



**Master Universitario en Sistemas Ferroviarios**

**Trabajo de fin de Master**

**ANALISIS RAM A NIVEL DE OFERTA  
PARA PROYECTOS  
DE SEÑALIZACIÓN FERROVIARIA**

Tutor: José Lu3s Garc3a Boy3

Alumno: Ver3nica Sancho S3nchez

Julio, 2016

## FICHA TÉCNICA

### Autor:

Verónica Sancho Sánchez

### Director Trabajo Fin de Master:

José Luís García Boyé

### Programa cursado:

Master en Sistemas Ferroviarios 2015-2016

### Título TFM:

Análisis RAM a nivel de oferta para proyectos de señalización ferroviaria.

### Resumen

El avance tecnológico vivido en las últimas décadas en todos los ámbitos de la ingeniería ha transformado los medios de transporte y la concepción que el usuario tiene de ellos. Si hace veinte años lo importante era simplemente desplazarse, en la actualidad el concepto de viaje ha cambiado ostensiblemente al entrar condicionantes como el tiempo que inviertes en hacer el trayecto, la seguridad, el precio, la frecuencia de las salidas, la puntualidad, etc. Todo ello ha llevado a una gran competencia intermodal en la que la fiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad y seguridad han tomado una importancia vital en el intento de dar al usuario lo que demanda y conseguir nichos de mercado sin que los costes de toda esta tecnología se dispare.

Los proyectos de señalización ferroviaria son los encargados de parte de la seguridad y de la disponibilidad del sistema ferroviario, por lo que desde la propia licitación del proyecto por parte de la administración, es necesario demostrar que la solución ofertada por la empresa licitadora cumple con las especificaciones de fiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad y seguridad, es decir RAMS, que requiere la línea en estudio.

El año pasado después de cursar la asignatura RAMS y entender su importancia dentro de todo el proceso de diseño y ejecución de los proyectos de señalización, me surgió la curiosidad de como pasar de la parte teórica estudiada a ponerlo en práctica sobre el trabajo que hago diariamente desde otra perspectiva diferente, así nace la idea de este TFM, teniendo como objetivo calcular y analizar la parte de la calidad ferroviaria Reliability, Availability, Maintainability, sin hacer la parte de Safety ya que entiendo que esta por si sola podría ser objeto de otro trabajo.

El Trabajo se ha desarrollado en tres etapas:

La primera de ellas recopila la información necesaria tanto para el estudio sobre probabilidad y las funciones que representan nuestras RAM así como la documentación técnica de las tecnologías en estudio y la normativa en vigor referente a estos temas y de obligado cumplimiento.

La segunda etapa establece la estrategia de trabajo y la definición y cálculo de la RAM. Para ello se analiza la estructura del sistema y se establece la relación entre fallo y criticidad que este provoca sobre la funcionalidad del sistema.

La tercera y última etapa es la redacción de la memoria como explicación de la metodología, cálculos realizados y las conclusiones extraídas a lo largo del trabajo.



FDO. JOSÉ LUIS GARCÍA BOTÉ  
DIRECTOR TFM



FDO. VERÓNICA SANCHO SÁNCHEZ  
AUTORA TFM

## ÍNDICE

<b>1. DESCRIPCIÓN.....</b>	<b>6</b>
1.1. INTRODUCCIÓN .....	6
1.2. RESUMEN.....	7
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>8</b>
<b>3. TAREAS.....</b>	<b>9</b>
3.1. RECOPIACIÓN DE DOCUMENTACIÓN .....	9
3.1.1. Recopilación de Normativa.....	9
3.1.2. Recopilación de Bibliografía.....	10
3.1.3. Recopilación de Documentación Técnica .....	10
3.2. ANÁLISIS.....	10
3.3. DEFINIR R.A.M. ....	10
3.4. DETERMINACIÓN DEL PROCESO DE CÁLCULO.....	11
3.5. CÁLCULO Y REDACCIÓN DE LA OFERTA.....	11
<b>4. PLANIFICACIÓN.....</b>	<b>11</b>
<b>5. DESARROLLO.....</b>	<b>12</b>
5.1. DEFINICIONES .....	12
5.1.1. Fiabilidad.....	12
5.1.1.1. Parámetros de medida de la fiabilidad .....	14
5.1.2. <b>Fiabilidad de los sistemas</b> .....	16
5.1.2.1. Configuración en Serie.....	17
5.1.2.2. Configuración en Paralelo.....	18
5.1.3. <b>Mantenibilidad</b> .....	20
5.1.3.1. Predicción de la Mantenibilidad.....	22
5.1.4. Disponibilidad .....	23
5.1.4.1. Disponibilidad en equipos complejos .....	25
5.1.4.2. Grados de indisponibilidad .....	26
5.2. ANÁLISIS DE FIABILIDAD DEL SISTEMA DE SEÑALIZACIÓN .....	27
5.2.1. Enclavamiento Electrónico.....	28
5.2.1.1. Cálculo Tasa de Fallo Logística.....	30
5.2.1.2. Cálculo Tasa de Fallo de Servicio.....	32
5.2.2. Señales luminosas .....	38
5.2.3. Contadores de ejes.....	40
5.2.4. Circuitos de vía .....	41
5.2.4.1. Tasa de fallos individual .....	42
5.2.4.2. Tasa de fallos del conjunto de Circuitos de vía de la línea .....	42
5.2.5. Accionamiento electrohidráulico .....	43

5.3.	ANÁLISIS DE LA DISPONIBILIDAD INHERENTE DEL SISTEMA DE SEÑALIZACIÓN .....	44
5.3.1.	Enclavamiento electrónico. ....	45
5.3.2.	Señales luminosas. ....	46
5.3.3.	Contadores de ejes.....	47
5.3.4.	Circuitos de vía .....	47
5.3.5.	Accionamientos electrohidráulicos .....	48
5.4.	ANÁLISIS DE LA MANTENIBILIDAD DEL SISTEMA DE SEÑALIZACIÓN ...	48
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>52</b>
<b>7.</b>	<b>APORTACIONES.....</b>	<b>53</b>

## 1. DESCRIPCIÓN

### 1.1. INTRODUCCIÓN

Desde la aparición del hombre en la tierra éste ha fabricado artículos, herramientas que le ayudarían en la vida diaria, artículos de los que esperaba un funcionamiento correcto. ¿Cuánto tiempo durarían? Hasta que se rompían. Entonces lo mejoraban buscando que su esperanza de vida útil aumentara. Es decir, el concepto de fiabilidad ha existido desde los albores de la tierra, no exactamente como el que actualmente tenemos en la actualidad, pero existía. Para llegar al concepto actual, al uso de la probabilidad y la estadística como base de la Ingeniería, han tenido que pasar muchos siglos, muchos acontecimientos y sobre todo un gran desarrollo tecnológico.

Tecnologías complejas y de alto riesgo como la aeronáutica militar y nuclear han sido las responsables del cambio en la concepción y las técnicas de análisis de la confiabilidad de componentes, equipos y sistemas.

En el siglo XVII los matemáticos Pierre Fermat y Blaise Pascal sentaron las bases del Cálculo de Probabilidades, curiosamente estudiando los juegos de azar.

A comienzos de la segunda guerra Mundial cuando la empresa Fieseler diseña y desarrolla el misil Fi 103 V1 para el ejército alemán, es donde el ingeniero Robert Lusser realiza estudios sobre la fiabilidad de los sistemas complejos llegando a la ecuación

$$RS(t) = R1(t)R2(t) \times \dots \times Rn(t), \text{ denominada Regla de Lusser,}$$

en la que se basará Erich Pieruschka, matemático del mismo equipo, para postular la fórmula de que la fiabilidad del sistema se obtiene a partir de la fiabilidad de los componentes de este y que permite afirmar que la fiabilidad del conjunto siempre será inferior a la de sus componentes individuales.

Los primeros cambios en el concepto de la fiabilidad tal y como la entendemos en la actualidad surgieron del sector aeronáutico. En su preocupación por la seguridad, asumiendo esta como la probabilidad de no fallos del sistema, buscan minimizar estos fallos mediante el estudio de probabilidad de fallo de los componentes que integran sus sistemas y conseguir así sistemas confiables y difundir entre los usuarios de ese medio de transporte que además de innovador y rápido era seguro al tener una tasa de siniestralidad baja.

El Departamento de Defensa Americano durante la guerra de Corea realizó estudios de fiabilidad de equipos electrónicos militares ya que sus fallos les estaban ocasionando graves pérdidas económicas y una menor efectividad militar. Aquí aparece un nuevo concepto la relación entre la fiabilidad, costes y mantenimiento.

A partir de ese momento las fuerzas Armadas de los Estados Unidos reglamentan todas las compras de equipos electrónicos según especificaciones de fiabilidad de los equipos.

En la década de los años sesenta Estados Unidos realizó numerosos estudios de fiabilidad dando lugar a manuales que se siguen utilizando a día de hoy, como son:

- MIL-HDBK-217F, Military Handbook: Reliability Prediction of Electronic Equipment en 1962.
- RADC Reliability Notebook en 1959.
- MIL-HDBK-338 Military Handbook: Electronic Reliability Design Handbook en 1988.

Pero es también en esa década es cuando otros países y otras tecnologías comienzan a desarrollar fundamentos y conceptos teóricos sobre La Confiabilidad. Así Barlow y Prochan exponen en 1964 su primera teoría matemática de la Confiabilidad y Gnedenko en 1965.

El sector ferroviario siempre ha sido considerado un sistema seguro con una tasa de accidentes muy bajo, pero en las últimas décadas ha tenido que competir con los otros medios de transporte para recuperar los usuarios que desde los años cincuenta hasta los ochenta perdió frente al avión. Para ello ha tenido que mejorar cualidades como una máxima puntualidad, mayor frecuencia de tráfico, un aumento del confort a bordo y mayores velocidades. Para conseguir estas nuevas necesidades comerciales las disciplinas RAMS (Reliability, Availability, Maintainability and Safety) han cobrado un papel fundamental, consiguiendo sistemas con disponibilidades altas sin rebaja de la seguridad.

## **1.2. RESUMEN**

Los análisis RAMS permiten pronosticar la disponibilidad de un sistema para un periodo de tiempo determinado, es decir la fiabilidad y la mantenibilidad van a determinar la disponibilidad del sistema y esta disponibilidad influirá directamente en la seguridad, repercutiendo ambas en la calidad del servicio.

La disponibilidad de un sistema está basado en la configuración de este, en la fiabilidad de sus componentes y en la política de mantenimiento que se establezca.

La fiabilidad se basa en el conocimiento de conceptos técnicos como:

- Posibles modos de fallo del sistema en la aplicación especificada y el entorno.
- La probabilidad de que suceda cada fallo o alternativamente, la tasa de fallo.
- El efecto del fallo en la funcionalidad del sistema.

La mantenibilidad es la probabilidad de que una acción de mantenimiento sobre un elemento en unas condiciones dadas se pueda llevar a cabo en el intervalo de tiempo establecido, en unas condiciones establecidas y utilizando recursos y procedimientos establecidos. Por lo que se debe centrar en

unas medidas preventivas que minimicen o eliminen las amenazas. Su objetivo es detectar los primeros síntomas de anomalía para evitar un fallo que produzca una caída o un funcionamiento degradado del sistema y que requiera un mantenimiento correctivo.

Los factores a destacar que afectan a la mantenibilidad son:

- Tiempo de realización del mantenimiento planificado.
- Tiempo de detección, identificación y localización de fallo.
- Tiempo para restablecer el sistema en caso de fallo.
- Todos los modos de funcionamiento y mantenimiento requeridos a lo largo del ciclo de vida del sistema.
- Aspectos en los que interviene el ser humano.

Existe una relación inversamente proporcional entre disponibilidad y seguridad, cuanto más seguro queremos que sea un sistema será menos disponible y viceversa. La manera para incrementar ambas es el aumento de la fiabilidad y la mantenibilidad, de ahí la importancia del estudio de las actividades RAM en la fase de la oferta, para verificar que la tecnología adoptada cumple con los requisitos que la operación de la línea va a imponer, altas velocidades y altas frecuencias de explotación por ejemplo.

## 2. OBJETIVOS

En este trabajo nos vamos a centrar en las tres primeras disciplinas RAMS, Reliability, Availability y Maintainability y que serán la base para el posterior estudio de la Safety.

El estudio RAM en una oferta realiza un estudio preliminar de los parámetros de fiabilidad y disponibilidad para cada uno de los subsistemas que pueden conformar una oferta, proporcionando una herramienta para el mantenimiento a seguir durante la vida útil del sistema ya que identifica y justifica los elementos que van a precisar más atención ya bien sea porque son los que tienen mayor número de fallos o por la incidencia que tienen en el resto de subsistemas.

Es un trabajo que se puede estandarizar ya que los subsistemas son tecnologías maduras de evolución lenta y sus datos de partida sufren pocas modificaciones. Para no tener que empezar de cero en cada oferta se va a realizar una plantilla en Microsoft Office Excel y un fichero de Word en el que se calculan las RAM de los distintos subsistemas asociados a la señalización ferroviaria.

El operador deberá estudiar cual es la solución técnica que mejor se adapta a las necesidades del cliente, realizar el conteo de los equipos necesarios para cada tramo en estudio e introducirlo en el fichero creado para calcular la fiabilidad y disponibilidad de la línea o tramos en estudio.

El objetivo de este trabajo es servir de plantilla y guía en la realización de ofertas futuras e intentar así conseguir:

- Reducción de tiempo.
- Reducción de coste.
- Homogeneidad en las ofertas que se presentan.

### 3. TAREAS

#### 3.1. RECOPIACIÓN DE DOCUMENTACIÓN

##### 3.1.1. Recopilación de Normativa

El sector Ferroviario en su intento de conseguir la interoperabilidad se encuentra normalizado bajo las normativas Europeas para la seguridad CENELEC, son de cumplimiento obligatorio y nos van a determinar las estrategias RAMS a seguir:

- La norma *EN50126 y EN50126-2 “Aplicaciones ferroviarias: La especificación y demostración de la fiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad y seguridad (RAMS)”*. Establece los principios generales sobre la gestión de RAMS, definiendo el ciclo de vida en “V” y las actividades de Seguridad a realizar. La parte 2 es la guía de aplicación de la primera parte.
- La norma *EN50128 “Aplicaciones ferroviarias: Software de control ferroviario y sistemas de protección”*. Define los métodos y técnicas específicos para el desarrollo del SW para sistemas ferroviarios de Seguridad.
- La norma *EN50129 “Aplicaciones ferroviarias: Sistemas electrónicos de señalización relacionados con la seguridad”*. Especifica el contenido que debe incluir el Dossier de Seguridad (Safety Case) para justificar adecuadamente la consecución del Nivel de Integridad de Seguridad (SIL) requerido.
- La norma *EN50159-1 y EN50159-2, “Aplicaciones ferroviarias: Sistemas de comunicación, señalización y procesamiento. Parte 1: Comunicaciones de Seguridad en sistemas de transmisión cerrados, Parte 2: Comunicaciones de Seguridad en sistemas de transmisión abiertos”*. En sus dos partes, define los métodos y técnicas necesarios para la realización de comunicaciones de Seguridad en los sistemas de comunicación.
- MIL.HDK 217F: Reliability Prediction of electronic Equipment. US Department of defense, 1986.

### 3.1.2. **Recopilación de Bibliografía**

Es necesario para el desarrollo de este trabajo profundizar en conceptos y búsqueda de la formulación necesaria a aplicar. Como motivo de esto ha sido necesaria la recopilación y estudio de la bibliografía que se detalla al final del trabajo y en la que se basa el desarrollo del mismo.

### 3.1.3. **Recopilación de Documentación Técnica**

Para la realización de la oferta es necesario conocer la tecnología en la que se basa, por lo que ha sido necesario la recopilación de la documentación técnica de los sistemas de señalización ferroviaria:

- Módulo de Enclavamiento.
- Controladores de la ocupación de circuitos de vía.
- Señales luminosas.
- Agujas.

## 3.2. **ANÁLISIS**

Ha sido necesario un estudio de la normativa y de la bibliografía para profundizar en los conceptos en estudio, para posteriormente desarrollar el estudio RAM de los subsistemas.

De la documentación técnica se ha llevado a cabo un examen de los sistemas que integran la señalización ferroviaria analizando sus arquitecturas y funcionalidades para poder proceder al cálculo posterior.

## 3.3. **DEFINIR R.A.M.**

A partir del análisis y estudio de la documentación recopilada se ha procedido a sintetizar la información obtenida para explicar los conceptos de fiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad y determinar los recursos existentes que nos facilitar la tarea posterior de cálculo, como son:

- RBD o diagramas de bloques de fiabilidad, que facilitan ver la configuración de sistemas para definir como debe ser su posterior cálculo de la fiabilidad.
- FMEA o análisis de los efectos de modos de fallo, que parte de los modos de fallo conocidos de los componentes y determina sus consecuencias y la repercusión en la operación.
- FTA o árbol de fallo, cuyo análisis deductivo partiendo del evento no deseado llega hasta las causas básicas que lo provocan.

### 3.4. DETERMINACIÓN DEL PROCESO DE CÁLCULO

Partiendo de las definiciones establecidas y de los recursos mencionados en el apartado anterior RBD y FMEA, se calculará la fiabilidad de cada subsistema.

Para el desarrollo de la oferta de licitación de señalización se decide un cálculo de la fiabilidad individual de cada subsistema en el caso más desfavorable ya que en la actualidad todavía en muchos de los pliegos no se especifica una fiabilidad concreta a cumplir. De esta forma se demuestra que aún en el caso más desfavorable las fiabilidades y disponibilidades de los sistemas son muy altas. Por lo que se va a distinguir entre lo que se denominará tasa de fallo Logística y tasa de fallo de Servicio.

### 3.5. CÁLCULO Y REDACCIÓN DE LA OFERTA

Una vez determinado el proceso de cálculo y con la base de datos de los MTBF de los componentes de los subsistemas se desarrollará la hoja de cálculo. Esta servirá como plantilla a posteriores operadores para que cada vez que tengan que realizar una oferta no tengan que partir de cero si no personalizarla según los datos y la solución técnica adoptada para la licitación en curso.

## 4. PLANIFICACIÓN.

La realización de las tareas descritas en el apartado anterior se debe realizar paulatinamente, para intentar conseguir una estructura sólida en la que basarse para desarrollar el trabajo.

La planificación del trabajo se realiza en tres etapas.

- La primera de ellas se basa en la recopilación, estudio y análisis de normativa, bibliografía para lo que contamos con ficheros conseguidos en la red, apuntes de clase y libros obtenidos en la biblioteca de la Universidad.
- La segunda etapa es en la que se establecerá la estrategia de trabajo realizando la base de datos con los MTBF de los subsistemas en estudio y los cálculos de fiabilidades y disponibilidades de estos de forma individual así como del conjunto que se aplicaría al tramo para el que se está realizando la oferta.
- La tercera etapa es la redacción de la memoria, donde se explica la función y arquitectura de cada una de las tecnologías, la formulación y metodología utilizada para los cálculos y las conclusiones.

## 5. DESARROLLO

El estudio preliminar de los parámetros RAM permite comprobar que la solución técnica ofertada ofrece los más altos índices de Fiabilidad y Mantenibilidad para conseguir la Disponibilidad requerida por el cliente. Por este motivo, deberá ser un análisis de las situaciones más desfavorables considerando que los datos reales serán siempre mejores como se podría constatar al poner la línea en servicio.

En el presente trabajo estudiaremos los parámetros RAM del módulo de enclavamiento, controladores de la ocupación de circuitos de vía, señales luminosas y agujas, es decir el sistema de señalización,

### 5.1. DEFINICIONES

Definiremos los parámetros a analizar y se determinaran las formulas a aplicar para los sistemas en estudio.

#### 5.1.1. Fiabilidad

Se define como fiabilidad de un equipo a la probabilidad de que este pueda realizar una función requerida en condiciones determinadas durante un intervalo de tiempo determinado.

La probabilidad de supervivencia depende en gran medida de las condiciones de funcionamiento por lo que es importante especificarlas claramente desde un primer momento.

Cuando el sistema equipo o elemento deja de realizar su función de una forma adecuada es lo que se denomina Fallo. El tiempo transcurrido hasta el fallo es una variable aleatoria continua que denominaremos T y puede tomar cualquier valor real desde a 0 a  $\infty$ . Para describir el comportamiento de una variable aleatoria se necesita conocer la probabilidad con que la misma toma un valor dado. Se define la ley de distribución de la variable como la relación que existe entre los posibles valores de la variable y sus probabilidades correspondientes.

Existen dos funciones para expresar la ley de la distribución:

#### a) *La función de distribución o función de fallo*

se define como:  $F(t) = P(T \leq t) = \int_0^t f(t) dt$  donde  $f(t) = \frac{dF(t)}{dt}$

- si  $t_2 > t_1$  entonces  $F(t_2) > F(t_1)$
- si  $F(-\infty) = 0$
- si  $F(\infty) = 1$
- $P(t_1 < t < t_1 + \Delta t) = F(t_1 + \Delta t) - F(t_1)$

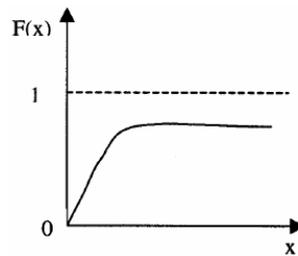


Figura 1. Función de Distribución para una variable continua.

**b) La función densidad de distribución  $f(t)$**

Se define como la derivada de la función de distribución respecto a la variable aleatoria.

$$f(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left( \frac{F(t + \Delta t) - F(t)}{\Delta t} \right) = \frac{dF(t)}{dt}$$

- $P(t_1 < t < t_1 + \Delta t) = \int_{t_1}^{t_1 + \Delta t} f(t) dt$
- $\int_{-\infty}^{+\infty} f(t) dt = 1$
- $\int_{-\infty}^{t_1} f(t) dt = P(t_1 < t) = F(t_1)$
- $\int_{t_1}^{\infty} f(t) dt = P(t > t_1) = 1 - F(t_1) = R(t_1)$

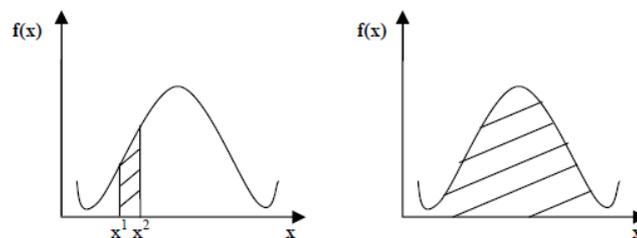


Figura 2. Función de Densidad de distribución.

De esta última ecuación se obtiene una de las expresiones más sencillas y más importantes de la Teoría de la Fiabilidad:

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

siendo  $R(t)$  la función de fiabilidad o de supervivencia.

Si la variable aleatoria “ $t$ ” fuese el tiempo de trabajo útil hasta el fallo, entonces la función de distribución representa la probabilidad de fallo del artículo hasta cierto tiempo dado. La función complementaria expresará la probabilidad de trabajo sin fallo hasta ese mismo valor de tiempo, es lo que denominamos fiabilidad. Ambas funciones en cualquier instante suman lógicamente la unidad.

### 5.1.1.1. *Parámetros de medida de la fiabilidad*

#### a) TASA DE FALLO

La tasa de fallo  $\lambda(t)$  es un estimador de la fiabilidad y expresa frecuentemente “avería/hora”

$$\lambda(t) = \frac{\text{número de fallos}}{\text{duración}}$$

También la podemos expresar:

$$\lambda(t) = \frac{N(t) - N(t + \Delta t)}{N(t) \Delta t}$$

Donde  $N(t)$  es el número de dispositivos funcionando en el instante  $t$

$N(t + \Delta t)$  es el número de dispositivos funcionando en el instante  $t + \Delta t$

$\Delta N$  es la cantidad de dispositivos que fallan  $N(t) - N(t + \Delta t) = \Delta N > 0$

Si  $\Delta t$  tiende a 0 entonces tendremos lo que se denomina tasa de fallo instantáneo:

$$\lambda(t) dt = \frac{dN}{N(t)}$$

Si integramos ambos miembros entre 0 y  $t$  llegamos a la relación entre fiabilidad y la tasa de fallo. Esta relación es fundamental ya que va a permitir un trazado experimental de la fiabilidad en función del tiempo si se conoce la evolución de la tasa de fallo.

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt}$$

La representación de la curva típica de la evolución de la tasa de fallo es la curva Davies o curva de la bañera representada en la siguiente figura:

- Fallos de Diseño o Mortalidad Infantil
- Fallos Aleatorios
- Desgaste

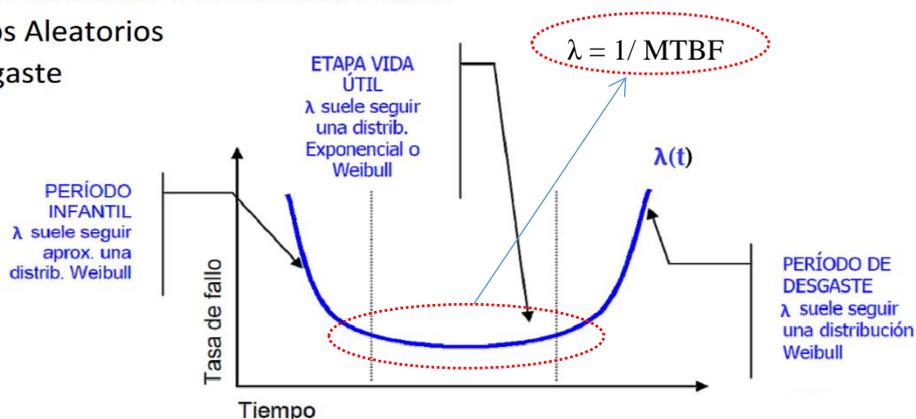


Figura 3. Curva típica de la tasa de fallo, curva Davies o de la bañera

Los elementos mecánicos se adaptan mejor a la distribución Weibull.

Para los componentes electrónicos se adopta una distribución exponencial donde la tasa de fallo es constante. La distribución exponencial tiene otra propiedad muy importante y es que “no tiene memoria” es decir que la probabilidad de fallo de un componente en un intervalo  $\Delta t$  es la misma independientemente de su situación dentro de la vida útil del mismo.

Al tener una tasa de fallos constante la expresión matemática para la función de densidad de probabilidad de fallo sería:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad \text{cuando } t \geq 0$$

Si integramos  $f(t)$  obtendríamos la función de distribución:

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

Luego la fiabilidad:

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

Esta fórmula de fiabilidad se puede aplicar a todos los dispositivos que hayan tenido un rodaje que permita eliminar los fallos infantiles y que no estén afectados por el desgaste.

### **b) MTTF y MTBF (Main Time To Failure y Main Time Between Failures)**

La duración media entre dos fallos corresponde a la esperanza matemática de la variable aleatoria  $T$  y la denominaremos MTTF, su expresión matemática sería:

$$\text{MTTF} = E(T) = \int t f(t) dt = \int_0^{\infty} R(t) dt$$

Para el caso particular de una tasa de fallo constante, donde  $R(t) = e^{-\lambda t}$

$$\text{MTTF} = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda}$$

De donde podremos invertir la tasa de fallo para calcular el MTTF, esto solo será válido para el caso de tasa de fallo constante.

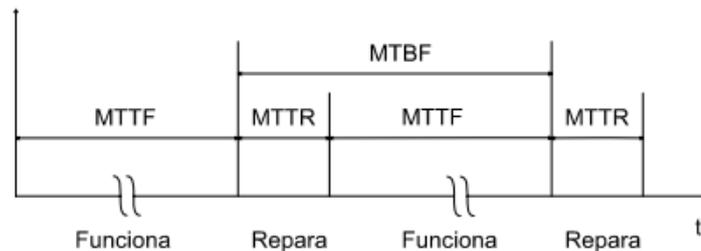
Es decir el MTTF es el tiempo que transcurre hasta que el elemento falla.

Pero si el elemento que falla se puede reparar, entonces el tiempo medio que transcurre entre dos averías consecutivas en un sistema es lo que denominamos MTBF. Para calcular el MTBF se tiene que considerar el tiempo necesario para volver a poner el sistema en su estado operativo (tiem-

po de reparación MTTR), luego si consideramos un intervalo de tiempo infinito el MTBF se define como:

$$MTBF = \frac{\text{tiempo total de operación}}{\text{número de fallos}} = \frac{\text{tiempo total sin fallos} + \text{tiempo total de reparación}}{\text{número de fallos}}$$

Si observamos el gráfico que se muestra a continuación:



podemos ver la relación que existe entre MTTF MTTR y MTBF si consideramos que al reparar el sistema este queda en pleno funcionamiento, como nuevo:

$$MTBF = MTTF + MTTR$$

Siendo:  $MTTR = \frac{1}{\mu}$  donde  $\mu$  es la Tasa de reparación es decir en número de reparaciones/hora.

En la distribución exponencial el MTBF es igual a la inversa de la tasa de fallo.

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

### 5.1.2. Fiabilidad de los sistemas

Como hemos visto en el apartado anterior los sistemas pueden ser:

- No reparables
- Reparables

En la actualidad y como una de las medidas para aumentar la fiabilidad de los sistemas cuya operación es crítica y la necesidad de seguridad es alta, la mayor parte de los sistemas son reparables. Para nuestro trabajo y como los equipos que componen nuestro sistema son reparables nos enfocaremos en la fiabilidad de este tipo de elementos.

Los equipos o maquinas son sistemas complejos formados por diferentes partes que dependen unas de otras. Esa relación entre los elementos que conforman un sistema se puede hacer mediante configuraciones en serie y en paralelo, siendo esta última otra de las medidas que se utilizan para mejorar la fiabilidad como queda reflejado en la gráfica:

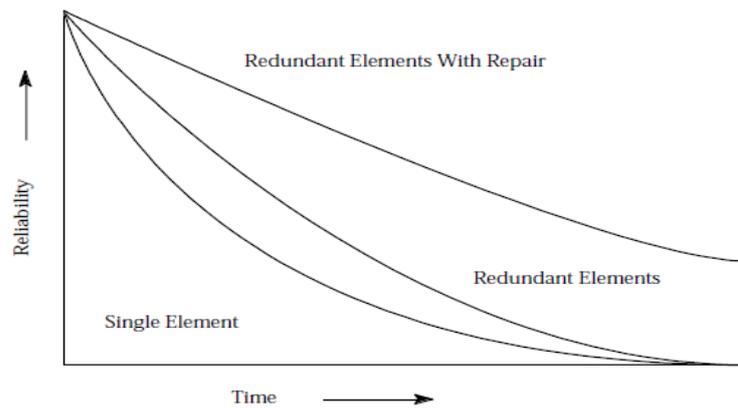


Figura 4. Aumento de la fiabilidad en elementos reparables en paralelo

#### 5.1.2.1. Configuración en Serie

En esta configuración el sistema funciona si todos los elementos funcionan, es decir la señal que se introduce en el módulo 1 solo podrá salir por el módulo N si todos los elementos intermedios están operativos, luego el fallo de cualquiera de los elementos que integran el sistema provocaría el fallo total del sistema, por lo que el hecho de la reparabilidad en estos casos no influye en una mejora de la disponibilidad.



Figura 5. Configuración en serie.

De lo expuesto anteriormente se deduce que la tasa de fallo del sistema nos vendrá dada por la suma de la tasa de fallos de sus componentes, luego:

$$\lambda_s = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \dots + \lambda_n$$

Y su tiempo entre fallos para un componente es  $MTTF = \frac{1}{\lambda}$  para el sistema vendrá dado por la fórmula:

$$MTTF_S = \sum_i^n \frac{1}{i\lambda}$$

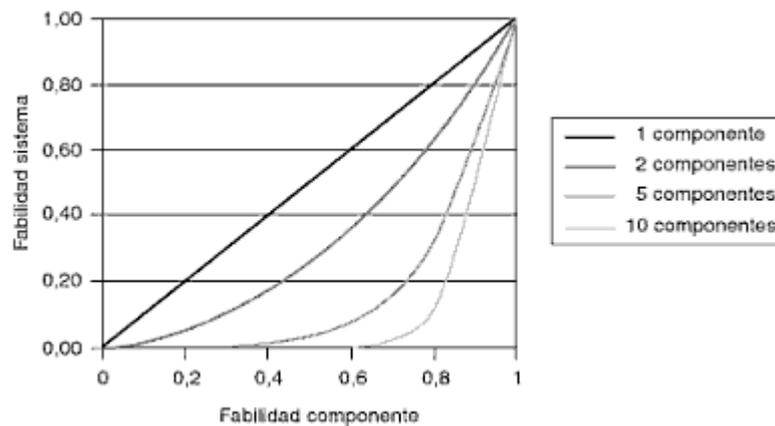


Figura 6.-Variación de la fiabilidad del sistema serie en función de la fiabilidad de cada componente y del número de componentes del sistema.

La fiabilidad de un Sistema serie disminuye en función de la fiabilidad de sus componentes, siendo el menos fiable el que condicione al sistema.

La fiabilidad del sistema por lo tanto la expresaremos como:

$$R(t) = R_1(t) * R_2(t) * R_3(t) * \dots * R_n(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t)$$

$$R = e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n)t}$$

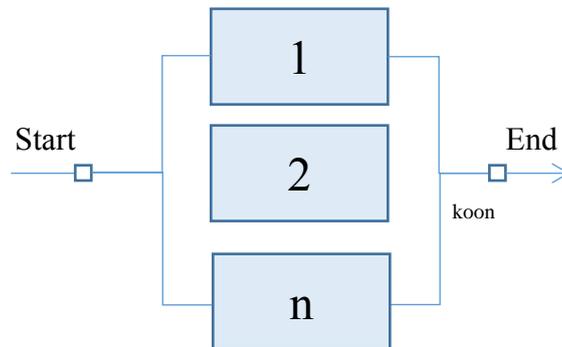
La fiabilidad de un Sistema serie es menor que la fiabilidad del menor de los elementos que lo componen.

### 5.1.2.2. Configuración en Paralelo

En este tipo de configuración, la señal que introducimos por la izquierda podrá salir por la derecha siempre que haya al menos un componente funcionando, el sistema fallará solo cuando todos los elementos fallen simultáneamente.

Consideramos una configuración de n elementos en paralelo, el sistema funciona si al menos k de estos elementos siguen operativos, siempre que  $k < n$ , todos los elementos están funcionando aunque el sistema solo necesite k de ellos para funcionar es lo que se denomina hot-standby o redundan-

cia activa, el camino de reserva sólo se activa cuando falla el camino principal, pero el equipo de reserva está encendido.



La fiabilidad de estos sistemas es función de la fiabilidad de sus componentes así como del número que conformen el sistema.

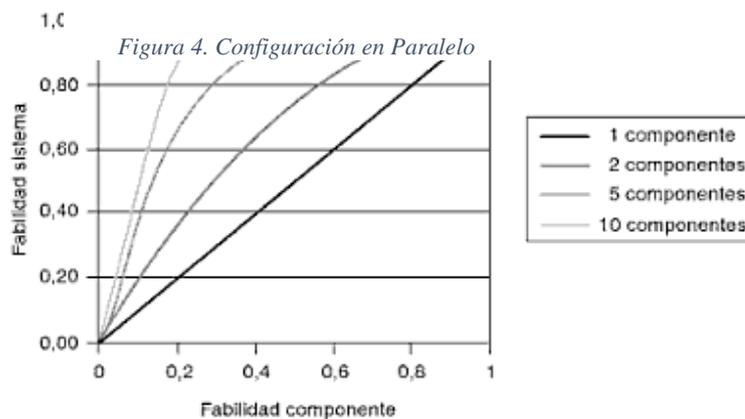


Figura 7.- Variación de la fiabilidad de un sistema en paralelo en función de la fiabilidad de cada componente y del número de componentes del sistema.

En esta configuración el comportamiento de la fiabilidad del sistema es completamente diferente a los sistemas en serie, la fiabilidad del sistema siempre será mayor que la fiabilidad de cualquiera de los componentes del sistema. Mediante la utilización de estas configuraciones conseguiremos sistemas de mayor fiabilidad.

Como lo habitual es que los equipos que están en paralelo sean iguales, podremos calcular su MTTF con la fórmula:

$$MTTF_S = \frac{1}{\lambda} \left( 1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \dots + \frac{1}{n} \right) = \sum_{i=1}^n \frac{1}{i\lambda}$$

Su función de fiabilidad será:

$$R_S(t) = 1 - (1 - R_i)^n$$

Para un sistema de n componentes en paralelo de tal forma que al menos es necesario que funcione k de ellos siendo  $k < n$  la expresión para su función de fiabilidad y el MTTF serán:

$$MTTF_S(k,n) = \frac{1}{\lambda} \sum_{j=k}^n \left[ \frac{1}{j} \right]$$

$$R_S(t) = \sum_{x=k}^n \binom{n}{x} [e^{-\lambda t}]^x [1 - e^{-\lambda t}]^{n-x}$$

Para los sistemas reparables tenemos que tener en cuenta el tiempo total de no funcionamiento o tiempo de reparación MTTR.

En los sistemas reparables en paralelo y redundancia activa la tasa de fallo del sistema la obtendremos aplicando la fórmula:

$$\lambda_s(koon) = \frac{n!}{(n-k)! \cdot (k-1)!} * \lambda^{n-k+1} * MTTR^{n-k}$$

Si aplicamos la fórmula a las posibles combinaciones en paralelo más utilizadas, obtendremos la tasa de fallo del sistema, como se muestra en la tabla:

Número de unidades, n	1	$\lambda$			
	2	$2\lambda^2 MTTR$	$2\lambda$		
	3	$3\lambda^3 MTTR^2$	$6\lambda^2 MTTR$	$3\lambda$	
	4	$4\lambda^4 MTTR^3$	$12\lambda^3 MTTR^2$	$12\lambda^2 MTTR$	$4\lambda$
		1	2	3	4
		Número requerido para operar, m			

Tabla 1.- Fórmula tasa de fallo para sistemas paralelo con redundancia activa

### 5.1.3. Mantenibilidad

Un elemento no reparable (según EN 13306) es aquel que después de un fallo debe ser sustituido por otro semejante o idéntico.

Un elemento se dice que es reparable cuando después de un fallo y bajo condiciones determinadas puede devolverse a un estado en que pueda desarrollar la función requerida. De la definición anterior extraemos un nuevo concepto, el no funcionamiento de un elemento requiere de un tiempo de reparación definido mediante la variable aleatoria T y su distribución de probabilidad.

Así podemos definir mantenibilidad como la probabilidad de que la tarea de mantenimiento necesaria para poner el equipo en funcionamiento después de que falle, se realice satisfactoriamente en un tiempo especificado  $t$  (tiempo de restauración) o antes.

Tareas de mantenimiento supuestamente idénticas sin embargo requieren de intervalos de tiempo diferentes, las razones para estas variaciones pueden deberse a:

- Factores personales: la habilidad, motivación, capacidad, experiencia y formación del personal implicado influye en el tiempo de reparación.
- Factores del entorno: La temperatura, humedad, ruido, iluminación, etc. influye en el personal mientras ejecutan la tarea de restauración.
- Factores condicionales: el entorno operativo y las consecuencias que han llevado al fallo al elemento o sistema en reparación.

La probabilidad de que el sistema se restablezca en un tiempo “ $t$ ” tras un fallo viene dada por:

$$M(t) = P[T \leq t] = \int_0^t g(t) dt$$

Donde  $g(t)$  es la función densidad de la probabilidad de el tiempo de restauración, representa la probabilidad de que un sistema averiado esté reparado en el instante  $t$ , si la acción de restauración se inició en el instante  $t = 0$ .

De manera análoga a la fiabilidad, llamaremos tasa de restauración  $\mu(t)$  a la probabilidad condicional de realizar con éxito la acción de mantenimiento correctivo en un intervalo de tiempo  $(t, t + dt)$ , suponiendo que la acción comenzada en el instante  $t = 0$  no se haya completado antes del tiempo  $t$ :

$$\mu(t) = \frac{g(t)}{1 - M(t)}$$

De donde podemos deducir:

$$M(t) = 1 - e^{-\mu(t) * t}$$

$M(t)$  es una función no decreciente que varía de 1 a 0 en el intervalo  $[0, \infty]$

Si se conoce la expresión matemática de la función  $g(t)$ , podemos calcular la media de sus valores mediante la expresión:

$$m = \int_0^{\infty} t * g(t) dt = MTTR$$

Si la función  $g(t)$  es una distribución exponencial con parámetro  $\mu$  (tasa de reparación):

$$g(t) = \mu e^{-\mu t}$$

Como  $\mu(t)$  es constante

$$MTTR = \frac{1}{\mu}$$

En este caso, la mejor medida de la mantenibilidad de un equipo se obtiene mediante el cociente entre la suma de los tiempos de restauración ( $t_r$ ) y el número total de fallos ( $n$ )

$$MTTR = \frac{\sum_{i=1}^n t_r}{n}$$

#### 5.1.3.1. *Predicción de la Mantenibilidad*

Existen tres clases de mantenimiento: El correctivo, el preventivo y el predictivo.

El **mantenimiento correctivo**: La mantenibilidad hace referencia fundamentalmente al mantenimiento correctivo. Este se realiza cuando se ha producido el fallo en el equipo y comprende todas las actividades necesarias para restablecer su capacidad operativa inicial.

El mantenimiento correctivo es muy difícil de programar, únicamente cuando los fallos son de escasa entidad o son elementos pequeños, no críticos y existe redundancia sería factible. Dadas sus repercusiones, es una actividad indeseable que se pretende minimizar.

El **mantenimiento preventivo**: tiene por finalidad prevenir la ocurrencia de fallos que aún no se han producido. Su motivación es la reducción de costes provocados por fallos y por el interés en la mejora de la calidad y fiabilidad.

Sus acciones pueden ser de dos tipos, o bien de prevención de fallos que se han detectado por inspección o acciones de rutina como revisión de lubricación aprietes, reglaje, etc., o sustitución de dispositivos en intervalos preestablecidos.

El mantenimiento preventivo tiene la ventajas de poderse programar, se ejecuta en el momento más favorable evitando interrupciones costosas. Así mismo reduce la producción de fallos y aumenta su intervalo de ocurrencia evitando consecuencias catastróficas para el usuario, el explotador y el entorno. Como inconveniente es el remplazo prematuro de elementos independientemente de su estado.

El **mantenimiento predictivo o basado en la condición**, más conocido por su acrónimo inglés RCM (Reliability Centered Maintenance), es un mantenimiento cuya meta es mantener la funcionalidad con la fiabilidad y disponibilidad prevista, al mínimo coste.

Para conseguirlo emplea los estudios FMEA para entender los modos de fallo asociados a un elemento, las consecuencias del suceso para la aplicación de procesos lógicos de análisis de cada

elemento crítico para la seguridad y así seleccionar la combinación óptima de tareas de mantenimiento.

El RCM pone gran énfasis en mejorar la fiabilidad de los elementos a través de la retroalimentación de la experiencia alcanzada durante el mantenimiento.

La predicción de la mantenibilidad consiste en estimar la carga de trabajo asociada a cada intervención de mantenimiento al objeto de poder establecer la conformidad del diseño con los requerimientos especificados.

En el caso del **mantenimiento correctivo**, la predicción no es una tarea fácil porque el tiempo necesario para realizar la restauración de un equipo es suma de los tiempos exigidos por cada una de las actividades que la conforman.

En el caso del mantenimiento correctivo la predicción de esa carga de trabajo no es fácil debido a la singularidad del fallo y a los numerosos factores que aumentarán o disminuirán el tiempo inicialmente consignado, por lo que es más recomendable obtener datos a partir de la propia experiencia.

Si conocemos la tasa de fallo de cada componente así como sus tiempos de reparación podemos calcular el MTTR del sistema mediante la fórmula:

$$MTTR = \frac{\sum_{e=1}^n MTTR_e * \lambda_e}{\sum_{e=1}^n \lambda_e}$$

En el caso de mantenimientos preventivos (MTMP) solo tendremos que cambiar la tasa de fallo de cada componente y su tiempo de reparación por el tiempo medio de revisión de cada componente (MTMP<sub>e</sub>) y la frecuencia de intervención ( $f_e$ ), es decir:

$$MTMP = \frac{\sum_{e=1}^n MTMP_e * f_e}{\sum_{e=1}^n f_e}$$

#### 5.1.4. Disponibilidad

La disponibilidad es un parámetro que describe el tiempo total que un componente realiza la función para la que ha sido diseñado. Es la probabilidad A(t) de que un componente o sistema esté funcionando en un tiempo o intervalo determinado, suponiendo que se facilitan los recursos externos necesarios, luego es la aptitud de funcionar en un instante t.

Si entendemos la indisponibilidad como la probabilidad de que el equipo falle y además no se realice la reparación en un tiempo establecido, podemos expresarlo como:

$$Q(t) = \int_0^t f(t) * [1 - M(t)] * dt - A(t) = \int_0^t \lambda(t) * [1 - M(t)] * dt$$

Obtendríamos:  $Q(t) = 1 - A(t)$

Es decir la indisponibilidad es el complemento de la disponibilidad.

Para el caso de una distribución exponencial en la que los parámetros  $\lambda$  y  $\mu$  son constantes, la fórmula anterior quedaría de la siguiente manera:

$$A(t) = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \left[ \frac{\mu}{\lambda} + e^{-(\lambda + \mu)t} \right]$$

Según esta, en el instante inicial cuando  $t=0$ , la disponibilidad sería máxima  $A=1$  y disminuiría progresivamente a medida que aumenta el tiempo  $t$ . Cuando los valores de  $t$  son muy grandes  $t=\infty$  la disponibilidad asintótica alcanzará un valor dado por la fórmula:

$$A(\infty) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR}$$

Luego la disponibilidad es la razón entre el tiempo disponible y el total:

$$A = \frac{\text{Tiempo disponible}}{\text{Tiempo total}} = \frac{\text{Tiempo disponible}}{\text{Tiempo disponible} + \text{Tiempo NO disponible}}$$

Como se puede ver en el gráfico adjunto:

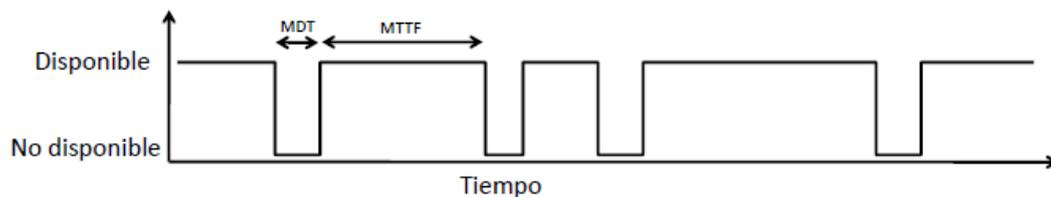


Figura 8.- Tiempo disponible y No disponible de un componente o sistema

Se pueden obtener diferentes disponibilidades utilizando la misma fórmula dependiendo de qué definamos como tiempo disponible y tiempo NO disponible, así tenemos:

**Disponibilidad Inherente:** es aquella en la que el tiempo disponible es el tiempo medio entre fallos o MTBF y el tiempo no disponible es el tiempo medio para restaurar el sistema o MDT. Solo tenemos en cuenta los tiempos de reparación del mantenimiento preventivo, lo que es estrictamente correcto únicamente cuando el mantenimiento preventivo se realiza en periodos que el equipo está fuera de servicio por vacaciones, horas valle, horas nocturnas o porque forma parte de un sistema redundante:

$$A_i = \frac{MTBF}{MTBF + MDT}$$

**Disponibilidad Alcanzada o Técnica:** si el mantenimiento preventivo se realiza en las horas hábiles de operación, entonces el tiempo disponible sería el MTBM, tiempo medio entre acciones de mantenimiento preventivo y correctivo, y el tiempo no disponible es el MTTMa, tiempo medio del mantenimiento activo, es decir el tiempo que se invierte tanto en el mantenimiento preventivo como en el correctivo:

$$A_a = \frac{MTBM}{MTBM + MTTM_a}$$

**Disponibilidad Operacional o Logística:** Denominaremos tiempo disponible como MTBM, tiempo medio entre mantenimientos tanto preventivos como correctivos y el tiempo no disponible como MDT, tiempo que se invierte en el mantenimiento tanto preventivo como correctivo pero teniendo en cuenta los retrasos debidos a la administración y la logística, espera de recambios o de personal para iniciar o continuar el mantenimiento:

$$A_o = \frac{MTBM}{MTBM + MTTR}$$

Siendo:  $MTTR = MDT + TD$

Donde MDT es el tiempo medio de reparación para restaurar el sistema y TD el tiempo debido a los retrasos administrativos y logísticos.

La disponibilidad es una función dependiente tanto de la fiabilidad como de la mantenibilidad. Para conseguir una mejora en la disponibilidad, es necesario modificar las predicciones de la fiabilidad y de la mantenibilidad calculadas previamente. En el caso de una especificación concreta de la fiabilidad, la relación entre las tres funciones viene dada por la ecuación:

$$MTTR = \left[ \frac{1-A}{A} \right] * MTBF$$

#### 5.1.4.1. *Disponibilidad en equipos complejos*

La disponibilidad de los equipos complejos depende de la disponibilidad de los componentes que conformen el equipo y de la configuración de estos ya sea en serie o en paralelo.

**Sistema Serie:** la disponibilidad del sistema será menor que la menor de las disponibilidades de los elementos que lo componen y cuando todos ellos estén operativos el sistema estará disponible, por tanto:

$$A_s = \prod_i A_i$$

**Sistema Paralelo:** la disponibilidad del sistema será siempre mayor que la disponibilidad de cualquiera de los elementos que lo componen y cuando todos ellos estén indisponibles el sistema no será operativo, por tanto:

$$Q_s = \prod_i Q_i$$

De donde:

$$A_s = 1 - Q_s = 1 - \prod_i Q_i$$

#### 5.1.4.2. *Grados de indisponibilidad*

En la tabla que se muestra a continuación se agrupan los grados de la indisponibilidad del sistema de señalización y la repercusión que tendría en la circulación de los trenes la avería de los equipos. Esta clasificación servirá más adelante para determinar que equipos están involucrados en cada caso.

Se definen tres niveles de incidencia Catastrófico, mayor y menor como podemos ver en la tabla:

GRAVEDAD	EFEECTO
Catastrófica	Más de un tren se retrasará más de 5 minutos en destino
Mayor	Un tren se retrasará más de 5 minutos en destino
	Más de un tren se retrasará 5 minutos o menos en destino
Menor	Un tren se retrasará menos de 5 minutos en destino

*Tabla 2. Categorización de Incidencias según afectación al servicio*

Es interesante y necesario antes de comenzar los análisis detallados del sistema de señalización realizar un FMEA de los componentes que se van a estudiar para determinar la gravedad en caso de fallo del elemento y los efectos operacionales que estos tendrían:

EQUIPO	FALLO	DETECCIÓN	EFFECTO DEL FALLO	GRAVEDAD
Enclavamiento	Pérdida total	Sí	Tren para y prosigue con rebase de todas señales asociadas al enclavamiento.	Catastrófica
	Pérdida sustancial	Sí	Tren para y prosigue con rebase de las señales asociadas a los dos controladores de elementos caídos.	Catastrófica
	Pérdida menor	Sí	Tren para, rebasa seña (hasta que asume el control otro controlador de elementos)	Mayor
Circuito de vía	Caída	Sí	Tren frena y prosigue hasta la próxima señal. Posibilidad de un desvío anterior.	Menor
Agujas	Caída	Sí	Tren para y prosigue hasta próxima señal. Posibilidad de un desvío anterior.	Menor
Contadores de ejes	Caída	Sí	Tren para y prosigue hasta próxima señal. Posibilidad de un desvío anterior.	Menor
Señales	Apagado	Sí	Tren disminuye velocidad o para y prosigue hasta la próxima señal.	Menor

## 5.2. ANÁLISIS DE FIABILIDAD DEL SISTEMA DE SEÑALIZACIÓN

En el siguiente apartado se establecerán los requisitos mínimos a considerar en cuanto a fiabilidad del sistema, para intentar identificar y justificar aquellos componentes que requieran más atención por ser los que tienen una probabilidad mayor a fallar o por la incidencia que pueden tener estos en otro elemento del sistema. Por lo tanto, los cálculos se realizarán para la situación más desfavorable.

Para realizar el análisis más detallado de la fiabilidad de cada sistema o elementos se calculan los valores de la tasa de fallo logística y la de servicio:

- **Logística:** se define como la suma de las tasas de fallo de los componentes de un módulo, sin tener en cuenta factores como la redundancia o la configuración del módulo.
- **De servicio:** Se parte de la tasa de fallo logística y se tienen en cuenta la configuración y la redundancia de elementos. Para el cálculo de la tasa de fallo de servicio hay que tener en cuenta el tiempo medio de reparación MTTR cuyo valor es la suma del tiempo medio de caída del elemento MDT y del tiempo de desplazamiento TD, es decir  $MTTR = MDT + TD$ , cuyos valores hemos visto en la tabla del apartado anterior.

Para facilitar el análisis cuantitativo de la tasa de fallos de cada sistema podemos ver los valores relativos que asigna la Atomic Energy of Canada Ltd. al grado de probabilidad de que suceda el evento:

Muy probable	$10^{-2}$
Probable	$10^{-3}$
No probable	$10^{-4}$
Improbable	$10^{-5}$
Muy improbable	$10^{-6}$
Extremadamente improbable	$10^{-7}$

Tabla 3.- Valores relativos de probabilidad de la Atomic Energy of Canada

### 5.2.1. Enclavamiento Electrónico

La fiabilidad, la redundancia activa, el diagnóstico y el tiempo medio de reparación determinan la disponibilidad del enclavamiento electrónico.

La fiabilidad se consigue utilizando componentes individuales de alta gama y fiabilidad, componentes sobradamente probados y sometidos a rigurosos controles de calidad, teniendo así una baja frecuencia de averías por lo que los costes de reparación son mínimos.

Para aumentar la fiabilidad del enclavamiento y en consecuencia obtener una mayor disponibilidad en la línea que este gestiona, el sistema se basa en una arquitectura distribuida y en el uso de arquitecturas de microprocesadores redundantes. De esta forma se garantiza que el fallo en una unidad de microprocesadores no afecta a la continuidad del funcionamiento de las dos restantes sin que los niveles de seguridad y funcionalidad se vean afectados y en el uso de interfaces de comunicación redundantes entre módulos.

Los módulos que componen el sistema son:

- **Módulo de lógica del enclavamiento** basado en una arquitectura de microprocesadores redundante hot-standby (sistema 2 de 3). Se encarga de:
  - La seguridad
  - La lógica del enclavamiento y del bloqueo
  - La verificación y atención de las órdenes recibidas

Un único módulo de lógica puede gestionar 32 módulos de control de elementos de campo.

- **El módulo de Control de Elementos de Campo** basado en una arquitectura de microprocesadores redundantes hot-standby (sistema 2 de 3). Se encarga de:
  - Control y supervisión de los elementos exteriores mediante las tarjetas de interfaz.
  - La verificación y atención de las órdenes recibidas del módulo de lógica del enclavamiento.
  - Supervisión de los equipos de energía.

Un módulo de control de elementos de campo puede gestionar 36 tarjetas de interfaz. Estas tarjetas pueden ser de tres tipos según el elemento de campo que controlan: de señal de entradas/salidas y de motores.

- **Interfaces de comunicación:** por criterios de disponibilidad se utilizan interfaces redundantes 1oo2. El sistema funciona independientemente por ambas.

Para garantizar la máxima disponibilidad en la explotación, la distribución de los elementos de campo en los módulos de control se relaciona con la topología de la instalación, de forma que el fallo de uno de los módulos de control permita la continuidad de operación en el resto de la explotación.

En la Figura 9 se representa la arquitectura distribuida del enclavamiento.

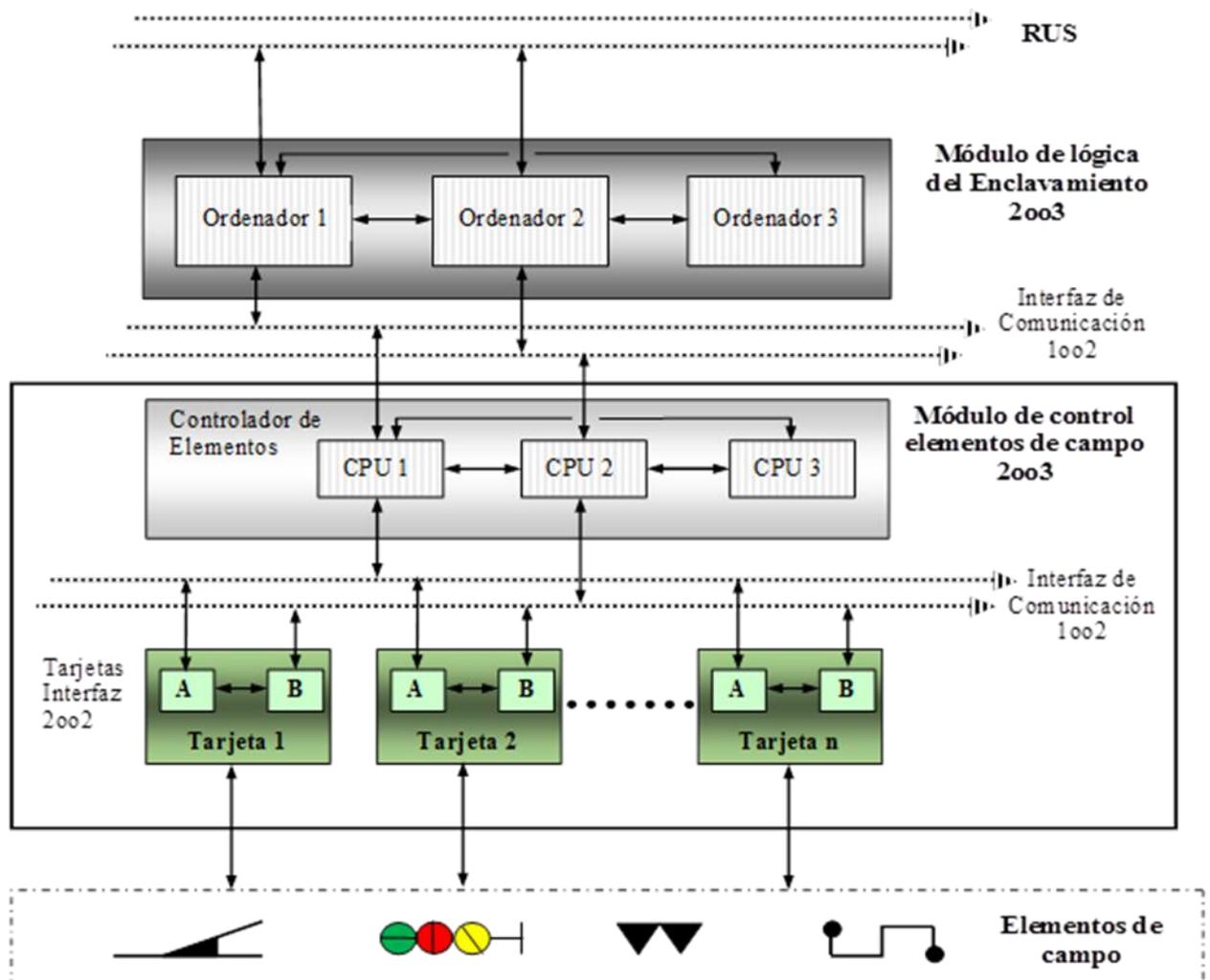


Figura 9.- Arquitectura del enclavamiento electrónico

El enclavamiento electrónico es el encargado de efectuar la supervisión y mando de las instalaciones ferroviarias; sus características principales son:

- Modularidad del hardware y del software fácilmente ampliable para que el sistema pueda adaptarse a requisitos futuros.
- Interfaces serie redundantes para la comunicación con otros sistemas informáticos: telemando, enclavamientos electrónicos colaterales, sistemas ATP/ATC, etc.
- División del software de la aplicación según la siguiente estructura:
  - Sistema operativo.
  - Software genérico.
  - Datos de aplicación específicos del proyecto.
- Arquitectura del software independiente del hardware. Dicha independencia garantiza la portabilidad y adaptabilidad del SW a plataformas HW con nuevas tecnologías, sin necesidad de ninguna modificación ni validación del SW básico ni del de aplicación, aumentando la vida útil del producto.
- Incorporación de automatismos para facilitar la explotación, como sucesión automática de rutas, sucesión automática de Bloqueo en Vía Banalizada (BVB) y establecimiento automático de rutas, ...
- Funcionalidad de bloqueo electrónico integrada en el sistema.
- Establecimiento de todas las rutas, simples y compuestas, según el programa de explotación.
- Funcionamiento en modo local o telemandado desde un puesto remoto.
- Diagnóstico local y remoto.
- Registro de información de diagnóstico.
- La arquitectura general del sistema es centralizada, con concentración de equipos para aumentar la mantenibilidad.
- Flexibilidad en la asignación de canales de entrada y salida con los elementos exteriores para un mejor aprovechamiento de los elementos de entrada/salida.
- Sistema de tamaño reducido con el consiguiente ahorro de costes y espacio.

#### 5.2.1.1. *Cálculo Tasa de Fallo Logística*

- **Módulo de Lógica**

Como se explicó en un apartado anterior, para el cálculo de la tasa de fallo logística no se tiene en cuenta la arquitectura del sistema.

En la siguiente tabla se muestran los MTBF, facilitados por los fabricantes, de los componentes que conforman el sistema; estos se han pronosticado con el manual MIL-HDBK-217K “Electronic Reliability Prediction” para temperaturas de más de 45°.

El módulo lógico está conectado a la red unificada de señalización RUS e interconectado con el resto sistemas de la línea, el estudio de la red de señalización no es objeto de este análisis.

Componentes	MTBF(Horas)	Tasa de fallo	Cantidad	Tasa de fallo Total	MTBF Total (Horas)
CPU	264 600	3.78E-06	1	3.78E-06	264 600
Alim	408 000	2.45E-06	1	2.45E-06	408 000
Interfaz Red	568 000	1.76E-06	1	1.76E-06	568 000
				<b>7.99E-06</b>	<b>125 143</b>

Tabla 4 - Tasa de fallo logístico para el módulo del enclavamiento

Como cada módulo de lógica consta de tres ordenadores. La tasa de fallo del conjunto de los tres ordenadores sería de 2,40E-05 y un MTBF de 41.667 horas

- **Módulo de Controladores de Campo**

A continuación se muestra la tabla con los MTBF, facilitados por los fabricantes, de los componentes que conforman el sistema; estos se han pronosticado con el manual MIL-HDBK-217K “Electronic Reliability Prediction” para temperaturas de más de 45°.

Componentes	MTBF(Horas)	Tasa de fallo	Cantidad	Tasa de fallo Total	MTBF Total (Horas)
<b>Control de Elementos</b>					
CPU	580 000	1.72E-06	1	1.72E-06	580 000
Alim	966 000	1.04E-06	1	1.04E-06	966 000
Interfaz Red	2 170 000	4.61E-07	1	4.61E-07	2 170 000
				<b>3.22E-06</b>	<b>310 543</b>
<b>Tarjetas de interfaz</b>					
Tarjeta E/S	551 000	1.81E-06	1	1.81E-06	551 000
Tarjeta Señal	333 000	3.00E-06	1	3.00E-06	333 000
Tarjeta Motor	623 000	1.61E-06	1	1.61E-06	623 000
				<b>6.42E-06</b>	<b>155 690</b>

Tabla 5.- Tasa de fallo logística del módulo de control de elementos de campo

Cada controlador de elementos consta de tres CPU luego la tasa de fallo del conjunto de sería de 9.66E-06 y un MTBF de 103.520 horas.

- **Del conjunto de equipos que conforman el enclavamiento electrónico**

En este apartado y después del estudio del tramo a ofertar, se cumplimentaría la tabla con los datos reales.

Nosotros partiremos de la hipótesis de ocupación más típica: Un enclavamiento nuevo con un módulo lógico de enclavamiento que controle a cuatro módulos de control de elementos de campo. Cada controlador de elementos a su vez gestionaría dieciocho tarjetas de interfaz que pueden ser de

entradas/salidas, de señales y de motores dependiendo de la topología del enclavamiento ofertado y de las necesidades de explotación de la línea.

En la tabla a continuación podemos ver los resultados obtenidos.

Componentes	MTBF(Horas)	Tasa de fallo	Cantidad	Tasa de fallo Total	MTBF Total (Horas)
Módulo Lógico	125 143	7.99E-06	1	7.99E-06	125 143
Módulo Control	310 543	3.22E-06	4	1.29E-05	77 636
Tarjeta E/S	551 000	1.81E-06	24	4.36E-05	22 958
Tarjeta Señal	333 000	3.00E-06	24	7.21E-05	13 875
Tarjeta Motor	623 000	1.61E-06	24	3.85E-05	25 958
				<b>1.75E-04</b>	<b>5 714</b>

Tabla 6.- Tasa de fallo logística del enclavamiento

Debe tenerse en cuenta que los fabricantes han indicado las MTBF de la CPU y la tarjeta de Interfaz de Red para una temperatura de +45°C. La temperatura ambiente real será aproximadamente de 30°C por la refrigeración existente en los equipos y en la sala técnica.

En el manual MIL-HDBK-217K una reducción de temperatura de 20°C aumenta el MTBF aproximadamente por un factor de 4. Al aplicar este factor al MTBF obtenido tendríamos un MTBF logístico para la línea superior a las 22800 horas.

#### 5.2.1.2. *Cálculo Tasa de Fallo de Servicio*

Como se dijo en un apartado anterior, para calcular la tasa de servicio de cada módulo y finalmente del sistema partiremos de las tasas logísticas calculadas anteriormente. En este apartado, tanto para el sistema como para los módulos que lo integran, tendremos en cuenta las arquitecturas y complejidades de su diseño. Para facilitar esta labor se realiza un diagrama de bloques de cada módulo. Los RBD facilitan de una forma esquemática el proceso de cálculo de la fiabilidad en sistemas simples y complejos teniendo en cuenta las redundancias activas o pasivas.

- **Módulo de Lógica**

Este módulo consta de tres ordenadores en paralelo con una configuración redundante activa 2oo3, es decir los tres están en funcionamiento pero para que el sistema esté operativo son solo necesarios 2.

Cada ordenador que conforma el módulo consta de una CPU, una fuente de alimentación y una tarjeta de interfaz.

Podemos ver en el RBD la arquitectura del sistema que nos facilitará el proceso de cálculo.

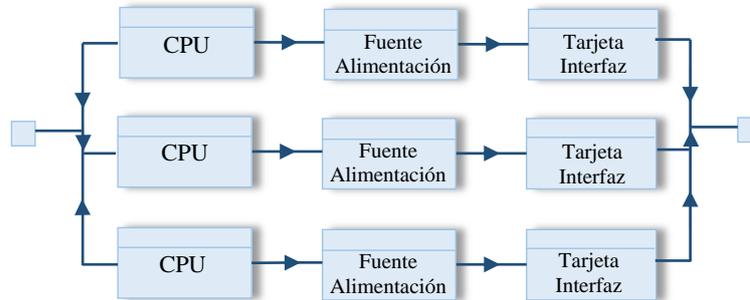


Figura 10.- Diagrama de Bloques del módulo lógico

Una vez analizado el sistema, gracias al diagrama de bloques, calculamos la tasa de fallo de servicio partiendo de la tasa de fallo calculada en el apartado anterior.

Tasa de fallo Logístico	Redundancia	MTTR	Tasa de fallo Servicio	MTBF Servicio
7.99E-06	2oo3	1.5	<b>5.75E-10</b>	<b>1 740 096 577</b>

Podemos ver que el MTBF que obtenemos es altísimo. La probabilidad de que el equipo falle es improbable, el MTBF se ha incrementado de 125.000 horas a 1.700 millones de horas.

- **Módulo de Controladores de Campo**

Este módulo consiste en un sistema en paralelo de tres CPU con una configuración redundante activa 2oo3. El controlador de elementos proporciona la interfaz con el módulo de lógica y la lógica de control de los elementos de campo mediante las tarjetas de interfaz.

Las tarjetas interfaz son redundantes 2oo2 pueden conexionarse hasta treina y seis por controlador de campo. Los elementos de campo se conectan con el controlador de elementos mediante las tarjetas interfaz

A continuación se muestra la arquitectura mediante el diagrama de bloques:

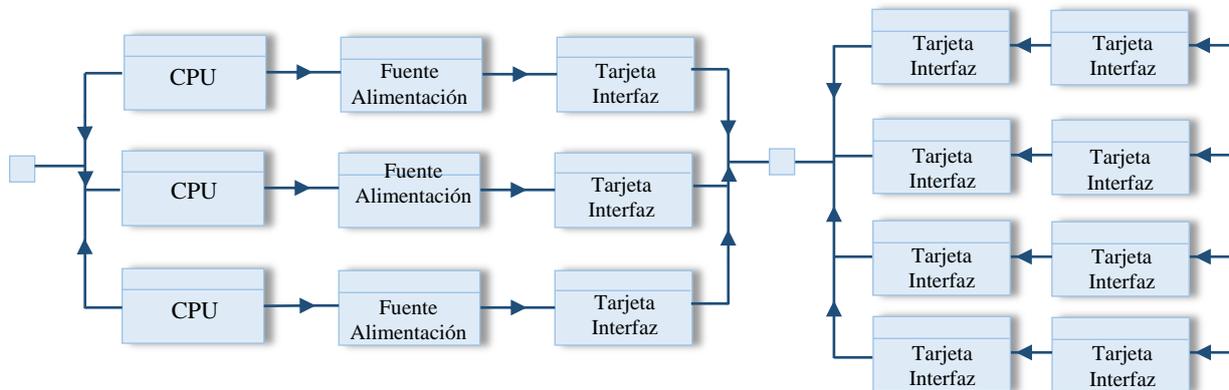


Figura 11.- Diagrama de bloques del módulo de control elementos de campo

A continuación se muestra la tabla con los valores obtenidos teniendo en cuenta la configuración del módulo.

Componentes	Tasa de fallo Logístico	Redundancia	MTTR	Tasa de fallo Servicio	MTBF Total (Horas)
Control Elementos	3.22E-06	2oo3	1.5	<b>9.33E-11</b>	<b>10 715 229 556</b>
Tarjeta E/S	1.81E-06	2oo2	1.5	3.63E-06	275 500
Tarjeta Señal	3.00E-06	2oo2	1.5	6.01E-06	166 500
Tarjeta Motor	1.61E-06	2oo2	1.5	3.21E-06	311 500
				<b>1.28E-05</b>	<b>77 845</b>

Tabla 7.-Tasa de fallo de servicio del módulo de control de elementos de campo

Se puede ver cómo ha aumentado ligeramente el MTBF total debido a la redundancia en las configuraciones, respecto a las tasas de fallo logísticas de los componentes

Podemos ver que el MTBF que obtenemos es altísimo para el controlador de elementos de campo igual que sucedía con el módulo de lógica. La probabilidad de que el equipo falle es improbable, el MTBF se ha incrementado de 155.600 horas a 10.700 millones de horas.

Lo que claramente penaliza el sistema es la fiabilidad de las tarjetas de interfaz, obteniendo un MTBF del conjunto de 77.000 horas

- **Del enclavamiento electrónico**

Calculamos la tasa de fallo de para un enclavamiento completo compuesto por un módulo de lógica y cuatro controladores de campo, cada uno de estos controlaría una de las cuatro zonas en las que dividimos el enclavamiento para asegurar el funcionamiento operativo en caso de pérdida de algunos de los controladores de elementos.

Como aclaración a lo dicho anteriormente se puede ver la figura siguiente:

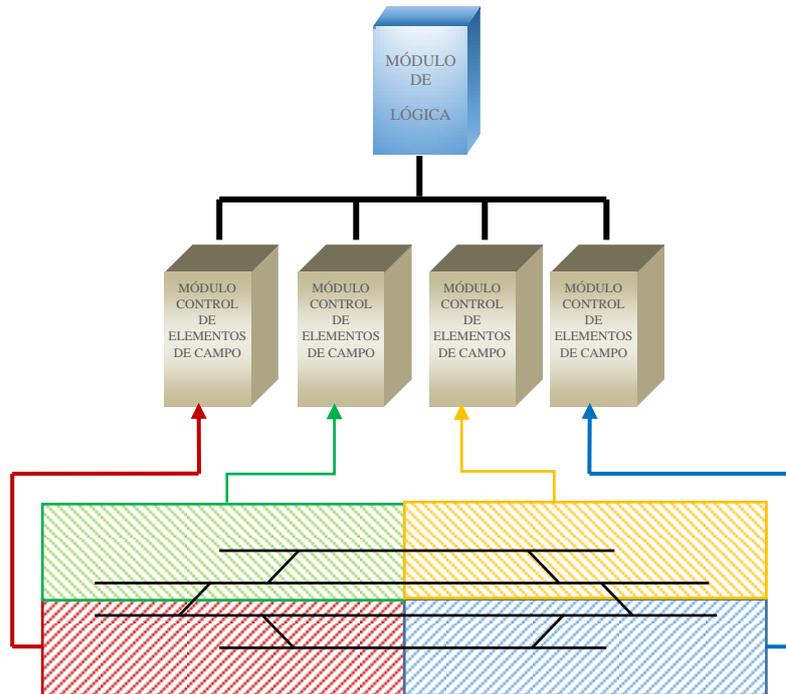


Figura 12.- Esquema de distribución de en ENCE

Consideramos que con una ocupación del cincuenta por ciento de las tarjetas de interfaz en cada controlador de elementos de campo, podemos conexionar todos los elementos necesarios para el control y operación del enclavamiento. Vamos a distribuir las entre tarjetas de E/S, de señales y de motores en el mismo porcentaje.

En la tabla siguiente se muestra la tasa de servicio para el enclavamiento:

Enclavamiento	Componentes	MTBF (Horas)	Tasa de fallo	Cantidad	Tasa de fallo Total	MTBF Total (Horas)
XXXX	Módulo Lógico	1 740 096 577	5.75E-10	1	5.75E-10	1 740 096 577
	Módulo Control	10 715 229 556	9.33E-11	4	3.73E-10	2 678 807 389
	Tarjeta E/S	275 500	3.63E-06	24	8.71E-05	11 479
	Tarjeta Señal	166 500	6.01E-06	24	1.44E-04	6 938
	Tarjeta Motor	311 500	3.21E-06	24	7.70E-05	12 979
					<b>3.08E-04</b>	<b>3 244</b>

Tabla 8.- Tasa de fallo de servicio por Ence

En el cálculo de la tasa de fallo de servicio del enclavamiento electrónico también se analiza la funcionalidad que provoca una criticidad en el sistema, es decir, un escenario de pérdida completa o parcial del enclavamiento que cause la indisponibilidad total o parcial del servicio.

Para este análisis vamos a utilizar el árbol de fallos (Fault Tree Analysis). Este es un procedimiento de análisis deductivo, que parte del evento no deseado hasta llegar a las causas básicas que lo provocan, es decir es un análisis de arriba hacia abajo.

Para el cálculo de la probabilidad de que sucedan los eventos que se describen en las siguientes páginas se utilizará la relación entre la distribución binomial y de Poisson

Nuestro evento principal es la pérdida total o parcial de la funcionalidad del enclavamiento. Plantaremos tres escenarios en los que se puede producir el evento principal.

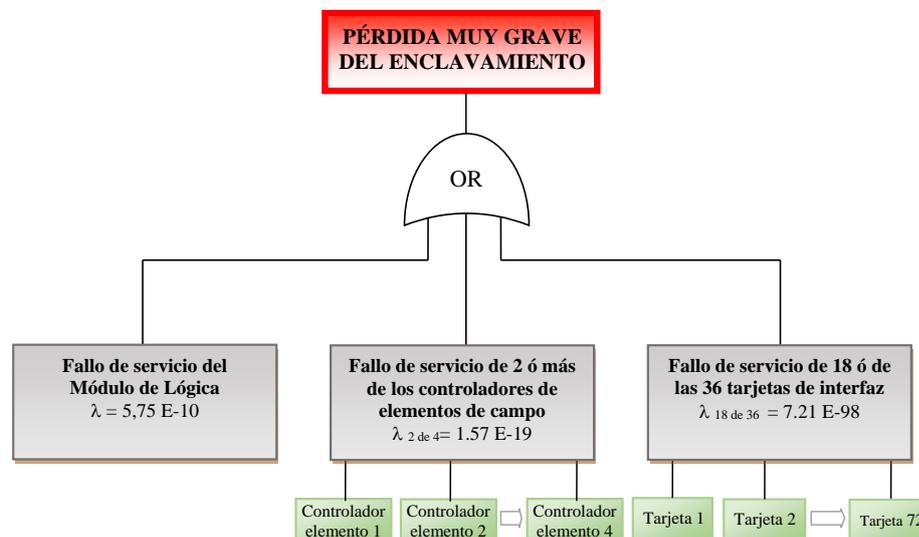
- **Primer escenario:** Fallo operacional causado por la pérdida total del Enclavamiento

Este primer escenario es la posibilidad más grave ya que su ocurrencia causaría la pérdida total del enclavamiento y por tanto los trenes se verían forzados a detenerse hasta la reparación total de la caída del sistema.

Para que el evento catastrófico suceda sería necesario una de las tres hipótesis siguientes:

- Fallo del módulo de lógica del enclavamiento
- Fallo de al menos el cincuenta por ciento de los módulos de control de elementos (en este caso concreto sería el fallo de DOS controladores de elementos de campo de los CUATRO existentes)
- o en su defecto el fallo del cincuenta por ciento de las tarjetas de interfaz que corresponden a dos controladores de elementos de campo, ya que se entiende que la caída de esas tarjetas equivaldría a un funcionamiento muy degradado de los dos controladores.

Podemos ver el escenario establecido en el siguiente árbol de fallos, en el cual ya aparecen calculados la tasa de fallo que correspondería al escenario en estudio



De lo que se deduce que el número de en tarjetas de interfaz fallando simultáneamente que equivaldría a un funcionamiento degradado en un controlador de elementos y que podría equivaler funcionalmente a la caída de dicho controlador de elementos es sumamente improbable y por tanto despreciable.

La pérdida del enclavamiento en este caso viene fijada por la caída del módulo de lógica (también muy improbable)

Por tanto la pérdida total del enclavamiento es un escenario muy improbable

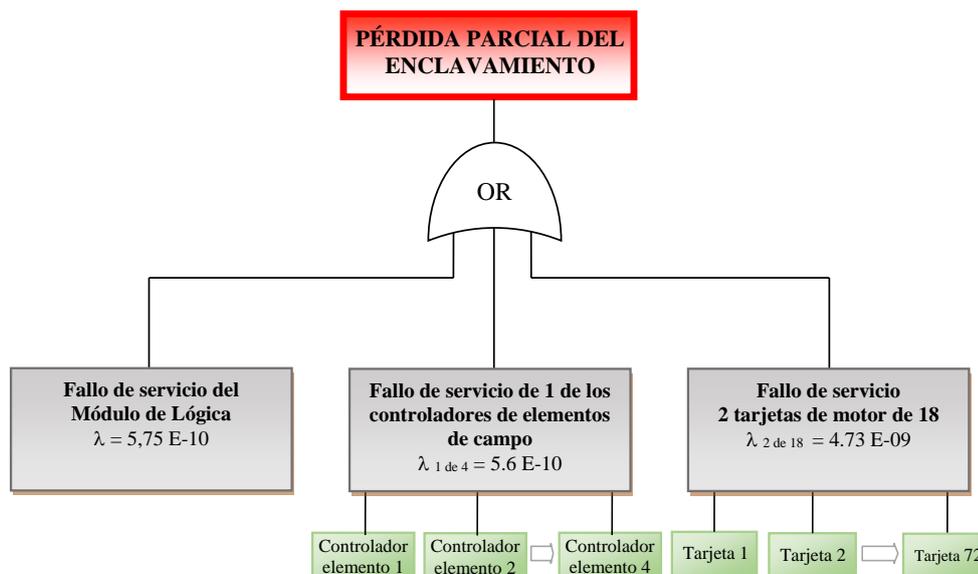
- **Segundo escenario:** Fallo causado por la pérdida parcial de elementos del Enclavamiento

Este escenario es una posibilidad grave ya que su ocurrencia causaría la caída parcial del enclavamiento, ya que la pérdida de explotación en un área mayor puede limitar en gran medida la posibilidad de circular por una zona no afectada por la avería

Para que el evento suceda sería necesario una de las tres hipótesis siguientes:

- Fallo de UN controlador de elementos de campo
- o en su defecto el fallo de DOS tarjetas de interfaz (tomamos tarjetas de motor por ser las más críticas en cuanto a funcionalidad) en un controlador de elementos de campo ocupado con 18 tarjetas de interfaz.

Podemos ver el escenario establecido en el siguiente árbol de fallos, en el cual ya aparecen calculados la tasa de fallo que correspondería al escenario en estudio



En este escenario lo más probable es la pérdida de funcionalidad parcial por la caída simultánea de dos tarjetas de interfaz en un controlador de elementos de campo.

El fallo de servicio de dos tarjetas es el caso más desfavorable. Sin embargo una caída de dos tarjetas causaría una mínima incidencia en la explotación, ya que supondría la indisponibilidad de una zona del enclavamiento que se podría suplir con itinerarios alternativos

Si se calcula la probabilidad de fallo de UNA tarjeta de interfaz (por ejemplo una tarjeta de motor), sobre la totalidad de tarjetas de un módulo de lógica obtendríamos un valor de  $6.67 \text{ E-}04$ , un MTBF de 1500 h. Sin embargo una caída de una tarjeta en el enclavamiento no afecta de manera significativa al funcionamiento del sistema ni a la explotación

Se concluye por tanto que el MTBF para este escenario es el valor de la tasa de fallo de servicio de uno de los controladores de los elementos de campo que es el caso intermedio con mayor incidencia en las circulaciones. Este valor a su vez es prácticamente igual a la probabilidad de una caída del módulo de lógica ( $5 \text{ E-}10$ ), en ambos casos obtienen un MTBF de  $1.7 \text{ E+}09$  y es el que se tomaría como como indicador válido del enclavamiento.

Para diferentes cantidades de controladores de elementos de campo en un enclavamiento se obtienen distintos valores de MTBF.

Ejemplos:

- MTBF para 4 controladores de elementos de campo es  $1.7 \text{ E+}09$  y tasa de fallo de servicio  $5.60 \text{ E-}10$ .
- MTBF para 8 controladores de elementos de campo es  $8.93 \text{ E+}08$  y tasa de fallo de servicio  $1.12 \text{ E-}09$ .
- MTBF para 12 controladores de elementos de campo es  $5.95 \text{ E+}08$  y tasa de fallo de servicio  $1.68 \text{ E-}09$ .

De lo que se deduce que este dato se debe calcular para oferta, es decir se debe calcular el dato más crítico de cada enclavamiento individual para poder obtener la tasa de fallo de la línea completa.

### 5.2.2. Señales luminosas

Las señales laterales luminosas constan de focos de diodos LED de 160 mm de diámetro de alta luminosidad con control del interface del sistema ASFA. Los elementos mecánicos de la señal (base, mástil, etc.) no están incluidos en el ámbito de este estudio.

Los focos se conectarán al enclavamiento, recibiendo de éste la tensión de alimentación y de operación. Además, cualquier foco podrá conectarse al interfaz del sistema ASFA.

Los focos se comportarán hacia el enclavamiento del siguiente modo:

- Si se consume una potencia superior a un valor mínimo, recogido en la especificación de requisitos, el enclavamiento lo considera foco correcto.

- Si por el contrario esta potencia consumida es menor a lo especificado, el enclavamiento considera foco averiado.

El desgaste de los diodos LED, instalados en las señales laterales luminosas, hace que este tenga una vida útil mayor de diez años en funcionamiento permanente (24 horas) hasta que se produzca una pérdida del 50% de la intensidad luminosa.

Por lo tanto, cuando se aplica un correcto mantenimiento preventivo no se tiene en consideración el concepto de MTBF para los diodos LED. Por lo tanto será la fiabilidad del foco que genera la alimentación para los diodos la que marque la fiabilidad de la señal, su fiabilidad es la siguiente:

Elemento	MTBF (Horas)	MTBF (Años)	Tasa de fallo
Foco	500 000	57	2.00E-06

Tabla 9.- Fiabilidad del foco de una señal luminosa

En el sistema de señalización, la gran mayoría de las señales tienen encendido sólo uno de sus focos en un momento determinado, excepto cuando se produzcan determinadas situaciones puntuales de corta duración (maniobras...). Dado que la tasa de fallos se refiere al número de fallos por hora de funcionamiento (foco encendido) y que, además cada señal reparte el tiempo de trabajo entre los diferentes focos que la componen, la tasa de fallos de cada señal será equivalente a la de un único foco.

A continuación se puede ver el cálculo de la tasa de fallo de servicio para una línea con unos valores hipotéticos:

Elemento	MTBF (Horas)	MTBF (Años)	Tasa de fallo	Cantidad	Total tasa de fallo	MTBSF TOTAL
Foco	500 000	57	2.00E-06	170	3.40E-04	2 941
Señal de 5 focos	500 000	57	2.00E-06	50	1.00E-04	10 000
Señal de 4 focos	500 000	57	2.00E-06	80	1.60E-04	6 250
Señal de 3 focos	500 000	57	2.00E-06	30	6.00E-05	16 667
Señal de 2 focos	500 000	57	2.00E-06	10	2.00E-05	50 000
Señal de 1 focos	500 000	57	2.00E-06	0	--	--
					<b>3.40E-04</b>	<b>2941</b>

Tabla 10. Tasa de fallos Logística de las señales luminosas en una línea

Cada aspecto de una señal tiene un significado diferente para la señalización según el modo de operación de la línea, ya sea con ASFA, ERTMS etc., por lo que no todos los fallos de los focos van a suponer necesariamente un fallo de servicio. Si ponemos un promedio de tres focos por señal y

estimamos solo la fusión del aspecto rojo como crítica, podemos estimar un aumento de un treinta por ciento en el MTBF del foco, quedando la tabla para tasa de fallo de servicio como se muestra a continuación:

Elemento	MTBF (Horas)	MTBF (Años)	Tasa de fallo	Cantidad	Total tasa de fallo	MTBSF TOTAL
Foco	650 000	74	1.54E-06	170	2.62E-04	3 824
Señal de 5 focos	650 000	74	1.54E-06	50	7.69E-05	13 000
Señal de 4 focos	650 000	74	1.54E-06	80	1.23E-04	8 125
Señal de 3 focos	650 000	74	1.54E-06	30	4.62E-05	21 667
Señal de 2 focos	650 000	74	1.54E-06	10	1.54E-05	65 000
Señal de 1 focos	650 000	74	1.54E-06	0	--	--
					<b>2.62E-04</b>	<b>3824</b>

Tabla 11.- Tasa de fallos de servicio de las señales luminosas en una línea

### 5.2.3. Contadores de ejes

Estos equipos se emplean para detectar la presencia de vehículos ferroviarios en tramos de vía definidos sirviéndose de sensores o puntos de detección que se instalan en la vía en los tramos a supervisar. Los puntos de detección presentan la considerable ventaja de funcionar con independencia de la resistencia del balasto de la vía y pueden por tanto, trabajar con tramos de vía de longitud prácticamente ilimitada. El estado de la vía en su conjunto no tiene ninguna influencia sobre ellos y funcionan con total fiabilidad.

Tiene un funcionamiento muy robusto. No solo es extremadamente insensible frente perturbaciones electromagnéticas provocadas por los trenes, si no también tiene un margen muy amplio de reconocimiento de los diferentes tipos de ruedas empleadas por los diferentes ferrocarriles.

El producto está compuesto por el equipo interior que incluye el Evaluador del Contador de Ejes que es un sistema redundante 2 de 3 y el equipo exterior o punto de detección situado a pie de vía.

En la tabla siguiente como ejemplo se han puesto 10 unidades evaluadoras y 100 puntos de detección para poder ver la fiabilidad del sistema en una línea y como la disminución de esta se debe al gran número necesario para cubrir las necesidades de señalización del tramo.

Elemento	MTBF (Horas)	MTBF (Años)	Tasa de fallo	Cantidad	Total tasa de fallo	MTBSF TOTAL
UNIDAD EVALUADORA	4 080 000	466	2.45E-07	10	2.45E-06	408 000
PUNTO DE DETECCIÓN	232 000	26	4.31E-06	100	4.31E-04	2 320
					<b>4.33E-04</b>	<b>2 307</b>

Tabla 12.- Tasa de fallos logística de los contadores de ejes en la línea

En el cálculo de la tasa de fallo de servicio de la unidad evaluadora se ha tenido en cuenta su arquitectura redundante 2oo3, así como la probabilidad más crítica que se puede dar, pérdida de una unidad evaluadora, hecho que provocaría retrasos en la explotación de la línea y un servicio degradado pero no una pérdida del sistema. El dato que se obtiene es  $\lambda=2.43 \cdot 10^{-12}$  Tan improbable como el que se obtiene para la unidad evaluadora teniendo en cuenta su arquitectura redundante.

Componentes	Tasa de fallo Logístico	Redundancia	MTTR	Tasa de fallo Servicio	MTBF Total (Horas)	Cantidad	Total tasa de fallo	MTBSF TOTAL
UNIDAD EVALUADORA	2.45E-07	2 003	1.50	5.41E-13	1.85E+12	1	5.41E-13	1.85E+12
PUNTO DE DETECCIÓN	4.31E-06	--	--	4.31E-06	232 000	100	4.31E-04	2.32E+03
				<b>4.31E-06</b>	<b>232 000</b>		<b>4.31E-04</b>	<b>2 320</b>

Tabla 13.- Tasa de fallo de servicio de la línea

#### 5.2.4. Circuitos de vía

Es un sistema de detección de tren. Para cada circuito de vía se tiene una entrada y una o varias salidas con tensión alterna de audiofrecuencia. Son alimentados a distancia.

El principio básico de funcionamiento se basa en un emisor de señal que se conecta a los carriles para alimentar la sección de vía en cuestión y en uno o varios receptores que reciben dicha señal cuando la sección está libre. Al entrar un tren en la sección sus ejes cortocircuitan los carriles y alguno de los receptores deja de recibir la señal, lo cual se traduce en una indicación de vía ocupada.

Se compone de un equipo en cabina, que contiene el transceptor y unos equipos de vía en los que se encuentran las unidades de sintonía de transmisión y recepción de la señal que determina la presencia de un tren en una determinada zona.

Las características del equipo permiten diferentes configuraciones, con alimentación lateral o central y la utilización de uno, dos o tres receptores (Rx).

El cálculo de la fiabilidad se ha realizado de acuerdo a la norma MIL\_HDBK\_217F, realizando pruebas en un entorno específico y aplicando a los resultados un factor de corrección basado en la experiencia para obtener un valor de fiabilidad real, según se justifica adecuadamente en el Safety Case del sistema

#### 5.2.4.1. Tasa de fallos individual

La siguiente tabla contiene el valor de la tasa de fallos de cada una de las posibles configuraciones del sistema con alimentación lateral o central, utilizando una, dos o tres unidades de sintonía de recepción:

Equipo		MTBF (Horas)	MTBF (Años)	Tasa de fallo
ALIM.	1 Rx	1 098 900	125	9.10E-07
LATERAL	2 Rx	840 300	96	1.19E-06
ALIM.	3 Rx	840 300	96	1.19E-06
CENTRAL				

Tabla 14.- Tasas de fallo logístico de las configuraciones de los Circuitos de vía

#### 5.2.4.2. Tasa de fallos del conjunto de Circuitos de vía de la línea

En la siguiente tabla se calcula la tasa de fallo de servicio total del conjunto, el fallo de un número suficiente de circuitos de vía que provocaran una caída del sistema es muy improbable y por otra parte la caída de un circuito de vía sería el hecho más probable pero esto no resultaría catastrófico para el servicio por lo que asumimos la tasa de fallo logística como la de servicio.

La tabla que se muestra a continuación se debería cumplimentar con el número de circuitos de vía necesarios para equipar el tramo ofertado. Como ejemplo he puesto una cantidad de 100 pero no tiene ningún valor significativo. Lo que se puede observar es que al tener un número tan alto de elementos la probabilidad de que alguno falle aumenta, pero no por la fiabilidad intrínseca del elemento si no por el gran número de ellos que se necesita para cantonar la línea.

Elemento		MTBF (Horas)	Tasa de fallo	Cantidad	Total tasa de fallo	MTBSF Total
ALIM.	1 Rx	1 098 900	9.10E-07	100	9.10E-05	10 989
LATERAL	2 Rx	840 300	1.19E-06	100	1.19E-04	8 403
ALIM.	3 Rx	840 300	1.19E-06	100	1.19E-04	8 403
CENTRAL						
					<b>3.29E-04</b>	<b>3 039</b>

Tabla 15.- Tasa de fallo de servicio del conjunto de Circuitos de vía de la línea

### 5.2.5. Accionamiento electrohidráulico

Los accionamientos electrohidráulicos permiten la adaptación a cualquier tipo de desvío sin necesidad de ser modificado, lo que implica una reducción del volumen de stock necesarios y una simplificación de la gestión de equipos. Esto a su vez permite una mejora en la disponibilidad y un mantenimiento mínimo.

Para Líneas de Alta Velocidad se instalan desvíos con más de un accionamiento. En función de la velocidad máxima a desviada a la que el material rodante puede circular por el desvío la longitud del mismo se incrementa y en consecuencia el número de accionamientos necesarios aumenta. La siguiente tabla muestra la cantidad de accionamientos necesarios en función de la velocidad del desvío:

Velocidad Máxima (Km/h)		Denominación de los desvíos	Nº Accionam. en espadín del desvío	Nº Accionam. en corazón del desvío
Directa	Desviada			
350	220	DSIH-AV-60-17.000/7.300-1:50-CCM-TC	10	4
350	160	DSIH-AV-60-10.000/4.000-1:36,9-CCM-TC	8	3
350	100	DSIH-AV-60-3.000/1.500-1:22-CCM-TC	5	2
350	80	DSIH-AV-60-3-60-760-1:14-CM-TC	3	2
200	50	DSIH-G-60-318.0,11-CC-TC	1	0

Tabla 16.- Número de accionamientos por tipo de desvío

En los desvíos de corazón móvil se instalan accionamientos en dos zonas del espadín, la punta del espadín y la del corazón. Este tipo de desvío se utiliza casi exclusivamente en proyectos de alta velocidad dada la necesidad de grandes radios de curvatura en las agujas para permitir una velocidad elevada del tren en los cambios de vía.

El accionamiento electrohidráulico combina las funciones de accionamiento, encerrojamiento y vigilancia de apertura de los espadines en los cambios de vía, permiten una mayor potencia de empuje reduciendo el consumo eléctrico y tienen un mantenimiento mínimo.

Las barras de comprobación del accionamiento son ajustables, lo que permite situar el equipo en un desvío, independientemente de la apertura del espadín, sin necesidad de diseñar nuevas barras de comprobación.

La independencia de los sistemas de mando y de fijación al desvío permite una mayor rapidez de actuación sobre el accionamiento en la vía.

Su instalación puede realizarse a derechas como a izquierdas e incluso en posición central en la caja de la vía sin tener que realizar ninguna modificación en el equipo. Pueden ser talonables o no talonables.

Los valores de los parámetros MTBF y tasa de fallos de servicio del accionamiento son los siguientes:

Elemento	MTBF (Horas)	MTBF (Años)	Tasa de fallo	CANTIDAD	Total tasa de fallo	MTBSF TOTAL
Accionamiento	226 757	26	4.41E-06	100	<b>4.41E-04</b>	<b>2 268</b>

Tabla 17.- Tasa de fallo de servicio para los accionamientos electrohidráulicos

Como ejemplo he puesto una cantidad de 100 pero no tiene ningún valor significativo. Lo que se puede observar es que al tener un número tan alto de elementos la probabilidad de que alguno falle aumenta pero no por la fiabilidad intrínseca del elemento si no por el gran número de ellos que se necesita para cantonar la línea.

### 5.3. ANÁLISIS DE LA DISPONIBILIDAD INHERENTE DEL SISTEMA DE SEÑALIZACIÓN

En este apartado calcularemos la disponibilidad inherente de los diferentes equipos que forman el sistema de señalización, es decir la disponibilidad basada en las tasas de fallo teóricas que nos proporcionan los fabricantes de los componentes que forman nuestro sistema.

El MTTR (Mean Time To Repaired) es el parámetro fundamental para garantizar el objetivo de disponibilidad del sistema. El MTTR total se identifica como el tiempo total desde que se detecta el fallo hasta que se finaliza la reparación incluyendo el tiempo de retardo logístico.

La disponibilidad se calculará a partir del tiempo medio entre fallos y el tiempo medio en restaurar el sistema.

El cálculo de la disponibilidad se basa en las siguientes hipótesis:

- Las tasas de fallo son constantes en el tiempo.
- Los fallos son, estadísticamente, independientes unos de otros.
- No ocurren fallos cuando el sistema está fuera de servicio.
- Una vez reparado el elemento se volverá a considerar como nuevo a efectos de cálculo.
- El mantenimiento preventivo no se tiene en cuenta.

En la tabla siguiente se pueden consultar los tiempos de reparación para cada sistema. Hay que señalar que los valores MDT suministrados son cálculos teóricos obtenidos en la fase de diseño y que no tienen en cuenta ni que el mantenimiento se realizará por personal cualificado y con experiencia en mantenimiento de instalaciones similares, ni las facilidades proporcionadas por los equipos de detección y diagnóstico de averías que integran el sistema:

SISTEMA	MDT	TD	MTTR
Enclavamiento Electrónico	0,75	0,75	1,50
Circuitos de Vía	0,75	0,75	1,50
Contador de Ejes	0,75	0,75	1,50
Accionamientos	0,75	0,75	1,50
Señales	0,50	0,75	1,25

Tabla 18.- Tiempos de reparación por sistemas

### 5.3.1. Enclavamiento electrónico.

A partir de los datos de fiabilidad obtenidos en el apartado anterior y basándonos en los tiempos MTTR de la tabla anterior, se obtiene la disponibilidad operacional de cada uno de los sistemas.

Se calculará primeramente la disponibilidad para cada sistema individual:

Componentes	MTBF (Horas) Individual	MTTR	Disponibilidad individual (%)
Módulo Lógico	1 740 096 577	1.50	<b>99.99999991</b>

Tabla 19.- Disponibilidad individual del módulo lógico del enclavamiento

Componentes	MTBF (Horas) Individual	MTTR	Disponibilidad individual (%)
Control Elementos	10 715 229 556	1.50	99.99999999
Tarjeta E/S	275 500	1.50	99.99945554
Tarjeta Señal	166 500	1.50	99.99909911
Tarjeta Motor	311 500	1.50	99.99951846
	<b>77 845</b>		<b>99.998073</b>

Tabla 20.- Disponibilidad individual del módulo de controladores de elementos de campo

La disponibilidad para todo el conjunto será:

Componentes	MTTR	Cantidad	MTBF (Horas) Total	Disponibilidad Linea (%)
Módulo Lógico	1.50	1	1 740 096 577	<b>99.99999991</b>

Tabla 21.- Disponibilidad total del módulo lógico del enclavamiento

Componentes	MTTR	Cantidad	MTBF (Horas) Total	Disponibilidad Linea (%)
Control Elementos	1.50	4	2 678 807 389	99.99999994
Tarjeta E/S	1.50	24	11 479	99.98693456
Tarjeta Señal	1.50	24	6 938	99.97838305
Tarjeta Motor	1.50	24	12 979	99.98844435
			<b>3 244</b>	<b>99.953775</b>

Tabla 22.- Disponibilidad total del módulo de controladores de elementos de campo

Por lo que la disponibilidad total para el enclavamiento electrónico del tramo sería de 99.9537%.

Del análisis de los datos obtenidos podemos ver que la disponibilidad tanto del módulo lógico como del control de elementos es altísima, es decir la disponibilidad del conjunto de ambos elementos seguiría siendo muy alta, ambas se ven penalizadas por la disponibilidad de las tarjetas de interfaz que aunque de manera individual tienen una buena disponibilidad, la necesidad de un gran número de ellas para dar servicio a toda la línea rebaja la disponibilidad total.

### 5.3.2. Señales luminosas.

A partir de los datos de fiabilidad obtenidos en el apartado anterior y basándonos en los tiempos MTTR de la tabla del apartado 5.3, se obtiene la disponibilidad operacional de cada uno de los sistemas.

Se calculará primeramente la disponibilidad para cada sistema individual y posteriormente la disponibilidad total del conjunto de las señales:

Elemento	MTBF (Horas) Individual	MTTR	Disponibilidad individual (%)
Foco	650 000	1.25	99.99981
Señal de 5 focos	650 000	1.25	99.99981
Señal de 4 focos	650 000	1.25	99.99981
Señal de 3 focos	650 000	1.25	99.99981
Señal de 2 focos	650 000	1.25	99.99981
Señal de 1 focos	650 000	1.25	99.99981
		<b>2941</b>	<b>99.99981</b>

Tabla 23.- Disponibilidad individual de las señales luminosas

Elemento	Cantidad	MTBF(Horas) Total	Disponibilidad Línea (%)
Foco	170	2 941	99.95752
Señal de 5 focos	50	10 000	99.98000
Señal de 4 focos	80	6 250	99.99250
Señal de 3 focos	30	16 667	99.99250
Señal de 2 focos	10	50 000	99.99750
Señal de 1 focos	0	--	--
		<b>3824</b>	<b>99.96732</b>

Tabla 24.- Disponibilidad total de las señales luminosas

### 5.3.3. Contadores de ejes

A partir de los datos de fiabilidad obtenidos en el apartado anterior y basándonos en los tiempos MTTR de la tabla del apartado 5.3, se obtiene la disponibilidad operacional de cada uno de los sistemas.

Se calculará primeramente la disponibilidad para cada sistema individual y posteriormente la disponibilidad total del conjunto de los contadores de ejes:

Elemento	MTBF (Horas) Individual	MTTR	Disponibilidad individual (%)
UNIDAD EVALUADORA	1.85E+12	1.50	99.9999999992
PUNTO DE DETECCIÓN	77 333	1.50	99.99806
	<b>77 333</b>		<b>99.99806</b>

Tabla 25.- Disponibilidad individual de los contadores de ejes

Elemento	Cantidad	MTBF(Horas) Total	Disponibilidad Linea (%)
UNIDAD EVALUADORA	1	1.85E+12	99.9999999992
PUNTO DE DETECCIÓN	100	773	99.80641
		<b>773</b>	<b>99.80641</b>

Tabla 26.- Disponibilidad total de los contadores de ejes

### 5.3.4. Circuitos de vía

A partir de los datos de fiabilidad obtenidos en el apartado anterior y basándonos en los tiempos MTTR de la tabla del apartado 5.3, se obtiene la disponibilidad operacional de cada uno de los sistemas.

Se calculará primeramente la disponibilidad para cada sistema individual y posteriormente la disponibilidad total del conjunto de los circuitos de vía:

Elemento	MTBF (Horas) Individual	MTTR	Disponibilidad individual (%)
ALIM. LATERAL	1 Rx	1 098 900	99.9999
	2 Rx	840 300	99.9998
ALIM. CENTRAL	3 Rx	840 300	99.9998
		<b>303 942</b>	<b>99.9995</b>

Tabla 27.- Disponibilidad individual de los circuitos de vía

Elemento		Cantidad	MTBF(Horas) Total	Disponibilidad Linea (%)
ALIM.	1 Rx	100	10 989	99.9864
LATERAL	2 Rx	100	8 403	99.9822
ALIM.	3 Rx	100	8 403	99.9822
CENTRAL				
			<b>3 039</b>	<b>99.9507</b>

Tabla 28.- Disponibilidad total de los circuitos de vía

### 5.3.5. Accionamientos electrohidráulicos

A partir de los datos de fiabilidad obtenidos en el apartado anterior, y basándonos en los tiempos MTTR de la tabla del apartado 5.3, se obtiene la disponibilidad operacional de cada uno de los sistemas.

Se calculará primeramente la disponibilidad para cada sistema individual y posteriormente la disponibilidad total del conjunto de las señales:

Elemento	MTBF (Horas) Individual	MTTR	Disponibilidad individual (%)
Accionamiento	<b>226 757</b>	1.50	<b>99.99934</b>

Tabla 29.- Disponibilidad individual de los desvios

Elemento	MTBF (Horas) Individual	MTTR	Cantidad	MTBF(Horas) Total	Disponibilidad Linea (%)
Accionamiento	<b>226 757</b>	1.50	100	<b>2 268</b>	<b>99.93389</b>

Tabla 30.- Disponibilidad total de los desvios

## 5.4. ANÁLISIS DE LA MANTENIBILIDAD DEL SISTEMA DE SEÑALIZACIÓN

La mantenibilidad del sistema para ser eficaz tiene que conseguir, en caso de fallo, poner en funcionamiento el sistema de una forma rápida y segura. Los mantenimientos no deben interferir en la operación diaria, por lo que es necesario una planificación de todo el conjunto para así conseguir la máxima disponibilidad del sistema de una manera segura.

A continuación se desglosan las características necesarias que debe tener un programa de mantenimiento:

### **El alcance del mantenimiento**

El mantenimiento a realizar en todas de las Instalaciones del Sistema de Señalización deben ser planificados y desarrollados en el programa de mantenimiento, puede ser de tres tipos:

- Mantenimiento preventivo, son todas aquellas actuaciones que permiten detectar con antelación suficiente posibles fallos o averías.
- Mantenimiento correctivo, se realiza cuando el equipo ya ha fallado, su objetivo es restaurar el sistema para que pueda realizar la función que se le requiere.
- Mantenimiento predictivo, se realiza en función de las estadísticas de fallo y del análisis de tendencias de los equipos.

### **Programa de mantenimiento**

Para no afectar a la disponibilidad y a la seguridad es necesario una programación de actividades mediante Diagramas de Gant para planificar las inspecciones de cada uno de los equipos que integra el sistema.

Estas inspecciones deben realizarse acorde a unos procedimientos de trabajo, que se han redactado con antelación al comienzo del mantenimiento, y que incluirán los puntos a inspeccionar en cada equipo.

### **Manuales de mantenimiento**

En el momento en que se inicia la fase de mantenimiento debe existir un manual de mantenimiento de las instalaciones que incluya los manuales de mantenimiento de cada una de las técnicas que componen las instalaciones del sistema de señalización.

### **Incidencias**

Incidente es toda actuación realizada por el personal de mantenimiento que no forma parte del mantenimiento preventivo programado.

Es necesario realizar un procedimiento de gestión y seguimiento de incidencias, ya que es muy importante el tiempo de respuesta según la gravedad y su afectación en la explotación de la línea.

### **Puestas en servicio**

Por temas de seguridad, antes de restablecer el servicio para la explotación comercial en el caso de parada de algún equipo del sistema de señalización, ya sea debido a una incidencia o al manteni-

miento preventivo o predictivo, se deben realizar de manera obligatoria las pruebas de funcionamiento definidas en los procedimientos de trabajo y manuales existentes.

### **Reparaciones**

En apartados anteriores se puede consultar los tiempos previstos para la reparación de los equipos y sistemas objeto de este proyecto.

Hay que señalar que estos valores MDT son cálculos teóricos obtenidos en la fase de diseño y no tienen en cuenta, ni que el trabajo se realizará por personal cualificado y con experiencia en mantenimiento de instalaciones similares, ni que los sistemas integran equipos de detección y diagnóstico de averías que facilitan su trabajo

Estos tiempos están basados en la reparación de componentes individuales menores, por ejemplo una tarjeta, sin embargo, una práctica de mantenimiento posible es la sustitución de elementos de mayor entidad, un grupos de tarjetas, lo que disminuirá mucho el MDT.

La experiencia en el mantenimiento de otras líneas indica que los valores reales son mucho menores que los teóricos debido a la conjunción de una adecuada formación del personal, herramientas apropiadas, y un buen programa de repuestos.

### **Centros de mantenimiento**

Para la realizar el mantenimiento de las instalaciones y dependiendo de las exigencias del pliego de prescripciones técnicas, es necesario definir un conjunto de zonas de mantenimiento, de las que se deben definir sus límites, accesos, distancias, etc., y cuyos detalles deben incluirse en la documentación técnica.

### **Logística de los centros de mantenimiento**

Para la realización de las labores de mantenimiento es necesario asignar a cada uno de los centros de mantenimiento la relación de medios materiales y humanos necesarios que permitan la correcta realización de estas tareas en cada uno de ellos.

#### Medios materiales

- Repuestos: se definirá la relación óptima de repuestos a ubicar en los almacenes existentes de cada centro de mantenimiento.
- Vehículos: se especificará la relación de vehículos asignados a cada uno de estos centros.
- Instrumental: se definirá la relación de equipos y medios, tanto de carácter general como de carácter específico para cada una de las técnicas.

### Personal de mantenimiento

Es necesaria la realización de un organigrama donde se describa cada una de las funciones y responsabilidades a asumir por el personal adscrito al centro de mantenimiento, así como el diagrama de organización de tareas a realizar en la fase de mantenimiento.

Se debe incluir un plan de formación con cursos específicos para que los trabajadores tengan la preparación adecuada y puedan desempeñar las labores de mantenimiento de manera eficiente y segura..

Se debe incluir los historiales profesionales del personal adscrito a cada uno de los centros de mantenimiento.

### **Sistemas de ayuda al mantenimiento**

El enclavamiento electrónico cuenta con un Sistema de Ayuda al Mantenimiento (SAM), su tarea principal es realizar la diagnosis del sistema y generar unos informes que faciliten las tareas tanto del mantenimiento preventivo como del correctivo al personal de mantenimiento.

El S.A.M. del enclavamiento electrónico dispone de las aplicaciones siguientes:

- Registrador de eventos.
- Aplicación principal de diagnosis.
- Reproducción en línea.
- Reproducción en moviola.

Está conectado a la red de comunicación entre el enclavamiento y los puestos locales y remotos, intercepta y graba toda la información que tenga como origen y destino el enclavamiento:

- Todos los cambios de estado de los elementos de campo,
- La diagnosis y el estado de las conexiones entre los módulos del enclavamiento.
- Todos los mandos del operador ejecutados sobre el enclavamiento y la respuesta a los mismos, ya se hayan realizado en modo local como central.
- Ordenes e indicaciones
- Estado de las conexiones entre los módulos del enclavamiento
- Alarmas del enclavamiento.
- Averías y anomalías de funcionamiento.
- Registro de errores.

Permite la reconstrucción de secuencias de tráfico.

El Sistema de Ayuda al Mantenimiento puede ser local o central, concentrando en un solo punto todas las tareas de mantenimiento de la línea entera.

## 6. CONCLUSIONES

Las RAMS no es algo que se calcule en el momento de realizar una oferta, sino que debe formar parte del sistema desde el momento en que este se comienza a conceptualizar.

Debe formar parte del diseño como lo forman las especificaciones técnicas, las prestaciones, el boceto etc. En la fase de diseño se pide que el equipo o sistema funcionen sin fallo el mayor tiempo posible queremos que sea fiable y a su vez si falla debe poder repararse de una manera rápida y sencilla, es decir debe ser mantenible. Ambos conceptos son los que darán calidad y disponibilidad al producto por lo que se deben definir al comienzo de la vida de lo que diseñemos.

Una vez fabricado tendremos la fiabilidad y la mantenibilidad con la que lo hayamos diseñado.

El seguimiento de las RAMS a lo largo de todo el ciclo de vida del equipo o sistema será lo que haga evolucionar el diseño inicial para mejorar su disponibilidad.

Si un sistema ferroviario tiene un alto grado de indisponibilidad por seguridad funcionará en modo degradado, el usuario sufrirá los retrasos y en consecuencia el transporte ferroviario verá dañada su imagen de transporte cómodo, rápido y seguro.

El enclavamiento electrónico es la parte más crítica de un sistema de señalización, su caída es catastrófica para el tráfico y la seguridad, por eso se busca una arquitectura distribuida en la que la conexión de los cientos de elementos de campo que conforman la señalización no la gestione un solo módulo, así separan el módulo de lógica del módulo de controladores de elementos de campo.

El módulo de lógica que será crítico su caída sería la pérdida total de la línea, por eso la tasa de fallo de sus componentes E-06 es muy baja es muy improbable que fallen, si además lo diseñas con una configuración paralela y redundante 2oo3 su tasa de fallo baja a  $5.75 \times 10^{-10}$  es decir más que extremadamente improbable que falle, su disponibilidad gracias a su diseño de fácil mantenimiento con un MTTR de 1.5 horas hace que su disponibilidad sea de prácticamente un 100%.

A pesar de todo lo expuesto anteriormente y aunque dichos módulos podrían gestionar por si solos líneas completas al tener una capacidad de gestión de elementos de campo enormes, desde la ingeniería de señalización, se suelen disponer varios módulos lógicos por línea, de esta manera evitas que aún en el hipotético caso de fallo de alguno de ellos no perder la línea completa, sino solo un tramo intentando de esta manera minimizar los daños.

Los módulos de control de elementos de campo son el paso intermedio entre los cientos de elementos necesarios para la señalización, señales, desvíos, circuitos de vía, contadores de ejes y el módulo de lógica. No sería conveniente que solo un módulo aglutinara todos estos elementos ya que se convertiría en un punto de alta criticidad, de ahí la utilización de varios controladores. La tasa de fallo de estos módulos no debe ser alta, ya que a mayor número la probabilidad de fallo de dos de

estos elementos sería más probable y se convertiría en un ya que se convertiría en un cuello de botella dando lugar a un escenario crítico. De este modo el módulo de control de elementos tiene una tasa de fallo logística de  $3.22 \times 10^{-6}$ , muy improbable que falle si además su configuración es 2oo3 esta tasa de fallo baja hasta  $9.33 \times 10^{-11}$  lo que hace que la probabilidad de fallos de dos elementos a la vez sea muy improbable y de que falle uno extremadamente improbable, evitando así la posible caída de dos módulos que provocaría un modo degradado del sistema.

Como en el caso anterior desde la ingeniería de proyectos se intenta minimizar los daños al dividir los enclavamientos en cuatro zonas gestionadas por diferentes módulos de control, en caso de pérdida de uno no dejarías sin servicio todo el enclavamiento.

El “punto débil” del módulo de control de elementos son las tarjetas de interfaz, su redundancia 2oo2, no está diseñada para la fiabilidad si no para la seguridad, comprueba los datos y los diversificarlos por los dos canales de comunicación. Su fallo aun así es improbable  $E10^{-5}$ , su disponibilidad individual es alta pero al ser necesario un gran número de ellas para conexionar todos los elementos de campo la disponibilidad del conjunto baja lógicamente, la clave es que el sistema sea fácilmente mantenible.

Los elementos de campo aunque su tasa de fallos individual es muy improbable,  $E-06$ , y la disponibilidad es de 99.9998 de media, el gran número necesario para señalar toda la línea es lo que hace que tengamos que asumir que tengamos una tasa de fallo del conjunto más elevada y no merezca la pena invertir en mejorar la fiabilidad individual ya que siempre vendrá condicionada por el gran número del conjunto, la solución está en un buen programa de mantenimiento a ser posible del tipo predictivo RCM, que nos ayude a adelantarnos al fallo pero sin tener que cambiar componentes de manera sistemática como en el mantenimiento preventivo y encarece los costes.

## 7. APORTACIONES

Las tareas realizadas para el trabajo de fin de master han materializado un procedimiento para la realización de ofertas con la finalidad de unificar criterios para todos los sistemas que puede aglutinar un proyecto de señalización ferroviaria y servir de ayuda a los operadores sin experiencia en esta materia.

La recopilación de documentación técnica ha dado como resultado una base de datos de los sistemas de señalización actualizada y fácil de mantener que puede servir para posteriores trabajos u ofertas

Se realizó una hoja de cálculo con la intención de que se pudiera utilizar posteriormente, en la que el operador solo debería seleccionar las tecnologías utilizadas y modificar el número de los elementos que tiene la solución técnica adoptada.

Se ha elaborado una plantilla tipo de oferta, vinculada con la hoja de cálculo anterior para que mediante pequeños cambios la ajusten al caso concreto que se oferta, evitando el tener que empezar de cero cada vez que se presenta una licitación.

Estas aportaciones buscan una automatización en el proceso de elaboración de ofertas que consiga una reducción de tiempos y de costes así como una homogenización y mayor calidad en los resultados que se presentan al cliente que mejore la imagen de la compañía.

## BIBLIOGRAFÍA

- La Fiabilidad, Disponibilidad, Mantenibilidad y Seguridad Ferroviarias, Emilio Martín Lucas, 8 de octubre de 2013.
- System Reliability Theory: Models and statistical Methods and aplicaciones, M. Rausan, A. Hoyland, Wiley 2004,
- Introduction to probability Models, Sheldon M. Ross, 2007,
- MIL HDBK-338 Militar Handbook, 1988
- Ingeniería y gestión del mantenimiento Ferroviario, J.L. Arques Patón, 2014
- Presentación Estadística Industrial, Fiabilidad, Universidad Carlos III.
- Presentación Mantenimiento Industrial, Tecnología de máquinas, Universidad Carlos III
- Tema 6, Algunos modelos de distribuciones discretas, Universidad de Granada, Doble grado Ingeniería Informática y matemáticas.
- Tema 2, Fiabilidad, Universitas
- Gestión de activos físicos, Viviana Meruane, Departamento de Ingeniería Mecánica Facultad de ciencias Física y matemáticas, Universidad de Chile