.975.486,66	7,11E-12	5,48E-13
Pantógrafo	1	1	112.500,00	1.459.985,58	8,89E-06	6,85E-07
REDUCTORA	8	3	#####	#####	5,47E-19	4,21E-20
CONVERTIDOR ESTÁTICO + CARGADOR BATERÍA						
Carg. Baterias	2	2	14.762.250.000,00	191.579.307.858,69	6,77E-11	5,22E-12
TOTAL			112.499,05	1.459.973,29	8,889E-06	6,8494E-07
			MTBF Tranvía (horas/fallo)	MKBF Tranvía (km/fallo)	Tasa Fallo Tranvía (fallos/hora)	Tasa de Fallo Tranvía (fallos/km)
			Nº Fallos en	100.000,00 km		0
			Nº Fallos en	100.000,00 horas		1

Tabla 9 FS nivel 4

Una vez se ha obtenido todas las diferentes fiabilidades se procederá a crear un cuadro resumen, el cual facilite la visión del objetivo pedido por cliente y el resultado de la asignación.

En este cuadro resumen si introducirá una ayuda visual, la cual muestre el color verde cuando los objetivos del cliente se cumplan o de color rojo en caso contrario.

Tal cuadro resumen no solo expondrá los requisitos de Fiabilidad, sino que estarán mantenibilidad y disponibilidad también. Lo podemos encontrar en la Ilustración 14 Comprobación Requisitos RAM

5.1.6.2. Asignación de Mantenibilidad

A lo largo de este apartado se va a hacer menciones a términos referentes con Mantenibilidad o Mantenimiento, los cuales están estudiados rigurosamente en el apartado 4.2.

En el caso de la asignación de mantenibilidad se actuará de una manera muy parecida al del punto anterior, aunque los objetivos que tiene el cliente para acciones correctivas pueden ser establecidos de diferentes maneras.

Puede ocurrir que el cliente dé el valor global del MTTR (tiempo medio de reparación), en este caso para realizar una asignación de mantenibilidad habría que centrarse en los principales sistemas y asignarles un MTTR con el objetivo de que el global sea el marcado por el cliente

Por otro lado puede ocurrir que el mismo cliente dé los MTTR de los principales sistemas o que den libertad para asignarlo, en este caso, de una manera razonada y soportada por proyectos anteriores, seleccionaremos los valores que estimemos oportunos para el proyecto actual y los asignaremos.

En este supuesto el cliente entregó el objetivo del MTTR global el cual compararemos con nuestra asignación, para la cual, habrá que asignar un MTTR a los principales sistemas o tareas que son considerados más importantes para el tranvía y cuando se obtengan se hará su promedio, de la siguiente manera:

$$MTTR_{Global} = \frac{\sum_{i=1}^n MTTR_{sistemas\ i}}{n}$$

Y la manera en que queda en nuestra Excel será la siguiente:

Descripción	MTTR sistemas (h)
Enganches-acoplamientos	1,548
Batería	0,790
Circuito Cerrado de TV	1,230
Puertas de acceso exteriores	1,674
Circuito de Refrigeración	1,200
Equipo de Freno	1,943
Climatización Sala	1,550
Climatización Cabina	1,250
Pantógrafo	1,560
Convertidor Auxiliar	1,942
Inversores de Tracción	2,291
Motores de Tracción	1,890
Sistema de comunicación (información/vigilancia)	0,870
Sistema de monitorización y control de auxiliares	0,690
MTTR (global)	1,459

Ilustración 13 Asignación de Mantenibilidad

Una vez se ha obtenido el MTTR asignado se hará un cuadro resumen el cual facilite la visión del objetivo pedido por cliente y el resultado de la asignación.

El cuadro resumen será el mismo tanto para Mantenibilidad, Fiabilidad como Disponibilidad. Lo podemos encontrar en la Ilustración 14 Comprobación Requisitos RAM

5.1.6.3. *Asignación de Disponibilidad*

A lo largo de este apartado se hará referencia a términos referentes a la disponibilidad, los cuales han sido estudiados en el apartado 4.3

El caso de la asignación de Disponibilidad es diferente al de la mantenibilidad y fiabilidad, ya que lo que interesa al cliente y por lo tanto al constructor es la disponibilidad de la flota, a diferencia de los apartados anteriores se estudiaban los principales sistemas para obtener finalmente una asignación a nivel de material rodante.

Por lo tanto pueden ocurrir dos cosas que afecten a la asignación de disponibilidad de la flota o del material rodante.

Por un lado el cliente puede pedir un objetivo determinado para la flota, si es así la asignación de disponibilidad sería la misma que el objetivo del cliente.

Por otro lado, el cliente puede entender que si exige unos objetivos de mantenibilidad y fiabilidad, la disponibilidad de la flota será la esperada. En tal escenario asignaremos un valor de disponibilidad acorde con el proyecto actual que está basado en proyectos anteriores similares.

Dado que en este supuesto el cliente ha dado un objetivo que cumplir de disponibilidad para la flota, será necesario la realización de su asignación, para ello utilizaremos la siguiente formula:

$$D = \frac{MTBF_{Global}}{MTTR_{Global} + MTBF_{Global}} \cdot 100$$

Donde:

- $MTBF_{Global}$: Sera el tiempo medio entre fallo tanto de servicio, cabe destacar que para obtener esto habrá que operar las distintas tasas de fallo, de modo que para calcular este modo:

$$MTBF_{Global} = \frac{1}{\lambda_{FS1} + \lambda_{FS2} + \lambda_{FS3}}$$

- $MTTR_{Global}$: Será simplemente el tiempo medio de reparación de los principales sistemas

Con estos datos se obtendrá la disponibilidad, la cual queda reflejada en la siguiente ilustración:

MTBF(h/fallo)	6.087,25			
MTTR(h)	1,4591			
			Disponibilidad	99,976%
MTBF (2)	8.065,71			
MTBF (3)	31.839,87			
MTBF (4)	112.499,05			

Tabla 10 Asignación de disponibilidad

Una vez se ha obtenido la disponibilidad de la flota se hará un cuadro resumen el cual facilite la visión del objetivo pedido por cliente y el resultado de la asignación.

El cuadro resumen será el mismo tanto para Disponibilidad, Mantenibilidad, como Fiabilidad. Lo podemos encontrar en la Ilustración 14 Comprobación Requisitos RAM

1.- REQUISITOS DE FIABILIDAD		OBJETIVOS DE FIABILIDAD DEL PLIEGO				Comprobacion	
TIPO DE FIABILIDAD	DESCRIPCIÓN	λ (Fallos/km)	MKBF (km/fallo)	λ	MKBF (km/fallo)	Comprobacion	TIPO DE FIABILIDAD
FM (Nivel 1)	Fiabilidad Material (reemplazo de piezas, inc. Solo diag)	3.00E-04	3.333	-	-	CUMPLE	37.253
FS	Nivel 2	Retirada a Fin de Línea	-	3,00E-05	33.333	CUMPLE	104.674
	Nivel 3	Evacuación Inmediata	-	4,00E-06	250.000	CUMPLE	366.526
FS	Nivel 4	Socorro	-	9,00E-07	1.111.111	CUMPLE	1.459.973

2.- REQUISITOS DE MANTENIBILIDAD		OBJETIVOS DE MANTENIBILIDAD DEL PLIEGO			Comprobacion	
DESCRIPCIÓN	MTTR (h)	DESCRIPCIÓN	MTTR (h)	Comprobacion	MTTR (h)	
El tiempo medio de intervención sobre el Vehículo será:	1,5	CUMPLE	1,459			

3.- REQUISITOS DE DISPONIBILIDAD		OBJETIVOS DE DISPONIBILIDAD DEL PLIEGO			Comprobacion	
DESCRIPCIÓN	%	DESCRIPCIÓN	%	Comprobacion	%	
El porcentaje mínimo mensual será:	96,0%	CUMPLE	99,975%			

Ilustración 14 Comprobación Requisitos RAM (Asignación)

5.1.7. Requisitos RAM para Proveedores

Una vez tenemos las asignaciones se puede observar que los vehículos cumplen todos los objetivos establecidos por el cliente, aunque como se ha comentado anteriormente estos datos asignados hay que corroborarlos con los proveedores.

Cabe destacar que solamente se necesitan datos por parte de los proveedores de fiabilidad y mantenibilidad, ya que si el proveedor cumple con estos términos, se podrá asegurar la disponibilidad.

Para ello, el responsable RAM del proyecto deberá elaborar un contrato de suministro, en el cual, se incluirán los objetivos de fiabilidad y mantenibilidad de los principales sistemas del material rodante y los suministradores deberán cumplimentar tal documento con el valor que sus equipos pueden cumplir.

5.1.8. Contrato de Suministro

5.1.8.1. Introducción

El objeto de este documento es establecer las especificaciones RAM que van a ser requeridas a los suministradores. Por lo tanto si hay algún componente o sistema que sea producido por el constructor no aparecería en dicho contrato. De esta manera sí que incluiremos requerimientos generales o como se mandará la documentación.

En este contrato de suministro se establecerá los requerimientos de Fiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad los cuales ha trasmítido el cliente y se ha realizado una asignación para trasmítir estos datos a los proveedores.

Lo que se requiere de los proveedores es que estos estimen anticipadamente la fiabilidad de las tasas de fallo de los componentes y que proporcionen una medida cuantitativa lo más cercana posible a la de sus propios diseños de componentes para a la hora de decir entre proveedores tener fuentes fiables, las cuales lleven a cumplir con los objetivos del cliente.

También se requerirá a los proveedores que la precisión de sus predicciones este basada en pruebas con equipamientos idénticos a los que van a proporcionar y en el ambiente donde van a trabajar.

Para los datos de fiabilidad se pedirá que tanto para la fiabilidad de material y como para la fiabilidad de servicio se de en MKBF o MTBF y que estén justificados.

Cabe destacar que si el proveedor necesita datos para posibles cálculos se le entregará el documento "Resumen de Requisitos Contractuales" 5.1.2.4

5.1.8.2. *Medidas a tener en cuenta*

Después de que se acepte el contrato de suministro y los proveedores proporcionen sus datos estos serán comprobados, después de los tres primeros meses, ya que esta etapa es considerada "burn-in" y si algún fallo sucede en estos meses no se tendrán en cuenta para la comprobación de los parámetros RAM

5.1.8.3. *Hoja y Tabla de control*

A los proveedores se les entregará una hoja de control, donde cada uno de los proveedores expresará si está conforme con los estándares y objetivos generales de Fiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad.

Mientras que en la tabla de control los proveedores se centrarán en los sistemas o equipos principales, estableciendo si sus componentes cumplen o no en su totalidad o parcialmente con su debida justificación.

Y si el proveedor deja algún componente sin responder será signo de Total cumplimiento. En el caso que no se le exija un valor se denotara con "NA" (no aplica)

Siendo el color de códigos el siguiente:

- T (**verde**) = Total cumplimiento
- P (**amarillo**) = Parcial cumplimiento
- NC (**rojo**) = No cumplimiento

Esta hoja de control tendrá la siguiente apariencia:

Clausula	T	P	NC	Comentario
Estándares				
[1.1] El proveedor cumplirá a través de su diseño e implantación del Sistema o componente con los estándares definidos y cualquier variación de ellos será trasmido al responsable del proyecto				
[1.2] Toda documentación será entregada en Español o en su defecto Inglés				
[1.3] La fecha de entrega de este documento será 30 días después de la recepción del mismo				
[1.4] Si el proveedor no responde a algún requisito se entenderá que hay un Total Cumplimiento por su parte				
[1.5] En los apartados que aparezca "N.A" (no aplica) el proveedor no está obligado a dar ninguna valor concreto, pero sí el que vaya acorde con su desempeño				
Objetivos de Fiabilidad				
[2.0] La fiabilidad de material incluirá todos los fallos que requieran un mantenimiento correctivo. Siendo el mínimo MTBF (Mean Time Between Failure) (Tiempo medio entre fallos) indicado en la columna "FM" de la tabla de control.				

Clausula	T	P	N C	Comentario
[2.1] La fiabilidad de Servicio incluirá todos los fallos de las categorías de modo de fallo : <ul style="list-style-type: none"> • Retirada a Fin de Línea (Nivel 2) • Evacuación Inmediata (Nivel 3) • Socorro (Nivel 4) Siendo el mínimo MTBF indicado en la columna "FS" de la tabla de control				
[2.2] Queda a disposición del proveedor el análisis FMEA				
Objetivos de Mantenibilidad				
[3.1] La mantenibilidad incluirá la probabilidad de que un equipo que se ha averiado sea reparado o reemplazado con efectividad operacional dentro de un periodo de tiempo dado para llevar a cabo las acciones de reparación que sean necesarias. Siendo el máximo MTTR (Mean Time To Repair)(Tiempo medio de reparación) indicado en la columna MTTR				
Objetivos de Disponibilidad				
[4.1] Se presupone que si el proveedor cumple con los objetivos de Fiabilidad y Mantenibilidad, se obtendrán los objetivos deseados de Disponibilidad de la flota				

Tabla 11 Hoja de Control

Equipo/Sistema	FM (h)	FS (h)	MTT R (h)	T	P	N C	Comentario
EQUIPO DE TRACCION							
Inversor Tracción	90.000	187.500 (Nivel 2) 35.156.250.000 (Nivel 3)	2.2				
Transformador	250.000	375.000,00 (Nivel 3) 140.625.000.000 (Nivel 4)	N.A				
Electrónica	133.000	277.083 (Nivel 2) 76.775.173.611 (Nivel 3)	N.A				
Motores Tracción	300.000	Despreciable	1.8				
Circuito de refrigeración	380.000	626.736.111.111 (Nivel 3)	1.2				
Pantógrafo	90.000	112.500 (Nivel 4)	1.5				
Disyuntor	1.492.537,	5.012.250.066.830 (Nivel 3)	N.A				
Pararrayos	4.000.000	2.000.000 (Nivel 3)	N.A				
ACR	6.300	31.500 (Nivel 2)	N.A				
ELEMENTOS DE LA SECUENCIA DE LA PUERTA A TIERRA							
Seccionador	750.000	N.A	N.A				
REDUCTORA	450.000	1.223.035 (Nivel 3)	N.A				
		Despreciable (Nivel 4)					

Equipo/Sistema	FM (h)	FS (h)	MTT R (h)	T	P	N C	Comentario
MANIPULADOR	100.000	100.000 (Nivel 2)	N.A				
CONVERTIDOR ESTÁTICO + CARGADOR BATERÍA							
Conv. Estático	42.000	63.000 (Nivel 2)	1.9				
		3.969.000.000 (Nivel 3)					
Carg. Baterias	81.000	121.500 (Nivel 2)	N.A				
		14.762.250.000 (Nivel 4)					
BATERÍA	250.000	250.000 (Nivel 3)	0.7				
CLIMATIZACIÓN SALA	16.000	29.333 (Nivel 2)	1.5				
		860.444.444 (Nivel 3)					
CLIMATIZACIÓN CABINA	16.000	576.000.000 (Nivel 2)	1.2				
EQUIPO DE MANDO Y MONITORIZACIÓN							
CCU+BA	1.400.000	N.A	0.6				
Repetidor	100.000.000	N.A	0.6				
HMI	120.000	32.400.000.000 (Nivel 3)	0.6				
Gateway - WTB	300.000	N.A	0.6				
REGISTRADOR EVENTOS + HOMBRE MUERTO	130.000	130.000 (Nivel 3)	N.A				
FRENO CAJA + ANTIBLOQUEO	20.000	1.344.444.444 (Nivel 3)	1.9				

Equipo/Sistema	FM (h)	FS (h)	MTT R (h)	T	P	N C	Comentario
FRENO BOGIE	83.000	23.154.694.444 (Nivel 2)	1.9				
		Despreciable (Nivel 3)					
PATÍN ELECTROMAG.	4.000.000	N.A	N.A				
PUERTAS DE ACCESO	40.000	124.128 (Nivel 2)	1.6				
		15.407.866.421 (Nivel 3)					
PASILLO INTERCOMUNICACIÓN	50.000	104.166 (Nivel 3)	N.A				
ENGANCHE AUTOMÁTICO	130.000	195.000 (Nivel 3)	1.5				
ENGANCHE SEMIPER.	173.000	N.A	1.5				
PIS (Passenger Information System)							
Unidad de control	200.000	200.000 (Nivel 2)	0.8				
Intercomunicador (PEI)	200.000	490.000 (Nivel 2)	0.8				
Amplificador sala	200.000	90.000.000.000 (Nivel 2)	0.8				
Micrófono cabina	500.000	562.500.000.000 (Nivel 2)	0.8				
Cartel frontal	100.000	N.A	0.8				
Cartel lateral	100.000	N.A	0.8				
HMI - PIS	100.000	22.500.000.000 (Nivel 2)	0.8				

Equipo/Sistema	FM (h)	FS (h)	MTT R (h)	T	P	N C	Comentario
Altavoz	1.000.000	Despreciable (Nivel 2)	0.8				
		Despreciable (Nivel 3)					
Pantalla TFT	150.000	N.A	0.8				
Switch ethernet	500.000	Despreciable (Nivel 2)	0.8				
CCTV							
Unidad de control	200.000	200.000(Nivel 3)	1.2				
HMI - CCTV	100.000	22.500.000.000 (Nivel 3)	1.2				
Grabador de video	200.000	N.A	1.2				
Cámara interior	150.000	N.A	1.2				
Cámara exterior retrovisora	150.000	N.A	1.2				
CUENTAPERSONAS	72.800	N.A	N.A				
ENGRASE DE PESTAÑA	32.000.000	N.A	N.A				
ALUMBRADO INTERIOR	350.000	Despreciable (Nivel 3)	N.A				
ALUMBRADO EXTERIOR	350.000	Despreciable (Nivel 3)	N.A				
BOGIE MOTOR	120.000	N.A	N.A				
BOGIE REMOLQUE	144.220	N.A	N.A				

Ilustración 15 Tabla de Control

Una vez se envía tanto la Hoja de Control como la Tabla de Control, el proveedor deberá remitirlo debidamente cumplimentado, dejando claro aquellos requisitos que cumple total o parcialmente o en algún caso que no puede cumplir.

Cuando el contrato de suministro es remitido por los proveedores pueden suceder dos cosas

- Los valores de los proveedores cumplen total o parcial
- Los valores de los proveedores no cumplen

5.1.8.4. *Valores de proveedores cumplen*

En el caso que el proveedor pueda cumplir los valores de asignación significará que se seguirá cumpliendo los objetivos del cliente. Y en el caso de que sean de manera parcial se estudiará los comentarios expuestos por el proveedor.

5.1.8.5. *Valores de proveedores no cumplen*

En el supuesto de que el proveedor no cumpla los valores de la asignación se estudiará detalladamente.

Puede ser que el valor no cumpla las expectativas marcadas, pero este muy cerca de ellas, por lo tanto no supondría un gran problema para cumplir los requisitos del cliente.

Aunque puede ocurrir que el proveedor se quede muy lejos de los valores deseados. En tal caso debemos hacer un estudio si ese decrecimiento de fiabilidad o mantenibilidad va a llevar consigo el incumplimiento de los objetivos contractuales, si fuera así procederíamos a buscar otro proveedor.

Una vez tenemos todas las respuestas de todos los proveedores, y por lo tanto se cierra el contrato de suministro, se dará por finalizada la fase de ingeniería básica y comenzará la ingeniería de detalle.

5.2. INGENIERÍA DE DETALLE

Cuando se acaba la ingeniería básica, es el momento de trabajar todos los puntos acordados en ella.

Para ello comenzamos con la ingeniería de detalle, donde se realizaran análisis o protocolos de las actividades generadas en la ingeniería básica.

5.2.1. Desarrollo del proyecto

Una vez cerrado el contrato de suministro, se puede dar el siguiente paso, el cual hará que la asignación RAM pase a una predicción RAM, que se ajustará mucho más a la realidad del proyecto actual. Y si con esta predicción se siguen cumpliendo todos los objetivos marcados por el cliente se podrá asegurar que el vehículo va a ser fiable, mantenible y disponible, mediante un análisis RAM.

5.2.2. Predicción RAM

Una vez todos los proveedores han contestado es hora de actualizar la asignación RAM la cual pasará a predicción RAM.

Para ello se utilizará de nuevo la herramienta Excel, donde se actualizarán los datos de la asignación y se deberá comprobar si los objetivos del cliente se siguen cumpliendo y en el caso que no cumpla habrá que estudiar la composición de los sistemas.

Es esta predicción RAM el uso de los estudios matemáticos y estadísticos no tienen tanto valor, ya que se sustituirán los valores de la asignación por los que dan los proveedores los cuales van a ser MTBF tanto de la FM como de las diferentes FS y los MTTR de los principales sistemas.

Por lo tanto las únicas fórmulas matemáticas que se tendrán en cuenta serán las siguientes:

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

$$MKBF = MTBF \cdot FC$$

Siendo:

- λ : La tasa de fallo de los equipos y los sistemas

- FC: Factor de corrección

La tasa de fallo tanto de los equipos como de los principales sistemas que sufrirán ciertos cambios debido a la actualización de los valores de MTBF y por lo tanto los valores de MKBF también se modificarán.

En el caso del factor de corrección seguirá siendo el mismo que se utilizó en la asignación, ya que las variables que se utilizaron para su cálculo no han sufrido ninguna variación.

En esta Predicción RAM se ha añadido una ayuda visual para saber si el valor que entregó los proveedores ha sido mayor o menor que el esperado, otorgando el color rojo en las ocasiones que el proveedor ha dado valores inferiores a los de la asignación y verde a los que ha excedido la asignación.

5.2.2.1. *Predicción de Fiabilidad*

Por norma general los proveedores van a dar valores de fiabilidades menores de lo que se les exige y como se explicó en el apartado 5.1.8.5, por el hecho de que sea menor no se rechazará a ese proveedor directamente si no que hay que destacar que la asignación está siguiendo unos modelos matemáticos y estadísticos que pueden no ser perfectos ya que las conexiones que se han decretado han sido o serie o paralelo, aunque podría existir algún sistema que fuera mixto, los cuales no han sido evaluados de esta manera en la asignación.

Por lo tanto los proveedores son los que tras ensayos y pruebas varias pueden alcanzar un valor de fiabilidad más cercano a la realidad. De esta manera habrá que evaluar las respuestas de estos proveedores y simular con la herramienta Excel cuál va a ser su comportamiento dentro del material rodante.

Para ello en primer lugar se actualizarán los datos de la fiabilidad de material FM, como se puede ver en la Ilustración 16 Predicción FM. Después se actualizarán los datos de las diferentes fiabilidades de servicio las cuales se pueden ver en las siguientes ilustraciones: Ilustración 17 Predicción de FS Nivel 2, Ilustración 18 Predicción FS Nivel 3 e Ilustración 18 Predicción FS Nivel 3Ilustración 19 Predicción FS Nivel 4

Y como se podrá observar no solo han cambiado los valores de fiabilidad del sistema si no que las fiabilidades a nivel del vehículo completo también han cambiado.

Como se hizo en la asignación, en este caso también se elaborará un cuadro resumen, para observar si se siguen cumpliendo los objetivos del cliente con los nuevos datos obtenidos por parte de los proveedores.

Tal cuadro no solo representará los requisitos pedidos de Fiabilidad, sino que también podemos encontrar los de mantenibilidad y Disponibilidad.

Lo podemos encontrar en la Ilustración 22 Comprobación Requisitos RAM (Predicción)

SISTEMA	C1	A1	A2	A3	C2	Total	VALOR De ASIGNACIÓN									
							Conexión	MTBF Equipo (horas/fallo)	MKBF Equipo (km/fallo)	Tasa de fallo Equipo (fallos/hora)	Factor de uso	MTBF Sistema (horas/fallo)	Tasa Fallo Sistema (fallos/hora)	MKBF Sistema (km/fallo)	Tasa de Fallo Sistema (km/fallo)	
EQUIPO DE TRACCION																
Inversor Tracción	2			2	4	P	80.000	1.038.212	1,25E-05	1	166.667	6,00E-06	2.162.942	4,62E-07		
Transformador	1			1	2	P	200.000	2.595.530	5,00E-06	1	300.000	3,33E-06	3.893.295	2,57E-07		
Electrónica	2				2	P	140.000	1.816.871	7,14E-06	1	291.667	3,43E-06	3.785.148	2,64E-07		
Motores Tracción	3	2	2	2	3	P	300.000	3.893.295	3,33E-06	1	930.963	1,07E-06	12.081.714	8,28E-07		
Círculo de refrigeración	2				2	P	300.000	3.893.295	3,33E-06	1	625.000	1,60E-06	8.111.031	1,23E-07		
Pantógrafo		1			1	S	60.000	778.659	1,67E-05	1	75.000	1,33E-05	973.324	1,03E-06		
Disyuntor	1			1	2	P	1.000.000	12.977.650	1,00E-06	1	1.500.000	6,67E-07	19.466.474	5,14E-08		
Pararrayos	1				1	P	3.000.000	38.932.949	3,33E-07	1	1.500.000	6,67E-07	19.466.474	5,14E-08		
ACR					1	S	6.300	81.759	1,59E-04	0	31.500	3,17E-05	408.796	2,45E-06		
ELEMENTOS DE LA SECUENCIA DE LA PUERTA A TIERRA																
Seccionador	1			1	2	S	750.000	9.733.237	1,33E-06	1	375.000	2,67E-06	4.866.619	2,05E-07		
REDUCTORA	4			4	8	P	450.000	5.839.942	2,22E-06	1	1.223.036	8,18E-07	15.872.129	6,30E-08		
MANIPULADOR	1				1	P	50.000	648.882	2,00E-05	1	50.000	2,00E-05	648.882	1,54E-06		
CONVERTIDOR ESTÁTICO + CARGADOR BATERÍA																
Conv. Estático	1	1		2	P		42.000	545.061	2,38E-05	1	63.000	1,59E-05	817.592	1,22E-06		
Carg. Baterías	1	1		2	P		81.000	1.051.190	1,23E-05	1	121.500	8,23E-06	1.576.784	6,34E-07		
BATERÍA			1		1	S	255.000	3.309.301	3,92E-06	1	255.000	3,92E-06	3.309.301	3,02E-07		
CLIMATIZACIÓN SALA	1	1	1		3	P	12.000	155.732	8,33E-05	1	22.000	4,55E-05	285.508	3,50E-06		
CLIMATIZACIÓN CABINA	1			1	2	P	12.000	155.732	8,33E-05	1	18.000	5,56E-05	233.598	4,28E-06		
EQUIPO DE MANDO Y MONITORIZACIÓN																
CCU+BA	1			1	2	P	1.000.000	12.977.650	1,00E-06	1	1.500.000	6,67E-07	19.466.474	5,14E-08		
Repetidor	1			1	2	P	100.000	1.297.765	1,00E-05	1	150.000	6,67E-06	1.946.647	5,14E-07		
HMI	1			1	2	P	120.000	1.557.318	8,33E-06	1	180.000	5,56E-06	2.335.977	4,28E-07		
Gateway - WTB	1			1	2	P	300.000	3.893.295	3,33E-06	1	450.000	2,22E-06	5.839.942	1,71E-07		
REGISTRADOR EVENTOS + HOMBRE MUERTO					1	S	100.000	1.297.765	1,00E-05	1	100.000	1,00E-05	1.297.765	7,71E-07		
FRENO CAJA + ANTIBLOQUEO	1	1	1	1	3	P	5.000	64.888	2,00E-04	1	9.167	1,09E-04	118.962	8,41E-06		
FRENO BOGIE	1	1	1	1	3	P	5.000	64.888	2,00E-04	1	9.167	1,09E-04	118.962	8,41E-06		
PATÍN ELECTROMAG.	1	1	1	1	3	P	500.000	6.488.825	2,00E-06	1	91.667	1,09E-06	11.896.179	8,41E-08		
PUERTAS DE ACCESO	2	4	4	2	12	P	20.000	259.553	5,00E-05	1	62.064	1,61E-05	805.448	1,24E-06		
PASILLO INTERCOMUNICACIÓN	0,5	1,0	1,0	1,0	0,5	4	P	50.000	648.882	2,00E-05	1	104.167	9,60E-06	1.351.839	7,40E-07	
ENGANCHE AUTOMÁTICO	1			1	2	S	100.000	1.297.765	1,00E-05	1	50.000	2,00E-05	648.882	1,54E-06		
ENGANCHE SEMIPER.	1				1	P	150.000	1.946.647	6,67E-06	1	150.000	6,67E-06	1.946.647	5,14E-07		
PIS (Passenger Information System)																
Unidad de control	1				1	P	200.000	2.595.530	5,00E-06	1	200.000	5,00E-06	2.595.530	3,85E-07		
Intercomunicador (PEI)	2	2	2	6	P		200.000	2.595.530	5,00E-06	1	490.000	2,04E-06	6.359.048	1,57E-07		
Amplificador sala	1			1	2	P	200.000	2.595.530	5,00E-06	1	300.000	3,33E-06	3.893.295	2,57E-07		
Micrófono cabina	1			1	2	P	200.000	2.595.530	5,00E-06	1	300.000	3,33E-06	3.893.295	2,57E-07		
Cartel frontal	1			1	2	P	100.000	1.297.765	1,00E-05	1	150.000	6,67E-06	1.946.647	5,14E-07		
Cartel lateral	2	2		4	P		100.000	1.297.765	1,00E-05	1	208.333	4,80E-06	2.703.677	3,70E-07		
HMI - PIS	1			1	2	P	100.000	1.297.765	1,00E-05	1	150.000	6,67E-06	1.946.647	5,14E-07		
Altavoz	3	3	3	3	12	P	500.000	6.488.825	2,00E-06	1	1.551.605	6,44E-07	20.136.190	4,97E-08		
Pantalla TFT	1	1	1	1	5	P	200.000	2.595.530	5,00E-06	1	456.667	2,19E-06	5.926.460	1,69E-07		
Switch ethernet	1	1	1	1	5	P	500.000	6.488.825	2,00E-06	1	1.141.667	8,76E-07	14.816.150	6,75E-08		
CCTV																
Unidad de control	1				1	S	200.000	2.595.530	5,00E-06	1	200.000	5,00E-06	2.595.530	3,85E-07		
HMI - CCTV	1			1	2	P	100.000	1.297.765	1,00E-05	1	150.000	6,67E-06	1.946.647	5,14E-07		
Grabador de video	1			1	2	P	100.000	1.297.765	1,00E-05	1	150.000	6,67E-06	1.946.647	5,14E-07		
Cámara interior	2	1	1	1	2	P	150.000	1.946.647	6,67E-06	1	388.929	2,57E-06	5.047.379	1,98E-07		
Cámara exterior retrovisora	2			2	4	P	50.000	648.882	2,00E-05	1	104.167	9,60E-06	1.351.839	7,40E-07		
CUENTAPERSONAS	1		1	2	S		40.000	519.106	2,50E-05	1	20.000	5,00E-05	259.553	3,85E-06		
ENGRASE DE PESTAÑA	1			1	2	S	30.000.000	389.329.488	3,33E-08	1	15.000.000	6,67E-08	194.664.744	5,14E-09		
ALUMBRADO INTERIOR	6	10	4	10	6	P	300.000	3.893.295	3,33E-06	1	1.252.368	7,98E-07	16.252.790	6,15E-08		
ALUMBRADO EXTERIOR	10	3	2	3	12	P	300.000	3.893.295	3,33E-06	1	1.198.496	8,34E-07	15.553.663	6,43E-08		
BOGIE MOTOR	1			1	2	P	120.000	1.557.318	8,33E-06	1	180.000	5,56E-06	2.335.977	4,28E-07		
BOGIE REMOLQUE				1	1	S	144.220	1.871.637	6,93E-06	1	144.220	6,93E-06	1.871.637	5,34E-07		
TOTAL													1.559,15	6,4E-04	20.234,09	4,94E-05
													MTBF Tranvía (horas/fallo)	Tasa Fallo Tranvía (fallos/hora)	MKBF Tranvía (km/fallo)	Tasa de Fallo Tranvía (km/fallo)
													Nº Fallos en	100.000,00 km		
													Nº 5.º	100.000,00 km		

Ilustración 16 Predicción FM

SISTEMA	Total	Nº de fallos	VALOR REQUERIDO			
			MTBF Sistema (horas/fallo)	MKBF Sistema (km/fallo)	Tasa Fallo Sistema (fallos/hora)	Tasa de Fallo Sistema (fallos/km)
EQUIPO DE TRACCION						
Inversor Tracción	4	1	160.000	2.076.423,94	6,25E-06	4,82E-07
Electrónica	4	1	300.000	3.893.294,88	3,33E-06	2,57E-07
ACR	1	1	21.500	279019,4665	4,65E-05	3,58E-06
ELEMENTOS DE LA SECUENCIA DE LA PUERTA A TIERRA						
Seccionador	2	1	175.000	2.271.088,68	5,71E-06	4,40E-07
MANIPULADOR						
	2	1	50.000	648.882,48	2,00E-05	1,54E-06
CONVERTIDOR ESTÁTICO + CARGADOR BATERÍA						
Conv. Estático	2	1	63.000	817.591,93	1,59E-05	1,22E-06
Carg. Baterias	2	1	121.000	1.570.295,60	8,26E-06	6,37E-07
CLIMATIZACIÓN SALA						
	3	1	12.000	155.731,80	8,33E-05	6,42E-06
CLIMATIZACIÓN CABINA						
	2	2	100.000	1.297.764,96	1,00E-05	7,71E-07
FRENO BOGIE						
	3	2	2.000.000	25.955.299,21	5,00E-07	3,85E-08
PUERTAS DE ACCESO						
	12	1	62.000	804.614,28	1,61E-05	1,24E-06
PIS (Passenger Information System)						
Unidad de control	1	1	200.000	2595529,921	5,00E-06	3,85E-07
Intercomunicador (PEI)	6	1	490.000	6.359.048,31	2,04E-06	1,57E-07
Amplificador sala	2	2	1.000.000	12.977.649,60	1,00E-06	7,71E-08
Micrófono cabina	2	2	1.000.000	12.977.649,60	1,00E-06	7,71E-08
HMI - PIS	2	2	4.000.000	51.910.598,41	2,50E-07	1,93E-08
Altavoz	12	5	10.000.000	129.776.496,03	1,00E-07	7,71E-09
Switch ethernet	5	2	15.000.000	194.664.744,05	6,67E-08	5,14E-09
TOTAL			4.437,22	57.584,62	2,25E-04	1,74E-05
			MTBF Tranvía (horas/fallo)	MKBF Tranvía (km/fallo)	Tasa Fallo Tranvía (fallos/hora)	Tasa de Fallo Tranvía (fallos/km)
			Nº Fallos en	100.000,00 km		2
			Nº Fallos en	100.000,00 horas		23

Ilustración 17 Predicción de FS Nivel 2

SISTEMA	Total	Nº de fallos	VALOR REQUERIDO			
			MTBF Sistema (horas/fallo)	MKBF Sistema (km/fallo)	Tasa Fallo Sistema (fallos/hora)	Tasa de Fallo Sistema
EQUIPO DE TRACCION						
Inversor Tracción	4	2	20.000.000	259.552.992	5,00E-08	3,85E-09
Transformador	2	1	300.000	3.893.295	3,33E-06	2,57E-07
Electrónica	4	2	10.000.000	129.776.496	1,00E-07	7,71E-09
Motores Tracción	12	4	30.000.000	389.329.488	3,33E-08	2,57E-09
Circuito de refrigeración	4	2	50.000.000	648.882.480	2,00E-08	1,54E-09
Disyuntor	2	2	10.000.000	129.776.496	1,00E-07	7,71E-09
Pararayos	2	2	1.500.000	19.466.474	6,67E-07	5,14E-08
REDUCTORA	8	1	1.000.000	12.977.650	1,00E-06	7,71E-08
CONVERTIDOR ESTÁTICO + CARGADOR BATERÍA						
Conv. Estático	2	2	40.000.000	519.105.984	2,50E-08	1,93E-09
CLIMATIZACIÓN SALA	3	2	10.000.000	129.776.496	1,00E-07	7,71E-09
EQUIPO DE MANDO Y MONITORIZACIÓN						
HMI	2	2	1.000.000.000	12.977.649.603	1,00E-09	7,71E-11
REGISTRADOR EVENTOS + HOMBRE MUERTO	1	1	100.000	1.297.765	1,00E-05	7,71E-07
FRENO CAJA + ANTIBLOQUEO	3	2	84.000.000	1.090.122.567	1,19E-08	9,17E-10
FRENO BOGIE	3	3	10.000.000	129.776.496	1,00E-07	7,71E-09
PUERTAS DE ACCESO	12	2	500.000	6.488.825	2,00E-06	1,54E-07
PASILLO INTERCOMUNICACIÓN	4	1	100.000	1.297.765	1,00E-05	7,71E-07
ENGANCHE AUTOMÁTICO	2	1	150.000	1.946.647	6,67E-06	5,14E-07
PIS (Passenger Information System)						
Altavoz	12	5	100.000.000	1.297.764.960	1,00E-08	7,71E-10
Switch ethernet	5	2	500.000.000	6.488.824.802	2,00E-09	1,54E-10
CCTV						
Unidad de control	1	1	200.000	2.595.530	5,00E-06	3,85E-07
HMI - CCTV	2	2	800.000.000	10.382.119.683	1,25E-09	9,63E-11
ALUMBRADO INTERIOR	36	15	1.000.000.000	12.977.649.603	1,00E-09	7,71E-11
ALUMBRADO EXTERIOR	30	4	1.000.000.000	12.977.649.603	1,00E-09	7,71E-11
TOTAL			25.495,14	330.867,05	3,92E-05	3,0224E-06
			MTBF Tranvía (horas/fallo)	MKBF Tranvía (km/fallo)	Tasa Fallo Tranvía (fallos/hora)	Tasa de Fallo Tranvía (fallo/km)
			Nº Fallos en	100.000,00 km		0
			Nº Fallos en	100.000,00 horas		4

Ilustración 18 Predicción FS Nivel 3

SISTEMA	Total	Nº de fallos	VALOR REQUERIDO			
			MTBF Sistema (horas/fallo)	MKBF Sistema (km/fallo)	Tasa Fallo Sistema (fallos/hora)	Tasa de Fallo Sistema
EQUIPO DE TRACCION						
Transformador	2	2	10.000.000.000	129.776.496.035	1,00E-10	7,71E-12
Pantógrafo	1	1	90.000	1.167.988	1,11E-05	8,56E-07
REDUCTORA	8	3	100.000.000.000	1.297.764.960.346	1,00E-11	7,71E-13
CONVERTIDOR ESTÁTICO + CARGADOR BATERÍA						
Carg. Baterias	2	2	10.000.000	129.776.496	1,00E-07	7,71E-09
TOTAL			89.196,35	1.157.558,97	1,1211E-05	8,6389E-07
			MTBF Tranvía (horas/fallo)	MKBF Tranvía (km/fallo)	Tasa Fallo Tranvía (fallos/hora)	Tasa de Fallo Tranvía (fallos/km)
			Nº Fallos en	100.000,00 km	0	
			Nº Fallos en	100.000,00 horas	1	

Ilustración 19 Predicción FS Nivel 4

5.2.2.2. Predicción de Mantenibilidad

En el caso de la predicción de Mantenibilidad será mucho más sencillo de llevar a cabo que en el anterior, ya que habrá que limitarse a actualizar los datos de nuestra asignación por los que trasmiten los proveedores.

De nuevo se incluirá una ayuda visual para saber si los proveedores han dado un valor por exceso, de esta manera se verá en verde, o por defecto, por lo cual estará en rojo. Esto se puede apreciar en la siguiente ilustración.

Descripción	MTTR sistemas (h)
Enganches-acoplamientos	1,6
Bateria	0,7
Circuito Cerrado de TV	1,4
Puertas de acceso exteriores	1,4
Circuito de Refrigeración	1,0
Equipo de Freno	2,2
Climatización Sala	1,3
Climatización Cabina	1,5
Pantógrafo	2,0
Convertidor Auxiliar	2,0
Inversores de Tracción	2,1
Motores de Tracción	2,5
Sistema de comunicación	0,7
Sistema de monitorización y	0,5
MTTR (global)	1,493

Ilustración 20 Predicción de
Mantenibilidad

Como se hizo en la asignación aquí también se incluirá estos valores en el cuadro resumen, junto a los demás parámetros RAM que se puede ver en la Ilustración 22 Comprobación Requisitos RAM (Predicción)

5.2.2.3. *Predicción de Disponibilidad*

Debido a los valores que han proporcionado los proveedores, los valores de Fiabilidad y mantenibilidad también lo han hecho, con lo que conlleva a una variación de la disponibilidad, que quedará de la siguiente manera:

Una vez se han realizado las predicciones RAM se deberá comprobar el cuadro

MTBF(h/fallo)	3.625,80				
MTTR(h)	1,4929				
				Disponibilidad	99,959%
MTBF (2)	4.437,22				
MTBF (3)	25.495,14				
MTBF (4)	89.196,35				

Ilustración 21 Predicción de Disponibilidad

resumen, para ver si con los nuevos valores de fiabilidad y mantenibilidad se siguen cumpliendo todos los requisitos que el cliente solicitaba.

En el caso de que estos objetivos no se cumplieran la primera medida sería valorar los diferentes proveedores que hay para sistemas o equipos similares y exigirles valores más altos, en el caso de que no puedan obtener valores más altos de fiabilidad o mantenibilidad tendríamos que buscar nuevos proveedores aunque el coste fuera mayor.

En el momento que se consiguen unos valores de fiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad que cumplan con los objetivos del cliente habrá que trasmitírselo, y esto se hará mediante el análisis RAM

1.- REQUISITOS DE FIABILIDAD

OBJETIVOS DE FIABILIDAD DEL PLIEGO	
TIPO DE FIABILIDAD	DESCRIPCIÓN
FM (Nivel 1)	Fiabilidad Material
FS	Nivel 2 Retirada a Fin de Línea
	Nivel 3 Evacuación Inmediata
	Nivel 4 Socorro

2.- REQUISITOS DE MANTENIBILIDAD

OBJETIVOS DE MANTENIBILIDAD DEL PLIEGO	
DESCRIPCIÓN	MTTR (h)
El tiempo medio de intervención sobre el vehículo será:	1,5

3.- REQUISITOS DE DISPONIBILIDAD

OBJETIVOS DE DISPONIBILIDAD DEL PLIEGO	
DESCRIPCIÓN	%
El porcentaje mínimo mensual será:	96,0%

Ilustración 22 Comprobación Requisitos RAM (Predicción)

5.2.3. Análisis RAM

Como se comentó en el apartado anterior, una vez se ha conseguido unos valores de los parámetros RAM, los cuales van a satisfacer a los clientes, llega el momento de trasmitirle a estos tales resultados, de esta manera se podrá asegurar que los vehículos demuestran el cumplimiento de los valores requeridos con un análisis RAM de dichos vehículos.

Para ello este documento reunirá las predicciones RAM de los principales sistemas.

Cabe destacar que este documento tendrá un uso meramente informativo, el cual será utilizado para que el cliente puede observar que datos se han utilizado para asegurar los parámetros RAM

Se incluirá en este documento toda la explicación de cómo se ha la herramienta Excel, los estudios y modelos matemáticos aplicados

Dentro de este documento lo más relevante será los análisis de Fiabilidad, Mantenibilidad y en menos medida el de Disponibilidad, los cuales se mostrarán a continuación.

5.2.3.1. Análisis de Fiabilidad

En análisis de fiabilidad para las diferentes fiabilidades de servicio y para la fiabilidad de material serán mostrados en las siguientes tablas. Donde aparecerán el mínimo MKBF ya que es la unidad en la que el cliente ha pedido la fiabilidad y se considerará lo siguiente:

- Se mostrará el número de fallos que conllevan a un determinado número de fallos en la columna “Nº de Fallos”
- El número de sistemas o equipos integrados en el tranvía estará en la columna “Nº de Equipos”
- Se muestra el elemento más crítico en cada nivel en la columna “Elemento Crítico”
- Se tendrá en cuenta en análisis FMEA realizado (ver apartado 5.1.4)
- Todos los valores expuestos serán tenidos en cuenta para el cálculo a nivel vehículo

La tabla será de la siguiente manera:

Sistemas	Nº de Equipos	Fiabilidad de Material		Elemento Crítico
		MKBF Equipo (km/fallo)	MKBF Sistema (km/fallo)	
EQUIPO DE TRACCION				
Inversor Tracción	4	1.038.212	2.162.942	x
Transformador	2	2.595.530	3.893.295	
Electrónica	4	1.816.871	3.785.148	
Motores Tracción	12	3.893.295	12.081.714	
Circuito de refrigeración	4	3.893.295	8.111.031	
Pantógrafo	1	778.659	973.324	x
Disyuntor	2	12.977.650	19.466.474	
Pararrayos	2	38.932.949	19.466.474	
ACR	1	81.759	408.796	
ELEMENTOS DE LA SECUENCIA DE LA PUERTA A TIERRA				
Seccionador	2	9.733.237	4.866.619	
REDUCTORA	8	5.839.942	15.872.129	
MANIPULADOR	2	648.882	648.882	
CONVERTIDOR ESTÁTICO + CARGADOR BATERÍA				
Conv. Estático	2	545.061	817.592	
Carg. Baterias	2	1.051.190	1.576.784	

Sistemas	Nº de Equipos	Fiabilidad de Material		Elemento Crítico
		MKBF Equipo (km/fallo)	MKBF Sistema (km/fallo)	
BATERÍA	1	3.309.301	3.309.301	
CLIMATIZACIÓN SALA	3	155.732	285.508	
CLIMATIZACIÓN CABINA	2	155.732	233.598	
EQUIPO DE MANDO Y MONITORIZACIÓN				
CCU+BA	2	12.977.650	19.466.474	
Repetidor	2	1.297.765	1.946.647	
HMI	2	1.557.318	2.335.977	
Gateway - WTB	2	3.893.295	5.839.942	
REGISTRADOR EVENTOS + HOMBRE MUERTO	1	1.297.765	1.297.765	
FRENO CAJA + ANTIBLOQUEO	3	64.888	118.962	x
FRENO BOGIE	3	64.888	118.962	x
PATÍN ELECTROMAG.	3	6.488.825	11.896.179	
PUERTAS DE ACCESO	12	259.553	805.448	
PASILLO INTERCOMUNICACIÓN	4	648.882	1.351.839	
ENGANCHE AUTOMÁTICO	2	1.297.765	648.882	

Sistemas	Nº de Equipos	Fiabilidad de Material		Elemento Crítico
		MKBF Equipo (km/fallo)	MKBF Sistema (km/fallo)	
ENGANCHE SEMIPER.	1	1.946.647	1.946.647	
PIS (Passenger Information System)				
Unidad de control	1	2.595.530	2.595.530	
Intercomunicador (PEI)	6	2.595.530	6.359.048	
Amplificador sala	2	2.595.530	3.893.295	
Micrófono cabina	2	2.595.530	3.893.295	
Cartel frontal	2	1.297.765	1.946.647	
Cartel lateral	4	1.297.765	2.703.677	
HMI - PIS	2	1.297.765	1.946.647	
Altavoz	12	6.488.825	20.136.190	
Pantalla TFT	5	2.595.530	5.926.460	
Switch ethernet	5	6.488.825	14.816.150	
CCTV				
Unidad de control	1	2.595.530	2.595.530	
HMI - CCTV	2	1.297.765	1.946.647	
Grabador de video	2	1.297.765	1.946.647	

Sistemas	Nº de Equipos	Fiabilidad de Material		Elemento Crítico
		MKBF Equipo (km/fallo)	MKBF Sistema (km/fallo)	
Cámara interior	7	1.946.647	5.047.379	
Cámara exterior retrovisora	4	648.882	1.351.839	
CUENTAPERSONAS	2	519.106	259.553	
ENGRASE DE PESTAÑA	2	389.329.488	194.664.744	
ALUMBRADO INTERIOR	36	3.893.295	16.252.790	
ALUMBRADO EXTERIOR	30	3.893.295	15.553.663	
BOGIE MOTOR	2	1.557.318	2.335.977	
BOGIE REMOLQUE	1	1.871.637	1.871.637	
Total		20.234		
		MKBF Tranvía (km/fallo)		

Tabla 12 Análisis Fiabilidad de Material

Con estos datos podemos observar que los elementos más críticos de este análisis son el Inversor de Tracción, el Pantógrafo y el sistema de frenado

Sistemas	Nº de Equipos	Modo de Fallo	Nº de Fallos	Fiabilidad de Servicio Nivel 2	Elemento Crítico
				MKBF Sistema (km/fallo)	
EQUIPO DE TRACCIÓN					
Inversor Tracción	4	Pérdida total de 1	1	2.076.424	
Electrónica	4	Pérdida total de 1.	1	3.893.295	
ACR	1	Pérdida total	1	279.019	
ELEMENTOS DE LA SECUENCIA DE LA PUERTA A TIERRA					
Seccionador	2		1	2.271.089	
MANIPULADOR	2	Fallo que no requiere mantenimiento inmediato	1	648.882	x
CONVERTIDOR ESTÁTICO + CARGADOR BATERÍA					
Conv. Estático	2	Pérdida parcial de 1	1	817.592	
Carg. Baterias	2	Pérdida parcial de 1	1	1.570.296	
CLIMATIZACIÓN SALA	3	Pérdida total de 1.	1	155.732	x
CLIMATIZACIÓN CABINA	2	Pérdida total de 2	1	1.297.765	x
FRENO BOGIE	3	Pérdida total de 1	2	25.955.299	
PUERTAS DE ACCESO	12	Pérdida total de 2	2	804.614	x
PIS (Passenger Information System)					

Sistemas	Nº de Equipos	Modo de Fallo	Nº de Fallos	Fiabilidad de Servicio Nivel 2	Elemento Crítico
				MKBF Sistema (km/fallo)	
Unidad de control	1	Pérdida total	1	2.595.530	
Intercomunicador (PEI)	6	Pérdida total de 1	1	6.359.048	
Amplificador sala	2	Pérdida total	1	12.977.650	
Micrófono cabina	2	Pérdida total	2	12.977.650	
HMI - PIS	2	Pérdida total	2	51.910.598	
Altavoz	12	Pérdida total de 5	2	129.776.496	
Switch ethernet	5	Pérdida total de 2	5	194.664.744	
Total				57.584,62	
MKBF Tranvía (km/fallo)					

Tabla 13 Análisis FS Nivel 2

Con estos datos se puede observar que los elementos más críticos de este análisis son el Manipulador, los sistemas de Climatización, Y las Puertas de acceso.

Sistemas	Nº de Equipos	Modo de Fallo	Nº de Fallos	Fiabilidad de Servicio Nivel 3	Elemento Crítico
				MKBF Sistema (km/fallo)	
EQUIPO DE TRACCIÓN					
Inversor Tracción	4	Pérdida total de 2	2	259.552.992	
Transformador	2	Pérdida total de 1	1	3.893.295	
Electrónica	4	Pérdida total de 2	2	129.776.496	
Motores Tracción	12	Pérdida total de 4 Motores de Tracción del siguiente modo: -2 de un Inversor de Tracción -2 de un Inversor de Tracción distinto.	4	389.329.488	
Circuito de refrigeración	4	Pérdida total de 2	2	648.882.480	
Disyuntor	2	Pérdida total de 2	2	129.776.496	
Pararayos	2	Cortocircuito	2	19.466.474	
REDUCTORA	8	Fallo en 1	1	12.977.650	
CONVERTIDOR ESTÁTICO + CARGADOR BATERÍA					
Conv. Estático	2	Pérdida total	2	519.105.984	
BATERÍA	1	Pérdida Total	1	2.595.530	
CLIMAT. SALA	3	Pérdida total de 2	2	129.776.496	

Sistemas	Nº de Equipos	Modo de Fallo	Nº de Fallos	Fiabilidad de Servicio Nivel 3	Elemento Crítico
				MKBF Sistema (km/fallo)	
EQUIPO DE MANDO Y MONITORIZACIÓN					
HMI	2	Pérdida total de 2	2	12.977.649.603	
REGISTRADOR EVENTOS + HOMBRE MUERTO	1	Pérdida total capacidad de grabación	1	1.297.765	
FRENO CAJA + ANTIBLOQUEO	3	Pérdida Total de 2	2	1.090.122.567	
FRENO BOGIE	3	Pérdida total de 3	3	129.776.496	
PUERTAS DE ACCESO	12	Perdida de 4	2	6.488.825	
PASILLO INTERCOMUNICACIÓN	4	Fallo en 1 o más	1	1.297.765	x
ENGANCHE AUTOMÁTICO	2	Fallo en 1 o más	1	1.946.647	
CCTV					
Unidad de control	1	Pérdida total	1	2.595.530	
HMI - CCTV	2	Pérdida total	2	10.382.119.683	
ALUMBRADO INTERIOR	36	Pérdida total de 15	15	12.977.649.603	
ALUMBRADO EXTERIOR	30	Pérdida total de 4	4	12.977.649.603	
Total				330.867,05	
				MKBF Tranvía (km/fallo)	

Tabla 14 Análisis FS Nivel 3

Con estos datos se puede observar que los elementos más críticos de este análisis son el Registrador del Hombre Muerto y el Pasillo de intercomunicación.

Sistemas	Nº de Equipos	Modo de Fallo	Nº de Fallos	Fiabilidad de Servicio Nivel 3	Elemento Crítico
				MKBF Sistema (km/fallo)	
Equipo de Tracción					
Transformador	2	Pérdida total de 2	2	129.776.496.035	
Pantógrafo	1	Pérdida total	1	1.167.988	x
REDUCTORA	8	Pérdida total	3	1.297.764.960.346	
CONVERTIDOR ESTÁTICO + CARGADOR BATERÍA					
Carg. Baterias	2	Pérdida total de 2	2	129.776.496	
Total				330.867,05	
MKBF Tranvía (km/fallo)					

Tabla 15 Análisis FS Nivel 4

Con estos datos se puede observar que el elemento más crítico es el Pantógrafo

5.2.3.2. *Análisis de Mantenibilidad*

La mantenibilidad del material rodante ha sido definida como la capacidad de que los equipos o sistemas puedan ser mantenidos o reparado en condiciones donde el vehículo pueda cumplir las funciones para las que han sido diseñadas.

Una buena mantenibilidad permitirá la optimización de los costes y tiempo de todas operaciones de mantenimiento y mejorará la disponibilidad de la flota.

Por lo tanto el propósito de este análisis es demostrar al cliente los valores de mantenibilidad que han sido usados para los cálculos, donde se verá el tipo de sistema que es y su MTTR, señalando también cual puede o pueden ser los elementos críticos en el área de mantenibilidad, estos datos los mostraremos a través de la siguiente tabla:

Sistemas	Mantenibilidad	Elemento Crítico
	MTTR (h)	
Enganches-acoplamientos	1,6	
Batería	0,7	
Circuito Cerrado de TV	1,4	
Puertas de acceso exteriores	1,4	
Circuito de Refrigeración	1,0	
Equipo de Freno	2,2	
Climatización Sala	1,3	
Climatización Cabina	1,5	
Pantógrafo	2,0	x
Convertidor Auxiliar	2,0	
Inversores de Tracción	2,1	

Sistemas	Mantenibilidad	Elemento Crítico
	MTTR (h)	
Motores de Tracción	2,5	
Sistema de comunicación (información/vigilancia)	0,7	
Sistema de monitorización y control de auxiliares	0,5	
MTTR (global)	1,493	

Tabla 16 Análisis de Mantenibilidad

Gracias a este análisis se puede ver que el Pantógrafo en este caso también es un elemento crítico

5.2.3.3. Análisis de Disponibilidad

La disponibilidad será el resultado de fiabilidad y mantenibilidad, por lo tanto considerando que tanto el análisis de fiabilidad y el de mantenibilidad aseguran los objetivos del cliente, se puede asegurar que la disponibilidad de la flota será alta.

De todas maneras de detallará al cliente las fórmulas utilizadas para el cálculo de la disponibilidad y su resultado final (ver apartado 4.3), donde cabe destacar que se utilizará el MTBF de las fiabilidades de servicio, ya que en este caso interesa saber el tiempo medio entre fallo y no los kilómetros entre fallo. Lo cual se puede apreciar en la siguiente tabla:

	Datos Fiabilidad (h/fallo)	Datos Mantenibilidad (h)	
MTBF (Nivel 2)	4.437,22		
MTBF (Nivel 3)	25.495,14		
MTBF (Nivel 4)	89.196,35		
MTBF _{Global}	3.625,80		
		1,4929	MTTR
Disponibilidad		99,959%	

Tabla 17 Análisis de Disponibilidad

Con estos análisis se puede confirmar a los clientes que el material rodante cumplirá todos los objetivos propuestos.

5.2.4. Protocolo Demostración RAM

Una vez se ha llevado a cabo el análisis RAM, el cual se entregará a cliente, se establece con este cliente un compromiso de que se van a cumplir todos los requisitos que citamos en tal análisis y por norma general si no se cumplieran tales objetivos se podría incurrir en algún tipo de penalidad contractual.

De esta manera el cliente puede requerir que durante el futuro servicio del vehículo se demuestre que todas las predicciones RAM que se han realizado se cumplen.

Si estas predicciones van sujetas a penalidades económicas interesa establecer un protocolo de cómo se va a demostrar que los valores RAM que se incluyeron tanto en la predicción como en el posterior análisis RAM se cumplen.

Por lo tanto el responsable RAM del proyecto deberá generar este protocolo, definiendo la estrategia y las condiciones a seguir durante la pruebas de demostración de los objetivos RAM establecidos para el material rodante

Con este Protocolo de Demostración RAM se pretender establecer cuáles son los requisitos de fiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad, las condiciones en las que se va a medir tales parámetros y establecer el procedimiento a seguir para la recopilación de dichos parámetros

Para realizar el protocolo de Demostración RAM se procederá de la siguiente manera.

En primer lugar se volverá a explicar los modelos matemáticos y estadísticos que van a ser utilizados durante la demostración así como las definiciones y objetivos RAM pertinentes.

Posteriormente se designará un responsable por parte del cliente, el cual se haga responsable de los aspectos de la demostración RAM que se requiera por este protocolo, asumiendo la responsabilidad de la comunicación con el responsable del Material Rodante

Por otra parte también se designará un responsable para mantener el contacto con el cliente asegurando tal comunicación para la revisión y registro de cada informe de averías, comprobación de causa de tales averías, contactar con el proveedor de dicho equipo que este averiado...

Para poder reflejar las incidencias que ocurrán se elaborará un hoja de información de averías, para hacer más fácil el diagnóstico de la causa de accidente. Esta hoja contará con la siguiente información

- Nº de incidencia: para saber cuántas hay en total
- Fecha: para saber cuándo ocurrió
- Persona que informa: para conocer la persona que se dio cuenta de la avería y dirigir posibles preguntas hacia él
- Unidad afectada: para saber que tranvía ha sido afectado
- Kilometraje de unidad: para realizar la demostración de fiabilidad, necesitamos saber cada cuantos kilómetros se producen las averías
- Lugar de Avería: Lugar del trayecto donde ha ocurrido
- Descripción de Avería:
 - Sistema afectado del tranvía
 - Descripción del fallo que ha llevado a la avería
 - Acciones realiza en ese momento por el conductor o operador
- Efecto sobre el servicio:
 - Servirá para conocer el efecto que ha tenido esa avería en el servicio del tranvía

Información de averías					
Nº Incidencia	Fecha	Persona que informa	Unidad afectada	Kilometraje de unidad	Lugar de Avería
Descripción de Avería					
Sistema afectado				Efecto sobre el servicio	
Descripción de fallo				<input type="checkbox"/> Elevada Mantenibilidad <input type="checkbox"/> Retirada a Fin de línea <input type="checkbox"/> Evacuación Inmediata <input type="checkbox"/> Socorro	
Acciones realizada por maquinista					

Tabla 18 Hoja de Información de Averías

Cabe destacar que no todas las averías que ocurran durante el servicio de los vehículos son imputables, la siguiente lista expone que fallos no son aplicables a los estudios RAM

- Accidentes no imputables al vehículo
- Fallos ocurridos fuera del periodo de servicio
- Uso indebido de los sistemas
- Vandalismo
- Mantenimiento incorrecto por parte del cliente
- Fallo de componentes consumibles

También hay que dejar claro cuando se puede empezar a llevar un registro de las averías sufridas por los tranvías, ya que no se pueden empezar a contabilizar desde el primer momento de puesta en servicio del tranvía.

Todos los tranvías deben realizar una etapa que durará unos 3 meses, denominada "burn-in" donde todos los fallos ocurridos no se contabilizan para el computo de cálculo de los parámetros RAM, pero sí que habrá que registrarlos con la hoja de información para evitarlos en un futuro. Y a partir de que termine esta etapa sí que se empezarán a contabilizar para los cálculos de demostración RAM.

De esta manera la demostración de los valores RAM se llevará a cabo después de la etapa de "burn-in" y durará no más de un año. En ese tiempo se deberá registrar todas las averías que ocurran y con ellas elaborar los cálculos RAM, para corroborarlos con lo que se ofreció al cliente por medio de la predicción RAM y el análisis RAM

En caso de no cumplir con los valores que se dieron al cliente se puede incurrir en penalidades económicas.

Y se debería volver a realizar las predicciones RAM con los nuevos valores y si siguiera sin cumplir los objetivos se debería obtener nuevos equipos de los mismos o diferentes proveedores hasta que se cumpla los objetivos marcados

5.2.5. Cierre Programa RAM

Una vez realizadas las etapas anteriores y se haya demostrado al cliente que los vehículos cumplen con todo lo que se ha pactado, se procederá al cierre del programa RAM, no significa que el trabajo haya acabado aquí, si no que damos por concluida la inclusión en el proyecto de nuevas actividades RAM.

A partir de aquí habrá que asegurarse de que todas las actividades RAM que hemos previsto realizar, se van a llevar a cabo, y si en algún momento surgieran retrasos de debería ir actualizando en Programa RAM

5.3. FABRICACION, INSTALACIÓN Y ENSAYOS

Una vez acabada la fase de ingeniería de detalle, llega el momento de comenzar con la fabricación e instalación del vehículo y posteriormente los ensayos que se necesiten realizar, el área RAM no participará directamente, pero sí que estará presente.

5.3.1. *Fase de Fabricación*

Una vez que se ha establecido todos los contactos con los proveedores, el departamento de compras, que aunque esté fuera del área de ingeniería va a ser el encargado de comprar los diferentes equipos y sistemas

5.3.1.1. *Objetivos*

Según la norma EN 50126 los objetivos de esta fase son:

- La implementación de procesos de fabricación los cuales producen sistemas y componentes validados por RAM
- Establecer procesos centrados en RAM establecidos en los acuerdos de garantía
- Establecer los modos de apoyo RAM para sistemas y componentes

En la fase de fabricación se puede encontrar dos variantes que van a diferenciar en la influencia RAM que podamos trasmitir al proyecto, las cuales son:

- Los componentes son fabricados por la empresa
- Los componentes son fabricados por proveedores

5.3.1.2. *Fabricados por la empresa*

En caso de que la empresa participe en la fabricación de los mismos, se podría modificar tales procesos para lograr mejorar el apartado RAM.

De esta manera se podría cumplir con los objetivos de la norma EN 50126

Las posibles medidas que se puede utilizar para mejorar estos procesos de fabricación podría ser la implantación del Lean Manufacturing.

5.3.1.2.1. *Lean Manufacturing*

El Lean Manufacturing es una filosofía de eliminación del desperdicio, es decir, si el principal objetivo de la implantación de dicha filosofía es el conseguir eliminar de los distintos procesos de producción o fabricación las sobreproducciones, excesos de inventario, tiempos de espera, transporte de materiales innecesarios.

Para tener éxito en tal propósito habrá que utilizar unas herramientas como pueden ser:

- Sistemas Kaizen
- Tarjetas Kamban
- Elementos y procesos Poka Yoke

5.3.1.3. *Fabricados por proveedores*

Por otro lado si la empresa no participa en los procesos de fabricación, será muy difícil hacer que los suministradores cambien sus propios procesos o la manera que tienen de fabricar un componente u otro. Aunque se podría proponer sistemas de mejoras como los propuestos anteriormente

5.3.1.4. *Presencia RAM*

Como se ha comentado el área RAM deberá estar presente en esta fase de las siguientes maneras:

- Verificando e implantando los procesos de fabricación
- Estableciendo modos de apoyo RAM para sistemas y componentes

El resultado de esta fase será documentado, con todos supuestos y justificaciones realizadas durante esta fase. Llevándose un registro de todas las actividades realizadas

Tal registro será llevado en la siguiente hoja de registro, donde se encontrarán los siguientes aspectos

- Nº de Actividad: Para llevar un control de cuantas actividades se han realizado
- Fecha: Se establecerá cuando se realizó tal actividad
- Descripción: Se describirá la actividad que se va a realizar para las mejoras o ayudas a los procesos de fabricación
- Verificación: Se explicará cómo se va a verificar el cumplimiento ,el correcto uso y los métodos y herramientas usas para esta actividad han resultado efectivos, pudiendo ser mediante algún tipo de test o toma de tiempos

- Área de mejora: Se destacará en que área se centra dicha actividad
- Comentarios: Posibles comentarios adicionales

Hojas de Registro de Actividades en Fase de Fabricación					
Nº Actividad	Fecha	Descripción	Área de mejora	Verificación	Comentarios

Tabla 19 Hoja de Registro de Actividades en fase de Fabricación

5.3.2. *Fase de instalación*

Una vez se han fabricado todos los elementos o los proveedores han enviado sus productos necesarios para la construcción del tranvía se procederá con la instalación de todos los sistemas que debe integrar los tranvías así como el cableado y demás componentes

5.3.2.1. *Objetivos*

Según la norma EN 50126 el objetivo de esta fase es:

- Ensamblar e instalar la combinación total de sistemas y componentes requerida para formar el vehículo completo

5.3.2.2. *Presencia RAM*

En esta fase la presencia RAM estará presente en los siguientes aspectos:

- El registro de los diferentes procesos de instalación que se puedan llevar a cabo
- Fomentar la formación de los trabajadores
- Establecer provisiones de repuestos o herramientas necesarias

Para llevar a cabo la documentación donde quedará el registro de los procesos de instalación se utilizará la siguiente Hoja de Registro, donde encontraremos los siguientes aspectos:

- Nº de Actividad: Para llevar un control de cuantas actividades se han realizado
- Fecha: Se establecerá cuando se realizó tal actividad

- Descripción: Se describirá la instalación realizada
- Responsable: Se nombrará la persona responsable en tal instalación
- Verificación: Se explicará cómo se va a verificar que se ha instalado los componentes o sistemas de una manera correcta, pudiendo ser mediante algún tipo de test, análisis, ensayos o inspección visual
- Comentarios: Posibles comentarios adicionales

Hojas de Registro de Actividades en Fase de Instalación					
Nº Actividad	Fecha	Descripción	Responsable	Verificación	Comentarios

Tabla 20 Hoja de Registro de Actividades en fase de Instalación

5.3.3. *Pruebas*

Cuando todos los componentes de los tranvías han sido fabricados e instalados, da comienzo la fase de pruebas, que básicamente estará divida en dos.

Por una parte se realizarán pruebas dentro de la factoría, donde se ensayarán con la electrónica de los sistemas, el alumbrado y todo tipo de prueba que no necesite que el tranvía este en movimiento

Por otro lado están las pruebas en vía, que dependiendo de donde sea el cliente se podrá realizar en el futuro trazado o en uno similar. En este tipo de pruebas se recogerán ensayos de frenado, tracción, confort, niveles acústicos, dinámica y demás elementos que necesiten que el vehículo esté en funcionamiento y coja velocidad.

Con la finalización y aceptación de estas últimas pruebas se podrá aceptar la entrada en servicio de los tranvías

5.3.3.1. *Objetivos*

Según la norma EN 50126 los objetivos de esta fase son:

- Validar y verificar que la combinación de sistemas, componentes y medidas de reducción de riesgos están conformes a los requisitos RAM
- Documentar la validación y verificación de datos

- Aceptar la entrada de servicio de los tranvías

5.3.3.2. *Presencia RAM*

La presencia RAM es esta fase estará presente en los siguientes aspectos:

- Reportar todos los fallos y averías detectados durante esta fase
- Validación y Aceptación de que la combinación de los sistemas, componentes y medias de reducción de riesgo son llevadas a cabo de una manera satisfactoria
- Valoración de todas las actividades de Validación y Aceptación de las diferentes pruebas realizadas

Para tener un registro de los fallos y averías se puede usar la "Hoja de información de Averías que se realizó para la demostración de los requisitos RAM que se encuentra en el apartado 5.2.4. Con la diferencia de que todas las averías o fallos que se registren en esta fase no serán considerados para el cálculo de parámetros RAM

Por otro lado para llevar elaborar un documento para el control de las pruebas que se han realizado así como de las Actividades de Validación y Aceptación de las mismas se usará la siguiente Hoja de Registro, en la cual encontraremos los siguientes aspectos:

- Nº de Actividad: Para llevar un control de cuantas actividades o pruebas se han realizado
- Fecha: Se establecerá cuando se llevó a cabo la actividad o prueba
- Descripción: Se detallará que tipo de prueba se va a realizar.
- Lugar y Condiciones: Se detallará donde han sido realizadas las actividades o pruebas y en qué condiciones (temperatura, humedad ...)
- Tipo de Verificación: Se explicara cómo se va a realizar la verificación de las pruebas, si con protocolos, análisis etc. ...
- Tipo de Aceptación: Se explicará cómo se va a realizar la aceptación de tales actividades o pruebas, si con informes, estudios detallados...
- Frecuencia: Se decidirá si hay que hacerlo solo una vez o varias ocasiones
- Comentarios: se anotará información adicional.

Hojas de Registro de Actividades en Fase de Pruebas									
Nº Actividad	Fecha	Descripción	Lugar y Condiciones	Condiciones	Tipo de Verificación	Tipo de Aceptación	Frecuencia	Comentarios	

Tabla 21 Hoja de Registro de Actividades en Fase de Pruebas

Si tras esta fase todas las actividades son verificadas y aceptadas, se podrá aceptar la entrada en servicio de la flota de tranvías.

En el caso de que alguna actividad no se pudiera realizar por alguna circunstancia particular, podría aceptarse la entrada en servicio de manera condicional. Por ejemplo si faltan las pruebas en condiciones de Invierno Extremo y no se ha dado esas características a lo largo del año, el tranvía puede empezar a circular condicionado a realizar tales pruebas cuando sea posible.

5.4. ENTRADA EN SERVICIO, GARANTIA Y MANTENIMIENTO

Cuando la fase de pruebas ha sido superada de forma condicional o total, los tranvías están listos para comenzar con su servicio

5.4.1. *Objetivos*

Según la norma En 50126 los objetivos para estas fases serán:

- Operar y proporcionar asistencia a sistemas durante el periodo de garantía
- Mantener en nivel de prestaciones RAM del sistema durante al menos el periodo de garantía

5.4.2. *Presencia RAM*

En principio el mantenimiento del material rodante puede que sea imputable o no, ya que dependerá del contrato firmado entre constructor y cliente, pudiendo dejar las tareas de mantenimiento a cargo del cliente o por el contrario a cargo del constructor, al menos hasta que termine la garantía del material rodante.

La presencia RAM en esta fase va a ser fundamentalmente por la puesta en práctica del Protocolo Demostración RAM que se estudió en el apartado 5.2.4 , para poder demostrar el cumplimiento de los objetivos RAM durante este periodo de garantía, pasando de Protocolo a Informe de Demostración RAM.

Este Informe de Demostración RAM será lo que acredite que los tranvías construidos son Fiables, Mantenibles y Disponibles. Y con él se dará por concluido el desarrollo de Sistemas RAM

6. CONCLUSIONES

Este TFG no pretende ser ejemplo de cómo obtener los valores de fiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad más exactos posibles aplicando estadística o modelos matemáticos muy complejos, sino que se pretende exponer como se puede organizar una empresa para poder llegar a obtener dichos valores, ayudándose de la norma Europea EN 50126

La realización de este TFG ha demostrado que el análisis RAM es una tarea complicada, ya que intervienen muchos factores los cuales se pueden escapar a nuestra comprensión.

Para conseguir los objetivos que se plantearon en el inicio ha hecho falta simplificar los modelos estadísticos convirtiendo a la tasa de fallo en una constante, lo cual es la vida real no se va a dar, pero para intentar hacer un estudio objetivo y analítico ha sido necesaria estas simplificaciones.

A lo largo de este TFG lo más complicado ha sido encontrar datos que fueran cercanos a la vida real, no solo datos numéricos como los tiempos medios entre fallo, o valores de mantenibilidad sino que también ha sido complicado encontrar como afectaban los fallos al tranvía y en qué medida se hacía.

Los objetivos planteados al inicio se han cumplido en gran medida a la herramienta Excel, que permitirá gestionar los parámetros RAM, aunque como se comentó anteriormente de una manera simple, ya que los modelos estadísticos son sencillos y los valores de fiabilidad no han podido ser contrastados con proveedores reales, al igual que solo se ha estudiado las composiciones de los sistemas o en serie o paralelo, siendo que en la realidad pueden aparecer mixtos.

También cabe destacar que con esta herramienta Excel, si queremos conseguir maximizar la fiabilidad basta con establecer que todos los sistemas están conectados en paralelo, pero no se ha estudiado los costes que puedan estar asociados a ello, por lo tanto en la vida real puede que no convenga dejar todos los sistemas en este tipo de conexión ya que el coste puede ser excesivo

Respecto a la implantación de la norma Europea EN 50126, se ha intentado adaptar de la forma más precisa posible, sobre todo siguiendo las etapas que estaban descriptivas, aunque en las etapas finales no se han estudiado en profundidad porque no se han considerado tan importantes como las etapas de ingeniería básica y de detalle.

De todas formas con la elaboración de este proyecto se ha conseguido hacer una demostración de cómo se puede explicar al cliente que el material rodante que ha adquirido es fiable, mantenible y disponible.

Lo más importante para el cliente será el Análisis RAM, ya que con este documento la empresa se compromete a obtener esos valores de Fiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad durante la fase de servicio comercial.

Si se volviera a realizar este TFG, la principal medida que se tomaría sería la obtención de datos de proveedores reales, para dar más realismo a los análisis efectuados a posteriori. Y también el uso de modelos matemáticos y estadísticos más complejos para seguir dando más utilidad en la vida real.

Para finalizar, otro aspecto que está alejado de los objetivos iniciales, pero que tras el desarrollo de este TFG ha salido a la luz es tratar para futuros proyectos implementar la filosofía del “Lean Manufacturing” en los sistemas producción o fabricación, aunque este tema bien podría dar lugar a un nuevo trabajo de fin de grado.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Articulation systems. (s. f.). Recuperado 20 de junio de 2015, a partir de http://www.hubner-germany.com/en/articulation_systems_railway_vehicles.html
- Bogie - Ferropedia. (s. f.). Recuperado 21 de junio de 2015, a partir de <http://www.ferropedia.es/wiki/Bogie>
- CAF - Construcciones y Auxiliar de Ferrocarriles, creamos soluciones ferroviarias. (s. f.). Recuperado 22 de marzo de 2015, a partir de <http://www.caf.es/es>
- Convertidor de tracción eléctrica 750V - Railway systems CAF Power & Automation. (s. f.). Recuperado 20 de junio de 2015, a partir de <http://www.cafpower.com/es/sistemas-traccion-electrica/convertidores-traccion-electrica-dc/convertidor-traccion-electrica-750v>
- Ebeling, C. (s. f.). *An Introduction To Reliability And Maintainability Engineering* (12 th).
- EKE-Electronics - Event Recorders. (s. f.). Recuperado 20 de junio de 2015, a partir de <http://www.eke-electronics.com/train-event-recorder>
- Empresa y Tecnología: Ingeniería de Concepto, Ingeniería Básica, Ingeniería de Detalle. (s. f.). Recuperado 12 de abril de 2015, a partir de <http://empresamastecnologia.blogspot.com.es/2013/05/ingenieria-de-concepto-ingenieria.html>
- Ferropedia. (s. f.). Recuperado 25 de marzo de 2015, a partir de <http://www.ferropedia.es/wiki/Portada>
- iFE Doors - Knorr-Bremse Group - Entrance Systems for Mass Transit. (s. f.). Recuperado 20 de junio de 2015, a partir de http://www.ife-doors.com/en/products/shortdistancetraffic_1/slidingplugdoorsmasstransit/slidingplugdoorsmasstransit.jsp
- Ingeteam. (s. f.). Recuperado 16 de junio de 2015, a partir de <http://www.ingeteam.com/>
- Irwin Miller, & John E. Freund. (s. f.). *Probabilidad y estadística para ingenieros*.
- J. Smith, D. (s. f.). *Reliability maintainability and risk*.
- Merak - HVAC: Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado. (s. f.). Recuperado 20 de junio de 2015, a partir de <http://www.merak-hvac.com/es/products/hvac/hvacoverviepage.jsp>

- Normativa UNE-EN 13452: Aplicaciones ferroviarias. Frenado. Sistemas de freno para transportes públicos urbanos y suburbanos. Parte 1: Requisitos de funcionamiento.
- Normativa UNE-EN 50126: Railway applications - The specification and demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS). Part 1: Basic requirements and generic process.
- Pantógrafo SBL | Schunk Ibérica S.A. (s. f.). Recuperado 19 de junio de 2015, a partir de <http://www.schunk.es/es/sib/schunk01.c.45504.es>
- Tranvía de Zaragoza. (s. f.). Recuperado 21 de junio de 2015, a partir de <http://www.tranviasdezaragoza.es/es/>
- W. Gessmann GmbH Industrieschaltgeräte Leingarten: Details. (s. f.). Recuperado 20 de junio de 2015, a partir de <http://www.gessmann.com/products/produkte-nach-anwendungsbereich/schienenfahrzeuge/details.html?product%5BshowUid%5D=77&cHash=15ed8e4472832c02186a0f4bbf94e0db>
- Zárate Fraga, Marta. (2012). *Análisis RAM*. Carlos III.

Relación de documentos

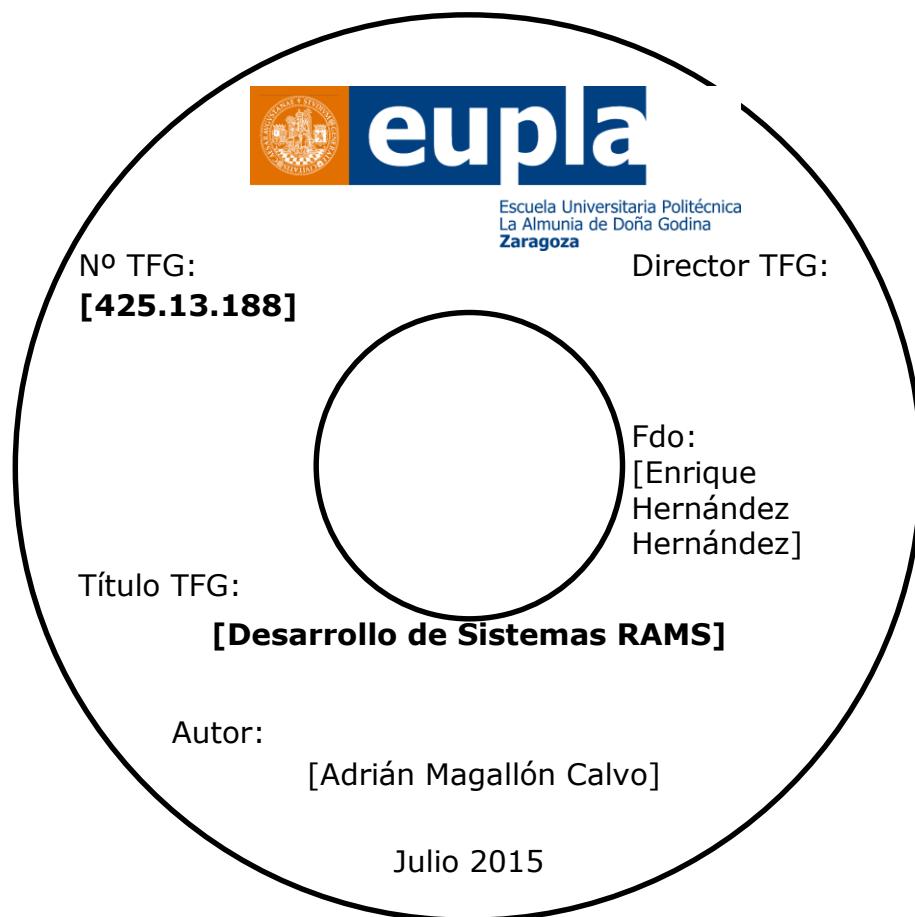
(X) Memoria 119 páginas

(_) Anexos NN páginas

La Almunia, a 1 de Julio de 2015

Firmado: [Adrián Magallón Calvo]

Etiqueta para CD/DVD





**ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA
DE LA ALMUNIA DE DOÑA GODINA (ZARAGOZA)**

[Desarrollo de Sistemas RAMS]

[425.13.188]

Autor: [Adrián Magallón Calvo]

Director: [Enrique Hernández Hernández]

Fecha: Julio 2015

