





Proyecto Constructivo de Instalaciones para la Prolongación Sur del Metropolitano de Granada: Tramo Armilla-Churriana-Las Gabias (T-MG6211/PPR3)

CONTROL UTE

Elaborado	Revisado	Aprobado
 Alonso Candelario Garrido	 Héctor Martín Pérez	 Francisco Javier Valencia Vera
 Alejandro Angulo		

CONTROL DE CAMBIOS Y VERSIONES

Código	Objeto	Versión	Fecha
TMG6211PPR3-AYP-ZZZ-ZZZ-ANE-ZZ-013	Creación del documento	C01.01(C02.01)	31/03/2023
TMG6211PPR3-AYP-ZZZ-ZZZ-ANE-ZZ-013	Creación del documento	C02.01	31/03/2023

Índice

1	INTRODUCCIÓN Y OBJETO	6
1.1	ENERGÍA Y CATENARIA.....	6
1.2	SISTEMAS.....	6
2	EL CONCEPTO DE RAMS.....	6
2.1	RAMS FERROVIARIA	6

Proyecto Constructivo de Instalaciones para la Prolongación Sur del Metropolitano de Granada: Tramo Armilla-Churriana-Las Gabias (T-MG6211/PPR3)

2.2	FACTORES GENÉRICOS	8	10	EVALUACIÓN, VERIFICACIÓN Y VALIDACIÓN.....	24
2.3	GESTIÓN DE LA RAMS. CICLO DE VIDA	9	10.1	Proceso general	24
3	NORMATIVA DE REFERENCIA	12	10.2	Evaluación	24
4	TERMINOLOGÍA. DEFINICIONES Y GLOSARIO DE TÉRMINOS.	12	10.2.1	Primera fase.....	24
5	GESTIÓN DE RAMS FERROVIARIA.....	14	10.2.2	Segunda Fase.....	25
5.1	CONCEPTO RAMS.....	14	10.2.3	Tercera Fase.....	25
5.1.1	Programa RAM.....	15	10.2.4	Mantenibilidad	25
5.1.2	Concepto de Seguridad (Safety)	15	10.3	Penalizaciones	27
6	MODELO DE FIABILIDAD	16	10.4	Incumplimiento de los valores requeridos de fiabilidad / disponibilidad	27
6.1	OBJETIVO DE LA FIABILIDAD	16	10.5	Documentación.....	28
6.1.1	Vida útil.....	16	10.6	Auditorias	28
6.1.2	Fiabilidad [Símbolo: $R(t_1 \rightarrow t_2)$].....	16	11	INFORMACIÓN REQUERIDA DEL OPERADOR/MANTENIMIENTO	28
6.1.3	Tasa de fallo (instantáneo) [Símbolo: λ_t]	16	12	ENERGÍA Y CATENARIA.....	29
6.1.4	Fallo.....	16	12.1	IDENTIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS Y SUBSISTEMAS	29
6.1.5	Tasa de fallos	16	12.2	DESCRIPCIÓN FUNCIONAL Y TÉCNICA DE LOS SUBSISTEMAS	29
6.1.6	Tiempo medio de funcionamiento entre fallos (MTBF)	17	12.3	ESTUDIO PRELIMINAR RAMS. DISPONIBILIDAD, FIABILIDAD Y MANTENIBILIDAD	30
7	MODELO DE DISPONIBILIDAD.....	17	12.3.1	Requisitos RAM por cumplir en proyecto.....	30
7.1	DISPONIBILIDAD.....	17	12.3.2	Estudio de fiabilidad de los sistemas	30
7.2	TIEMPO MEDIO DE ESTABLECIMIENTO, MTTR	18	12.3.3	Tasa de fallos y tiempos de reparación de componentes y subsistemas	31
7.3	REQUISITOS DE DISPONIBILIDAD GLOBAL.....	19	12.3.4	Estudio de fiabilidad del subsistema de subestación de tracción	32
8	MODELO DE MANTENIBILIDAD	20	12.3.5	Estudio de fiabilidad del subsistema de servicios auxiliares	33
8.1	OBJETIVOS DE LA MANTENIBILIDAD - DEFINICIONES.....	20	12.3.6	Estudio de fiabilidad del subsistema telemando de las subestaciones	33
8.1.1	Mantenibilidad	20	12.3.7	Estudio de fiabilidad del subsistema línea aérea de contacto	34
8.1.2	Clases de mantenimiento	20	12.3.8	Estudio de la fiabilidad global del sistema.....	36
8.1.3	Aplicabilidad de clases de mantenimiento.....	20	12.4	ESTUDIO PRELIMINAR DE SEGURIDAD	36
8.1.4	Predicción de la mantenibilidad.....	21	12.4.1	Estudio preliminar de seguridad	36
9	ORGANIZACIÓN Y ACTIVIDADES DEL PROYECTO.....	21	12.4.2	Metodología del estudio de seguridad	37
9.1	Organización	21	12.4.3	Criterios para la asignación de frecuencia, severidad, riesgo y tolerabilidad.....	38
9.2	Agentes externos.....	21	12.4.4	Registro preliminar de peligros.....	39
9.3	Agentes internos.....	22	12.4.5	Conclusiones del estudio preliminar de seguridad	46
9.4	Interfaces	22	12.5	CICLO DE VIDA Y PLAN DE REPUESTOS	46
9.4.1	Interfaces internas.....	22	12.5.1	Actuaciones renovación subsistema subestaciones de tracción	46
9.4.2	Interfaces externas	22	12.5.2	Actuaciones renovación subsistema catenaria	47

Proyecto Constructivo de Instalaciones para la Prolongación Sur del Metropolitano de Granada: Tramo Armilla-Churriana-Las Gabias (T-MG6211/PPR3)

12.5.3 Listado de repuestos	48
13 SISTEMAS	48
13.1 DEFINICIONES, ABREVIATURAS Y REFERENCIAS	48
13.1.1 Abreviaturas.....	48
13.1.2 Definiciones	49
13.1.3 Referencias	49
13.2 DESCRIPCIÓN FUNCIONAL Y TÉCNICA DE LOS SUBSISTEMAS.....	50
13.3 POLÍTICA Y OBJETIVOS DE FIABILIDAD, MANTENIBILIDAD Y DISPONIBILIDAD.....	52
13.3.1 Introducción.....	52
13.3.2 Niveles de servicio requeridos.....	52
13.4 PLAN DE SEGURIDAD	53
13.4.1 Concepto de riesgo	53
13.4.2 Análisis de riesgos	53
13.4.3 Evaluación y aceptación de riesgos.....	54

Índice de figuras

Figura 1. Elementos RAMS de un sistema	6
Figura 2. Modelos de disponibilidad, fiabilidad y mantenibilidad	9
Figura 3. Ciclo de vida del proyecto.....	10
Figura 4. Interferencias entre RAMS	14
Figura 5. Relación entre Seguridad y Disponibilidad	15
Figura 6. Algoritmo de cálculo de MTBF	17
Figura 7. Tiempo medio de establecimiento.....	18
Figura 8. Tiempo de mantenimiento preventivo	20
Figura 9. Componente con tasa de fallo constante	21
Figura 10. Componente con un problema de mortalidad infantil.....	21
Figura 11. Esquema de modelo en serie	30
Figura 12. Esquema de modelo en paralelo	31
Figura 13. Esquema de modelo de redundancia pasiva	31
Figura 14. Diagrama funcional bloques. Funcionamiento de subestaciones de tracción.....	32
Figura 15. Diagrama funcional bloques. Funcionamiento de servicios auxiliares	33
Figura 16. Diagrama funcional bloques. Funcionamiento del telemando	33
Figura 17. Diagrama funcional bloques. Hilo de contacto	34

Figura 18. Diagrama funcional bloques. Retorno	34
Figura 19. Diagrama funcional bloques. Poste en vía general.....	34
Figura 20. Diagrama funcional bloques. Poste central para dos vías.....	34
Figura 21. Diagrama funcional bloques. Seccionamiento o aguja	35
Figura 22. Diagrama funcional bloques. Pórtico funicular.....	35
Figura 23. Diagrama funcional bloques. Equipo de anclaje.....	36
Figura 24. Diagrama funcional bloques. Sistema global.....	36
Figura 25. Proceso de mitigación de la amenaza	36
Figura 26. Curva bañera teórica.....	46
Figura 27. Curva bañera – análisis estadístico experiencia.....	46

Índice de tablas

Tabla 1. Actividades RAM	11
Tabla 2. Requisitos interrupción servicio	19
Tabla 3. Objetivos de fiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad	30
Tabla 4. Tasa de fallos de reparación de componentes de subestaciones de tracción	31
Tabla 5. Tasa de fallos de reparación de componentes de catenaria.....	32
Tabla 6. Fiabilidad de las subestaciones de tracción.....	33
Tabla 7. Fiabilidad de los servicios auxiliares	33
Tabla 8. Fiabilidad del telemando	33
Tabla 9. Fiabilidad del hilo de contacto	34
Tabla 10. Fiabilidad del retorno.....	34
Tabla 11. Fiabilidad de equipos en vía general	35
Tabla 12. Fiabilidad de seccionamiento o aguja.....	35
Tabla 13. Fiabilidad del pórtico funicular	35
Tabla 14. Fiabilidad del equipo de anclaje	36
Tabla 15. Fiabilidad del sistema global	36
Tabla 16. Categorías de gravedad de los peligros	39
Tabla 17. Categorías de frecuencia de los peligros.....	39
Tabla 18. Aceptación del riesgo	39
Tabla 19. Matriz de riesgo.....	39
Tabla 20. Vida útil de los elementos de subestaciones	47
Tabla 21. Vía útil de los elementos de catenaria.....	48

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETO

El objeto de este documento es el Estudio Preliminar de las actividades de Fiabilidad, Disponibilidad, Mantenibilidad y Seguridad (RAMS: Reliability-Availability-Maintainability-Safety), del proyecto para la Línea Metropolitana del metro de Granada. Prolongación Sur. Tramo Armilla – Churriana de la Vega – Las Gabias.

El Estudio Preliminar de RAMS se subdivide a su vez en los siguientes apartados correspondiente a los suministros principales:

1.1 ENERGÍA Y CATENARIA

- El sistema de Energía que alimentará la prolongación Sur de del Metropolitano de Granada, ofreciendo un suministro de la energía eléctrica con las necesarias condiciones de fiabilidad y garantía requeridas por un servicio como el transporte metropolitano. Este sistema está compuesto por:
 - Subestaciones Eléctricas de Tracción a 750 Vcc
 - Subestaciones de Distribución de Energía en A.T y B.T.
 - Línea aérea de contacto.

1.2 SISTEMAS

- Control Supervisión y Comunicaciones
- Billetaje
- SAE/SIV y radio
- Señalización ferroviaria
- Semaforización

2 EL CONCEPTO DE RAMS

El concepto de RAMS de un sistema define el comportamiento y funcionalidad de dicho sistema a lo largo de su ciclo de vida útil, es decir, desde la concepción, y diseño hasta la retirada de este, siendo un indicador cuantitativo y cualitativo de hasta qué punto puede confiarse en que el sistema, o los subsistemas y elementos que lo forman, funcionen tal y como se especifica y, a la vez, estén disponibles y sean seguros.

Es, por tanto, una combinación de la fiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad y seguridad (RAMS) que caracterizan al sistema.

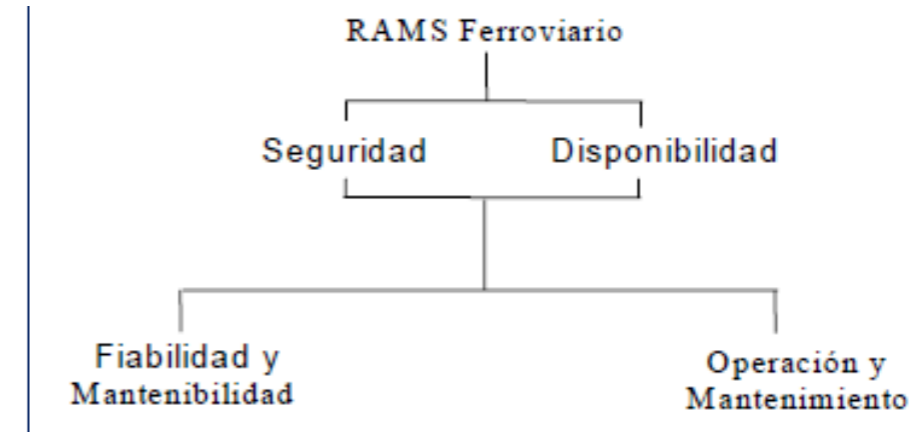


Figura 1. Elementos RAMS de un sistema

2.1 RAMS FERROVIARIA

La RAMS ferroviaria en general, influye de forma importante en la calidad del tráfico ferroviario; seguridad y puntualidad. También influyen otras características relativas a la funcionalidad y a las prestaciones, por ejemplo, la frecuencia de servicio, la regularidad del servicio y la estructuración tarifaria.

En el presente estudio preliminar se presentan las evidencias y los cálculos de Fiabilidad y tasas de fallos conjuntas para cada uno de los subsistemas y para el sistema en su conjunto objeto del presente proyecto, estimándose unos valores teóricos de Mantenibilidad y Disponibilidad del sistema.

A lo largo del ciclo constructivo del proyecto, estos datos y/o valores teóricos deberán ser facilitados por los suministradores o proveedores de material para ir elaborando fase a fase el estudio definitivo que conformará el Análisis RAMS del sistema.

Se ha determinado que los siguientes factores afectan a las RAMS de un sistema ferroviario:

LA OPERACIÓN DEL SISTEMA

- Las tareas que ha de llevar a cabo el sistema y las condiciones en las que se han de realizar estas tareas.
- La coexistencia de pasajeros, carga, personal y sistemas dentro del entorno de la explotación.
- Los requisitos de vida del sistema, incluyendo las expectativas de vida del sistema, la intensidad del servicio y los requisitos relativos al coste del ciclo de vida.

EL ENTORNO

Proyecto Constructivo de Instalaciones para la Prolongación Sur del Metropolitano de Granada: Tramo Armilla-Churriana-Las Gabias (T-MG6211/PPR3)

- El entorno físico.
- El alto nivel de integración de los sistemas ferroviarios con el medio ambiente.
- La posibilidad limitada de ensayar los sistemas completos dentro del entorno ferroviario.

CONDICIONES DE APLICACIÓN

- Las limitaciones impuestas al nuevo sistema por la infraestructura y los sistemas existentes.
- La necesidad de mantener los servicios ferroviarios mientras se realizan las tareas del ciclo de vida.

CONDICIONES DE OPERACIÓN:

- Instalación situada a lo largo de la vía.
- Mantenimiento realizado a lo largo de la vía.
- La integración de los sistemas existentes con los nuevos durante la puesta en servicio y la explotación.

CATEGORÍAS DE FALLOS

- Los efectos de un fallo dentro de un sistema, entre las personas y las máquinas.

LA ASIGNACIÓN DE LAS FUNCIONES DEL SISTEMA, ENTRE LAS PERSONAS Y LAS MÁQUINAS

COMO AFECTA EL SISTEMA A LA ACTUACIÓN HUMANA

- El interfaz hombre/sistema.
- El medio ambiente, incluyendo el entorno físico y los requisitos ergonómicos.
- La competencia humana.
- El diseño de las tareas que se deben realizar.
- El proceso de realimentación humano.
- La estructura de organización del ferrocarril.
- La cultura del ferrocarril.
- El vocabulario profesional del ferrocarril.
- Los problemas que surgen al introducir una nueva tecnología.

COMO AFECTA LA ACTUACIÓN HUMANA AL SISTEMA

- El efecto del error humano.
- El efecto de la infracción deliberada de las reglas por parte del hombre.
- La implicación e intervención humana en el sistema.
- El control y la anulación humana del sistema.

- La percepción humana del riesgo.
- La implicación humana en zonas críticas del sistema.
- La capacidad humana de prever problemas en el sistema.

FACTORES HUMANOS EN EL DISEÑO Y DESARROLLO DEL SISTEMA, INCLUYENDO

- La competencia humana.
- La independencia humana durante la fase de diseño.
- La intervención humana en la verificación y validación.
- El interfaz entre el hombre y las herramientas automatizadas.
- Los procesos de prevención de fallos sistemáticos.

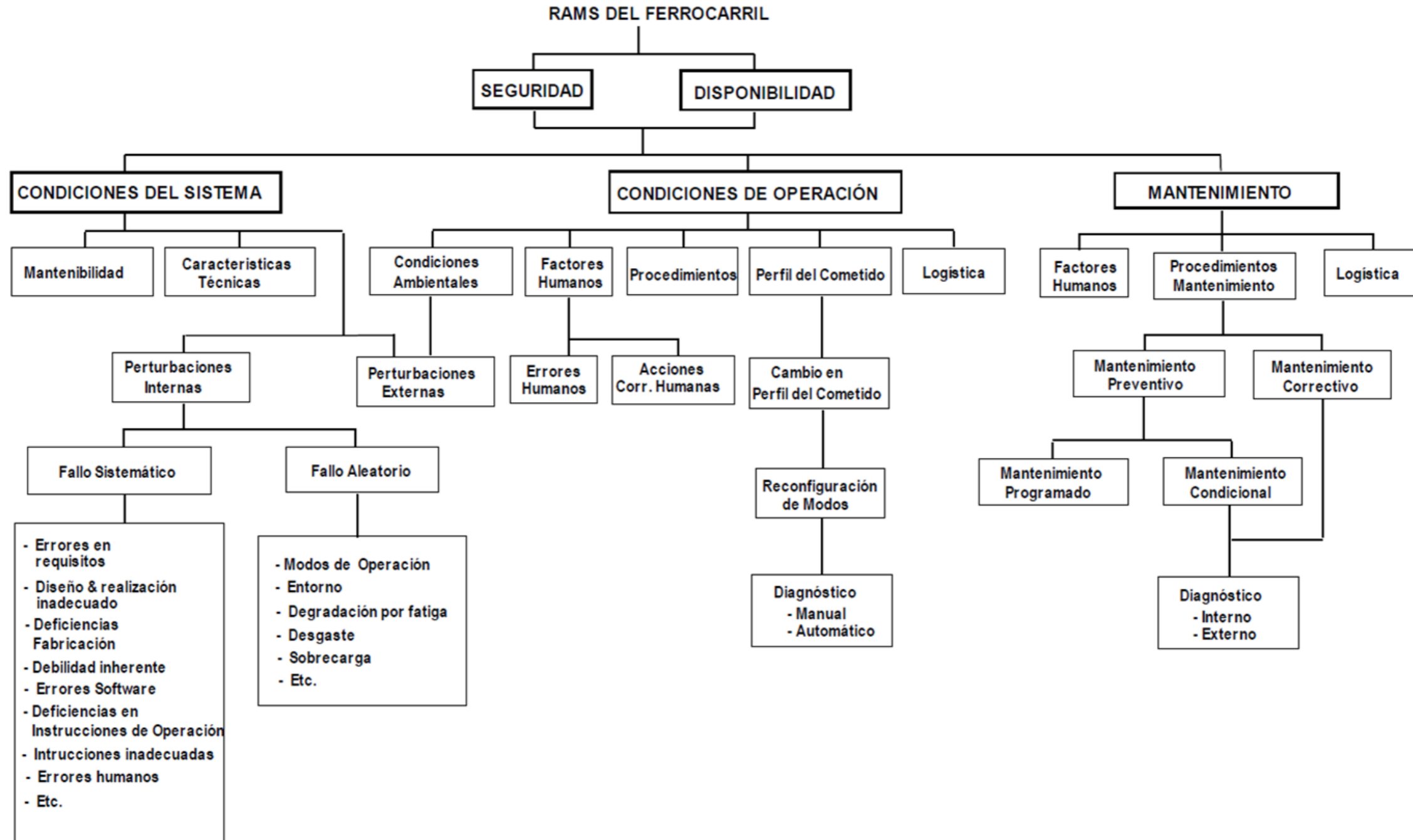
LOS REQUISITOS DEL SISTEMA DEBIDOS A:

- La competencia humana.
- El apoyo para la motivación y aspiraciones humanas.
- La mitigación de los efectos de los cambios del comportamiento humano.
- La vigilancia de las operaciones.
- El tiempo y espacio de reacción humana.

- LOS REQUISITOS DEL SISTEMA DEBIDOS A LAS POSIBILIDADES DE PROCESADO DE INFORMACIÓN POR PERSONAS

- La comunicación hombre/máquina.
- La densidad de transferencia de información.
- La velocidad de transferencia de información.
- La calidad de la información.
- La situación humana ante situaciones anormales.
- La formación humana.
- El apoyo a los procesos de toma de decisión humano.
- Otros factores que contribuyan a la tensión humana.

2.2 FACTORES GENÉRICOS



2.3 GESTIÓN DE LA RAMS. CICLO DE VIDA

La cláusula 6 de la Norma UNE-EN 50126 define un proceso de gestión basado en el ciclo de vida de un sistema completo que permitiría el control de los factores RAM específicos de las aplicaciones ferroviarias. Para cumplir los requisitos RAM es necesario:

- **Controlar** los factores mediante un proceso de gestión a lo largo del ciclo de vida para evitar las causas de los errores (sistemáticos y aleatorios).
- **Minimizar** o mitigar la posibilidad de que se produzca un daño debido a un error. Dicha mitigación es una combinación de prevención y protección.

Por ende, tanto el Informe Preliminar como el Análisis RAMS del sistema se organizarán en los siguientes apartados:

- **Fiabilidad.** Tiene como propósito genérico asegurar durante las fases de diseño y evaluación de la solución propuesta que se cumplen los objetivos de fiabilidad.
- **Disponibilidad.** Tiene como propósito genérico asegurar durante las fases de diseño y evaluación de la solución propuesta que se cumplen los objetivos de disponibilidad.
- **Mantenibilidad.** Tiene como propósito genérico asegurar durante las fases de diseño y evaluación de la solución propuesta que se cumplen los objetivos de mantenibilidad.

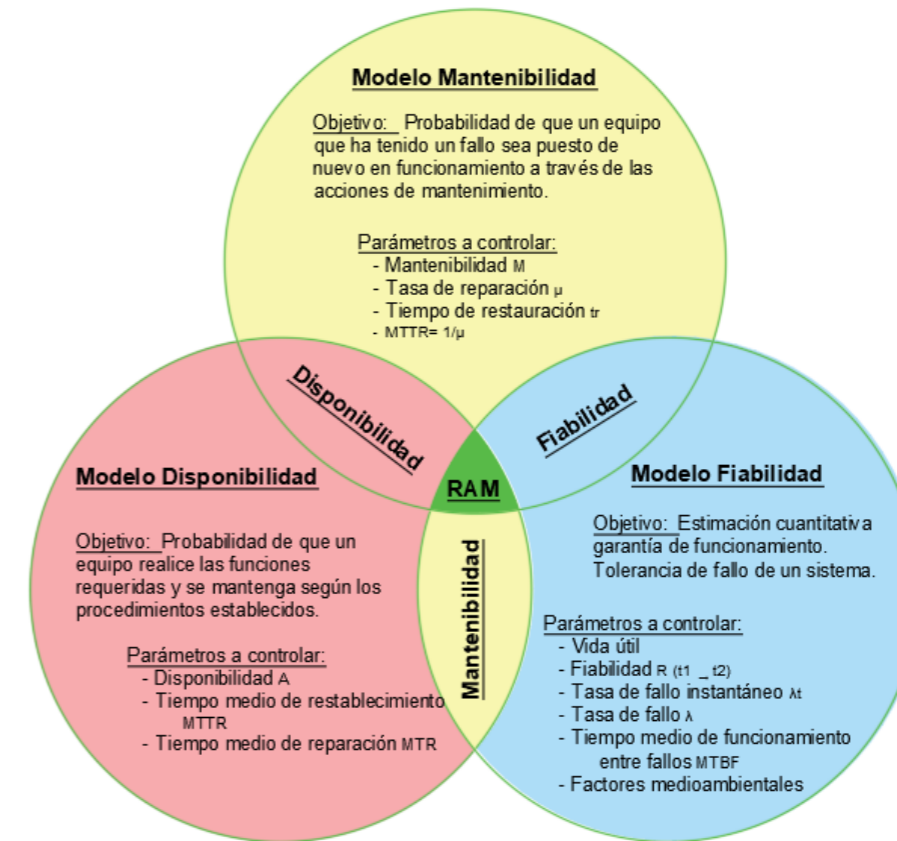


Figura 2. Modelos de disponibilidad, fiabilidad y mantenibilidad

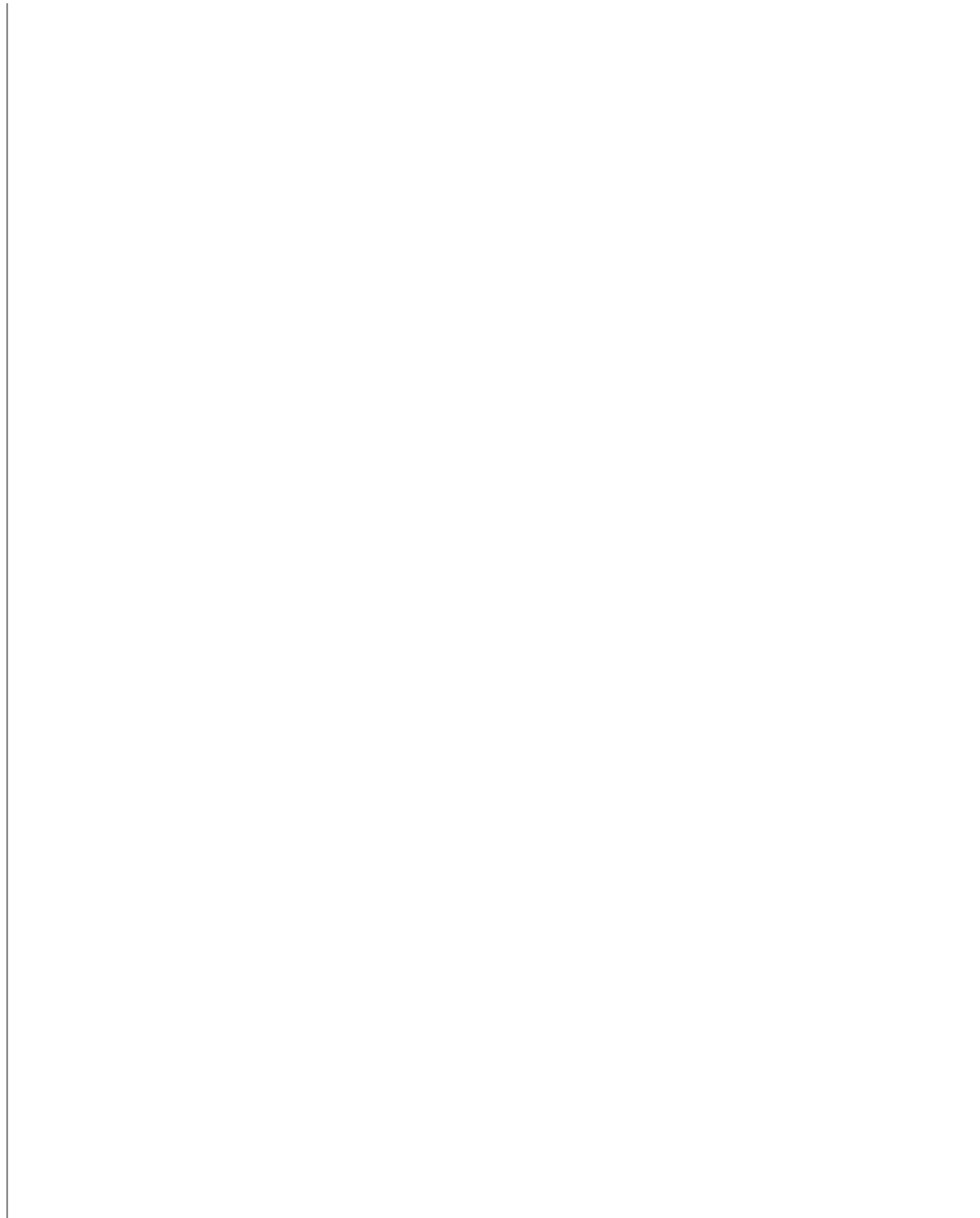


Figura 3. Ciclo de vida del proyecto

Actividades de RAM

De acuerdo con la norma UNE-EN 50123, las tareas de Fiabilidad, Disponibilidad, Mantenibilidad y Seguridad que se desarrollarán durante cada fase del ciclo de vida del proyecto serán las siguientes:

Fase 1 y 2: Concepto, definición del sistema y condiciones de aplicación	
Tareas RAMS	Responsable
Organización de la gestión documental junto con la dirección del proyecto y Calidad. Realizar el Plan de Calidad.	Responsable Calidad
Realizar el Plan RAM siguiendo la norma UNE-EN 50126 e incluir el análisis de bloques para la asignación de los requisitos cuantitativos RAM a los subsistemas. Realizar el Plan de Seguridad siguiendo la norma UNE-EN 50126.	Ingeniero RAMS
Fase 3: Análisis de riesgos	
Tareas RAMS	Responsable
Realizar el análisis preliminar de amenazas (PHA) evaluando el riesgo asociado y las mitigaciones correspondientes. Establecer y estructurar el Hazard Log e incluir en el Hazard Log las amenazas identificadas en PHA, así como otras amenazas identificadas a posteriori.	Ingeniero RAMS
Establecer un plan de evaluación independiente de la seguridad considerando las evaluaciones y aceptaciones del ISA.	Evaluador Externo (ISA)
Fase 4: Requisitos del sistema	
Tareas RAMS	Responsable
Especificar los requisitos globales de seguridad y RAM del sistema	Dirección de Proyecto
Actualizar el plan de Seguridad y RAM si procede.	Ingeniero RAMS
Fase 5: Distribución de los requisitos del sistema	

Proyecto Constructivo de Instalaciones para la Prolongación Sur del Metropolitano de Granada: Tramo Armilla-Churriana-Las Gabias (T-MG6211/PPR3)

Tareas RAMS	Responsable
Establecer la estrategia de seguridad. Asignar requisitos RAMS a los subsistemas/componentes.	Dirección de Proyecto e Ingeniero RAMS
Fase 6: Diseño e implementación	
Tareas RAMS	Responsable
Realizar los análisis de Fiabilidad del sistema considerando el MTBF de los subsistemas de la arquitectura y la obsolescencia y envejecimiento de los componentes y productos del sistema.	Ingeniero RAMS
Realizar los análisis de Mantenibilidad correspondientes: preventivo, correctivo y estudio de los stocks de repuestos.	Dirección de Proyecto
Realizar el análisis de Disponibilidad incluyendo el análisis de bloques. Realizar el Informe RAM Realizar el análisis de seguridad mediante la herramienta FTA, así como el análisis de interfaces y comunicaciones del sistema. Elaborar un FMECA funcional	Ingeniero RAMS
Elaborar Protocolos, manuales aplicación, instalación, procedimientos explotación y mantenimiento.	Director de proyecto e Ingeniero RAMS
Fase 7: Fabricación	
Tareas RAMS	Entregables
Elaborar el sistema de Comunicación de Fallos y Medidas correctivas (FRACAS) que incluya: datos técnicos del sistema, acciones de mantenimiento e informes y medidas correctivas.	Dirección de proyecto
Establecer disposiciones que garanticen el cumplimiento de RAMS	Ingeniero RAMS
Fase 8: Integración	
Tareas RAMS	Responsable
Informe de integración de los requisitos RAMS.	Ingeniero RAMS
Informes de integración; Planes de fabricación.	

Fase 9: Aceptación del sistema	
Tareas RAMS	Responsable
Asegurar la aprobación de las condiciones de aplicación relacionadas con la seguridad.	FGV
Realizar la evaluación independiente de seguridad.	Evaluador Independiente

Tabla 1. Actividades RAM

3 NORMATIVA DE REFERENCIA

De cara a la redacción del presente Estudio Preliminar será de aplicación la siguiente normativa:

- UNE EN 50126:2018. Aplicaciones ferroviarias. Especificación y Demostración de la Fiabilidad, la Disponibilidad, la Mantenibilidad y la Seguridad. (RAMS).

4 TERMINOLOGÍA. DEFINICIONES Y GLOSARIO DE TÉRMINOS.

Se incluye en este apartado un Glosario de Términos y Definiciones que será utilizado tanto en esta fase de Análisis Preliminar como en la siguiente fase de Análisis Definitivo:

Fallos: fin de la capacidad de un elemento para realizar su función.

Fallo en servicio: cualquier deficiencia, fallo, o combinación de ambos, que tenga como resultado un retraso y/o cancelación del tren.

Fiabilidad: probabilidad de que un elemento del equipamiento ejecute una función especificada, sin fallos y dentro de los parámetros del proyecto, durante un periodo de tiempo considerado, en condiciones de funcionamiento reales. Las condiciones de funcionamiento reales son las que se especifican en el Contrato.

Fiabilidad intrínseca: tiene en cuenta todos los fallos, sean cuales sean las consecuencias.

Fiabilidad en servicio: tiene en cuenta los fallos que tienen impacto en el servicio.

Índice de fallos (λ): número de reparaciones por unidad de tiempo (hora).

Mantenibilidad: capacidad de retención o restauración a un estado de explotación requerido en determinadas condiciones de uso y mantenimiento.

Mantenimiento: combinación de todas las acciones técnicas y de gestión destinadas a mantener un elemento en un estado en el que pueda realizar

MTBF: Mean Time Between Failures (Tiempo Medio de Funcionamiento Entre Fallos). El tiempo de funcionamiento total de un sistema dividido por el número total de fallos de ese sistema en un determinado período de tiempo. El MTBF está relacionado con la fiabilidad intrínseca y se expresa en términos de horas de funcionamiento.

MTTR: Mean Time To Repair (Tiempo Transcurrido hasta la Reparación). Tiempo medio necesario para llevar un elemento de equipamiento desde un estado de avería hasta un

estado operacional. Rigurosamente dependiente de la concepción, el tiempo logístico no se tiene en cuenta en el cálculo del MTTR. Se parte del principio de que el personal de mantenimiento y los elementos de repuesto están operacionales.

Riesgo: frecuencia de ocurrencia de accidentes e incidentes que provoquen daño (causado por un peligro) y la gravedad del daño.

Análisis del riesgo: uso sistemático de toda la información disponible para determinar los peligros y para estimar el riesgo.

Valoración del riesgo: procedimiento basado en un análisis del riesgo para determinar si se ha alcanzado un grado de riesgo aceptable.

Evaluación del riesgo: proceso global que comprende un análisis del riesgo y una valoración del riesgo.

Código práctico: conjunto escrito de normas que, de aplicarse correctamente, puede servir para controlar uno o más peligros específicos.

Estimación del riesgo: proceso utilizado para proporcionar una medida del nivel de los riesgos analizados y que consta de las siguientes etapas estimación de frecuencia, análisis de las consecuencias y su integración.

Sistema: cualquier parte del sistema ferroviario que se modifica.

Subsistema: parte de un sistema, que es en sí mismo un Sistema

Gestión de la seguridad: estructura de gestión que garantiza la correcta implantación del proceso de seguridad.

Plan de seguridad: conjunto documentado de actividades planificadas en el tiempo, recursos y acontecimientos que sirven para implementar la estructura organizativa, las responsabilidades, procedimientos, actividades, capacidades y recursos que juntos garantizan que un elemento cumplirá los requisitos de seguridad específicos y pertinentes a un contrato o proyecto determinados.

FMECA Análisis de los Efectos y la Criticidad de los Modos de Fallo

FRACAS Sistema de Comunicación de Fallos y Medidas Correctivas

FTA Análisis del Árbol de Fallos

Proyecto Constructivo de Instalaciones para la Prolongación Sur del Metropolitano de Granada: Tramo Armilla-Churriana-Las Gabias (T-MG6211/PPR3)

IHA Análisis de Peligros de Interfaces

ISA Evaluación Independiente de Seguridad

PHA Análisis Preliminar de Peligros

RAMS Fiabilidad, Disponibilidad, Mantenibilidad, Seguridad

SHA Análisis de Peligros del Sistema

SRAC Condiciones de Aplicación relacionadas con Seguridad

TCBF Tiempo acumulado de buen funcionamiento

TCIL Tiempo acumulado de paralización debido a la logística

TCIR Tiempo acumulado de paralización de la instalación debido al mantenimiento correctivo

5 GESTIÓN DE RAMS FERROVIARIA

5.1 CONCEPTO RAMS

RAMS es el acrónimo de fiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad y seguridad. Todos estos parámetros son agrupados en actividades principales:

- Confiabilidad, la cual abarca el programa RAM con los conceptos de Fiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad.
- Seguridad, centrada en las amenazas del sistema sobre la vida, con o sin presencia de un fallo anterior.

Aunque ambas actividades pueden solaparse en una serie de aspectos, ambas son áreas diferentes orientadas para dar cobertura a diferentes aspectos del sistema, aspectos de mal funcionamiento en términos de fiabilidad y daños para la integridad.



Figura 4. Interferencias entre RAMS

Es por tanto la superposición de las dos áreas la que hace sensato considerarlas como actividades estrechamente relacionadas, dado que muchos conceptos, técnicas y herramientas son comunes a ambos.

Los objetivos de **seguridad** sólo se logran si:

- Se cumplen todos los requisitos de fiabilidad y mantenibilidad
- Se realizan adecuadamente las actividades de operación y mantenimiento

La **fiabilidad** y la **disponibilidad** hacen referencia a la capacidad de un sistema para operar correctamente.

Esta capacidad depende, entre otros, de los factores siguientes:

- Posibles modos de fallo en el funcionamiento y por el entorno
- Probabilidad de que ocurra cada fallo o el suceso de cada uno de ellos
- La causa de un fallo en el funcionamiento

Mientras que la mantenibilidad se centra en las medidas preventivas, para eliminar o disminuir los fallos y amenazas en general; teniendo como objetivo el evitar cualquier tipo de fallos mediante la detección de los primeros síntomas de anomalía.

De esta manera, se podrá anticipar la solución al problema inminente; evitando las medidas correctivas y degradaciones del funcionamiento de un sistema.

Entre otros, destacamos los siguientes factores que afectan a la **mantenibilidad**:

- Tiempo de realización del mantenimiento
- Tiempo para la detección, análisis y localización del fallo
- Tiempo de restablecimiento de un fallo
- Modos operacionales y de mantenimiento requeridos

La **seguridad** depende de:

- La mantenibilidad de las partes relacionadas con la seguridad del sistema:

- Factibilidad del mantenimiento y aspectos o componentes asociados a una amenaza o modo de fallo
- Probabilidad de errores durante el mantenimiento
- Tiempo de restablecimiento
- La operación y el mantenimiento de las partes relacionadas con la seguridad del sistema:
- Factores humanos que influyen en el mantenimiento
- Herramientas, instalaciones y procesos para llevar a cabo de forma efectiva el mantenimiento
- Controles y medidas para tatar las amenazas y mitigar sus consecuencias

Existen relaciones entre la Fiabilidad, la Disponibilidad, la Mantenibilidad y la Seguridad de funcionamiento tal y como se expresa en la siguiente gráfica:

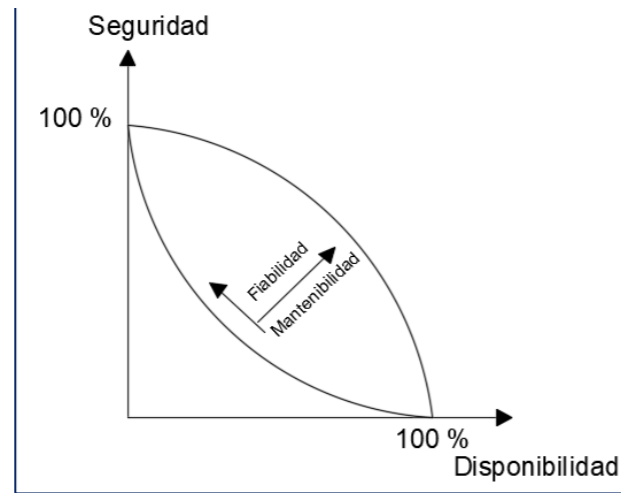


Figura 5. Relación entre Seguridad y Disponibilidad

A mayor Seguridad, menor Disponibilidad y viceversa.

Aumentando la Mantenibilidad y la Fiabilidad se consigue incrementar la Disponibilidad y la Seguridad de funcionamiento.

Bajo las premisas marcadas tanto en el Análisis Preliminar como las que se marquen en el estudio definitivo de Análisis RAMS del sistema, será posible el plantear un Plan de Mantenimiento, consiguiendo incrementar la disponibilidad del sistema, y por tanto dotarlo de mayor seguridad.

5.1.1 Programa RAM

Las actividades RAM comprenden un amplio espectro de tareas, contemplando informes de fallo, análisis detallado y, por último, la definición de un sistema de acciones correctivas; concretamente, se centra en el análisis de los parámetros de fiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad.

5.1.2 Concepto de Seguridad (Safety)

El concepto de seguridad proporciona la justificación de que el diseño del sistema evaluado es aceptablemente seguro y que la determinación de los peligros y la identificación de amenazas que implican las obras son igualmente aceptables.

6 MODELO DE FIABILIDAD

El análisis de fiabilidad y disponibilidad tiene por objeto la estimación cuantitativa de las características de garantía de funcionamiento de un sistema, demostrando lo apropiado que es un sistema para tolerar fallos.

Se considera que, para la realización de un análisis de seguridad, es preciso cuantificar la frecuencia de ocurrencia de un evento peligroso, por lo que el conocimiento de los procedimientos de cálculo es imprescindible.

Se entiende como fiabilidad de un sistema a la herramienta que servirá como medida de probabilidad de fallo de un elemento de un sistema en un tiempo determinado.

Este factor será de gran importancia para el mantenedor de la instalación que detectará aquellos elementos a los que se debe prestar mayor atención, tanto para su revisión como para dimensionar el stock de repuestos a tener de dicho elemento.

6.1 OBJETIVO DE LA FIABILIDAD

A continuación, se muestran una serie de definiciones relacionadas con la fiabilidad de las instalaciones.

6.1.1 Vida útil

La vida útil de un elemento es el intervalo de tiempo que, bajo determinadas condiciones, comienza en un momento determinado en el tiempo y termina cuando la intensidad del fallo se hace inaceptable o cuando el elemento se considera irreparable como resultado de un fallo.

6.1.2 Fiabilidad [Símbolo: $R(t_1 \rightarrow t_2)$]

La fiabilidad es la probabilidad de que un elemento realice adecuadamente su función prevista a lo largo de un periodo de tiempo determinado ($t_1 \rightarrow t_2$) cuando opera en el entorno para el que ha sido diseñado.

6.1.3 Tasa de fallo (instantáneo) [Símbolo: λ_t]

La tasa de fallo es el límite, si es que existe, de que la probabilidad condicional de que el T de un elemento caiga dentro de un intervalo de tiempo λ_t , cuando éste tiende a cero, siempre que el elemento se encuentre en estado de funcionamiento al comienzo del intervalo de tiempo.

Nota: esta definición también puede representar el momento del fallo o el momento en que empieza a fallar, según sea el caso.

6.1.4 Fallo

El fallo es un evento por el que el elemento objeto de estudio ya no es capaz de cumplir la función requerida. El elemento analizado puede ser un componente, un módulo, un dispositivo completo, un sistema o cualquier otra unidad.

A fin de evitar malentendidos, el elemento en cuestión deberá ser utilizado como sufijo: fallo del componente, fallo del módulo, fallo del dispositivo, fallo del sistema, etc. Es fundamental que se especifique el criterio de fallo, por fallo de un componente se entenderá el criterio de fallo en previsiones de tasas de fallos para sistemas y dispositivos. No todos los fallos nos llevan directamente a una incidencia crítica, necesitando por tanto una reparación inmediata.

6.1.5 Tasa de fallos

En el ámbito de la ingeniería de fiabilidad, la tasa de fallos puede ser utilizada en dos maneras diferentes:

COMO SINÓNIMO DE LA TASA DE RIESGO. Suponiendo que no se han producido fallos hasta un determinado momento t , indica el número de fallos que se espera en una pequeña unidad de tiempo (t).

Si la tasa de riesgo es constante con respecto al tiempo, el tiempo entre fallos sigue una distribución exponencial. En este caso, la tasa de fallo se puede estimar a razón del número de fallos con respecto al total del tiempo acumulado de operación del sistema.

La distribución exponencial, la tasa de fallo (λ) se corresponde con el recíproco del tiempo medio de vida, **MTTF (Mean Time to Failure)** o **MTBF (Mean Time Between Failures)**.

COMO SINÓNIMO DE FRECUENCIA DE FALLOS. Indica el número esperado de fallos que se espera en una pequeña unidad de tiempo (t). Este término es usado generalmente para elementos reparables. Para distinguir entre el concepto de tasa de riesgo y el de frecuencia de fallo, se debe tener en cuenta la "condición de no fallo" previo al momento de análisis.

Finalmente, el concepto tasa de fallos se puede utilizar en otros campos como el control de calidad a nivel estadístico. En esta aplicación la tasa de fallos a partir de los fallos dentro de un grupo de elementos analizados durante un periodo particular.

La tasa de fallos se calcula de la siguiente manera:

$$\lambda = \frac{n}{N \cdot t}$$

Siendo n el número de fallos en el periodo t_e en un grupo N de unidades analizadas.

El producto equivale a las horas del dispositivo o del componente.

FIT (Failure In Time: fallo en el tiempo) se usa como unidad de tasa de fallos:

$$1FIT = \frac{1(fallo)}{10^9h}$$

6.1.6 Tiempo medio de funcionamiento entre fallos (MTBF)

El tiempo medio de funcionamiento entre fallos se define, tal como se observa en su propio nombre, como el tiempo de funcionamiento esperado entre dos fallos:

$$MTBF = \frac{t_{total\ de\ operación}}{n_{fallos}} = \frac{t_{total\ sin\ fallos} + t_{total\ en\ reparación}}{n_{fallos}}$$

MTBF significa Mean Time Between Failures (tiempo de funcionamiento medio entre fallos) y es la base para establecer los parámetros para calcular la fiabilidad. El MTBF se calcula aritméticamente como el valor promedio estadístico entre dos fallos.

El algoritmo básico para calcular el verdadero MTBF para un periodo de tiempo determinado es el siguiente:

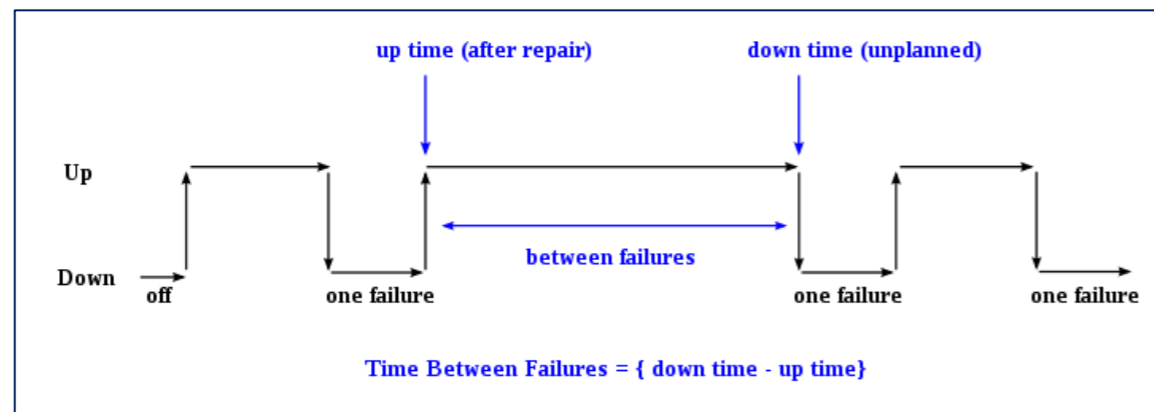


Figura 6. Algoritmo de cálculo de MTBF

7 MODELO DE DISPONIBILIDAD

Cuando se produce un fallo en un equipo reparable éste deja de realizar las funciones para las cuales ha sido requerido hasta que se repare el fallo.

Aparece así el concepto de disponibilidad que se define como la probabilidad de que un equipo realice las funciones requeridas en un instante o período de tiempo determinado, siempre que funcione y se mantenga de acuerdo con los procedimientos establecidos.

La predicción de la disponibilidad, al ser ésta una función dependiente de la fiabilidad y la mantenibilidad dependerá de las predicciones que se hayan hecho de las dos funciones dependientes.

Si el resultado obtenido no fuera satisfactorio, entonces es necesario corregir las predicciones realizadas para la fiabilidad y/o para la mantenibilidad hasta corregirlo.

7.1 DISPONIBILIDAD

La disponibilidad se define como el cociente:

$$A = \frac{MUT}{MUT + MDT} = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR}$$

Donde:

A es adimensional, comprendida entre el 0 y 1 y se expresa en %

MUT Mean Up Time (Tiempo Disponible)

MDT Mean Down Time (Tiempo No Disponible)

Esta fórmula nos sirve para obtener las siguientes disponibilidades:

- Disponibilidad intrínseca (A_i)
- Disponibilidad alcanzada (A_a)
- Disponibilidad operacional (logística) (A_o)

A. Disponibilidad intrínseca o inherente (A_i)

Se usa la siguiente expresión:

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

Donde:

A_i es adimensional, comprendida entre 0 y 1 y se expresa en %

MTBF Mean Time Between Failures (tiempo medio entre fallos)

MTTR Mean Time to Restore (tiempo medio en restaurar el sistema, normalmente se usa 120 minutos)

B. Disponibilidad alcanzada, A_a

Se usa la siguiente expresión:

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

Proyecto Constructivo de Instalaciones para la Prolongación Sur del Metropolitano de Granada: Tramo Armilla-Churriana-Las Gabias (T-MG6211/PPR3)

Donde:

A_a es adimensional. Comprendido entre 0 y 1 y se expresa en %

MTBM Mean Time Between Maintenance

MTTMa Mean Time of the Maintenance

C. Disponibilidad Funcional, A_F

Se define como el cociente entre:

$$A_F = \frac{\sum \text{Tiempo de funcionamiento} - \sum \text{Tiempo de duración de la falla}}{\sum \text{Tiempo de funcionamiento}}$$

D. Disponibilidad Operacional (logística), A_o

La disponibilidad operacional se define como el cociente entre el tiempo que el sistema está funcionando y la duración de un ciclo:

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

Donde:

A_o es adimensional, comprendida entre 0 y 1 y se expresa en %

MTBM Mean Time Between Maintenance

MTTMo Mean Time of the Maintenance (la suma de los tiempos medio del mantenimiento más los retrasos administrativos y logísticos)

E. Disponibilidad Operacional, A

Se define como el cociente entre:

$$A = \frac{\text{Tiempo itinerario establecido por el cliente}}{\text{Tiempo efectivo empleado}}$$

No se podrá calcular hasta que los trenes estén operativos.

7.2 TIEMPO MEDIO DE ESTABLECIMIENTO, MTTR

Se define el MTTR como el tiempo esperado para la restauración del elemento, módulo o sistema en el que se haya producido un fallo.

Este tiempo puede o no tomar en cuenta los tiempos dedicados a los mantenimientos preventivos, las actividades de mantenimiento correctivos programados y las reparaciones de fallas de los componentes.

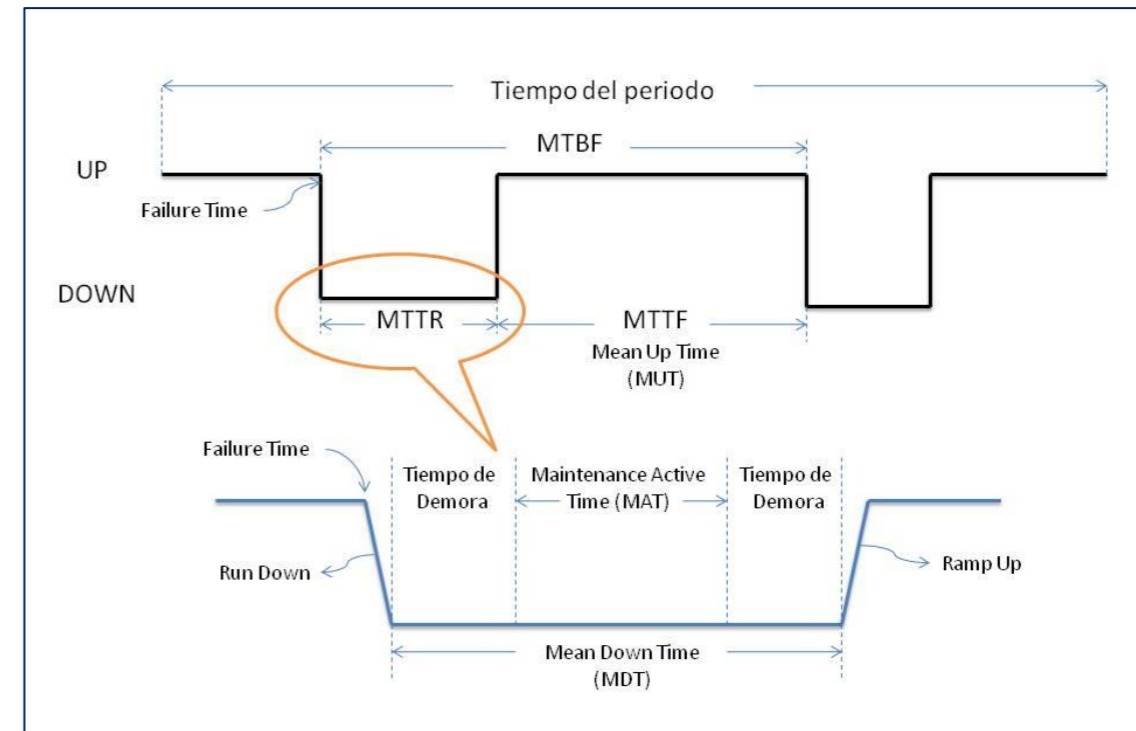


Figura 7. Tiempo medio de establecimiento

A. Tiempo medio de reparación, MTR

Se define el MTR (Mean Time to Restore) como el tiempo esperado de reparación.

Esta cantidad se usa para indicar la suma del tiempo necesario para realizar el diagnóstico del fallo, el tiempo de reparación y el tiempo de verificación del correcto funcionamiento del elemento, dispositivo o sistema, objeto de la falla, en caso de mantenimiento correctivo en unidades reparables.

Se buscará siempre optimizar el coste de reparación al mínimo posible.

$$CUR = \frac{\text{Coste total esperado de reemplazo por ciclo}}{\text{Duración del ciclo esperado}} = \frac{C_p \cdot F_t + C_{np} \cdot [1 + F_t]}{\int_0^t R(s) \cdot \partial s}$$

Donde:

Proyecto Constructivo de Instalaciones para la Prolongación Sur del Metropolitano de Granada: Tramo Armilla-Churriana-Las Gabias (T-MG6211/PPR3)

C_p	Coste del repuesto planeado
C_{np}	Coste del repuesto no planeado
F_t	Fiabilidad en el tiempo t
CUR	Coste unitario de reemplazo

B. Análisis de disponibilidad

Como se ha comentado en el encabezado principal de este apartado, la Disponibilidad es el parámetro utilizado para medir la aptitud para el uso del sistema propuesto, garantizando la continuidad del servicio con la totalidad de las prestaciones.

Adicionalmente se puede obtener la indisponibilidad del sistema, que quedará determinada por las contribuciones de distintos factores que provocan los fallos. 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.
- Hay un solo técnico de mantenimiento para llevar a cabo las reparaciones (un técnico que realiza las operaciones de manera secuencia, aun apareciendo una segunda falla en un elemento redundante, con lo que reparar la segunda falla, si la segunda incidencia se localiza en un elemento no duplicado, causa indisponibilidad).
- Una vez reparado el elemento se volverá a considerar como nuevo a efectos de cálculo.
- El mantenimiento preventivo no se tiene en cuenta, para ir así del lado de la seguridad (en caso de tenerlos en cuenta, los valores de disponibilidad obtenidos serían más altos).

El MTTR total se identifica como el tiempo total desde que se detecta la falla hasta que se finaliza la reparación; esto incluye el tiempo de retraso logístico. Cuando no se incluye este último elemento, se denomina Tiempo Medio de Reparación MTR, llamado también MTTR intrínseco y se representa si el fabricante es responsable del mismo.

Los tiempos de reparación están distribuidos en el tiempo de forma exponencial:

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

Siendo μ la tasa de reparación, constante del tiempo

Teniendo en cuenta esto, los resultados de la indisponibilidad vienen dados por:

$$UA = \frac{MTTR}{MTBF + MTTR}$$

7.3 REQUISITOS DE DISPONIBILIDAD GLOBAL

Se presentan a continuación los requisitos de Disponibilidad Global (DG) de la línea según la tipología de servicio:

- Línea de servicio de Pasajeros con Mayor Demanda (MD): 98,95%.
- Líneas de servicio de pasajeros con Menor Demandas (mD): 97,20%.
- Líneas de servicios con pasajeros tipo Tren Turístico (TT): 98,95%.
- Líneas de servicio de carga (TM): 95,30%.

El objetivo de Disponibilidad de Servicio se medirá para cada una de las tipologías de servicios ferroviarios, en función del Nivel de Viajes Logrados (NVL) obtenido a partir de la combinación de los siguientes criterios de calidad de cada uno de los trayectos, aplicando la siguiente expresión:

$$DG = \frac{\sum NVL}{NVP}$$

Donde:

DG	es la Disponibilidad Global de Servicio
NVP	es el número de viajes programados durante un período considerado
NVL	Es la suma del nivel de viajes logrados de todos los viajes programados durante el período considerado, obtenido a partir del producto de los siguientes criterios de calidad:
	$NVL = CCTS \cdot CCVM \cdot CCSP \cdot CCPP$
CCTS	Criterio de Calidad de Tiempo de Salida
CCVM	Criterio de Calidad de Velocidad Media
CCSP	Criterio de Calidad de Servicio Parcial
CCPP	Criterio de Calidad de Paradas no Programadas

Del mismo modo, se definen los requisitos de Interrupción de Servicio que deberán ser contabilizados en función del tipo de fallo acontecido. En la siguiente tabla se recoge un resumen de esta asignación según el impacto del fallo y la tipología del servicio.

CATEGORÍA DEL FALLO	INTERRUPCIÓN DE SERVICIO			
	MD	mD	TT	TM
1 SIGNIFICATIVO	> 30min	> 30min	> 30min	> 60min
2 IMPORTANTE	5 min < X < 30 min	10 min < X < 30 min	5 min < X < 30 min	15min < X < 60 min
3 INSIGNIFICANTE	<5 min	< 10 min	< 5 min	< 15 min

Tabla 2. Requisitos interrupción servicio

8 MODELO DE MANTENIBILIDAD

Cuando se produce un fallo de un equipo, se necesita un tiempo para detectar en qué componente o elemento se ha producido y para repararlo o sustituirlo por uno nuevo a fin de dejar el equipo en condiciones de funcionamiento.

Se define como Mantenibilidad, la probabilidad de que un equipo que ha tenido un fallo sea puesto de nuevo en funcionamiento, mediante la aplicación de ciertas acciones, dentro de un tiempo t que se conoce como tiempo de restauración.

La mantenibilidad, por tanto, no está asociada únicamente a las características técnicas de la instalación sino también a las capacidades, experiencias y medios técnicos de los equipos de trabajo, por lo que los valores de mantenibilidad obtenidos con distintos equipos de trabajo pueden ser diferentes, al no ser iguales las capacidades y experiencias de sus miembros, como tampoco necesariamente las herramientas o útiles específicos empleados por cada uno de ellos.

8.1 OBJETIVOS DE LA MANTENIBILIDAD - DEFINICIONES

8.1.1 Mantenibilidad

De forma teórica, se define la mantenibilidad $M(t)$ como:

$$M(t) = \int_0^t g(t)dt$$

Donde $g(t)$ expresa la función densidad de probabilidad de los tiempos de restauración y representa la probabilidad de que un sistema averiado esté reparado en el instante t , sabiendo que se inició la acción en el instante cero.

La relación entre la Mantenibilidad y la tasa de restauración o reparación μ , viene dada por la siguiente expresión:

$$\mu = \frac{g}{1-M}; M = 1 - e^{-\mu}$$

Puesto que la tasa de restauración es constante:

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

La mejor medida de la mantenibilidad de un equipo viene dada por el cociente entre la suma de los tiempos de restauración tr y el número total de fallos n :

$$MTTR = \frac{\sum tr}{n} = \frac{tr}{n}$$

8.1.2 Clases de mantenimiento

Existen fundamentalmente tres clases de manteniendo: Preventivo, Correctivo y de Mejora:

- El mantenimiento preventivo aparece en el momento que los costes provocados por los fallos empiezan a ser importantes y también con el objetivo de conseguir los aspectos y condicionantes exigidos de calidad. Está totalmente comprobado que el mantenimiento preventivo mejora la fiabilidad del equipo y además al poder programarse, se puede ejecutar en el momento más favorable.
- El mantenimiento correctivo es el que se realiza cuando se ha producido el fallo en el equipo o elemento y comprende todas las actividades necesarias para restablecer su capacidad operativa inicial. Es difícilmente programable y dadas sus repercusiones, es una actividad indeseable que se pretende minimizar.

8.1.3 Aplicabilidad de clases de mantenimiento

Si consideramos que el sistema consta de equipos en cuya constitución existen fallos en unas pocas horas al cabo de otras muchas de funcionamiento; la curva de fiabilidad relativa al fallo tendrá una disminución gradual al principio más brusca al final del periodo examinado, lo que es coherente con el incremento de la tasa de fallo al final del período.

Considerando que se programa una revisión en el período 10 (que denominamos tiempo de mantenimiento preventivo o MTMP); tal y como se observa en la curva de la siguiente imagen; para el cual solo habrán fallado el 10% de los componentes, conseguiremos mantener baja la tasa de fallo y, por tanto, mantendremos alta la fiabilidad del equipo.

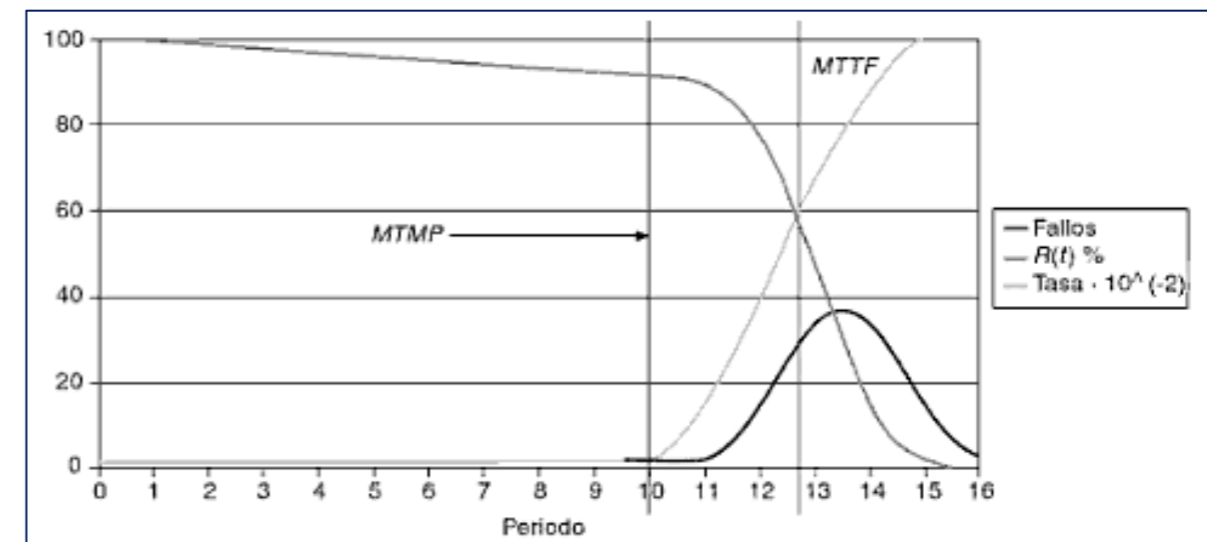


Figura 8. Tiempo de mantenimiento preventivo

Si el componente tiene una tasa de fallo constante, no existe un periodo en el cual su sustitución mejore la tasa de fallo del equipo; por tanto, la fiabilidad se mantendría constante. Únicamente un mantenimiento de mejora consistente en sustituir los elementos o componentes por otros con tasa de fallo menor aumentaría la fiabilidad del equipo.

Proyecto Constructivo de Instalaciones para la Prolongación Sur del Metropolitano de Granada: Tramo Armilla-Churriana-Las Gabias (T-MG6211/PPR3)

En la siguiente imagen podemos observar este fenómeno:

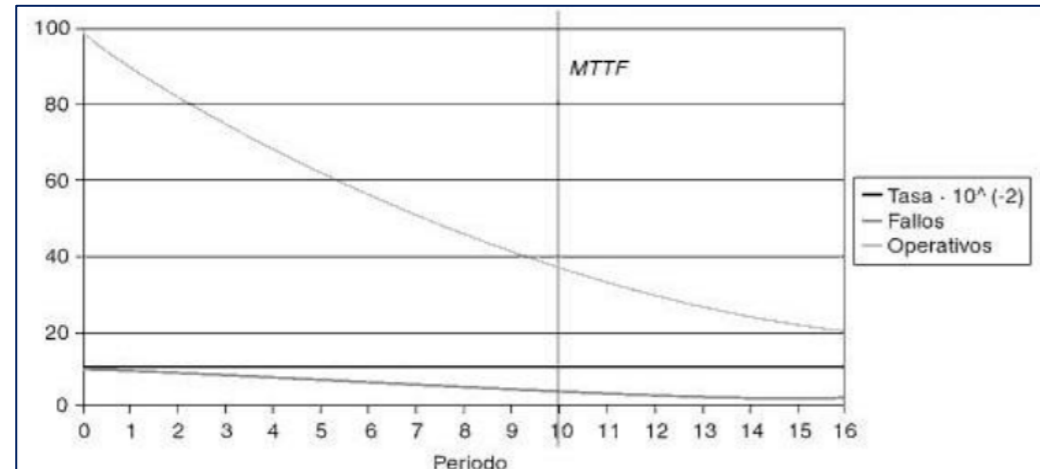


Figura 9. Componente con tasa de fallo constante

Si es componente tiene un problema de mortalidad infantil, tal y como se muestra en la siguiente figura; únicamente conociendo la causa de la mortalidad y actuando en consecuencia se podría disminuir el problema aumentando la fiabilidad.

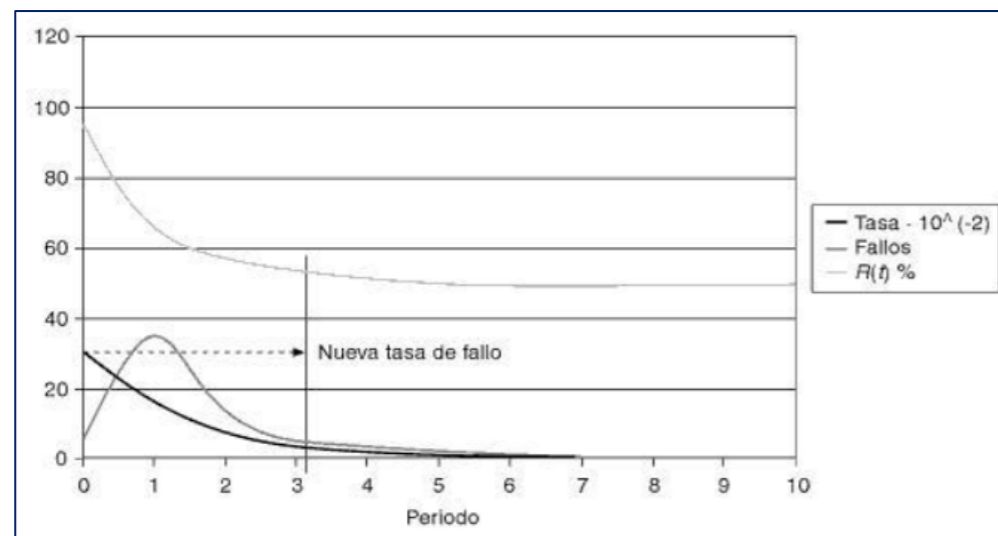


Figura 10. Componente con un problema de mortalidad infantil

8.1.4 Predicción de la mantenibilidad

La predicción de la mantenibilidad consiste en estimar la carga de trabajo asociada a cada tarea de mantenimiento para dar conformidad del diseño con los requerimientos especificados.

La predicción del mantenimiento correctivo depende del tiempo necesario para realizar la restauración de un equipo; que es la suma de todos los tiempos exigidos por cada una de las actividades que conforman la tarea de mantenimiento:

- Diagnóstico de averías
 - Preparación
 - Localización de la avería
- Reparación
 - Desmontaje de componentes con fallo
 - Suministro o reparación de los componentes
 - Montaje
 - Ajuste y calibrado
- Control de la reparación
 - Verificación
 - Limpieza

Para la obtención de los tiempos de restauración se utilizan datos a partir de la propia experiencia y de experiencias similares a las tareas objeto de la obra en cuestión.

En cuanto al mantenimiento preventivo, las actividades de mantenimiento serán las estandarizadas por los suministradores de los equipos.

9 ORGANIZACIÓN Y ACTIVIDADES DEL PROYECTO

9.1 Organización

La organización interna que deberá configurar la estructura del proyecto global de construcción, en lo que se refiere a seguridad de producto y fiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad se encuentra en la siguiente figura:

Como puede verse en la figura, FFAA designará una entidad responsable de la Gestión RAMS del proyecto, que será el interlocutor entre la Entidad Explotadora, la Entidad Mantenedora, el Material Móvil, la Obra civil y los Adjudicatarios de Energía y Sistemas, para los conceptos y trabajos RAMS.

9.2 Agentes externos

Los agentes externos respecto a los Sistemas de Instalaciones son:

- AOPJA
- Explotador
- Mantenimiento
- Material Móvil
- Obra Civil
- Compañía suministradora de energía

Proyecto Constructivo de Instalaciones para la Prolongación Sur del Metropolitano de Granada: Tramo Armilla-Churriana-Las Gabias (T-MG6211/PPR3)

- Administraciones municipales, etc.

Cualquier acción relacionada con la gestión de RAMS del Proyecto, entre cualquier Sistema de instalaciones y los Actores Externos se deberá realizar a través de la célula RAMS que aparece en la figura.

Esta célula será la responsable de definir y especificar los límites y responsabilidades de la totalidad de participantes del sistema global, así como también gestionar el control y mejora del sistema global.

9.3 Agentes internos

Los agentes internos serán los contratistas identificados en el organigrama asignados a cada Proyecto (Electrificación y Sistemas). Las responsabilidades y obligaciones de cada uno de ellos relativos a la RAMS quedan reflejadas en el apartado "Política y Objetivos de Fiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad".

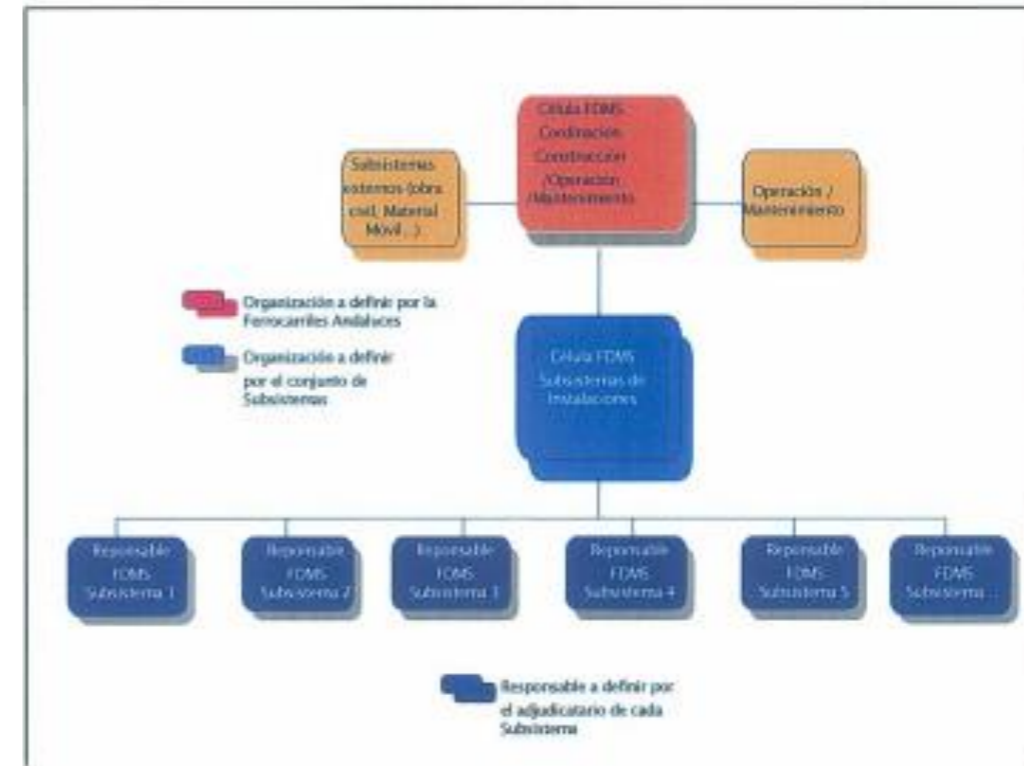
Las entidades constructoras de los Sistemas de instalaciones estarán coordinadas por otra célula que gestionará los temas de garantía relacionados con tales Sistemas. Esta célula distribuirá y dirigirá las acciones de Garantía de los diversos responsables de los Sistemas, controlando así las posibles interfaces que pudieran aparecer. La organización de esta célula debe surgir del acuerdo de las diversas contratistas y de la entidad Adjudicataria.

9.4 Interfaces

9.4.1 Interfaces internas

Resulta inevitable que durante el ciclo de vida RAMS de los diversos Sistemas (Energía y Sistemas) aparezcan interfaces entre ellos. Éstas quedan especificadas en la Tabla de Interfaces incluida en el presente proyecto.

El pilotaje y gestión de los posibles problemas que puedan surgir al respecto, estarán a cargo de la "Célula RAMS Sistemas de Instalaciones" que aparece en el organigrama siguiente, la cual ejercerá de interlocutor entre los Sistemas implicados.



9.4.2 Interfaces externas

9.4.2.1 Material Móvil

El Plan RAMS del Material Móvil deberá considerar las necesidades que los diferentes Sistemas de instalaciones requieran para el alcance de sus objetivos de RAMS; algunos ejemplos de estas interfaces:

- Equipos embarcados;
- Contacto pantógrafo - catenaria;
- Detección tranvía-sistema ferroviario;

9.4.2.2 Obra Civil

El Plan RAMS de la Obra civil deberá considerar las necesidades que los diferentes Sistemas implicados (Energía y Sistemas) requieran para el alcance de sus objetivos de RAMS; algunos ejemplos de estas interfaces:

- Estanqueidad en Paradas, multitubulares, subestaciones, etc.
- Interfaz general vía;
- etc.

Proyecto Constructivo de Instalaciones para la Prolongación Sur del Metropolitano de Granada: Tramo Armilla-Churriana-Las Gabias (T-MG6211/PPR3)

9.4.2.3 Operación

El Plan de Operación deberá adecuarse a las especificaciones RAMS de los diferentes Sistemas implicados ; cualquier modificación en este sentido durante la fase de Puesta en Servicio y Garantía deberá ser tratado con el departamento RAMS del Sistema implicado.

9.4.2.4 Mantenimiento

El Plan de Mantenimiento deberá adecuarse a las especificaciones RAMS de los diferentes Sistemas; cualquier modificación en este sentido durante la fase de Puesta en Servicio y Garantía deberá ser tratado con el departamentoRAMS del Sistema implicado.

10 EVALUACIÓN, VERIFICACIÓN Y VALIDACIÓN

10.1 Proceso general

El presente capítulo contiene el conjunto de estudios, análisis y tareas que los adjudicatarios deberán realizar con el fin de llevar a cabo la política de RAMS y alcanzar los objetivos establecidos. Las presentes directivas no exoneran a los integradores de los distintos Sistemas realizar el proceso según la normativa aplicable en cada caso.

Cada entidad responsable de cada Sistema propondrá una metodología para su política de RAMS que responda al ciclo de vida en "V" del Sistema.

El ciclo de vida del sistema es la secuencia a de fases, cada una de las cuáles contiene tareas que abarcan la vida completa de un sistema desde su concepto inicial hasta la retirada del servicio y la eliminación. Es ciclo de vida proporciona una estructura para la planificación, la gestión, el control y la supervisión de todos los aspectos del sistema. A continuación, se detalla el esquema en "V" de tal ciclo de vida del sistema:



La presente norma representa el ciclo de vida del sistema de forma secuencial. La rama descendente (lado izquierdo) es el desarrollo y consiste en el proceso de perfeccionamiento que finaliza con la fabricación de componentes del sistema. La rama ascendente (lado derecho) está relacionada con el montaje, la recepción y, finalmente, con el funcionamiento de todo el Sistema.

Fase	Ítem	Descripción
1	Concepto	Desarrollar un nivel de concepción del sistema
2	Definición del Sistema	Definir fronteras, condiciones, política, Plan de Seguridad...del sistema
3	Análisis de riesgos	Identificar los peligros asociados al sistema y establecer un proceso de gestión de los mismos
4	Requisitos del sistema	Especificar los requisitos del sistema y criterios de demostración y aceptación del sistema; establecer un programa de gestión FDMS
5	Distribución de los requisitos del Sistema	Definir los criterios de aceptación para los diversos Sistemas, componentes...
6	Diseño e implementación	Crear Sistemas y componentes que se ajusten a los requisitos; demostración que los componentes se ajustan a los requisitos
7	Fabricación	Poner en marcha un proceso de fabricación que produzca los componentes
8	Instalación	Montaje e instalación de los Sistemas
9	Validación del Sistema	Comprobar que la combinación total de Sistemas cumplen los requisitos y evaluación de datos. Marca le entrada en garantía.
10	Aceptación del sistema	Evaluar el cumplimiento de los requisitos globales del Sistema. Marca la salida de garantía.
11	Operación y mantenimiento	Mantener y apoyar el funcionamiento para seguir cumpliendo los valores requeridos
12	Retirada	Controlar la retirada del servicio y eliminación del Sistema

10.2 Evaluación

El adjudicatario de cada Sistema propondrá una metodología para la Evaluación de la FDM que cumplirá con el siguiente proceso:

10.2.1 Primera fase

Se realizará un Análisis Preliminar de Criticidad con la contribución de las distintas entidades y de la explotación de la siguiente forma:

- Cada una de las entidades de la Construcción y de la Explotación descompondrá su suministro a un nivel de detalle en el que el fallo" de uno de los componentes conduzca a una acción en línea de mantenimiento o a una acción de la operación y mantenimiento. Esta arborescencia es llamada LBS (Logistic Breakdown Structure).
- Cada componente de esta descomposición se evalúa sistemáticamente por su entidad respectiva. Un componente puede ser también una interfaz. La evaluación se realiza como sigue.

Proyecto Constructivo de Instalaciones para la Prolongación Sur del Metropolitano de Granada: Tramo Armilla-Churriana-Las Gabias (T-MG6211/PPR3)

- Cada elemento se clasifica según su nivel de adaptación según la tabla que se encuentra más adelante. En caso de adaptación, ésta se describe y se identifica el componente de referencia.
- Cada elemento se clasifica de acuerdo con su nivel de gravedad con respecto a la perturbación del servicio, según la tabla que se encuentra más adelante.

Una vez este Análisis Causal ha sido realizado, se lleva a cabo la Predicción de la Disponibilidad de acuerdo con los siguientes pasos:

- Identificación de las perturbaciones al servicio que se generan por los componentes de los LBS's.
- Caracterización de las perturbaciones al servicio en términos de Frecuencia (MTBF), Tiempo medio de reparación (MTTR), Tiempo medio para restaurar el servicio (MTTRS) y Efectos en el Servicio.

Los objetivos de esta fase son:

- Identificar los elementos que son críticos para la Disponibilidad y caracterizarlos.
- Clasificar los componentes de las arborescencias de acuerdo con su nivel de adaptación y de impacto en la disponibilidad (por probabilidad de ocurrencia e indisponibilidad). Esta clasificación es una entrada para la siguiente fase.
- Evaluar el diseño preliminar y los principios de la Operación y el Mantenimiento.
- Alcanzar la exhaustividad en la identificación de las perturbaciones al servicio.
- Predecir la disponibilidad del sistema.

10.2.2 Segunda Fase

Los análisis detallados se llevan a cabo por cada entidad de acuerdo con los principios de los análisis de criticidad realizados en la primera fase. Estos análisis se realizan a los componentes identificados como críticos según su nivel de adaptación.

Los objetivos de esta fase son:

- Evaluar el diseño detallado.
- Hay que confirmar que las adaptaciones de los requerimientos RAMS definidos para un sistema o componente ya existente confirman los datos RAMS proveídos en la primera fase.

La tabla que define el nivel de adaptación es la siguiente:

Nivel de Adaptación	Descripción
Nuevo	El componente presenta una nueva tecnología, un nuevo principio de operación o un nuevo principio de mantenimiento.
Adaptación hardware	El componente original está probado a nivel "caja negra". La tecnología o principio que soporta para operación y mantenimiento puede ser adaptado
Adaptación funcional	El componente original está probado. Sus funciones o tareas pueden ser adaptadas para la aplicación específica. No hay cambio de tecnología o de principio para la Operación y Mantenimiento.
Adaptación de parámetros (reparametrización)	El componente original está probado. Los valores de sus parámetros pueden ser modificados para adaptarlo a la aplicación. No hay cambio en la tecnología, función o principio de operación y mantenimiento.
Sin adaptación	El componente está probado y no requiere ninguna adaptación

Y los estudios detallados a realizar son, por lo tanto, los siguientes, en función de la caracterización del fallo:

Adaptación \ Gravedad	Menor	Mayor	Crítico (Avería)
Nuevo	Aseguramiento de que el fallo es menor	Análisis de Mantenibilidad y Fiabilidad detallados	Análisis de Fiabilidad y Mantenibilidad detallados.
Adaptación hardware	Aseguramiento de que el fallo es menor	Análisis de Mantenibilidad y Fiabilidad detallados	Análisis de Fiabilidad y Mantenibilidad detallados.
Adaptación funcional	Aseguramiento de que el fallo es menor	Predicción de Fiabilidad, Modos Degradados y AMDEC	Predicción de Fiabilidad, Modos Degradados y AMDEC
Adaptación de parámetros (reparametrización)	Aseguramiento de que el fallo es menor	Predicción de Fiabilidad y Modos Degradados.	Predicción de Fiabilidad y Modos Degradados.
Sin adaptación	Aseguramiento de que el fallo es menor	Predicción de Fiabilidad y Modos Degradados.	Predicción de Fiabilidad y Modos Degradados.

10.2.3 Tercera Fase

La tercera fase asegura que los objetivos y requerimientos RAMS del sistema son alcanzados. El Plan de Garantía de la Fiabilidad se propondrá juntamente con el Explotador/Mantenedor durante la fase de Construcción del Sistema.

10.2.4 Mantenibilidad

Los análisis de mantenibilidad son necesarios con el fin de cumplir los objetivos tras la puesta en servicio del Sistema. Los análisis serán puestos durante la fase de Construcción a la disposición del Operador/Mantenedor con el fin de recibir críticas y comentarios de mejora. El nivel de detalle y la aplicabilidad de estos estudios depende del grado de adaptación de los Sistemas, como se describe en apartados anteriores.

Proyecto Constructivo de Instalaciones para la Prolongación Sur del Metropolitano de Granada: Tramo Armilla-Churriana-Las Gabias (T-MG6211/PPR3)

Seguidamente se describen los análisis a realizar.

10.2.4.1 Análisis de Mantenimiento Preventivo

Considerará todas las tareas del Plan de Mantenimiento de cada uno de los Sistemas y detallará:

Tarea para realizar

Frecuencia de realización

Personal necesario y su calificación

Número de horas-hombre necesarias y número de horas de indisponibilidad

Lugar de realización (en sitio, en taller especializado, etc.).

Opciones de accesibilidad (trabajo necesario preparar la zona a inspeccionar)

Repuestos necesarios (piezas de parque, consumibles, etc.)

Herramientas necesarias

Referencia al Manual de Mantenimiento

Referencia al código LBS

10.2.4.2 Análisis de Mantenimiento Correctivo

Para cada uno de los modos de fallo del AMDEC4 se detallará:

Referencia al código LBS

Referencia al código AMDEC

Tarea para realizar

Medios de detección y diagnóstico

Medios de prueba y verificación

Personal necesario y su calificación

Número total de horas-hombre necesarias para la reparación y número de horas de indisponibilidad intrínseca (sin tener en cuenta la capacidad logística)

Lugar de realización (en sitio, en taller especializado, etc.)

Opciones de accesibilidad (trabajo necesario preparar la zona a inspeccionar)

Repuestos necesarios (piezas de parque, consumibles, etc.)

Herramientas necesarias

Referencia al Manual de Mantenimiento

10.2.4.3 Lista de repuestos

Resultante del estudio anterior resultará una Lista de Repuestos (o Catálogo de Piezas) de la siguiente forma:

Mantenimiento preventivo:

Código LBS

Número de piezas en el suministro

Consumo unitario anual

Tiempo medio de revisión o nuevo suministro

Mantenimiento correctivo:

Código LBS

Número de piezas en el suministro

Tasa de fallos unitaria

Tiempo medio de reparación o nuevo suministro

Lista de piezas de parque (necesarias para la disponibilidad):

Código LBS

Número de piezas en el suministro

Nota: La presente lista no recomienda cuáles han de ser las cantidades para disponer. Esta lista proporciona las informaciones necesarias para la elección del número necesario por parte del Explotador según su política de stock.

10.2.4.4 Lista de Herramientas

Resultante de los estudios del mantenimiento preventivo/correctivo resultará una Lista de Herramientas de la siguiente forma:

Mantenimiento preventivo:

Identificación herramienta

Descripción herramienta

Mantenimiento correctivo:

Identificación herramienta

Descripción herramienta

Nota: La presente lista no recomienda cuáles han de ser las cantidades para disponer. Esta lista proporciona las informaciones necesarias para la elección del número necesario por

Proyecto Constructivo de Instalaciones para la Prolongación Sur del Metropolitano de Granada: Tramo Armilla-Churriana-Las Gabias (T-MG6211/PPR3)

parte del Consorcio de Explotación según su política de gestión. Bajo la designación de "herramientas" se incluyen también las de software.

10.3 Penalizaciones

Con base a los parámetros definidos en el apartado anterior, las penalizaciones considerarán los indicadores que aparecen en la siguiente tabla:

PARÁMETRO	INDICADOR	COEFICIENTE
Disponibilidad del Sistema i	Di	P1i
Fiabilidad del Sistema i	Fi	P2i

El valor de la penalización para cada Sistema. Se calculará mensualmente, mediante la aplicación del producto del Coeficiente de Penalización (Cpi) para cada Sistema.

El Coeficiente Penalización (Cpi) será calculado según la fórmula:

$$Cpi = 0,5P1i + 0,5P2i$$

El valor obtenido para cada Sistema (y en cada mes) oscilará entre 0 y 20, y se aplicará como Siendo Dobj la D objetivo-propia de cada sistema penalización mensual al contratista por FFAA y entidades adjudicatarias.

Observaciones sobre el Coeficiente Penalización (Cpi):

- En el caso que se verifique que un mismo suceso pueda dar lugar a más de una penalización, solamente se aplicará la del valor más elevado.
- Los seis (6) primeros meses de funcionamiento del Sistema no se considerarán, a efectos del cálculo de las penalizaciones contractuales anteriormente definidas

A. Disponibilidad del Sistema

En el caso que en un mes determinado alguno de los indicadores de Disponibilidad de algún Sistema no alcance el valor de objetivo, se aplicaría al coeficiente P1 los valores siguientes:

DISPONIBILIDAD DEL SISTEMA	P1
$1 > D > Dobj$	0
$Dobj > D > 0,99 \times Dobj$	1
$0,99 \times Dobj > D > 0,98 \times Dobj$	3
$0,98 \times Dobj > D > 0,97 \times Dobj$	6
$0,97 \times Dobj > D > 0,96 \times Dobj$	10
$0,96 \times Dobj > D > 0,95 \times Dobj$	15
$0,95 \times Dobj > D > 0,94 \times Dobj$	20
$0,94 \times Dobj > D$	(a)

Siendo Dobj la D objetivo-propia de cada sistema

B. Fiabilidad del Sistema

En el caso que en un mes determinado alguno de los indicadores de Fiabilidad de algún Sistema no alcance el valor de objetivo, se aplicaría al coeficiente P2 los valores siguientes:

FIABILIDAD DEL SISTEMA	P2
$1 > F > Fobj$	0
$Fobj > F > 0,99 \times Fobj$	1
$0,99 \times Fobj > F > 0,98 \times Fobj$	3
$0,98 \times Fobj > F > 0,97 \times Fobj$	6
$0,97 \times Fobj > F > 0,96 \times Fobj$	10
$0,96 \times Fobj > F > 0,95 \times Fobj$	15
$0,95 \times Fobj > F > 0,94 \times Fobj$	20
$0,94 \times Fobj > F$	(a)

Siendo Fobj la F objetivo propia de cada sistema

10.4 Incumplimiento de los valores requeridos de fiabilidad / disponibilidad

En el caso de no cumplirse la Disponibilidad / Fiabilidad mínima requerida para cualquier Sistema, el adjudicatario queda obligado a:

- Informar por escrito al Adquirente, en aquellos meses que no se cumpla, sobre las causas de su incumplimiento y medidas correctoras
- Implantar cuantas modificaciones y sustituciones sean precisas, con el objeto de alcanzar los valores objetivos de los Sistemas afectados

Proyecto Constructivo de Instalaciones para la Prolongación Sur del Metropolitano de Granada: Tramo Armilla-Churriana-Las Gabias (T-MG6211/PPR3)

- Se ampliará la garantía por meses naturales, en igual número que aquellos en que no se hubiera conseguido el mínimo objetivo de ninguno de los dos indicadores.

Por otra parte, si en tres (3) meses consecutivos no se alcanzara una Fiabilidad o Disponibilidad igual o superior al 90%, la Administración se reserva el derecho a anular el Contrato.

10.5 Documentación

El contratista deberá entregar incluido en su Plan RAMS, documentación que especifique:

- Gestión de la Garantía
- La política y estrategia destinada a cumplir los requisitos RAMS
- El alcance del Programa
- Una descripción del Sistema
- El ciclo de vida del Sistema
- Las funciones, responsabilidades, competencias y relaciones con los diversos actores del Sistema
- Interfaces con otros programas y planes relacionados del sistema
- Los planes para la gestión de los subcontratistas
- Fiabilidad
- Análisis y la predicción de la Fiabilidad del sistema
- Análisis funcional y la definición de fallos del sistema
- Análisis de fallos de causa común o el de fallos múltiples
- Análisis de las interfaces hombre-sistema
- Valores MTBF teóricos
- Pruebas de demostración de la Fiabilidad
- Disponibilidad
- Análisis y la predicción de la Disponibilidad del sistema
- Pruebas de demostración de la Disponibilidad
- Mantenibilidad
- Análisis y predicción de la Mantenibilidad
- Consideraciones de mantenibilidad requeridas por el sistema
- Establecimiento de la estrategia de Mantenimiento

- Establecimiento de la política de repuestos y recursos de apoyo
- Establecimiento de las condiciones de mantenimiento
- Precauciones para la seguridad del personal
- Requisitos del Programa de formación
 - plan de explotación / mantenimiento

El Contratista preparará y presentará para la revisión y aceptación de la Administración un Plan de Explotación del Sistema que maximice la disponibilidad y seguridad del Sistema y que minimice los costes operativos. El Plan de Explotación del sistema reflejará los requisitos específicos del Contratista e incluirá una descripción detallada de las estrategias de operación y procedimientos generales.

El Plan de explotación incluirá programaciones para los días laborables, fines de semana, fiestas concretas y cualquier otra condición específica del Sistema, distinguiendo los diferentes tramos de hora punta y valle de cada tipo de día.

Debe existir una correspondencia total entre el Plan de Explotación y el resto de los planes requeridos.

10.6 Auditorias

Todas las actividades RAMS serán transparentes y completamente auditables. Dichos controles podrán realizarse en cualquiera de las fases del ciclo de vida de los Sistemas, de forma:

- Auditorías internas gestionadas por el Responsable RAMS de cada Sistema o sus representantes
- Auditorías externas, solicitadas, organizadas y realizadas por FFAA

Las auditorias tendrán como objetivo evaluar la metodología, el proceso de implementación y la documentación.

11 INFORMACIÓN REQUERIDA DEL OPERADOR/MANTENIMIENTO

De forma complementaria a las obligaciones del contratista en el presente pliego, es necesario que la entidad Operadora elabore y deje disponible los siguientes elementos:

- información diaria disponible para proporcionar semanalmente;
- Resumen diario de las incidencias;
- Perturbaciones en el servicio producidas diariamente (interrupciones, retrasos, incidentes);
- Información relativa al control y seguimiento de tráfico registrado;
- La entidad Operadora deberá dejar disponible a la garantía las averías del Sistema proporcionando detalles y registros completos, especificando, principalmente:

Proyecto Constructivo de Instalaciones para la Prolongación Sur del Metropolitano de Granada: Tramo Armilla-Churriana-Las Gabias (T-MG6211/PPR3)

- Hora y localización de la red en la cual sucede;
- Sistema, equipo o componente averiado;
- Causa de la avería;
- Tipo de avería;
- Tiempo de parada provocado por la avería en el servicio; instalación o equipamiento;
- Tiempo de reparación;
- Instalaciones afectadas;
- Contenido de la reparación;

Todos estos informes y registros estarán de acuerdo con el sistema automatizado de gestión de la operación y mantenimiento aceptado por la Administración como parte del contrato de Suministro del Sistema.

12 ENERGÍA Y CATENARIA

El proyecto de Energía y Catenaria define las obras relacionadas con la instalación y puesta en servicio de las Subestaciones Eléctricas de Tracción a 750 Vcc y de Distribución de Energía en A.T y B.T. así como la instalación y puesta en servicio de la catenaria que alimentarán la nueva Línea de Metro Ligerero de Granada ofreciendo un suministro de la energía eléctrica con las necesarias condiciones de fiabilidad y garantía requeridas por un servicio como el transporte metropolitano.

12.1 IDENTIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS Y SUBSISTEMAS

En el estudio aplicado a Energía y Catenaria se analizan los siguientes subsistemas de alimentación eléctrica:

- **Subestaciones de tracción**
- **Electrificación y catenaria**

Dentro del subsistema de subestaciones de tracción, contamos con los elementos de:

- Posición de acometida
- Posición protección general transformadores
- Posición celdas 20 kV
- Posición grupo tracción transformador - rectificador
- Posición celdas 750 Vdc
- Posición salida catenaria - feeder
- Posición transformadores de distribución
- Subsistema Cuadros BT
- Subsistema de comunicaciones y telemando

Dentro del subsistema de catenaria se consideran los siguientes elementos:

- Catenaria: Hilo de contacto
- Cable de tierra
- Parafil pórtico funicular
- Equipo vía general
- Bazo de atirantado
- Suspensión delta
- Poste/apoyo
- Grapa de anclaje HC
- Preformado
- Cable de acero
- Equipo poleas
- Equipo contrapesos

12.2 DESCRIPCIÓN FUNCIONAL Y TÉCNICA DE LOS SUBSISTEMAS

La definición de las instalaciones que se han de realizar se base en:

- Alimentación a 750 Vcc en carga de la línea de catenaria.
- Circulación de un Material Móvil tipo Metro Ligerero.
- En caso de que un grupo rectificador de una subestación de tracción quede fuera de servicio, las subestaciones colaterales deberán estar conectadas eléctricamente de forma que el tramo eléctrico afectado siga prestando servicio en condiciones normales de explotación.
- Condiciones de explotación máximas para un intervalo de 4,5min en unidad simple.
- Limitación de la caída de tensión de catenaria según la norma EN 50163.
- Limitación de la tensión Carril-Tierra según la norma EN 50122-1 y EN 50122-2.

Subestaciones de tracción

- Equipamiento de las subestaciones de tracción necesarias para satisfacer las necesidades de la Línea con grupos rectificadores de 900 KW y celdas feeder 750 Vcc comprendiendo los equipos para el suministro de energía, transformación, rectificación, control y telemando, así como las instalaciones de servicios auxiliares.
- Cables positivos +750Vcc de conexión a catenaria desde cada subestación.
- Cables negativos de retorno desde cada subestación a cada carril vía 1 y vía 2.
- Cables de alimentación y control de los armarios AATR desde las subestaciones y los mismo, o también desde el cuadro de baja tensión de las paradas, según el caso.
- Cables de alimentación y control de los armarios AAT desde las SSEE y los mismos, o también desde el cuadro de baja tensión de las paradas, según el caso.
- El sistema de ventilación de cada subestación.
- EL sistema de aire acondicionado para la sala de los equipos para cada subestación de tracción en superficie.

Proyecto Constructivo de Instalaciones para la Prolongación Sur del Metropolitano de Granada: Tramo Armilla-Churriana-Las Gabias (T-MG6211/PPR3)

- El sistema de detección de incendios.
- El sistema de alumbrado normal y de emergencia.

Electrificación y catenaria

- Suministro e instalación de los postes de catenaria.
- Suministro e instalación de los conjuntos de ménsulas (ménsula sencilla, ménsula doble, ménsula para una vía, ménsula para dos vías).
- Suministro e instalación de los conjuntos de atirantados.
- Suministro e instalación de las fijaciones entre ménsulas – atirantado y el poste de catenaria.
- Suministro e instalación del hilo de contacto.
- Suministro e instalación de la catenaria de los elementos del carril conductor de catenaria rígida con el hilo de contacto integrado.
- Suministro e instalación de los conjuntos de catenaria rígida para sujeción del perfil de catenaria para una altura entre 3,65 m y 7,95 m.
- Suministro e instalación de los pararrayos.
- Suministro e instalación de los aisladores de sección eléctrica.

12.3 ESTUDIO PRELIMINAR RAMS. DISPONIBILIDAD, FIABILIDAD Y MANTENIBILIDAD

Este análisis clasifica los datos de fiabilidad y de tiempo de reparación aplicables y deduce las diferentes tasas de fallo y de disponibilidad.

A partir de los datos de fiabilidad provisional o provenientes del retorno de experiencia y de los valores MTTR (Tiempo Activo de Reparación) actualmente admitidos para equipos funcionalmente idénticos, la disponibilidad de los subsistemas y de los sistemas se evalúa bajo la fórmula de un esquema sinóptico funcional.

La fiabilidad es la probabilidad de que una entidad pueda cumplir una función requerida en las condiciones determinadas, durante un intervalo de tiempo $[t_1, t_2]$; y se expresa por $R(t_1, t_2)$.

12.3.1 Requisitos RAM por cumplir en proyecto

En un sistema de electrificación ferroviaria, la fiabilidad de los componentes y la mantenibilidad de éstos repercuten considerablemente sobre la disponibilidad del servicio en cuestión.

Se establece como objetivo preliminar de disponibilidad los indicados en la siguiente tabla debiendo ser evaluador en el informe definitivo con los datos aportados por fabricante/suministrador:

OBJETIVOS FIABILIDAD - DISPONIBILIDAD - MANTENIBILIDAD	
Disponibilidad	0,90 - 0,99
Mantenibilidad	MTTR ≤ 200 minutos

Tabla 3. Objetivos de fiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad

El MTTR es el tiempo medio en que se tarda en reparar el equipo, producto o instalación bajo análisis. De este modo, el MTTR nos indica la capacidad o bondad de reparación y el objetivo es que éste sea lo más pequeño posible.

12.3.2 Estudio de fiabilidad de los sistemas

Para analizar el estudio de la fiabilidad del subsistema de línea aérea de contacto previsto se utilizará el método de diagrama de bloques funcionales.

Los principales condicionantes son:

1. Los componentes (o bloques que los representan) sólo pueden encontrarse en uno de estos dos posibles estados: operativo (en funcionamiento) o fuera de servicio (averiado).
2. El fallo (o reparación) de cualquier bloque no debe afectar a la probabilidad de fallo de (o reparación de) cualquier otro bloque en el sistema modelado.
3. Las tasas de fallo y reparación de los sistemas asociados a los bloques que lo representan son constantes en el tiempo y por tanto sus funciones de distribución de probabilidad de fiabilidad y mantenibilidad seguirán una curva exponencial negativa.

12.3.2.1 Modelos en serie

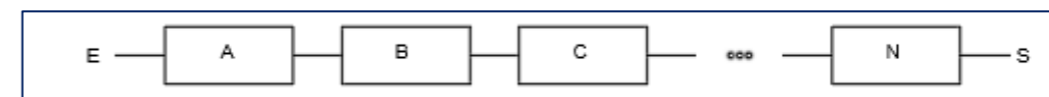


Figura 11. Esquema de modelo en serie

Donde la fiabilidad del sistema o subsistema vendrá dada por la aplicación de las fiabilidades de cada subsistema o elemento.

Proyecto Constructivo de Instalaciones para la Prolongación Sur del Metropolitano de Granada: Tramo Armilla-Churriana-Las Gabias (T-MG6211/PPR3)

12.3.2.2 Modelos en paralelo

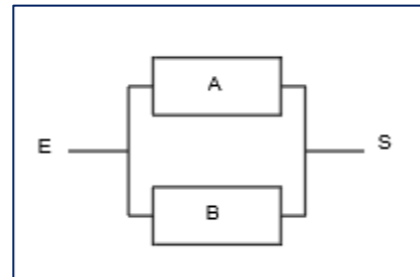


Figura 12. Esquema de modelo en paralelo

En este tipo de modelo en paralelo, la probabilidad de fallo vendrá dada por el producto de las tasas de fallo de cada subsistema o elemento; por lo que la fiabilidad vendrá dada por la siguiente expresión:

$$R_s = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i)$$

12.3.2.3 Modelo de redundancia pasiva (en espera)

Otro tipo de redundancia usado frecuentemente es el conocido como redundancia en espera. En su forma más simple, la disposición física de los elementos es la representada en el diagrama:

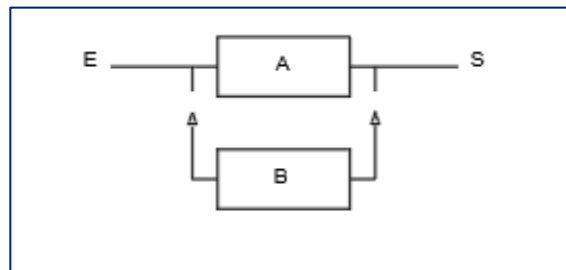


Figura 13. Esquema de modelo de redundancia pasiva

En esta figura, el elemento A es el elemento activo en funcionamiento, y el elemento B permanece a la espera de ser puesto en funcionamiento para reemplazar al elemento A cuando éste falle. Aunque se consideren más adelante, el mecanismo sensor y de conmutación no se muestran en el diagrama.

Una ecuación para la fiabilidad R(t), de un sistema de este tipo puede obtenerse considerando los sucesos que pueden ocurrir durante el tiempo de misión t. Las posibilidades son las siguientes:

- El elemento A está en funcionamiento hasta el final del tiempo t
- El elemento A con una tasa de fallo λA

- El elemento B con tasa de fallos λB está inicialmente en estado pasivo (durmiente)
- El elemento B sobrevive al resto de la misión con probabilidad RB

Si suponemos que todos los elementos tienen una tasa de fallos activa o durmiente constante, la ecuación anterior se transforma en:

$$R_s(t) = e^{-\lambda_A t} + \int_0^t \lambda_A \cdot e^{-\lambda_A \tau} \cdot e^{-\lambda_B(t-\tau)} \cdot dt$$

Evaluando la parte derecha de la ecuación anterior:

$$R_s(t) = e^{-\lambda_A t} + \frac{\lambda_A}{\lambda_A - \lambda_B} \cdot [e^{-\lambda_B t} - e^{-\lambda_A t}]$$

Si, además de lo anterior, ambas tasas de fallo son iguales (λA=λ y λB=λ), entonces la fiabilidad es:

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

12.3.3 Tasa de fallos y tiempos de reparación de componentes y subsistemas

Las tasas de fallos y tiempos de reparación de los elementos que conforman el subsistema de línea aérea de contacto se han extraído de diferentes publicaciones relacionadas con la RAM y otros han sido obtenidos basados en la experiencia de líneas similares actualmente en explotación.

Se ha utilizado la siguiente referencia: **Contact Lines for Electric Railway (Siemens)**.

Estos datos deben ser actualizados durante la fase de ejecución de las obras con los datos proporcionados por los fabricantes, para así controlar y confeccionar el Informe RAMS del Sistema definitivo de actuaciones.

COMPONENTES SUBESTACIONES DE TRACCIÓN	MTBF (horas)	Tasa de fallos (fallos/hora)	Tiempo de reparación (horas)
Acometida			
Protección general de transformadores	344.827,00	2,9e(-6)	16
Posición Celdas de Alterna	312.500,00	3,2e(-6)	40
Posición Grupo Trafo-Rectificador	370.370,00	2,7e(-6)	2250
Posición Celdas de corriente continua	312.500,00	3,2e(-6)	40
Salida Feeders	1.428.571,00	7e(-7)	18
Transformadores distribución	22.000,00	4,5e(-6)	1095
Cargador Baterías	100.000,00	1e(-5)	9
Baterías	30.000,00	3,3e(-5)	3
Cuadros BT	150.000,00	6,6e(-6)	9
Telemando Subestaciones	200.000,00	4,7 e(-6)	4

Tabla 4. Tasa de fallos de reparación de componentes de subestaciones de tracción

Proyecto Constructivo de Instalaciones para la Prolongación Sur del Metropolitano de Granada: Tramo Armilla-Churriana-Las Gabias (T-MG6211/PPR3)

COMPONENTES O SUBSISTEMA CATENARIA	MTBF (horas cada 100 km)	Tasa de fallos (fallos/hora cada 100 km)	Tiempo de reparación (horas)
Hilo de contacto	21.900,00	1,5e(-5)	120
Cable de Tierra	39.420,00	2,53e(-5)	45
Parafil Pórtico Funicular	25.060,00	1,89e(-5)	32
Equipo vía general	35.040,00	2,2e(-5)	12
Brazo de atirantado		2,98e(-5)	14
Suspensión delta		2,25e(-5)	14
Poste/Apoyo	219.000,00	4,56e(-6)	24
Grapa anclaje HC	135.780,00	7,36e(-6)	20
Preformado	94.608,00	1,05e(-5)	8
Cable de acero	157.680,00	6,34e(-6)	8
Equipo poleas	29.784,00	1,35e(-5)	16
Equipo contrapesos		2e(-5)	12

Tabla 5. Tasa de fallos de reparación de componentes de catenaria

Es posible que los datos que se recopilen de los suministradores o proveedores de equipos hagan que los sistemas y subsistemas modelos evaluados en el presente informe preliminar estén divididos en diferentes grupos funcionales a los establecidos inicialmente, por lo que en el Análisis RAMS del sistema definitivo estos bloques deberán estructurarse acorde a la documentación facilitada por dichos suministradores.

También se incluirá en el análisis definitivo a realizar durante el proceso de ejecución de las obras el correspondiente código de producto del suministrador/fabricante, así como la cantidad de materiales, que servirán de base para realizar la correspondiente tabla de repuestos con la indicación del stock mínimo necesario.

12.3.4 Estudio de fiabilidad del subsistema de subestación de tracción

EL diagrama de bloques del subsistema correspondiente a las subestaciones de tracción, según su descripción de funcionamiento es la siguiente:

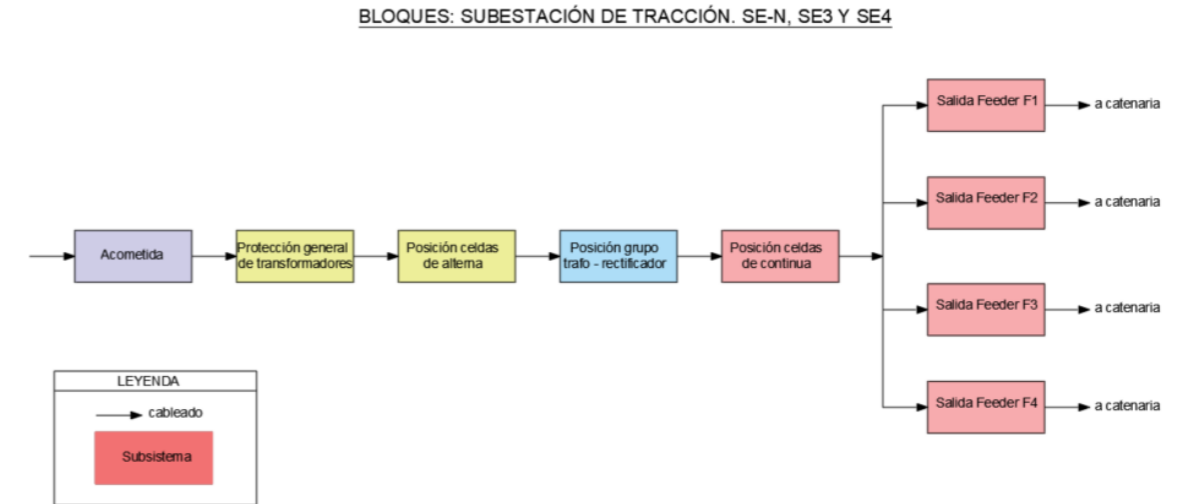


Figura 14. Diagrama funcional bloques. Funcionamiento de subestaciones de tracción

Las tasas de fallo de los elementos o parámetros que conforma el subsistema de Subestación de tracción están recogidas en la tabla correspondiente mostrada en el apartado 7.3. Estos datos han sido obtenidos basados en la experiencia de líneas similares actualmente en explotación y también de datos extraídos de publicaciones tal y como se menciona en el mismo apartado.

La metodología de cálculo a aplicar en éste y en los siguientes apartados se fundamenta en los siguientes criterios:

Para los bloques en serie, la tasa de fallos conjunta se obtiene mediante el sumatorio de todas las tasas de fallo que intervienen:

$$\lambda_{serie} = \sum \lambda_{equipamientos}$$

Mientras que para los bloques en paralelo se opera del siguiente modo:

$$R_{paralelo} = 1 - (1 - R_{serie_paralelo})^2$$

$$e^{-\lambda_{paralelo} t} = 1 - (1 - e^{-\lambda_{serie} t})^2$$

Analizando los componentes en serie y paralelo de la subestación obtenemos los siguientes resultados:

Proyecto Constructivo de Instalaciones para la Prolongación Sur del Metropolitano de Granada: Tramo Armilla-Churriana-Las Gabias (T-MG6211/PPR3)

SUBSISTEMA	Tasa de fallos	Fiabilidad
Elementos serie	0,015173474	0,98494

SUBSISTEMA	Tasa de fallos	Fiabilidad
Elementos paralelo	4,840080075E-12	0,99999

Y de forma conjunta, obtenemos los siguientes valores para el conjunto de la Subestación:

SUBSISTEMA	Tasa de fallos	Fiabilidad
Subestación	0,015173474	0,98494

Tabla 6. Fiabilidad de las subestaciones de tracción

12.3.5 Estudio de fiabilidad del subsistema de servicios auxiliares

BLOQUES: SERVICIOS AUXILIARES DE LAS SUBESTACIONES

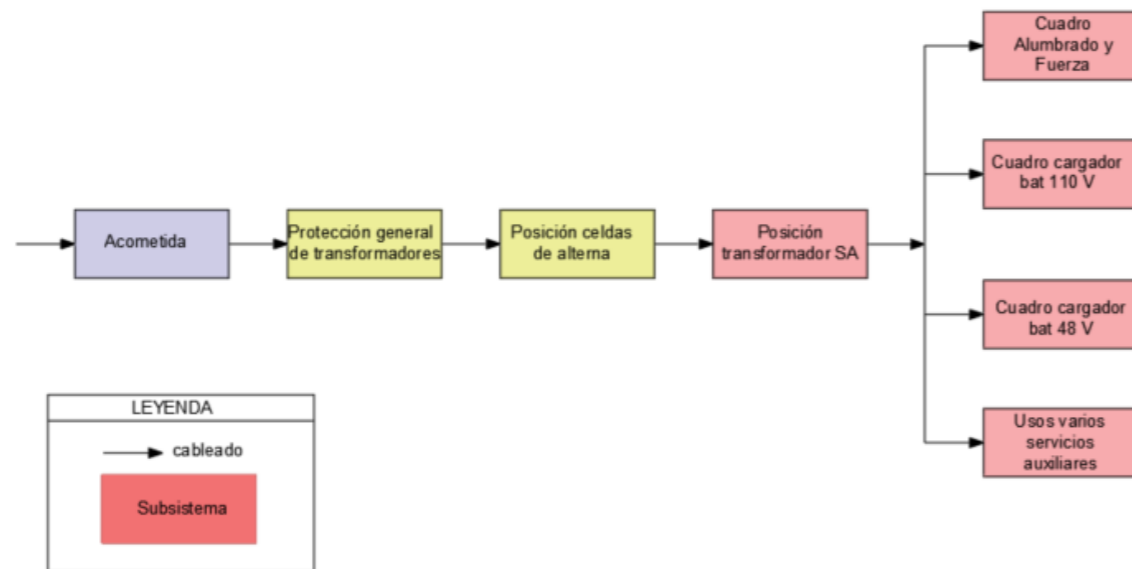


Figura 15. Diagrama funcional bloques. Funcionamiento de servicios auxiliares

Con la misma metodología que en el apartado de las subestaciones de tracción, determinamos en este apartado los bloques serie y paralelo del sistema de servicios auxiliares representado en el diagrama:

SUBSISTEMA	Tasa de fallos	Fiabilidad
Elementos serie	0,026274773	0,97407

SUBSISTEMA	Tasa de fallos	Fiabilidad
Elementos paralelo	2,491588799E-10	0,9999999998

Obteniéndose los valores conjuntos de fiabilidad:

SUBSISTEMA	Tasa de fallos	Fiabilidad
Servicios auxiliares	0,026274773	0,97407

Tabla 7. Fiabilidad de los servicios auxiliares

12.3.6 Estudio de fiabilidad del subsistema telemando de las subestaciones

El telemando de la subestación estará compuesto por el equipo y la integración de los distintos PLC y relés que se instalen.

El diagrama de bloques general corresponde al siguiente esquema:

BLOQUES: SISTEMA DE TELEMANDO



Figura 16. Diagrama funcional bloques. Funcionamiento del telemando

En base a la experiencia y proyectos similares podemos definir la tasa de fallos y la fiabilidad generalizada del subsistema de telemando tal y como se ha expuesto en el apartado 7.3.

SUBSISTEMA	Tasa de fallos	Fiabilidad
Sistema de Telemando	4,7e(-6)	0,98842

Tabla 8. Fiabilidad del telemando

Proyecto Constructivo de Instalaciones para la Prolongación Sur del Metropolitano de Granada: Tramo Armilla-Churriana-Las Gabias (T-MG6211/PPR3)

Estos valores irán siendo actualizados con la información que los suministradores de cada subsistema aporten para la elaboración del estudio definitivo Análisis RAMS del sistema.

12.3.7 Estudio de fiabilidad del subsistema línea aérea de contacto

El subsistema de catenaria comprende a la catenaria propiamente dicha (línea aérea de contacto) y a los elementos de soporte para la misma.

Se analiza, por tanto, los siguientes elementos.

12.3.7.1 Catenaria

BLOQUES: LÍNEA AÉREA DE CONTACTO.

Catenaria

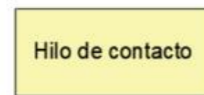


Figura 17. Diagrama funcional bloques. Hilo de contacto

SUBSISTEMA	Tasa de fallos	Fiabilidad
Hilo de contacto	0,010106920	0,98994

Tabla 9. Fiabilidad del hilo de contacto

Considerando este resultado de un alto índice de fiabilidad.

12.3.7.2 Retorno

Retorno

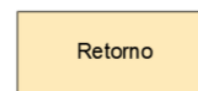


Figura 18. Diagrama funcional bloques. Retorno

SUBSISTEMA	Tasa de fallos	Fiabilidad
Retorno	0,010005816	0,99004

Tabla 10. Fiabilidad del retorno

Es importante destacar que este elemento del subsistema no produce fallo del sistema, pero es importante considerarlo a efectos de fallo de seguridad.

12.3.7.3 Equipo vía general

Se muestra a continuación la fiabilidad de los equipos de vía general con suspensión delta y con brazo de atirantado, tanto para vía única como para poste central a dos vías.

Equipo vía general. Poste en vía única

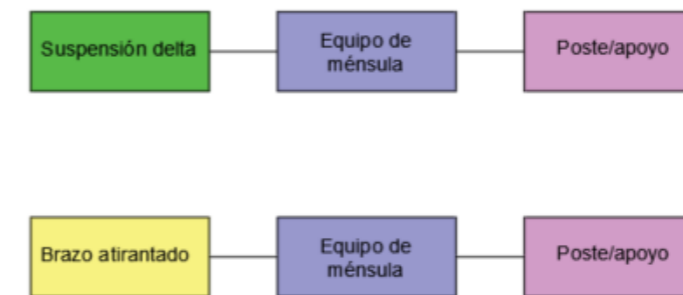


Figura 19. Diagrama funcional bloques. Poste en vía general

Equipo vía general. Poste central para dos vías

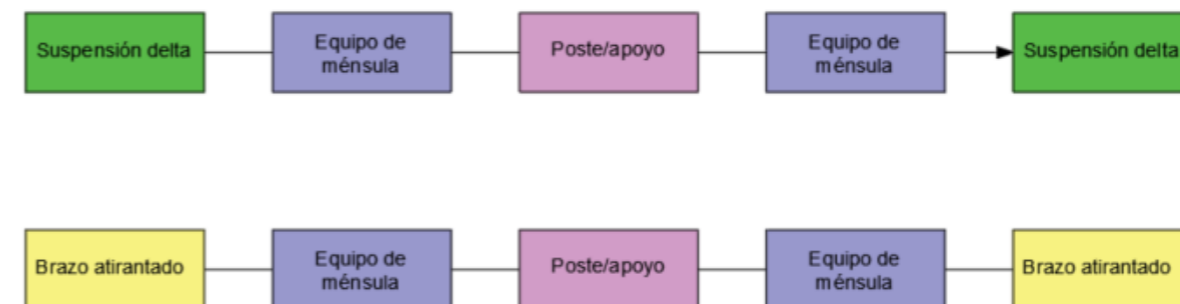


Figura 20. Diagrama funcional bloques. Poste central para dos vías

Proyecto Constructivo de Instalaciones para la Prolongación Sur del Metropolitano de Granada: Tramo Armilla-Churriana-Las Gabias (T-MG6211/PPR3)

De acuerdo con los valores expresados en el apartado 7.3 donde se muestran las diferentes tasas de fallo, se obtienen los siguientes resultados de tasas conjuntas de equipamiento, así como el índice de fiabilidad:

SUBSISTEMA	Tasa de fallos	Fiabilidad
Equipo vía general. Vía única. Brazo atirantado.	0,046205675	0,95485
Equipo vía general. Vía única. Suspensión delta.	0,041286974	0,95955
Equipo vía general. Vía doble. Poste central. Brazo atirantado.	0,081108241	0,92209
Equipo vía general. Vía doble. Poste central. Suspensión delta.	0,071270838	0,93121

Tabla 11. Fiabilidad de equipos en vía general

Comprobándose que, con los valores tomados de referencia, el valor de la fiabilidad es muy alto.

12.3.7.4 Equipo en vía. Seccionamiento o aguja

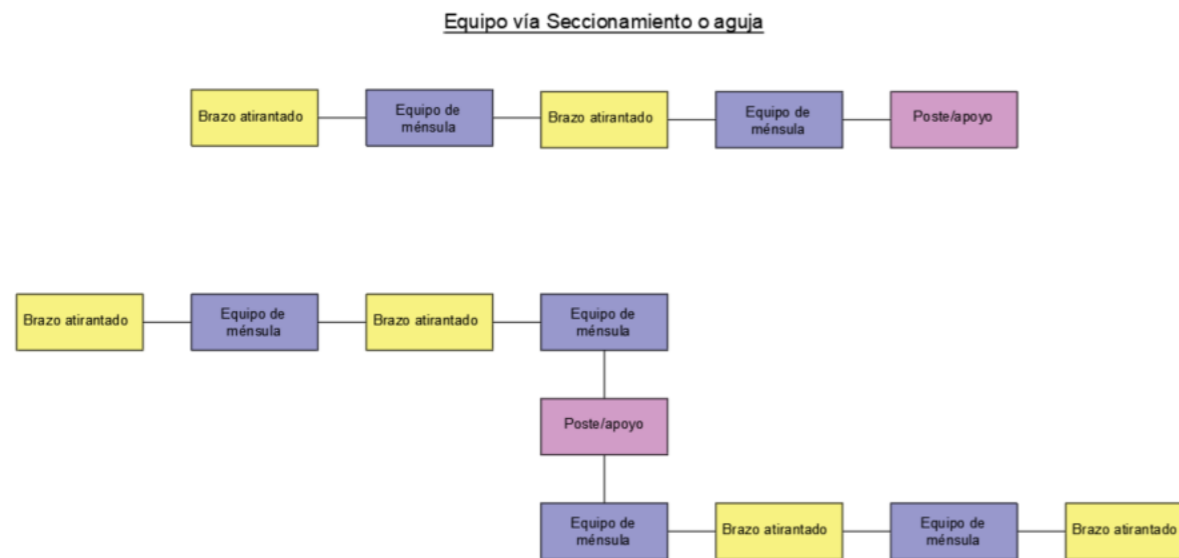


Figura 21. Diagrama funcional bloques. Seccionamiento o aguja

Del mismo modo que en los casos anteriores, se calculan los valores de tasa de fallo conjunta, así como la fiabilidad de este, obteniéndose resultados de fiabilidad muy altos para el subsistema de catenaria en seccionamiento o aguja:

SUBSISTEMA	Tasa de fallos	Fiabilidad
Equipo seccionamiento o aguja. Vía única.	0,081108241	0,92209
Equipo seccionamiento o aguja. Vía doble. Poste Central.	0,150913372	0,85992

Tabla 12. Fiabilidad de seccionamiento o aguja

12.3.7.5 Pórtico funicular

Se analiza en este apartado el elemento de pórtico funicular típico para dos vías, considerando que, como elemento sustentador de la catenaria, puede contener directamente el brazo de atirantado o simplemente una suspensión delta:

Equipo vía general. Pórtico funicular

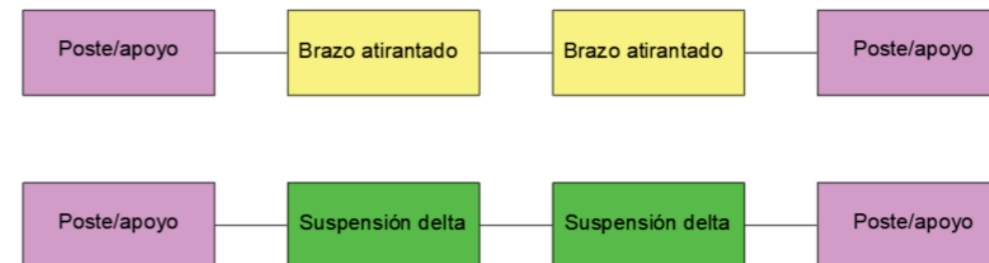


Figura 22. Diagrama funcional bloques. Pórtico funicular

Con estas premisas, se determina el valor de fiabilidad de ambos análisis:

SUBSISTEMA	Tasa de fallos	Fiabilidad
Equipo pórtico funicular. Brazo atirantado	0,062764384	0,93916
Equipo pórtico funicular. Suspensión delta	0,052926981	0,94845

Tabla 13. Fiabilidad del pórtico funicular

12.3.7.6 Equipo de anclaje en línea

Se realiza un análisis preliminar del equipo de anclaje en línea, considerándose compuesto por varios elementos que se definen en el siguiente diagrama de bloques:

Proyecto Constructivo de Instalaciones para la Prolongación Sur del Metropolitano de Granada: Tramo Armilla-Churriana-Las Gabias (T-MG6211/PPR3)

Equipo de anclaje



Figura 23. Diagrama funcional bloques. Equipo de anclaje

Resultando el valor de la fiabilidad del equipo de anclaje muy alto:

SUBSISTEMA	Tasa de fallos	Fiabilidad
Elemento Anclaje	0,063605872	0,93837

Tabla 14. Fiabilidad del equipo de anclaje

12.3.8 Estudio de la fiabilidad global del sistema

Se realiza el análisis preliminar del sistema global considerándose el siguiente diagrama de bloques:

Sistema global

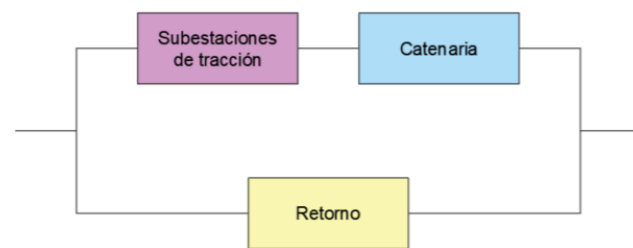


Figura 24. Diagrama funcional bloques. Sistema global

Resultando la fiabilidad global del sistema muy alta:

SISTEMA	Tasa de fallos	Fiabilidad
Sistema global	0,035286211	0,96533

Tabla 15. Fiabilidad del sistema global

12.4 ESTUDIO PRELIMINAR DE SEGURIDAD

12.4.1 Estudio preliminar de seguridad

El objetivo principal de este Estudio Preliminar de Seguridad es el de establecer la metodología a llevar a cabo durante la ejecución de las obras para dar cumplimiento al reglamento de seguridad Reglamento (CE) nº402/2013 y 2015/1136.

La gestión de la seguridad del sistema ferroviario, según lo estipulado por el Reglamento 402/2013 y 2015/1136 se debe basar en la identificación, análisis y mitigación de las amenazas a la seguridad en la circulación, de las obras proyectadas.



Figura 25. Proceso de mitigación de la amenaza

12.4.1.1 Análisis preliminar de amenazas (PHA)

El objetivo del Análisis Preliminar de Amenazas (PHA) será el de identificar amenazas asociadas al sistema de energía.

Para llevar a cabo este PHA, se realiza una serie de sesiones de trabajo en las que se irán identificando y estudiando las diferentes amenazas. En cada sesión se tratarán uno o varios ámbitos de trabajo, establecidos previamente, y participarán diferentes personas en función del tema que se trate, aunque siempre estarán presentes la Dirección del Proyecto y el Ingeniero RAMS.

Los resultados obtenidos se recogerán en un Informe PHA en el que se incluirá, como mínimo:

- Alcance y contexto del PHA.
- Identificación de las amenazas de más alto nivel.
- Todas las amenazas identificadas durante el proceso. Para cada una de ellas:
- Se describirán las causas que las originan.

Proyecto Constructivo de Instalaciones para la Prolongación Sur del Metropolitano de Granada: Tramo Armilla-Churriana-Las Gabias (T-MG6211/PPR3)

- Se identificará si las consecuencias afectan a la Seguridad o a las condiciones RAM.
- Se identificará el riesgo asociado a cada amenaza, en base a la frecuencia de ocurrencia y la severidad, de forma independiente para las que afectan a la Seguridad y para las que afectan a las RAM.

En el apartado 9.4 del presente Informe Preliminar, se define de Registro Específico de Peligros Identificados en esta fase.

12.4.1.2 Seguimiento de las amenazas. Archivo de amenazas (Hazard Log)

Se creará un archivo de amenazas, Hazard Log, para el seguimiento y el control de las amenazas relacionadas con la seguridad que se identifiquen a lo largo del ciclo de vida del proyecto.

Este Hazard Log es un archivo vivo de modo que será actualizado en cuanto se produzca un cambio que afecte a cualquier amenaza identificada o cuando se identifique una nueva.

La gestión del Hazard Log es responsabilidad única del Área RAMS, por lo que será el Ingeniero RAMS del proyecto el encargado de llevarla a cabo.

12.4.1.3 Análisis de Modos de Fallos y Efectos (FMEA)

El objetivo de los análisis FMEA's, desde el punto de vista de la seguridad, es identificar posibles modos de fallo de componentes que pudieran conducir al Sistema a un estado no seguro.

El análisis FMEA es una técnica cualitativa Down-top en el que, partiendo de los modos de fallo potenciales considerados para cada componente, se estudian los efectos que éstos pueden llegar a producir en el sistema.

Los resultados que se obtuviesen se organizarían en un registro en el que cada modo de fallo quedaría identificado de forma unívoca y en el que se indicaría:

- Descripción del componente.
- Descripción del Fallo considerado.
- Efecto local sobre.
- Efectos sobre el Sistema: Funcionamiento Correcto, Fallo de Seguridad, Fallo Oculto, Fuera de Servicio.
- Posibles observaciones.

Del mismo modo, se realizaría un Informe para cada análisis FMEA que contendría, como mínimo:

- Alcance del análisis FMEA.
- Metodología utilizada.
- Estudio de los resultados obtenidos.
- Conclusiones.

12.4.1.4 Análisis por Árbol de Fallos (FTA)

El objetivo del Análisis por Árbol de Fallos será:

- Desde un punto de vista cualitativo, identificar las combinaciones de fallo que pueden llegar a conducir a las amenazas de más alto nivel establecidas.
- Desde un punto de vista cuantitativo, obtener las tasas de fallos (THR) asociadas a cada una de estas amenazas de más alto nivel establecidas a partir de dichas combinaciones.

Por tanto, para llevar a cabo el análisis FTA, se partirá de la/s amenaza/s de más alto nivel (Top Hazard) y se estudiarán y buscarán las combinaciones de fallo que pueden conducir a dicha amenaza hasta llegar a las combinaciones de eventos básicos o eventos no desarrollados.

De este modo se identificarán las combinaciones de fallos peligrosas y se analizarán tanto los fallos aleatorios, como los fallos de causa común, como los fallos ocultos.

Por otro lado, a partir de las tasas de fallo de los eventos básicos o eventos no desarrollados se obtendrá la tasa de fallos asociada (THR) asociada al Top Hazard analizado.

En caso de que se considere necesario, también se realizarán análisis FTA complementarios para amenazas que se hayan identificado y que no tengan influencia sobre ninguno de los Top Hazard analizados.

Los resultados que se obtengan de cada uno de los análisis FTA se referenciarán con:

- Objetivo, alcance y contexto de Análisis por Árbol de Fallos FTA.
- Método y consideraciones.
- Desarrollo y estudio del Análisis por Árbol de Fallos en el que se identifique las combinaciones de fallo junto con cualquier observación que se considere necesaria para entender el análisis.
- Para el análisis cuantitativo, tasa de fallo (THR) asociada a cada amenaza estudiada.
- Conclusiones derivadas del análisis, en las que se contrastarán los resultados obtenidos con el objetivo marcado.

12.4.2 Metodología del estudio de seguridad

El Reglamento 402/2013 establece, en el Anexo I, cuatro (4) puntos principales que describen el proceso de gestión de riesgos:

- Definición del sistema.
- Determinación del peligro (o riesgo).
- Valoración del riesgo.
- Demostración del cumplimiento de los requisitos de seguridad.

También se ha tenido en cuenta el reglamento N°2015/1136 por el que se modifica el reglamento 402/2013.

Proyecto Constructivo de Instalaciones para la Prolongación Sur del Metropolitano de Granada: Tramo Armilla-Churriana-Las Gabias (T-MG6211/PPR3)

Para garantizar la seguridad de los sistemas que componen la electrificación y las subestaciones de la Línea Metropolitana del Metro de Granada, se debe realizar una planificación que va desde el análisis preliminar, hasta el análisis definitivo, que a su vez empezará con el análisis de riesgos o amenazas y finalizará con la validación de requisitos que sirva como medida de mitigación a los riesgos detectados.

La fase de análisis del riesgo comprende una serie de actividades que se agrupan en los siguientes tres puntos:

a. Definición del sistema

Consiste en describir técnica y funcionalmente las actuaciones propuestas para la ejecución de las obras del Proyecto para la Línea Metropolitana de Granada. Prolongación Sur. Tramo Armilla – Churriana de la Vega – Las Gabias.

La definición del sistema se ha realizado en el apartado 1.4.2 Descripción general del proyecto, en el que se ha definido la solución adoptada.

b. Determinación del peligro

Para la determinación de los peligros, o identificación de las amenazas, que implican las obras definidas en el proyecto se ha analizado el impacto que éstos tienen para la seguridad de la circulación. Esta información se recoge en el siguiente apartado de Estudio Preliminar.

c. Valoración del riesgo

Los principios aplicables para la valoración del riesgo, de acuerdo con lo indicado en los Reglamentos 402/2013 y 2015/1136, pueden ser:

- Criterio 1: Aplicación de códigos prácticos. Los peligros son atenuados por el cumplimiento de estándares o por el diseño de las precauciones exigidas por las regulaciones, las normas y buenas prácticas.
- Criterio 2: Comparación con sistemas similares: El sistema de referencia deberá satisfacer como mínimo los siguientes requisitos:

1. Haber acreditado en la práctica un nivel aceptable de seguridad y seguir estando por ello autorizado en el Estado miembro donde se vaya a introducir el cambio
2. Tener funciones e interfaces similares al sistema evaluado;
3. Utilizarse en condiciones de explotación similares al sistema evaluado
4. Utilizarse en condiciones ambientales similares al sistema evaluado

- Criterio 3: Estimación explícita del riesgo. Cuando los peligros no estén cubiertos por uno de los dos principios de aceptación del riesgo anteriores (Código de Prácticas o Sistema de Referencia), la demostración de la aceptabilidad del riesgo se llevará a

cabo mediante una valoración y estimación explícita del riesgo. Los riesgos derivados de estos peligros se estimarán de forma cuantitativa o cualitativa, combinando:

1. La frecuencia de ocurrencia de un acontecimiento peligroso que lleva a una perspectiva insegura.
2. La gravedad de su consecuencia.

Los requisitos de seguridad pueden plantearse tanto de carácter cualitativo como cuantitativo, sin embargo, y tal como indica la Directiva (UE) 2016/798, cuando los peligros se deriven de un fallo de sistemas técnicos no cubiertos por los códigos de prácticas o el uso de un sistema de referencia, se deberá aplicar al diseño del sistema técnico el siguiente criterio de aceptación del riesgo: “En el caso de los sistemas técnicos en que resulte verosímil que un fallo funcional pueda tener consecuencias catastróficas, el riesgo asociado no deberá reducirse más si la tasa de ocurrencia del mismo es igual o inferior a 10⁻⁹ por hora de explotación”.

d. Demostración del cumplimiento

Para la demostración del cumplimiento de los requisitos de seguridad, se realizará una Evaluación Independiente de Seguridad, que pueda certificar el cumplimiento de los requisitos de seguridad analizando las amenazas.

Una evaluación independiente de la seguridad es un medio importante para proporcionar la confianza adicional en relación con la prevención de fallos sistemáticos del sistema que puedan afectar negativamente a la seguridad.

La evaluación independiente de la seguridad incluye una evaluación y dictamen de que se han emprendido adecuadamente aspectos específicos del proceso de gestión de la seguridad y/o se han cumplido los requisitos específicos con respecto al sistema o parte de este.

12.4.3 Criterios para la asignación de frecuencia, severidad, riesgo y tolerabilidad

En el caso que nos ocupa, se ha empleado una estimación explícita del riesgo o consecuencia teniendo en cuenta las directrices marcadas por la normativa de referencia CENELEC 50126.

La metodología seguida para la estimación del riesgo es una estimación cualitativa y sigue los criterios definidos por la normativa mencionada anteriormente. Esta estimación se basa en la combinación de dos elementos:

- Niveles de severidad: la gravedad de la consecuencia del peligro.
- Niveles de frecuencia: la probabilidad de ocurrencia de un suceso o una combinación de sucesos que conduzcan a un peligro, o la frecuencia de tal ocurrencia.

En la norma UNE-EN 50126 se definen cuatro categorías de gravedad de los peligros:

Proyecto Constructivo de Instalaciones para la Prolongación Sur del Metropolitano de Granada: Tramo Armilla-Churriana-Las Gabias (T-MG6211/PPR3)

NIVEL DE SEVERIDAD	CONSECUENCIA PARA LAS PERSONAS O EL MEDIO NATURAL	CONSECUENCIA PARA EL SERVICIO
S4 - Catastrófico	Varias víctimas mortales y/o múltiples heridos graves y daño grave al medio natural.	
S3 - Crítico	Una víctima mortal y/o herido grave y/o daños significativos al medio natural,	Pérdida de un sistema principal
S2 - Marginal	Herido leve y/o amenaza significativa para el medio natural,	Daño grave de uno o varios sistemas
S1 - Insignificante	Posible herido leve,	Daño leve de un sistema

Tabla 16. Categorías de gravedad de los peligros

CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	RANGO DE FRECUENCIAS
F6 - Frecuente	Es probable que ocurra confrecuencia. El peligro se experimenta continuamente	Una vez cada 6 semanas.
F5 - Probable	Ocurrirá varias veces. Se puede esperar que la amenaza ocurra a menudo.	Una vez en un período de 6 semanas - un año.
F4 - Ocasional	Es posible que ocurra varias veces. Se puede esperar que la amenaza ocurra varias veces.	Una vez en un período de un año - 10 años.
F3- Remoto	Es posible que ocurra alguna vez durante el ciclo de vida del sistema. Se puede suponer razonablemente que la amenaza se va a producir.	Una vez en un período de 10 años - 1.000 años.
F2 - Improbable	Poca probabilidad, pero posible. Se puede asumir que la amenaza puede ocurrir excepcionalmente.	Una vez en un período de 1.000 años - 10.000 años
F1 - Increíble	Extremadamente poco probable. Se puede asumir que la amenaza no ocurrirá.	Una vez en un período superior a los 10.000 años.

Tabla 17. Categorías de frecuencia de los peligros

CATEGORÍA DE ACEPTACIÓN DEL RIESGO	DESCRIPCIÓN
R1 - Inaceptable	Debe eliminarse.
R2 - No deseable	Sólo debe aceptarse cuando la reducción del riesgo sea impracticable, y con el acuerdo de la autoridad ferroviaria. Esta es la aplicación del principio ALARP.
R3 - Tolerable	Aceptable con control adecuado y acuerdo de la Autoridad Ferroviaria.
R4 - Insignificante	Aceptable sin acuerdo alguno.

Tabla 18. Aceptación del riesgo

La matriz de riesgo indica cómo se combinan la frecuencia de ocurrencia y la severidad para definir diversas zonas de aceptabilidad del riesgo.

FRECUENCIA DE OCURRENCIA	NIVEL DE RIESGO			
	F6 - Frecuente	R2 - No deseable	R1 - Inaceptable	R1 - Inaceptable
F5 - Probable	R3 - Tolerable	R2 - No deseable	R1 - Inaceptable	R1 - Inaceptable
F4 - Ocasional	R3 - Tolerable	R2 - No deseable	R2 - No deseable	R1 - Inaceptable
F3 - Remoto	R4 - Insignificante	R3 - Tolerable	R2 - No deseable	R2 - No deseable
F2 - Improbable	R4 - Insignificante	R4 - Insignificante	R3 - Tolerable	R3 - Tolerable
F1 - Increíble	R4 - Insignificante	R4 - Insignificante	R4 - Insignificante	R4 - Insignificante
	S1 - Insignificante	S2 - Marginal	S3 - Crítico	S4 - Catastrófico
	NIVEL DE GRAVEDAD DE LA CONSECUENCIA DE LA AMENAZA			

Tabla 19. Matriz de riesgo

Para la demostración del cumplimiento de los requisitos de seguridad, se realizará una Evaluación Independiente de Seguridad, que pueda certificar el cumplimiento de los requisitos de seguridad analizando las amenazas.

Una evaluación independiente de la seguridad es un medio importante para proporcionar la confianza adicional en relación con la prevención de fallos sistemáticos del sistema que puedan afectar negativamente a la seguridad.

La evaluación independiente de la seguridad incluye una evaluación y dictamen de que se han emprendido adecuadamente aspectos específicos del proceso de gestión de la seguridad y/o se han cumplido los requisitos específicos con respecto al sistema o parte de este.

12.4.4 Registro preliminar de peligros

Formato tabla Registro de Peligros

El Hazard Log se definirá mediante una tabla con los siguientes datos como mínimo:

- ID.
- Sistema.
- Categoría.
- Punto de Control / Amenaza.
- Consecuencia del Riesgo.
- Nivel de Riesgo:
 - Frecuencia.
 - Severidad.
 - Nivel de Riesgo.
- Medida adoptada para mitigación del riesgo.
 - Cumplimiento Código Practico.

Proyecto Constructivo de Instalaciones para la Prolongación Sur del Metropolitano de Granada: Tramo Armilla-Churriana-Las Gabias (T-MG6211/PPR3)

- Documentos del Proyecto.
 - Nivel de riesgo residual.
 - Estado

Cuadro Registro Específico de Peligros Identificados

Proyecto Constructivo de Instalaciones para la Prolongación Sur del Metropolitano de Granada: Tramo Armilla-Churriana-Las Gabias (T-MG6211/PPR3)

ID	SISTEMA	CATEGORÍA	Punto de Control / Amenaza	Consecuencia del riesgo	Nivel de riesgo inicial			Medida adoptada para mitigación del riesgo			Nivel de riesgo residual				Estado	
					Frecuencia	Severidad	Nivel de riesgo	Cumplimiento del código práctico	Documentos del Proyecto			F	S	N		Riesgo
								Medida adoptada para mitigación del riesgo	MEMORIA ANEJO	PLANO	PLIEGO					
SUBSISTEMA: ENERGÍA																
REQ-01	Energía	SUBESTACIONES. Protecciones contra sobretensión	Nivel de tensión superior o inferior al especificado en los terminales de la subestación o en la catenaria	Disparo de protecciones del sistema degradando las condiciones de explotación. Afección a explotación. Pérdida de un sistema principal												
REQ-02	Energía	SUBESTACIONES. Filtros, Protecciones EMISIÓN DE ARMÓNICOS	Se inyecta un nivel excesivo de armónicos hacia la red eléctrica	Disparo de protecciones del sistema degradando las condiciones de explotación. Pérdida de un sistema.												
REQ-03	Energía	SUBESTACIONES. Filtros, Protecciones EMISIÓN DE ARMÓNICOS	Se inyecta un nivel excesivo de armónicos desde la red eléctrica	Disparo de protecciones del sistema degradando las condiciones de explotación. Mal funcionamiento del sistema. Posible afección a la explotación. Pérdida de un sistema principal												
REQ-04	Energía	SUBESTACIONES. Filtros, Protecciones EMISIONES ELECTROMAGNÉTICAS	Perturbaciones ocasionadas por señales electromagnéticas de los conductores y que afectan a otros sistemas.	Mal funcionamiento de otros sistemas, en especial de la señalización ferroviaria y de las telecomunicaciones.												
REQ-05	Energía	SUBESTACIONES. Filtros, Protecciones EMISIONES DE ARMÓNICOS	Los equipos de la subestación de tracción no toleran los niveles de perturbación electromagnética propios de los sistemas ferroviarios.	Disparo de protecciones del sistema degradando las condiciones de explotación. Mal funcionamiento del sistema. Afección a explotación.												
REQ-06	Energía	SUBESTACIONES. Filtros, Protecciones ROBUSTEZ DEL SUMINISTRO	El subsistema no es capaz de mantener la tensión en diferentes secciones de la catenaria tras una falta eléctrica sobre una sección concreta	Disparo de protecciones del sistema degradando las condiciones de explotación.												
REQ-07	Energía	SUBESTACIONES.	El sistema atraviesa zonas de protección de aves que se matan con los cables o forman cadenas de pájaros que se electrocutan.	Posible daño al medio natural en las acometidas a las subestaciones.												
REQ-08	Energía	Catenaria	La geometría de la catenaria se modifica (fatiga de material, condiciones climatológicas, desplazamiento de estructuras) quedando fuera de los márgenes especificados	En el caso en que llegue a haber contacto con parte de la estructura se producirá el disparo de protecciones del sistema degradando las condiciones de explotación. Mal funcionamiento del sistema. Mala captación de corriente.												
REQ-09	Energía	Catenaria	El subsistema no mantiene los límites de calidad y de comportamiento dinámico especificados para el consumo de corriente	Disparo de protecciones del sistema degradando las condiciones de explotación												

Proyecto Constructivo de Instalaciones para la Prolongación Sur del Metropolitano de Granada: Tramo Armilla-Churriana-Las Gabias (T-MG6211/PPR3)

ID	SISTEMA	CATEGORÍA	Punto de Control / Amenaza	Consecuencia del riesgo	Nivel de riesgo inicial			Medida adoptada para mitigación del riesgo			Nivel de riesgo residual				Estado	
					Frecuencia	Severidad	Nivel de riesgo	Cumplimiento del código práctico	Documentos del Proyecto			F	S	N		Riesgo
								Medida adoptada para mitigación del riesgo	MEMORIA ANEJO	PLANO	PLIEGO					
REQ-10	Energía	Catenaria	La Catenaria no es capaz de mantener su estabilidad mecánica y/o eléctrica cuando existen dos pantógrafos operativos próximos	En el caso en que llegue a haber contacto con parte de la estructura se producirá el disparo de protecciones del sistema degradando las condiciones de explotación. Mal funcionamiento del sistema.												
REQ-11	Energía	Catenaria. Diseño de zonas neutras	La zona neutra entre dos zonas activas de la catenaria, queda conectada eléctricamente a cualquiera de las zonas activas adyacentes (o a ambas, simultáneamente).	Disparo de protecciones del sistema degradando las condiciones de explotación												
REQ-12	Energía	Catenaria. Diseño de zonas neutras	Un tren, circulando con pantógrafos elevados, queda detenido en la zona neutra entre los dos sistemas eléctricos.	Disparo de protecciones del sistema degradando las condiciones de explotación. Provoca avería en subestación o en equipo embarcado. Afección a disponibilidad.												
REQ-13	Energía	Catenaria. Diseño de zonas neutras	Un tren, circulando con pantógrafos recogidos, queda detenido en la zona neutra entre los dos sistemas eléctricos	Pánico e inseguridad de viajeros. Necesidad de rescate. Afección a la explotación.												
REQ-14	Energía	Catenaria. Diseño de zonas neutras	Se prolonga la desconexión de una sección de la catenaria por fallo en la coordinación de las protecciones eléctricas	Funcionamiento degradado de la instalación.												
REQ-15	Energía	Catenaria. Diseño de zonas neutras	Se prolonga la desconexión de una sección de la catenaria por fallo en la coordinación de las protecciones eléctricas	Parada de tren. Pánico e inseguridad de viajeros. Necesidad de rescate.												
REQ-16	Energía	Catenaria Circuito de retorno y tierras	No existen especificaciones para el diseño detallado del circuito de retorno de corriente de tracción y de las conexiones a tierra de los diferentes equipos. No existe un plano de conjunto que recoja explícitamente el circuito de tierra (retorno) y sus conexiones con el resto de sistemas	Riesgo de disparo de protecciones en subestación dejando sin servicio la instalación. Riesgo de electrocución del personal ferroviario y ajeno al ferrocarril.												

Proyecto Constructivo de Instalaciones para la Prolongación Sur del Metropolitano de Granada: Tramo Armilla-Churriana-Las Gabias (T-MG6211/PPR3)

ID	SISTEMA	CATEGORÍA	Punto de Control / Amenaza	Consecuencia del riesgo	Nivel de riesgo inicial			Medida adoptada para mitigación del riesgo			Nivel de riesgo residual				Estado	
					Frecuencia	Severidad	Nivel de riesgo	Cumplimiento del código práctico	Documentos del Proyecto			F	S	N		Riesgo
								Medida adoptada para mitigación del riesgo	MEMORIA ANEJO	PLANO	PLIEGO					
REQ-17	Energía	Operación y Mantenimiento Reglas de operación del sistema eléctrico. Gestión en caso de emergencia	No se realiza de forma adecuada la puesta a tierra de algún equipo utilizado durante una situación de emergencia en una sección de la línea eléctrica.	Riesgo de muerte de equipos de emergencia y de resto de personal en la zona												
REQ-18	Energía	Operación y Mantenimiento Reglas de operación del sistema eléctrico. Operación y ejecución de trabajos de mantenimiento	Algún operador de la línea o algún agente de mantenimiento (de la línea considerada, o de la línea contigua) no recibe la información adecuada sobre la localización, naturaleza, duración o señalización de algún trabajo en una sección de la línea eléctrica.	Descarga eléctrica a personas que realicen trabajos o se encuentren en el entorno ferroviario												
REQ-19	Energía	Operación y Mantenimiento Reglas de operación del sistema eléctrico. Mantenimiento del sistema	Degradación de la línea por falta de mantenimiento adecuado	Desde limitaciones de velocidad hasta accidentes ferroviarios con descarrilo.												
REQ-20	Energía		Existencia de postes de catenaria en andén en estaciones	Peligro por escalada de personas ajenas y/o no autorizadas. Riesgo de caída a distinto nivel y electrocución												
REQ-21	Energía		Elementos metalicos en estaciones (marquesinas, etc.) o lugares de paso de personas no puestas a tierra	Posibles diferencias de potencial y electrocución de personas en ese entorno												
REQ-22	Energía		Falta de concordancia en elementos teledemandados	Avería en sistema. Riesgo de electrocución.												

Proyecto Constructivo de Instalaciones para la Prolongación Sur del Metropolitano de Granada: Tramo Armilla-Churriana-Las Gabias (T-MG6211/PPR3)

ID	SISTEMA	CATEGORÍA	Punto de Control / Amenaza	Consecuencia del riesgo	Nivel de riesgo inicial			Medida adoptada para mitigación del riesgo			Nivel de riesgo residual				Estado	
					Frecuencia	Severidad	Nivel de riesgo	Cumplimiento del código práctico	Documentos del Proyecto			F	S	N		Riesgo
								Medida adoptada para mitigación del riesgo	MEMORIA ANEJO	PLANO	PLIEGO					
INTERFACES																
REQ-23	Infraestructura-Energía-CMS	Personal	Capacitación insuficiente del personal técnico con responsabilidades en el diseño, ejecución y mantenimiento.	Posibles deficiencias en diseño, ejecución y mantenimiento que puede afectar a seguridad y/o funcionalidad del sistema ferroviario.												
REQ-24	Energía - Infraestructura	Catenaria	Riesgo eléctrico por proximidad de conductores en pasos elevados u otras zonas accesibles (calles con nivel que permiten acceso)	Riesgo de electrocución de personal ajeno al ferrocarril.												
REQ-25	Energía - Mat. Rodante	SUBESTACIONES. Transformadores, seccionadores, interruptores, catenaria. FRENADO REGENERATIVO	El material rodante devuelve corriente a una línea no preparada para el frenado regenerativo energizando una zona neutra.	Perdida de energía. Disminución de la eficiencia energética. Afección a explotación. Pérdida de un sistema principal.												
REQ-26	Energía - Mat. Rodante	SUBESTACIONES. Filtros, Protecciones EMISIONES ELECTROMAGNÉTICAS	El Material Rodante genera exceso de armónicos afectando a los sistemas de señalización.	Afección a Sistemas de Señalización.												
REQ-27	Energía - Mat. Rodante	CATENARIA Pantógrafo	El dispositivo de caída automática de pantógrafo (ADD) especificado para material rodante de alta velocidad no funciona correctamente	Disparo de protecciones del sistema degradando las condiciones de explotación.												
REQ-28	Energía - Mat. Rodante	Catenaria	La geometría de la catenaria se modifica (fatiga de material, condiciones climatológicas, desplazamiento de estructuras) quedando fuera de los márgenes especificados	Afección al punto de contacto del pantógrafo pudiendo ocasionar enganche con hilo de contacto y rotura de la catenaria												

Proyecto Constructivo de Instalaciones para la Prolongación Sur del Metropolitano de Granada: Tramo Armilla-Churriana-Las Gabias (T-MG6211/PPR3)

ID	SISTEMA	CATEGORÍA	Punto de Control / Amenaza	Consecuencia del riesgo	Nivel de riesgo inicial			Medida adoptada para mitigación del riesgo				Nivel de riesgo residual				Estado
					Frecuencia	Severidad	Nivel de riesgo	Cumplimiento del código práctico	Documentos del Proyecto			F	S	N	Riesgo	
								Medida adoptada para mitigación del riesgo	MEMORIA ANEJO	PLANO	PLIEGO					
REQ-29	Energía - Mat. Rodante	Catenaria	Pantógrafo transmite esfuerzos excesivos a catenaria que provocan inestabilidades y deformaciones	Enganchón, rotura catenaria.												
REQ-30	Energía - Mat. Rodante	Catenaria	La Catenaria no es capaz de mantener su estabilidad mecánica y/o eléctrica cuando existen dos pantógrafos operativos próximos	Afección al punto de contacto del pantógrafo pudiendo ocasionar enganche con hilo de contacto y rotura de la catenaria												
REQ-31	Energía - Mat. Rodante	Catenaria Diseño de zonas neutras	Se produce una sobretensión debida a los armónicos generados por el material rodante.	Disparo de protecciones del sistema degradando las condiciones de explotación.												
REQ-32	Energía - CMS		Ocupación de Circuito de Vía (CV) cuando está libre por perturbaciones inducidas de línea de 25 kV.	Parada de Servicio.												
REQ-33	Energía - CMS		Liberación de Circuito de Vía (CV) cuando está ocupado por perturbaciones inducidas de línea de 25kV.	Colisión												
REQ-34	InfraestructuraEnergía-CMS	Registro de infraestructura ferroviaria	Falta de coordinación con el Operador	Material Rodante no compatible con la infraestructura , energía y CMS												
REQ-35	InfraestructuraEnergía-CMS	Líneas eléctricas	Caída de tendido o elementos de soporte de línea eléctricas sobre la traza ferroviaria.	Colisión. Pérdida de sistema principal												
REQ-36	Infraestructura - Energía	Catenaria	Posibles afecciones sobre las catenarias existentes	Colisión. Descarrilamiento												
REQ-37	Energía – Infraestructura	Catenaria	Infraestructura no compatible con el gálibo eléctrico del pantógrafo	Colisión. Descarrilamiento.												

12.4.5 Conclusiones del estudio preliminar de seguridad

Es importante destacar que todos y cada uno de los subsistemas serán analizados durante la duración y ejecución de las obras, completando el registro de peligros en base a cumplimiento de código práctico, sistema de referencia, estimación del riesgo y requisito de seguridad establecido por el reglamento en cuestión.

Con toda esta información y con el correspondiente informe del evaluador independiente se elaborará el definitivo Estudio RAMS del sistema.

12.5 CICLO DE VIDA Y PLAN DE REPUESTOS

Con el paso del tiempo las tasas de deterioro de los componentes de los equipos y sistemas hacen que tiendan a fallar. Con estudios realizados en base a análisis estadísticos se puede pronosticar la vida útil de un equipo.

Representando la probabilidad de fallos con relación al tiempo se obtiene una curva denominada de "bañera", donde al inicio hay una disminución del número de fallos iniciales (mortalidad infantil) y al final se produce un incremento en la tasa de fallos.

El aumento acelerado del número de fallos es lo que indica el fin del ciclo de vida útil del equipo, entendiéndose por vida útil el periodo de tiempo durante el cual el equipo desempeña su función con una tasa de fallas aceptable.

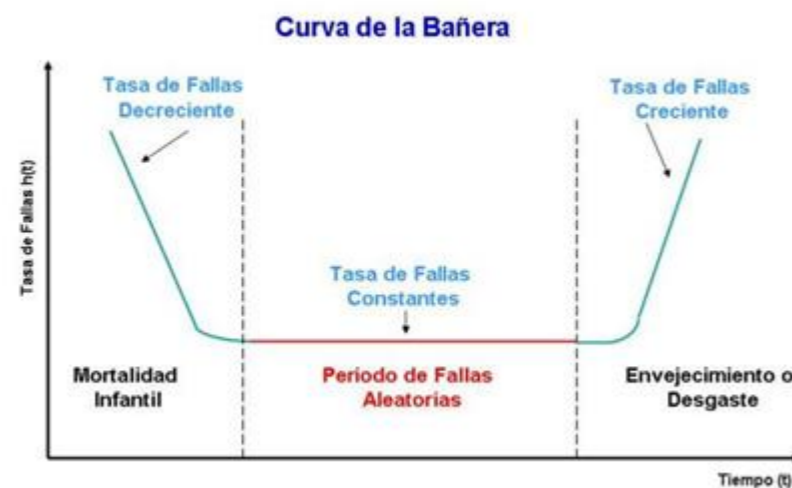


Figura 26. Curva bañera teórica

En base a la experiencia en obras de ejecución y de mantenimiento, los equipos se comportarán conforme a la curva de bañera mostrada en la figura.

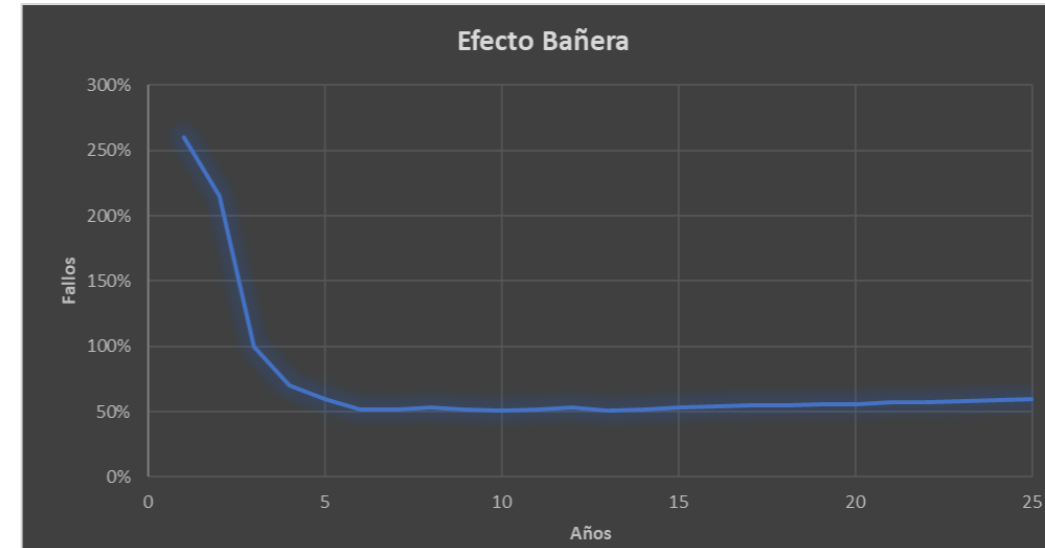


Figura 27. Curva bañera – análisis estadístico experiencia

Determinar el punto óptimo a partir del cual la probabilidad de que el equipo falle y asuma valores indeseables, trae como resultado, índices ideales de prevención de fallos, tanto en el aspecto técnico como en el económico, ya que la intervención en el equipo no es efectuada durante el periodo en que aún está en condiciones de prestar servicio, ni en el periodo en que sus características operativas están comprometidas.

Se entiende por renovación la sustitución programada de un componente por su aproximación al final de su vida útil.

Asimismo, el desarrollo tecnológico de los equipos y sistemas, así como la aparición de nuevos productos puede hacer aconsejable la renovación de estos.

Se incluye a continuación un análisis, para cada subsistema, sobre su vida útil y las actuaciones de renovación previstas:

12.5.1 Actuaciones renovación subsistema subestaciones de tracción

La vida útil de los equipos de subestaciones, no son genéricos, ya que los diferentes equipos específicos se ven afectados por los siguientes factores:

- Normas de diseño
- Normas de construcción
- Criterios de carga

Proyecto Constructivo de Instalaciones para la Prolongación Sur del Metropolitano de Granada: Tramo Armilla-Churriana-Las Gabias (T-MG6211/PPR3)

- Política de mantenimiento
- Procedimiento y prácticas de mantenimiento
- Práctica de explotación
- Medio ambiente en que los equipos en general son explotados

Son estas variables las que son tenidas en cuenta en el cálculo de la vida útil de los equipos, comenzando por la que indican los diferentes fabricantes, que se alargará o acortará, dependiendo de dichos factores.

Para el estudio pormenorizado de cada uno de los equipos, se utilizan los siguientes modelos matemáticos:

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

Siendo

Ro(t) Fiabilidad inicial, sin tener en cuenta ninguna variable de afectación, únicamente el paso del tiempo (tiempo de operación)

λt Tasa de fallo, calculada a partir del histórico

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

Siendo

R(t) Fiabilidad teniendo en cuenta aquellas variables que la pueden afectar negativamente (por ejemplo, el grado de humedad)

Z(t) Representación matemática de la afectación (en la fiabilidad) a partir de las variables:

$$Z(t) = \gamma_1 Z_1(t) + \gamma_2 Z_2(t) + \gamma_3 Z_3(t)$$

Siendo

Zn(t) Variables que afectan a la fiabilidad

Y Ponderaciones de la afectación producida por cada variable

El riesgo, normalmente estimado en euros, nos permite cuantificar y comparar en términos económicos para cada instante, opciones tales, entre otras, como "no hacer nada (riesgo= X euros) Vs ejecución mantenimiento preventivo (X euros)".

$$Riesgo(t, t + \Delta t) = \frac{R(t) - R(t + \Delta t)}{R(t)}$$

En función de estos estudios y los conocimientos adquiridos por la experiencia, se elabora el siguiente cuadro:

ELEMENTOS SUBESTACIONES/CENTROS	ANÁLISIS VIDA ÚTIL
Seccionadores	Al menos 30 años
Transformadores	Al menos 30 años
Autoválvulas	Al menos 30 años
Interruptores	Al menos 30 años
Celdas	Al menos 30 años
Retornos	Al menos 30 años
Seccionadores de pórtico	Al menos 30 años
Cables conductores	Al menos 30 años
Cuadros	Al menos 30 años
Calidad energía	Al menos 16 años
Equipamiento de medida	Al menos 16 años
Sistema SCADA	Al menos 8 años
Sistema SICD	Al menos 16 años
Integración comunicaciones	Al menos 8 años

Tabla 20. Vida útil de los elementos de subestaciones

12.5.2 Actuaciones renovación subsistema catenaria

Para el análisis del coste del ciclo de vida del subsistema catenaria, se muestra la siguiente tabla:

Proyecto Constructivo de Instalaciones para la Prolongación Sur del Metropolitano de Granada: Tramo Armilla-Churriana-Las Gabias (T-MG6211/PPR3)

ELEMENTOS LAC	ANALISIS VIDA UTIL
Postes, pórticos, silletas	Superior o igual a 30 años
Ménsulas	Superior o igual a 30 años
Conjuntos de giro	Superior o igual a 30 años
Suspensiones	Superior o igual a 30 años
Atirantados	Superior o igual a 30 años
Anclajes	Superior o igual a 30 años
Puntos fijos	Superior o igual a 30 años
Sistemas de compensación	Superior o igual a 30 años
Hilo de contacto	Superior o igual a 30 años
Parafil	Superior o igual a 30 años
Puestas a tierra	Superior o igual a 30 años
Autoválvulas	Superior o igual a 30 años
Conexiones de protección	Superior o igual a 30 años
Seccionadores	Superior o igual a 30 años
Alimentación y conexiones	Superior o igual a 30 años

Tabla 21. Vía útil de los elementos de catenaria

12.5.3 Listado de repuestos

Durante todo el proceso de ejecución de las obras, se irán recopilando los datos de los elementos y equipamientos por parte de los distintos fabricantes, con el objetivo principal de elaborar una documentación final de obra que sirva de base para la elaboración del informe definitivo de Estudio RAMS del sistema.

Con esta información, además de completar los apartados anteriores en cuanto a vida útil del equipamiento por parte del fabricante, se elaborará un listado de repuestos, donde se indicará el número de repuestos, así como el stock mínimo disponible.

13 SISTEMAS

13.1 DEFINICIONES, ABREVIATURAS Y REFERENCIAS

El presente apartado contiene las definiciones a aplicar en el marco de la RAMS en el proyecto.

13.1.1 Abreviaturas

Auditoria	Examen sistemático e independiente destinado a determinar si los procedimientos específicos de los requisitos de un producto cumplen las disposiciones planificadas, se ponen en práctica eficazmente y resultan idóneos para alcanzar los objetivos especificados.
Avería	Cualquier anomalía que se produce en un sistema y que impide que éste funcione en las condiciones en las cuáles se proyectó. Dicha anomalía debe estar causada por problemas internos del sistema.
Ciclo de vida del sistema	Las actividades que se desarrollan durante un periodo de tiempo que se inicia cuando un sistema es ideado, y finalizan cuando el sistema ya no está disponible para ser utilizado, es retirado de servicio y eliminado.
Disponibilidad del Sistema ¹	Es un indicador de capacidad del sistema para desarrollar su función durante un tiempo determinado y en condiciones y rendimientos definidos. La evaluación de la disponibilidad se realizará mediante la relación entre el tiempo de funcionamiento y los valores previamente establecidos como teóricos. Quedan excluidos del indicador aquellas perturbaciones causadas por factores externos al sistema.
Documentos aplicables	Dan las reglas y principios que serán usados como una guía para el conjunto de actividades del Proyecto. La aplicación de los documentos es obligatoria y puede ser sometida a auditorias.
Documentos de referencia	Son los utilizados para implementar las actividades del Proyecto. No son contractuales y su aplicación no está sujeta a Auditorias. Sin embargo, pueden ser consultados durante las mismas con el objeto de clarificar algún punto particular de un procedimiento.
Elemento esencial del Sistema	Conjunto de equipos que desarrollan una funcionalidad clara y delimitada
Evaluación	Realización de una investigación con el fin de llegar a un juicio, basado en pruebas, sobre la idoneidad de un producto
Fallo afectando al servicio	Equivalente a "Avería", en el marco del "Proyecto de Construcción de señalización, seguridad y comunicaciones del metro ligero de Granada"
Fallo de causa común	Fallo que es el resultado de uno o varios sucesos que ocasionan la coincidencia de estados de fallo de dos o más componentes que conducen a que un sistema no realice la función requerida de él.
Fiabilidad del Sistema ²	Es un indicador que evalúa la calidad técnica comercial en comparación

Proyecto Constructivo de Instalaciones para la Prolongación Sur del Metropolitano de Granada: Tramo Armilla-Churriana-Las Gabias (T-MG6211/PPR3)

	con las condiciones técnicas para las que fueron proyectadas. En la evaluación de la fiabilidad se medirán las averías ocurridas en un intervalo de tiempo. Quedan excluidas del indicador aquellas averías causadas por factores externos al sistema.
Intervención	Cualquier acción de mantenimiento imprevisto
Mantenibilidad	La probabilidad de que una acción dada de mantenimiento activo, correspondiente a un elemento en unas condiciones de utilización dadas, pueda ser llevada a cabo en un intervalo establecido de tiempo cuando el mantenimiento se realiza en condiciones establecidas y se utilizan procedimientos y recursos establecidos.
Mantenimiento	La combinación de todas las acciones técnicas y administrativas, incluidas las acciones de supervisión, destinadas a mantener un producto en un estado en el que pueda realizar una función requerida, o a devolverlo a dicho estado.
Mantenimiento Correctivo	El mantenimiento realizado después de la identificación de un defecto y destinado a poner un producto en una condición en la que pueda realizar una función.
Mantenimiento Preventivo	El mantenimiento llevado a cabo a intervalos predeterminados o de acuerdo con criterios prescritos y destinados a reducir la probabilidad de fallos o la degradación del funcionamiento de un elemento.
Peligro	Una situación física que encierra posibilidades de que se produzcan lesiones humanas.
Plan de garantía del sistema	Plan cuya aplicación "asegura que los requisitos de disponibilidad de servicio del Sistema se cumplen al tiempo que se minimizan y controlan los costes de explotación y mantenimiento".
Plan de Seguridad	Un conjunto de actividades programadas temporalmente, recursos y supuestos que sirven para poner en práctica la estructura organizativa, las responsabilidades, procedimientos, actividades, capacidades y recursos que juntos garantizan que un elemento cumplirá unos requisitos de seguridad dados y pertinentes a un contrato o proyecto determinado.
Puesta en Servicio	Término colectivo referido a las actividades emprendidas a fin de preparar un sistema o producto antes de demostrar que cumple con los requisitos especificados.
Reparación	La parte del mantenimiento correctivo en la que se realizan acciones manuales sobre un elemento.
Riesgo	La tasa probable de ocurrencia de un peligro que ocasione daño, y el grado de severidad del mismo.
Seguridad	Ausencia de riesgo inaceptable de daño.
Validación	Confirmación mediante examen y aportación de pruebas objetivas de que los requisitos particulares para un uso específico pretendido han sido cumplidos.
Verificación	Confirmación mediante examen y aportación de pruebas objetivas de que

13.1.2 Definiciones

AMDEC	Análisis de Modo de Fallos y Criticidades
AT	Alta Tensión
BT	Baja Tensión
CP	Coefficiente Penalización
D	Disponibilidad
F	Fiabilidad
FDMS	Fiabilidad, Disponibilidad, Mantenibilidad y Seguridad
LAC	Línea Aérea de Contacto
MT	Media Tensión
MTBF	Mean time between failures ("Tiempo medio entre fallos")
MTTR	Tiempo de reparación
MTTRS	Tiempo medio de restauración de servicio
PCC	Puesto de Control Centralizado
SAE	Sistema de Ayuda a la Explotación

13.1.3 Referencias

[R1]	Especificación General del Sistema (Proyecto de construcción de señalización, seguridad y comunicaciones del metro ligero de Granada)
[R2]	UNE 50-126-94 Normativa FDMS Europea

Proyecto Constructivo de Instalaciones para la Prolongación Sur del Metropolitano de Granada: Tramo Armilla-Churriana-Las Gabias (T-MG6211/PPR3)

13.2 DESCRIPCIÓN FUNCIONAL Y TÉCNICA DE LOS SUBSISTEMAS

Los sistemas principales para considerar desde el punto de vista de RAMS son los siguientes, con sus características y funcionalidades más relevantes:

NOTA: en caso de contradicción entre lo abajo descrito y lo definido en el Anejo correspondiente, prevalecerán las informaciones descritas en este último.

Sistema	Descripción técnica	Aplicación específica y funcionalidad	Elementos básicos
<i>Señalización Ferroviaria</i>	<i>El sistema de señalización ferroviaria será el responsable de garantizar la seguridad de la circulación de los tranvías en algunos puntos singulares de la línea mediante la lógica de enclavamientos que informará convenientemente al conductor de las opciones a tomar.</i>	<i>Permitir el movimiento en seguridad del material móvil en las zonas de agujas, controlar la velocidad del tren en las curvas.</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Armario controlador con toda la lógica de relees, tarjetas electrónicas etc que compondrán el "cerebro" de la señalización. - Equipos de vía destinados a la detección de la presencia del material móvil. - Equipos de vía destinados a la petición de itinerario por parte de un material móvil. - Equipos de vía destinados a la motorización de accionamientos en línea - Material embarcado (ATP)
<i>Semaforización</i>	<i>Es el sistema que permite la compatibilidad de circulación del metro ligero con la del resto de vehículos allí donde existe en riesgo de interferencia. Está formada por todos y cada uno de los equipos, cabezas de semáforos, pulsadores, detectores en vía, controladores que permiten que el metro ligero discurra con la marcha proyectada en los diferentes cruces con el tráfico rodado.</i>	<i>Asegurar la inserción en seguridad del metro ligero en la circulación rodada en todos y cada uno de los cruces a lo largo del trazado permitiendo, a su vez, mantener a éste la marcha comercial prevista.</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Cada intersección viaria entre el metro ligero y vehículos o peatones a lo largo del trazado.

Proyecto Constructivo de Instalaciones para la Prolongación Sur del Metropolitano de Granada: Tramo Armilla-Churriana-Las Gabias (T-MG6211/PPR3)

Sistema	Descripción técnica	Aplicación específica y funcionalidad	Elementos básicos
Sistema de Control, supervisión y Comunicaciones	Sistema de comunicaciones que une al nivel de informaciones las instalaciones fijas en línea y talleres con el PCC	Recopilar y transmitir las informaciones relevantes para la operación y mantenibilidad del sistema desde los diferentes puntos de la línea y talleres hasta el Centro de Control. Entiéndase por informaciones la voz y datos a nivel de instalaciones fijas así como todas las alarmas técnicas de equipos en vía.	<ul style="list-style-type: none"> -Nodos de comunicación. - Red de transmisión fibra - Control de accesos y video vigilancia - Telemando de energía e instalaciones fijas - Megafonía - Interfonía - Cronometría
Billeteaje	Sistema encargado de la producción, venta, validación y administración de los títulos de transporte que los usuarios del metro ligero utilizan para pagar el servicio prestado.	Permitir la adquisición de títulos de transporte y la validación de los mismos por parte de los usuarios del metro ligero. Asimismo, estas ventas y validaciones deben aparecer reflejadas en el sistema central con el fin de permitir realizar estudios de afluencia de viajeros.	<ul style="list-style-type: none"> - Distribuidoras de billetes. - Canceladoras de billetes. - Equipos centrales de gestión de billeteaje. - Equipos embarcados.

Sistema	Descripción técnica	Aplicación específica y funcionalidad	Elementos básicos
Sistema SAE	Sistema encargado de suministrar al Operador todas las informaciones necesarias (en tiempo real y en tiempo diferido) para operar la línea de la manera más optimizada posible en términos de regularidad y ocupación de la flota. Informa de la posición de cada unidad de metro ligero en línea y permite al operador realizar acciones correctivas en caso de incidencia teniendo a su disposición las informaciones de la totalidad de la flota en línea. Queda excluido el sistema radio que comunica en tiempo real el metro ligero con el Centro de Control.	Proveer al operador en el Centro de Control de todas las informaciones necesarias (tanto a nivel de voz como de datos) sobre la flota de metros ligeros para que ése optimice en todo momento la distribución de metros ligeros en línea y tome las decisiones oportunas ante cualquier incidencia.	<ul style="list-style-type: none"> - Puesto SAE en Centro de Control. - Sistema de detección de metro ligero en línea. - Equipos embarcados de recepción / transmisión de datos (si los hubiere). - Equipos transmisores receptores radio. - Infraestructura TETRA
Sistema de Información al viajero	Sistema encargado de dotar al viajero de todas las informaciones relacionadas con el metro ligero necesarias para que pueda realizar, paradas, prever, anticipar o modificar el trayecto con anterioridad al inicio del mismo.	Informar al viajero en tiempo real de todos los datos relevantes sobre el trayecto que puede realizar, paradas, correspondencias con otros medios de transporte, tiempos de espera, etc.	<ul style="list-style-type: none"> - Pantallas de información viajeros en paradas. - Pantallas de información viajeros embarcadas.
Sistema elementos de talleres	Conjunto de medios, maquinaria y utillajes que permiten el mantenimiento (preventivo y correctivo) de los metros ligeros.	Permitir al mantenedor realizar el mantenimiento de los metros ligeros en condiciones adecuadas de timing y safety con los medios previstos.	<ul style="list-style-type: none"> - Torno en foso. - Arenero y distribución - Máquina de lavado - Gatos hidráulicos - Puentes grúa - Cabina de pintura - Lavado de bogues - Grupo electrógeno - Biviales

Proyecto Constructivo de Instalaciones para la Prolongación Sur del Metropolitano de Granada: Tramo Armilla-Churriana-Las Gabias (T-MG6211/PPR3)

Sistema (Si)	i	Elemento esencial del Sistema (Esi)	Cálculo del tiempo de Servicio Programado del Sistema (TS Si)
Sistema de SAE	8	Equipo GAE en Centro de Control + equipos SAE embarcados.	(Núm. de puestos operador en Centro de Control) x (tiempo funcionamiento mensual del sistema) + (núm. de tranvías en línea) x (Tiempo mensual de los tranvías en línea) (Tiempo de funcionamiento mensual del sistema) + (Tiempo mensual de los tranvías en línea)
Sistema de Información al viajero	9	Pantallas de información viajeros en parada + Pantalla de información viajeros embarcada	núm. total de pantallas de información viajeros x tiempo funcionamiento mensual del sistema
Sistema elementos de talleres	10	Cada una de las máquinas de talleres con su fiabilidad determinada.	-

- La definición de los elementos esenciales del sistema para el cálculo de la fiabilidad será responsabilidad de cada entidad adjudicataria. Se adjunta una propuesta orientativa:

Sistema de Señalización Ferroviaria	4	Enclavamiento	(núm. Enclavamientos) x (tiempo de funcionamiento mensual de cada enclavamiento)
Sistema de semaforización	5	Cruce señalizado	(Núm. cruces) x (tiempo de funcionamiento mensual de cada cruce)
Sistema de Control, supervisiones y Comunicaciones	6	Nodo de comunicaciones	(Núm. de nodos) x (Tiempo de funcionamiento mensual de 1 nodo)
Sistema de Billetaje	7	Máquina Distribuidora de billetes + Máquina de validación de billetes + Maquinaria embarcada + Sistema de control y gestión centralizada de billetes.	(Núm. Máquinas Distribuidoras + núm. de máquinas de validación + núm. de equipos embarcados + Sistema de control y gestión centralizada de billetes) x (tiempo funcionamiento mensual del sistema)

13.3 POLÍTICA Y OBJETIVOS DE FIABILIDAD, MANTENIBILIDAD Y DISPONIBILIDAD

13.3.1 Introducción

13.3.1.1 Objetivos Cualitativos

Con el objeto de optimizar los resultados de explotación a lo largo del ciclo de vida del sistema, la política de RAMS consiste en:

- Maximizar el tiempo de servicio del sistema;
- Minimizar el número de trayectos perdidos respecto al gráfico teórico de servicio;
- Minimizar el número de averías en los diferentes Sistemas.

Para ello se considera prioritario alcanzar los objetivos mínimos en los indicadores de Calidad de Servicio que se detallan en los apartados siguientes.

El alcance de tales objetivos se ve influido de tres formas:

- Por fuentes de fallos introducidos internamente dentro del sistema en fase del ciclo de vida de este (condiciones del sistema);
- Por fuentes de fallos impuestos sobre el sistema durante su funcionamiento (condiciones de operación);
- Por fuentes de fallos impuestos sobre el sistema durante las actividades de mantenimiento.

En el marco del presente proyecto:

- Se evaluarán los fallos propios del ciclo de vida del sistema. Quedan excluidos los fallos producidos por condiciones de operación y mantenimiento;
- Se especificarán las interfaces con los elementos del sistema ajenos a los Sistemas considerados en el presente proyecto (obra civil, material móvil, etc.);
- Se especificarán los requerimientos que se deben exigir al mantenedor y operador para el cumplimiento de los objetivos de servicio de los Sistemas.

A continuación, se definen cuáles son los objetivos específicos para el suministro, mediante los parámetros y las fórmulas de cálculo y evaluación.

13.3.2 Niveles de servicio requeridos

13.3.2.1 Disponibilidad

Los valores requeridos para la Disponibilidad de los Sistemas.

Proyecto Constructivo de Instalaciones para la Prolongación Sur del Metropolitano de Granada: Tramo Armilla-Churriana-Las Gabias (T-MG6211/PPR3)

SISTEMA	OBJETIVOS
Sistema de Señalización Ferroviaria	D ≥ 98.5%
Sistema de Semaforización	D ≥ 98.5%
Sistema de Control, supervisión y comunicaciones	D ≥ 98.5%
Sistema de Billetaje	D ≥ 98.5%
Sistema de SAE	D ≥ 98.5%
Sistema de Información al viajero	D ≥ 98.5%
Talleres	D ≥ 98.5%

13.3.2.2 Fiabilidad

Los valores requeridos para la Fiabilidad de los Sistemas:

SISTEMA	OBJETIVOS
Sistema de Señalización Ferroviaria	F ≥ 98.5%
Sistema de Semaforización	F ≥ 98.5%
Sistema de Control, supervisión y comunicaciones	F ≥ 98.5%
Sistema de Billetaje	F ≥ 98.5%
Sistema de SAE	F ≥ 98.5%
Sistema de Información al viajero	F ≥ 98.5%
Talleres	F ≥ 98.5%

13.4 PLAN DE SEGURIDAD

Para cada Sistema se realizará un Plan de Seguridad. Dicho Plan servirá para la Predicción de la Fiabilidad y el análisis del Mantenimiento Correctivo.

Se incluirán notas indicando cuál es la procedencia de la información relativa a las distintas tasas de fallo (experiencia previa, normativa, etc.)

Para cada una de las distintas categorías de fallos que se indican en el apartado siguiente se realizará una Previsión de Fiabilidad.

13.4.1 Concepto de riesgo

El concepto de riesgo se debe considerar según la combinación de dos elementos:

- La probabilidad de ocurrencia de un suceso o una combinación de sucesos que conduzcan a un peligro, o la frecuencia de tal ocurrencia;
- La consecuencia del peligro

13.4.2 Análisis de riesgos

13.4.2.1 Documentación

El análisis de riesgos será igualmente aplicable para cada Sistema, y se debe realizar en diversas fases del ciclo de vida del sistema por la autoridad responsable de dicha fase. La documentación que debe contener el estudio, como mínimo:

- La metodología de análisis;
- Las hipótesis, las limitaciones y la justificación;
- Los resultados de la identificación de peligros;
- Los resultados del cálculo de riesgos y sus niveles de confianza;
- Los resultados de los estudios de ponderación;
- Los datos, sus fuentes y sus niveles de confianza;
- Referencias.

13.4.2.2 Frecuencia de sucesos

A continuación, se muestra en términos cuantitativos, categorías típicas de la probabilidad o de la frecuencia con que se da un suceso de peligro, como una descripción de cada categoría correspondiente al sistema. Las categorías, sus números y la graduación numérica deberán definirse en acuerdo con AOPJA.

Categoría	Descripción
Frecuente	Es probable que ocurra con frecuencia. El peligro se experimentará continuamente.
Probable	Se dará varias veces. Puede esperarse que el peligro ocurra con frecuencia.
Ocasional	Es probable que se dé varias veces. Puede esperarse que el peligro ocurra varias veces.
Remoto	Es probable que se de alguna vez en el ciclo de vida del sistema. Puede razonablemente que el peligro ocurra.
Improbable	El improbable, aunque posible que ocurra. Puede suponerse que el peligro ocurrirá excepcionalmente.
Increible	Es extremadamente improbable que ocurra. Puede suponerse que el peligro pueda no ocurrir.

13.4.2.3 Gravedad del peligro

El análisis de consecuencias se debe utilizar para calcular el impacto probable. La siguiente tabla describe los niveles típicos de gravedad de los peligros y las consecuencias asociadas

Proyecto Constructivo de Instalaciones para la Prolongación Sur del Metropolitano de Granada: Tramo Armilla-Churriana-Las Gabias (T-MG6211/PPR3)

a cada nivel de gravedad para los Sistemas que tratamos. El número de niveles de gravedad y las consecuencias de cada nivel de gravedad que se aplique deberá definirse en acuerdo con AOPJA.

Nivel de Gravedad	Consecuencia para las personas o el Medio Ambiente	Consecuencia para el Servicio
Catastrófico	Víctimas Mortales y/o múltiples heridas graves y/o daños importantes al medio ambiente	
Crítico	Una sola víctima mortal y/o daños señalados al medio ambiente	Pérdida de un sistema principal
Mínimo	Heridas menores y/o peligro señalada al medio ambiente	Daño grave al sistema o sistemas
Insignificante	Posible herida menor	Daño menor al sistema

13.4.3 Evaluación y aceptación de riesgos

A continuación, se especifica la matriz frecuencia-consecuencia como herramienta para la evaluación de los resultados del análisis, la categorización, las acciones para la reducción o la eliminación de los riesgos.

La evaluación de riesgos se deberá realizar combinando la frecuencia con la que ocurre un suceso peligroso con la gravedad de sus consecuencias, a fin de establecer el nivel de riesgo generado por el suceso amenazante.

Frecuencia de ocurrencia de un suceso amenazante	Niveles de riesgo			
	Insignificante	Mínimo	Crítico	Catastrófico
Frecuente				
Probable				
Ocasional				
Remoto				
Improbable				
Increible				
	Insignificante	Mínimo	Crítico	Catastrófico
	Niveles de Gravedad de las Consecuencias del Peligro			

En la siguiente tabla se definen las categorías cualitativas de riesgo, así como las acciones que deben tomarse ante cada categoría. El adjudicatario de cada Sistema deberá acordar con AOPJA la tolerabilidad de los riesgos, así como los niveles que se incluyan en cada categoría.

Categoría de Riesgo	Acciones que se deberán tomar ante cada categoría
Intolerable	Debe eliminarse
No Deseable	Sólo debe aceptarse cuando la reducción del riesgo sea impracticable, y con el acuerdo de Ferrocarriles Andaluces (o del Organismo Regulador de la seguridad, según proceda)
Tolerable	Aceptable con un control adecuado y con el acuerdo de Ferrocarriles andaluces
Insignificante	Aceptable con/sin el acuerdo de Ferrocarriles Andaluces

A continuación, se muestra un ejemplo de evaluación de riesgos y de reducción /control de riesgos, a modo de sugerencia para los diferentes Sistemas:

Frecuencia de ocurrencia de un suceso amenazante ⁶	Niveles de riesgo			
	Insignificante	Mínimo	Crítico	Catastrófico
Frecuente	No deseable	Intolerable	Intolerable	Intolerable
Probable	Tolerable	No deseable	Intolerable	Intolerable
Ocasional	Tolerable	No deseable	No deseable	Intolerable
Remoto	Insignificante	Tolerable	No deseable	No deseable
Improbable	Insignificante	Insignificante	Tolerable	Tolerable
Increible	Insignificante	Insignificante	Insignificante	Insignificante
	Insignificante	Mínimo	Crítico	Catastrófico
	Niveles de Gravedad de las Consecuencias del Peligro			