



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

Estudio de Fiabilidad del sistema de frenos de un vehículo
ferroviario

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

AUTOR/A: Sarango Matamoros, Ayanelis Brigitte

Tutor/a: Besa González, Antonio José

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024

AGRADECIMIENTOS

Aprovecho este TFG para agradecer a mi familia y amigos que me han apoyado durante estos cuatro años de carrera. Han sido cuatro años llenos de emociones, llenos de experiencias que nunca olvidaré.

Y sobre todo me gustaría agradecer a Neda Shamlou, mi tutora de prácticas de empresa, sin ella este proyecto no habría sido posible.

RESUMEN

El presente trabajo de fin de grado (TFG) se centra en el estudio de Fiabilidad del sistema de frenos de un vehículo ferroviario. El estudio se basa en la revisión de la tecnología de frenos utilizada actualmente en los vehículos en cuestión y los tipos de fallos relevantes, sobre todo enfocados en aquellos que suponen problemas para la disponibilidad del servicio.

El trabajo de fin de grado ha sido realizado de un vehículo ferroviario, compuesto por 4 coches. Dos coches cabina con bogie motor y dos coches con bogie remolque. Debido a la extensión del proyecto, el estudio se ha desarrollado siguiendo el esquema de un coche con bogie remolque, puesto que este presenta aquellos paneles que son comunes en los 4 coches.

La metodología utilizada se centra en el Análisis de modos de Fallos y Efectos (FMEA). El FMEA comprende el desglose de la estructura del sistema, hasta el nivel de componente de cada subsistema, los modos de fallo individuales en cada caso (con su causa asociada), como las consecuencias en servicio en cada caso. Los resultados de este estudio se integran en los cálculos predictivos de fiabilidad del vehículo y se centran en la detección de elementos críticos para el mismo, con el objetivo de ayudar a los diseñadores en la toma de decisiones sobre la arquitectura de los vehículos, en fase previa a congelación de los mismos, y, por otro lado, centrar la atención de los mantenedores en la vigilancia de los elementos críticos durante la vida útil del vehículo.

Para la detección de elementos críticos se ha empleado el NPR (Numero de Ponderación de Riesgo). Este valor establece una jerarquía entre los fallos. Se obtiene multiplicando el grado de severidad, ocurrencia y detectabilidad.

Palabras Clave: Análisis de modos de fallos y efectos, sistema de frenos, paneles de corte y Número de Ponderación de Riesgo.

RESUM

El present treball de fi de grau (TFG) es centra en l'estudi de Fiabilitat del sistema de frens d'un vehicle ferroviari. L'estudi es basa en la revisió de la tecnologia de frens utilitzada actualment en els vehicles en qüestió i els tipus de fallades rellevants, sobretot enfocats en aquells que suposa problemes per a la disponibilitat del servici.

El treball de fi de grau ha sigut realitzat d'un vehicle ferroviari, compost per 4 cotxes. Dos cotxes cabina amb bogie motor i dos cotxes amb bogie remolc. A causa de l'extensió del projecte, l'estudi s'ha desenvolupat seguint l'esquema d'un cotxe amb bogie remolc, ja que, este presenta aquells panells que són comuns en els 4 cotxes.

La metodologia utilitzada se centra en l'Anàlisi de modes de Fallades i Efectes (FMEA). El FMEA comprèn el desglossament de l'estructura del sistema, fins al nivell de component de cada subsistema, els modes de fallades individuals en cada cas (amb la seua causa associada), com les conseqüències en servici en cada cas. Els resultats d'este estudi s'integren en els càlculs predictius de fiabilitat del vehicle i se centren en la detecció d'elements crítics per a este, amb l'objectiu d'ajudar als dissenyadors en la presa de decisions sobre l'arquitectura dels vehicles, en fase prèvia a congelació d'estos, i, d'altra banda, centrar l'atenció dels mantenidors en la vigilància dels elements crítics durant la vida útil del vehicle.

Per a la detecció d'elements crítics s'ha emprat el NPR (Nombre de Ponderació de Risc). Este valor estableix una jerarquia entre les fallades. S'obté multiplicant el grau de severitat, ocurrència i detectabilitat.

Paraules Clau: Anàlisi de modes de fallades i efectes, sistema de frens, panells de tall i Número de Ponderació de Risc.

ABSTRACT

This Final Degree Project (TFG) focuses on the study of the reliability of the braking system of a railway vehicle. The study is based on the review of the brake technology currently used in the vehicles in question and the relevant types of failures, mainly focusing on those that imply problems for service availability.

The end-of-degree project has been carried out on a railway vehicle consisting of 4 cars. Two cab cars with motor bogie and two cars with trailer bogie. Due to the extension of the project, the study has been developed following the scheme of a car with a trailer bogie since it presents those panels common in the 4 cars.

The methodology used focuses on the Failure Mode and Effects Analysis (FMEA). FMEA comprises the breakdown of the system structure down to the component level of each subsystem, the individual failure modes in each case (with their associated cause), and the in-service consequences in each case. The results of this study are integrated into the predictive calculations of vehicle reliability. They are focused on the detection of critical elements for the vehicle to help designers make decisions on the architecture of the vehicles in the phase before freezing them, and, on the other hand, to focus the attention of the maintainers on the surveillance of the critical elements during the useful life of the vehicle.

The NPR (Risk Weighting Number) has been used to detect critical elements. This value establishes a hierarchy between failures. It is obtained by multiplying the degree of severity, occurrence and detectability.

Keywords: Failure modes and effects analysis, brake system, shear panels and risk weighting number.

LISTA DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1: Garzón, N., & Garzón, N. (2023, 26 octubre). Minimiza riesgos en procesos industriales con un análisis experto. Consejos de Emprendimiento y Marketing Digital Para Tu Negocio. Disponible en: <https://ambartlab.com.ar/analisis-de-riesgos-en-procesos-industriales/> (página 10)

ILUSTRACIÓN 2: Qué es FMEA y cómo aplicarlo en sus procesos. (2024, 2 agosto). SoftExpert Blog. Disponible <https://blog.softexpert.com/es/7-pasos-estructura-fmea-aiag-vda> (página12)

ILUSTRACIÓN 3: López, J. (2023, 28 octubre). El primer tren de España cumple hoy 175 años. El Debate. https://www.eldebate.com/espana/cataluna/20231028/primer-tren-espana-cumple-hoy-175-anos_149574.html (página 14)

ILUSTRACIÓN 4: Automotor electro ICE 4 BR 412/812 DB AG mfx Sound. (s. f.). Escala HO. Disponible en: <https://www.modellbahnunion.com/Escala-HO/automotor-electro-ICE-4-BR-412-812-DB-AG-mfx-Sound.htm?shop=modellbahn-union-es&a=article&ProdNr=Trix-T22971&p=802> (página 21)

ILUSTRACIÓN 5: Automotor electro ICE 4 BR 412/812 DB AG mfx Sound. (s. f.). Escala HO. Disponible en: <https://www.modellbahnunion.com/Escala-HO/automotor-electro-ICE-4-BR-412-812-DB-AG-mfx-Sound.htm?shop=modellbahn-union-es&a=article&ProdNr=Trix-T22971&p=802> (página 22)

ILUSTRACIÓN 6: Elaboración propia (página 22)

ILUSTRACIÓN 7: Automotor electro ICE 4 BR 412/812 DB AG mfx Sound. (s. f.). Escala HO. Disponible en: <https://www.modellbahnunion.com/Escala-HO/automotor-electro-ICE-4-BR-412-812-DB-AG-mfx-Sound.htm?shop=modellbahn-union-es&a=article&ProdNr=Trix-T22971&p=802> (página 23)

ILUSTRACIÓN 8: Elaboración propia (página 23)

ILUSTRACIÓN 9: Elaboración propia (página 26)

ILUSTRACIÓN 10: Elaboración propia (página 26)

ILUSTRACIÓN 11: Elaboración propia (página 27)

ILUSTRACIÓN 12: Elaboración propia (página 28)

ILUSTRACIÓN 13: Fu Chengjun, Li Tao, Chen Xihong, Sun Yongpeng, Tao Gongan & Ltd, C. Z. E. L. C. (2010a, mayo 19). CN101857033A - 80km/h speed class B-type subway vehicle bogie. Disponible en: <https://patents.google.com/patent/CN101857033A/en> (página 30)

ILUSTRACIÓN 14: Elaboración propia (página 31)

ILUSTRACIÓN 15: Elaboración propia (página 32)

ILUSTRACIÓN 16: Elaboración propia (página 33)

ILUSTRACIÓN 17: Government of Canada, Transportation Safety Board of Canada. (2022, 31 marzo). Locomotive and freight car brakes (p. 209 of the report).
<https://www.tsb.gc.ca/eng/medias-media/fiches-facts/R19C0015/r19c0015-20220331-3.html>
(página 33)

LISTA DE GRÁFICAS

GRÁFICA 1: Elaboración propia con datos del INE. Spanish Statistical Office. (s. f.). INEbase. CONSUL. INE. <https://www.ine.es/consul/serie.do?d=true&s=TF11>

GRÁFICA 2: Elaboración propia con datos del INE. Spanish Statistical Office. (s. f.). INEbase. CONSUL. INE. <https://www.ine.es/consul/serie.do?d=true&s=TF11>

Índex

1.	OBJETIVOS.....	9
2.	INTRODUCCIÓN.....	10
2.1	Análisis de modos de Fallos y Efectos (FMEA).....	10
2.1.1	Origen.....	10
2.1.2	Tipos de FMEA.....	11
2.1.3	Pasos para hacer un FMEA.....	12
2.2	Importancia del vehículo ferroviario en la sociedad.....	14
2.2.1	Orígenes.....	14
2.2.2	Expansión del ferrocarril.....	14
2.2.3	Modernización y alta velocidad.....	15
2.2.4	Vehículo ferroviario en la actualidad.....	16
2.3	Relación del proyecto con el ODS.....	18
3.	CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE FRENO DE UN VEHÍCULO FERROVIARIO.....	19
3.1	Requisitos del frenado ferroviario.....	19
3.2	Tipos de freno.....	19
4.	DESCRIPCIÓN DEL VEHÍCULO FERROVIARIO del FMEA.....	21
4.1	Esquema de frenos por coche.....	22
4.2	Descripción de esquemas.....	24
4.2.1	Tubería de freno automático (TFA).....	24
4.2.2	Tubería de depósitos principales (TDP).....	24
4.2.3	Depósitos.....	24
4.2.4	Panel alimentación/corte freno estacionamiento.....	25
4.2.5	Panel alimentación/corte freno.....	25
4.2.6	Panel alimentación/corte tubería de freno.....	26
4.2.7	Panel freno+distribuidor.....	27
4.2.8	Suspensión neumática.....	29
4.2.9	Sistema antibloqueo (WSP).....	31
4.2.10	Pinzas neumáticas.....	32
5.	NPR (NÚMERO PRIORITARIO DE RIESGOS).....	34
5.1	Severidad.....	34
5.2	Ocurrencia.....	34
5.3	Detectabilidad.....	35
6.	FMEA SISTEMA DE FRENOS.....	36
7.	ESTUDIO ECONÓMICO Y PRESUPUESTO.....	108
7.1	Coste de mano de obra.....	108

7.2	Coste de licencia software.....	108
7.3	Coste total.....	109
8.	CONCLUSIÓN.....	110
9.	BIBLIOGRAFIA:.....	111

1. OBJETIVOS.

El objetivo principal de este proyecto es la realización del FMEA (Análisis de modos de fallos y efectos) del sistema de frenos de un vehículo ferroviario.

La información recogida en este análisis es la siguiente:

- Listado de todos los componentes con:
 - Posibles causas de fallo
 - Consecuencias a nivel de vehículo
 - Consecuencia a nivel de sistema
 - Consecuencias a nivel de componente
 - Grado de severidad
 - Probabilidad de ocurrencia
 - Grado de detectabilidad
 - NPR (Número prioritario de riesgo)
 - Tasas de fallo por kilómetro recorrido.

A partir de este enfoque estructurado que proporciona el FMEA se pretende mejorar la detección temprana de fallos y mitigar sus efectos. También busca proporcionar una base para la mejora continua del diseño y mantenimiento, incrementando la seguridad y la disponibilidad del servicio, durante todo el ciclo de vida del sistema de frenos ferroviario.

2. INTRODUCCIÓN.

2.1 Análisis de modos de Fallos y Efectos (FMEA).

El análisis de Modos de fallos y efectos (FMEA) es un método utilizado, durante el desarrollo del producto o proceso, con la finalidad de asegurar que se ha tenido en cuenta los problemas potenciales que se podrían presentar, así como sus causas y consecuencias.

Este análisis estructurado sirve para contribuir en la toma de decisiones que ayuden a eliminar o mitigar modos de fallo, asegurando una mayor disponibilidad de servicio del producto en el posterior ciclo de vida.

La implementación de esta herramienta analítica aporta otros valores como la reducción de costes de garantías, el aumento de la fiabilidad de los productos y la documentación de conocimientos sobre el sistema.

2.1.1 Origen.

Las raíces de este método se desarrollan en el contexto de la Segunda Guerra Mundial. El ejército de Estados Unidos fue el primero en realizar un FMEA, a finales de la década de 1940. Esta técnica fue desarrollada para reducir las fuentes de variación y los fallos potenciales correspondientes en la producción de municiones. El riesgo del proyecto disminuyó considerablemente al aplicar este método.

En la década de los 60 La NASA consideró que tenía una utilidad muy significativa, aplicándolo a su proyecto Apolo como parte del diseño del cohete Saturno y a sus posteriores proyectos. Posteriormente, como consecuencia de los problemas del coche Pinto, la Ford Motor Corporation decidió introducir el FMEA con la finalidad de mejorar la producción y la calidad.



Ilustración 1 Primeros proyectos que aplicaron FMEA

Fuente: (Garzón & Garzón, 2023)

El número de Prioridad de Riesgo (RPN) fue incluido en el estudio en la década de 1970. Al asignar valores numéricos a factores como la probabilidad de ocurrencia, la gravedad del impacto y la detectabilidad de los posibles modos de fallos, es posible realizar una mejor asignación de los recursos para la mitigación, ya que permite priorizar los fallos en función de sus puntajes de riesgos generales.

Con la llegada de los sistemas de gestión de calidad como Tota Quality Mangement (TQM) y Six Sigma el FMEA adquirió un papel muy importante en el ciclo de vida del desarrollo del producto.

Debido a su gran adaptabilidad este método se ajusta a las demandas de los sistemas complejos e interconectados actuales. Incluso ha llegado a expandirse a sectores que no son de la ingeniería como la gestión de proyectos o finanzas.

2.1.2 Tipos de FMEA.

FMEA DE DISEÑO

Enfocado en el modo de fallos asociado con la funcionalidad de un componente, como consecuencia directa del diseño.

Se elabora durante el proceso de diseño después de que las funciones sean definidas. Con el objetivo de identificar posibles fallos desde las primeras etapas del desarrollo. Evitando cualquier anomalía que se pueda generar desde su concepción, garantizando la calidad y la fiabilidad del producto final. En caso de que se realice un rediseño del producto el FMEA permite evaluar los cambios y asegurar que las soluciones que se están implementando son efectivas.

FMEA DE PROCESOS

Este tipo de FMEA es usado en el análisis de procesos y transiciones. El objetivo principal es prevenir cualquier dificultad que pueda presentarse para los trabajadores, garantizando así su seguridad. También permite detectar posibles fallas que afecten a la calidad del producto que se está fabricando.

El FMEA se puede elaborar en las diferentes etapas del desarrollo del plan de control para un proceso. Si se realiza con anterioridad es posible detectar fallos antes de que aparezcan, evaluar la proactividad de los riesgos y la efectividad de las estrategias planteadas. En caso de realizarlo de procesos ya existentes, permite la mejora continua y reducir los riesgos.

FMEA DE SISTEMAS

Se aplica exclusivamente al software. Se utiliza para detectar y analizar problemas relacionados con estos sistemas tecnológicos. Se utiliza después de definir las funciones del sistema.

Este estudio además de asegura la compatibilidad de los subsistemas del sistema, también garantiza el mantenimiento de la interfaz de usuario.

2.1.3 Pasos para hacer un FMEA.

Para la correcta elaboración es necesario seguir los siguientes pasos.



Ilustración 2 Pasos para realizar un FMEA

Fuente: Qué Es FMEA y Cómo Aplicarlo En Sus Procesos, 2024

PASO 1: Planificación y preparación.

En el primer paso se definen los límites del análisis. Es importante saber cuál es el alcance del estudio para saber qué es lo que se incluye o no. En esta etapa también se pueden establecer los roles y responsabilidades en caso de que el estudio lo realice un equipo. Así como la confidencialidad del mismo.

PASO 2: Análisis de la estructura.

En esta etapa se identifica y descompone el proceso a analizar por etapas secuenciales, interfaces o elementos. El objetivo principal es facilitar el entendimiento completo del proceso. Como se ha visto anteriormente existen diferentes tipos de FMEAs. Dependiendo del proyecto la estructura a seguir es diferente, así como las herramientas a utilizar.

Por ejemplo, en el caso de un FMEA de diseño se puede utilizar una estructura de árbol, un diagrama de bloques o un diagrama de límites. En cambio, en un FMEA de procesos se puede utilizar una estructura de árbol y un diagrama del flujo de procesos.

PASO 3: Análisis de la Función.

Utilizando la estructura desarrollada en el paso anterior se analiza cada elemento individualmente en términos de funciones y requisitos. En este paso se explora con detalle cada una de las actividades que tiene que ejecutar el proceso general.

PASO 4: Análisis de la Falla.

En este paso se determina la manera que podría fallar cada una de las partes que forman el producto o sistema. Para ello es necesario obtener la siguiente información:

- Listado de todos los elementos con sus funciones
- Modos de fallo según la función
- Consecuencias de cada tipo de fallo
- Causas del fallo

PASO 5: Análisis de Riesgo.

En esta etapa se evalúa de cada fallo los siguientes parámetros:

- Gravedad: Basado en el efecto de un modo de fallo
- Ocurrencia: Basado en el mecanismo de falla
- Detección: Basado en los controles de procesos actuales

Evaluando estas 3 características numéricamente del 1 al 5 se obtiene el número de prioridad de riesgos (NPR) de la siguiente manera:

$$NPR = Severidad \times Ocurrencia \times Detección \quad (1)$$

El NPR indica el nivel de prioridad a seguir en la toma de medidas para reducir el riesgo de fallas en el funcionamiento.

PASO 6: Optimización.

En esta última etapa del análisis de modos de fallos y efectos se pretende elaborar acciones que permitan reducir los riesgos y a su vez mejorar la satisfacción del cliente.

PASO 7: Documentación de los Resultados.

Los resultados obtenidos tienen que ser documentados. Normalmente este tipo de documento es revisado varias veces y posteriormente se envía alta dirección a modo de resumen.

2.2 Importancia del vehículo ferroviario en la sociedad.

2.2.1 Orígenes.

El primer ferrocarril inaugurado en el mundo fue en 1825 en Gran Bretaña, uniendo las ciudades de Stockton y Darlington.

Después de 4 años en España se intentó construir una línea ferroviaria, con el objetivo de transportar vino entre Jerez de la Frontera y el muelle del Portal. Finalmente, este proyecto fracasó debido a que en España coexistían una serie de problemas, como la carencia de conocimiento técnico, la orografía peninsular y un fuerte retraso económico.

El primer ferrocarril en España fue en 1837 en Cuba, en territorio ultramar. Este ferrocarril unía La Habana con Güines.

Gracias a Miquel Biada el ferrocarril llegó a la península en 1848, uniendo las ciudades de Barcelona y Mataró, con una longitud de 28 Km. Supuso una gran revolución para la época.



Ilustración 3 Constructores del primer tren de España

Fuente: López (2023)

Para solventar los problemas orográficos existentes en España los Ingenieros Santa Cruz y Subercase propusieron ampliar el ancho de la vía. En ese momento en el resto de Europa era de 1.435m, en la Península se optó por 1,668m.

2.2.2 Expansión del ferrocarril.

En la década de 1850. El ferrocarril experimentó un fuerte crecimiento. Gracias a la Ley General de Ferrocarriles de 1855 se creó un marco jurídico necesario para la construcción de líneas ferroviarias. La ley ofrecía subvenciones y concesiones, a empresas nacionales y extranjeras, que estaban involucradas en la construcción de ferrocarriles.

Se empezaron a construir varias vías de en aquellas ciudades más concurridas. Con el objetivo de contribuir al desarrollo económico y facilitar el transporte de mercancías y personas.

Líneas importantes que se crearon en esa década:

- Madrid-Aranjuez (1851)
- Barcelona-Granollers (1854)
- Madrid-Alicante (1858)

En 1941 se nacionalizó el ferrocarril, hasta ese momento había existido una gran descoordinación entre las diversas compañías ferroviarias. Se creó la Red Nacional de los Ferrocarriles Españoles (RENFE), con el objetivo de unificar y modernizar la red ferroviaria tras la Guerra Civil. En el momento de su creación, se encargaba de la gestión de las infraestructuras, vías y estaciones. También gestionaba la operación de los servicios de trenes en todo el territorio español.

2.2.3 Modernización y alta velocidad.

En la segunda mitad del siglo XX se desarrolla un proceso de modernización de la infraestructura ferroviaria. La electrificación de las líneas fue un aspecto clave.

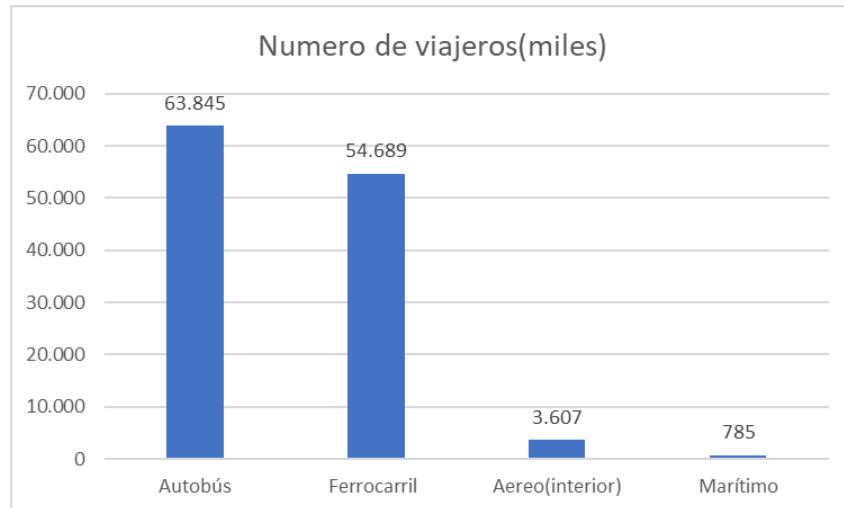
La primera línea de alta velocidad (AVE) fue inaugurada en 1992, conectando las ciudades de Madrid con Sevilla. Tras su gran éxito se decidió construir una amplia red por todo España, conectando grandes ciudades, permitiendo una gran movilidad con tiempos menores. Fomentando así el turismo.

El ferrocarril se ha ido adaptando al contexto histórico y ha progresado de manera proporcional a los avances tecnológicos. Des de el primer momento de su creación, ha potenciado el desarrollo económico y social.

En el futuro seguirá desempeñando un papel importante en la conectividad del país. Actualmente con las políticas de reducción sustancias contaminantes, es importante incentivar la utilización de este medio de transporte ya que emite pocos gases contaminantes, sobre todo si son trenes eléctricos que en ese caso las emisiones son prácticamente nulas.

2.2.4 Vehículo ferroviario en la actualidad.

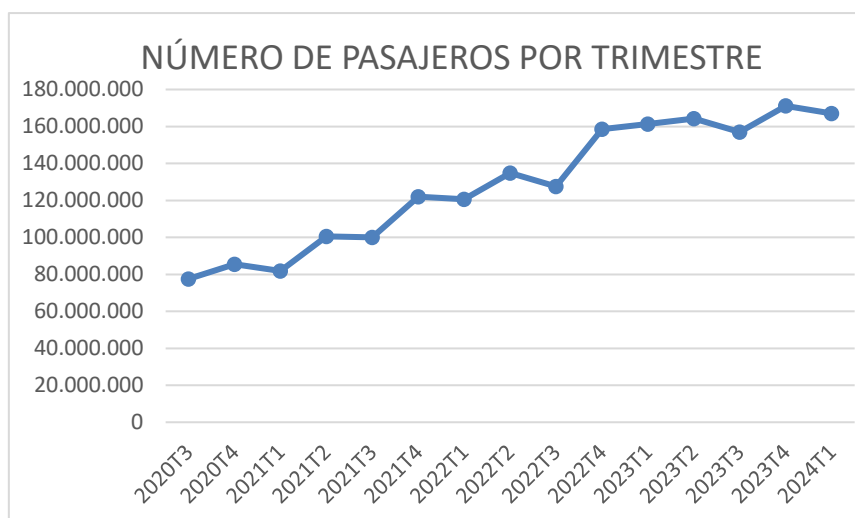
Actualmente, el ferrocarril es el segundo transporte interurbano público más utilizado en España, con un volumen de viajeros anual de más de 50 millones. Esto es debido a que se trata de un transporte público con una gran infraestructura que permite a la población una mayor movilidad.



Gráfica 2 Número de pasajeros por vehículo anual.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del INE

El crecimiento que está experimentando el sector ferroviario está respaldado en parte por el interés del Gobierno por potenciar una movilidad sostenible. En consecuencia, disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero mejorando la calidad de vida de la población. Para ello se está llevando a cabo algunas medidas económicas como la prórroga de la gratuidad de los abonos de Cercanías y de Media Distancia Convencional y los descuentos del 50% de los abonos de AVANT.



Gráfica 1 Número de pasajeros por trimestre

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del INE

Se está poniendo mucha importancia en aumentar la demanda del ferrocarril. Por ello es conveniente poner en el foco el sistema de frenos, ya que es un sistema crítico para la seguridad de los viajeros. Tomando como ejemplo el incidente ocurrido el pasado 12 de junio de 2022, en Villaseca, en el cual colisionaron un tren de media distancia con otro tren de mercancía, porque este último había tenido un fallo en el sistema de frenos.

Accidentes debidos a fallos en el sistema de frenos suponen poner en riesgo la vida de los pasajeros. Además, haciendo hincapié en el crecimiento que está teniendo el sector, los retrasos o la indisponibilidad de cualquier unidad ferroviaria suponen unas pérdidas económicas importantes.

Por eso es importante realizar un estudio de fiabilidad. El FMEA es un método que permite determinar la identificación temprana y la solución a los problemas potenciales. Consiguiendo una reducción de los fallos, una mayor disponibilidad del servicio y en consecuencia ocasionar una mayor satisfacción en el cliente.

2.3 Relación del proyecto con el ODS.

A continuación, se mencionará aquellas metas de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la agenda 2030, que estén relacionados con el trabajo desarrollado.

- ODS 3: Salud y bienestar.

La finalidad de realizar este análisis es conseguir un sistema de frenos más seguro y fiable. En consecuencia, disminuir significativamente el riesgo de que ocurra algún accidente, contribuyendo a la protección de la vida y la salud de las personas. Este proyecto está directamente relacionado con la meta 3.6. Esta meta tiene como objetivo reducir a la mitad el número de muertes y lesiones causadas por accidentes de tráfico.

- ODS 9: Industria, innovación e infraestructura.

La meta 9.4 tiene como propósito modernizar la infraestructura y reconvertir las industrias para que sean más sostenibles. La implementación del FMEA en el diseño y mantenimiento de sistemas de frenos fomenta la innovación y la mejora de la infraestructura de transporte. También impulsa el desarrollo de tecnologías avanzadas y sostenibles.

- ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles.

La meta 11.2 de este objetivo, promueve sistemas de transporte seguros, asequibles y sostenibles. Un sistema de freno eficiente y seguro, es esencial para mejorar la seguridad vial. Esto permite desarrollar entornos urbanos más seguros y habitables.

- ODS 12: Producción y consumo responsables.

El estudio realizado también se puede relacionar con la meta 12.5, la cual fomenta la reducción de desechos a través de la prevención, reducción, reciclado y reutilización. La realización de un FMEA puede llevar a la construcción de un sistema de frenos más duradero y eficiente, que no necesite remplazos frecuentes, reduciendo la huella ambiental.

3. CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE FRENO DE UN VEHÍCULO FERROVIARIO

3.1 Requisitos del frenado ferroviario.

El freno de un vehículo ferroviario tiene que tener obligatoriamente las siguientes características:

- Continuo: El freno debe de ser accionado desde un único puesto de mando y funcionar de manera simultánea en todos los coches del tren. En la mayoría de trenes dicha continuidad está garantizada por la tubería de freno automático (TFA), ya que esta recorre todo el vehículo con una presión de 5 bar, a través de ella se envían ordenes neumáticas de apriete y afloje de los frenos. Existen vehículos en los que la continuidad es garantizada por la red informática.
- Automático: El freno debe ser activado cuando falle la continuidad, sin la necesidad de que el conductor intervenga. Por ejemplo, en el caso de que el acoplamiento de coches falle y se divida el tren, este para inmediatamente. Para ello se debe 'Cargar' previamente, almacenando la energía en forma de aire comprimido en los depósitos auxiliares. Cuando desaparece la presión de alimentación, el apriete de los frenos es causado por el desequilibrio neumático.
- Inagotable: Después de cada actuación puede ser utilizado otra vez sin perder potencia de frenado. Se tiene que hacer un buen uso de los frenos ya que aquellas zonas de contacto como las zapatas con las llantas o las guarniciones con los discos son zonas que disipan grandes cantidades de calor y podrían provocar una reducción del rendimiento del freno.
- Ajustable: El apriete y el afloje tienen que ser graduados durante su aplicación.

3.2 Tipos de freno.

Un vehículo ferroviario por sus dimensiones y su carga presenta diferentes tipos de frenos y dependiendo de la situación y del tipo de vehículo se utiliza uno u otro. La UIC "*Unión Internacional de Chemin de Fer*" es la encargada de regular el funcionamiento de estos frenos.

Freno automático o indirecto (por aire comprimido)

Este es el freno principal. Se utiliza cuando es necesario frenar el vehículo completamente o como complementario a otros tipos de frenos.

Cuando el maquinista acciona el freno indirecto a través del manipulador de su cabina, la presión de la tubería de freno automático decrece, y acciona todos los frenos del tren a la vez, ya que, la tubería recorre todo el tren.

El distribuidor es un componente clave en este sistema de frenos. Cuando detecta una bajada de la presión de la TFA envía una presión de manera proporcional a la variación de la presión, a la válvula relé. La válvula relé controla la presión ejercida en los cilindros de freno.

Freno directo

Este tipo de frenos es utilizado generalmente en locomotoras. Es controlado por una válvula manual con 3 posiciones:

- Aflojar
- Estabilizar
- Frenar

Hay vehículos que también puede ser controlado electrónicamente a través de dos válvulas electromagnéticas, que disponen de las mismas posiciones. Las electroválvulas están conectadas a la tubería de freno principal y a uno de los pilotajes de la válvula relé, la cual controla la presión enviada a los cilindros de freno.

Freno de emergencia

Se acciona exclusivamente en caso de emergencia. Utiliza los mismos dispositivos que el freno de aire comprimido, pero su actuación es inmediata con su máxima potencia. La TFA queda puesta a la atmósfera, es decir, la presión decrece a cero.

Algunas de las acciones que provocan la aplicación de este tipo de freno son:

- Activación de setas neumáticas/eléctricas de urgencia (roja)
- Manipulador freno/ tracción en la última posición de freno
- Corte de tren
- Corte de la tubería de freno automático
- Alarma de pasajeros

Freno de estacionamiento:

Se utiliza cuando es necesario tener el vehículo completamente parado en periodos en los que no está prestando servicio.

Se puede conseguir de distintas maneras:

- Freno de mano
- Frenos de resorte acumulador

4. DESCRIPCIÓN DEL VEHÍCULO FERROVIARIO DEL FMEA.

En el presente trabajo se va a realizar un Análisis de modos de fallos y efectos del sistema de frenos de un tren compuesto por 4 coches. Los dos coches cabina con bogie motor y los dos coches intermedios con bogie remolque.



Ilustración 4 Vehículo de 4 vagones

Fuente: Automotor Electro ICE 4 BR 412/812 DB AG Mfx Sound, s. f.

El sistema de frenos analizado en el trabajo es un sistema de doble tubería (tubería de presión (TDP) y tubería de freno automático (TFA) de 5 bar), con freno de servicio directo con control electrónico, freno de emergencia con canal directo y redundancia por distribuidor y freno auxilio de tipo automático continuo.

Las siguientes imágenes muestran esquemas simplificados de los equipos que componen el sistema de frenos en cada coche.

Teniendo en cuenta la extensión del trabajo, el FMEA se ha realizado siguiendo el esquema del coche 2B. Ya que se trata de un coche intermedio con bogie remolque, ya que, incluye todos los paneles de corte, el panel de freno con distribuidor y el panel de suspensión. Estos paneles son comunes en todos los coches del vehículo.

Después de los esquemas se explicará que componentes intervienen en los diferentes paneles incluidos en el estudio, así como algunos elementos claves para poder comprender mejor el funcionamiento del sistema de frenos.

4.1 Esquema de frenos por coche.

Coche 1B, con bogie motor.



Ilustración 6 Coche 1B

Fuente: Automotor Electro ICE 4 BR 412/812 DB AG Mfx Sound, s. f.

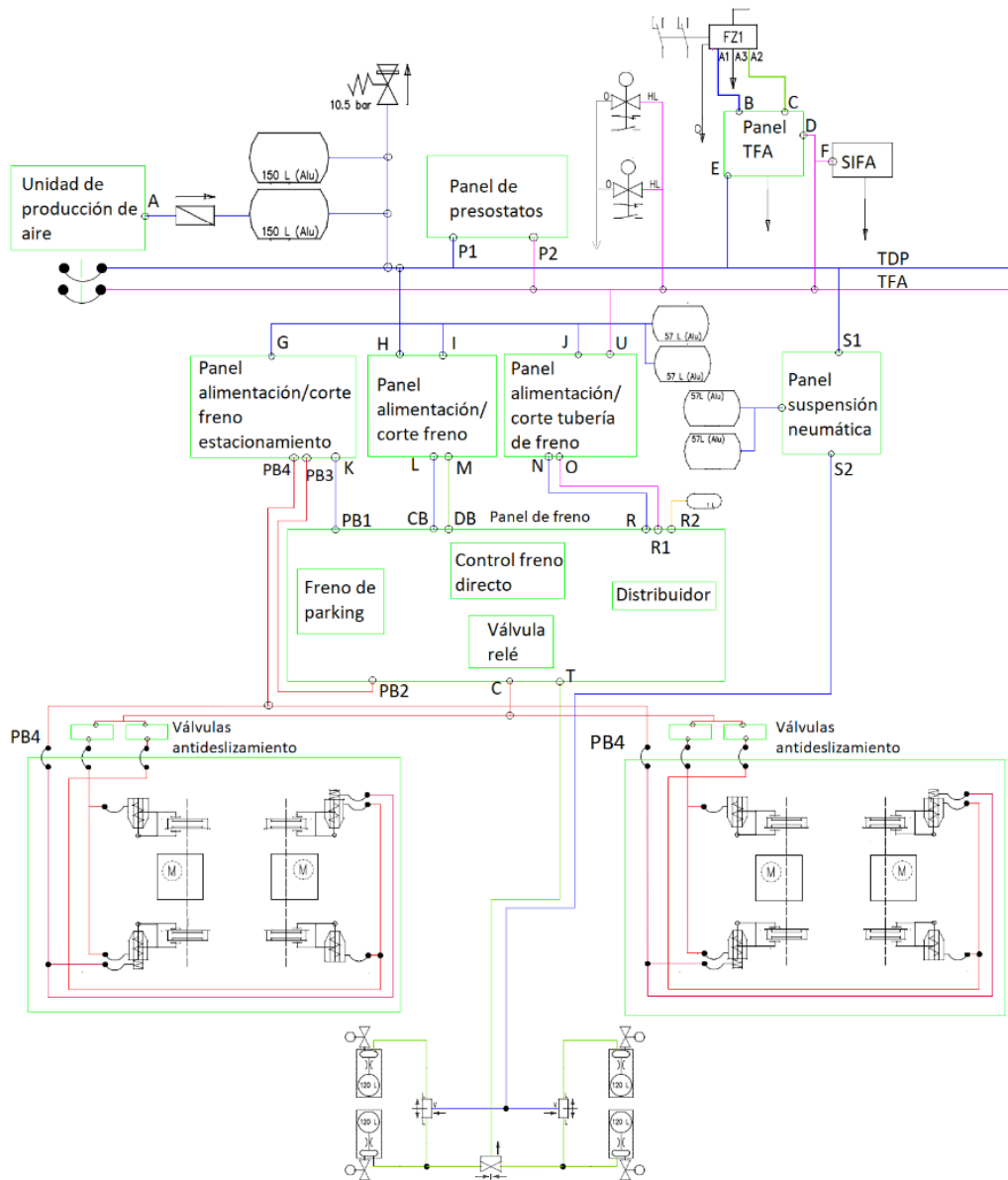


Ilustración 5 Esquema de frenos coche 1B

Fuente: Elaboración propia

Ídem para coche 4B.

Coche 2B, con bogie remolque



Ilustración 8 Coche 2B

Fuente: Automotor Electro ICE 4 BR 412/812 DB AG Mfx Sound, s. f.

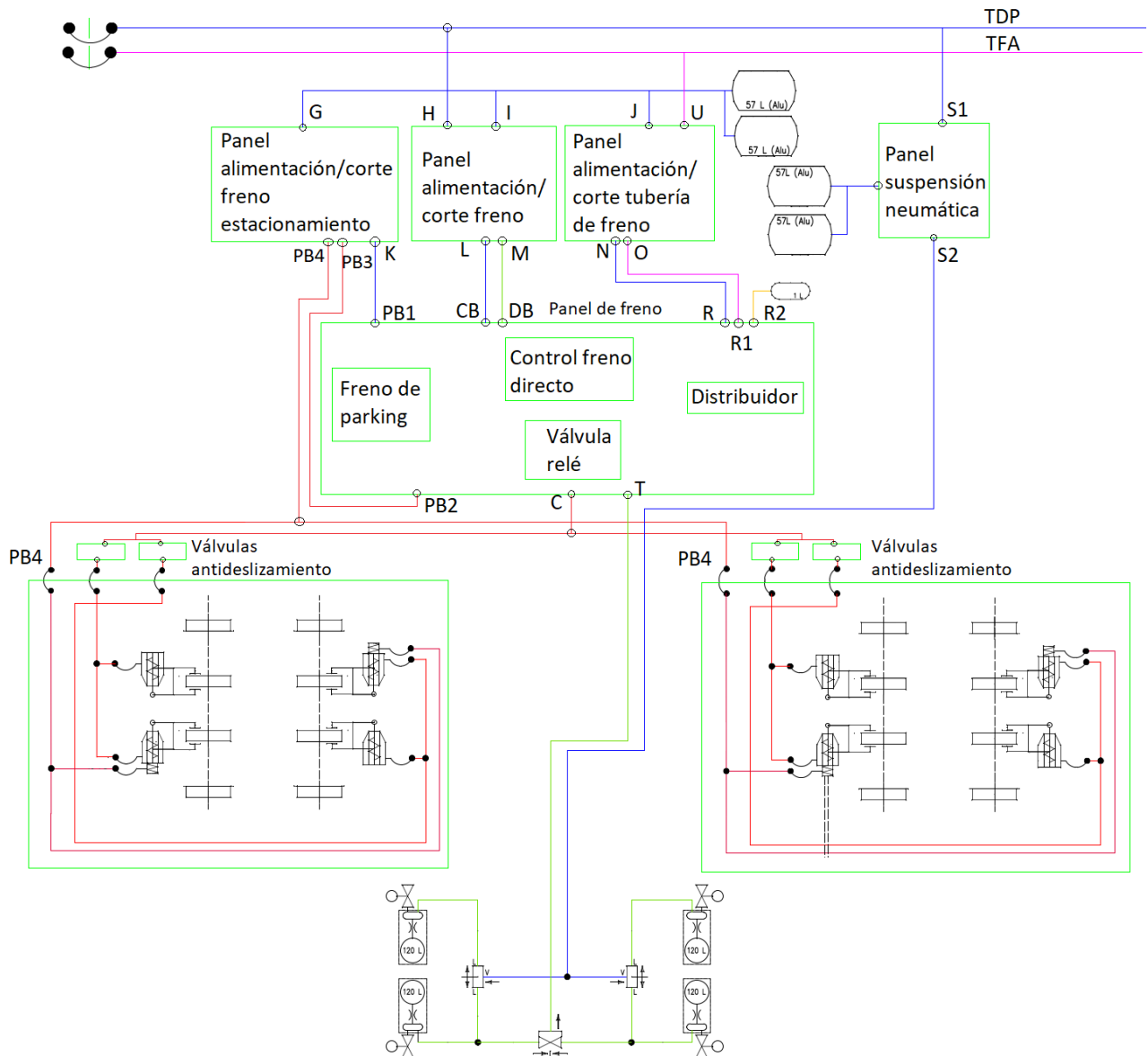


Ilustración 7 Esquema de frenos de coche 2B

Fuente: Elaboración propia

Ídem para coche 3B.

4.2 Descripción de esquemas.

4.2.1 Tubería de freno automático (TFA).

La tubería de freno automático recorre todo el tren. A través de la TFA se envía aire comprimido a lo largo de todo el vehículo, es la encargada de accionar los dispositivos correspondientes para frenar o aflojar. Además, garantiza la continuidad del freno automático.

Tiene una presión variable entre 5 bares, para el afloje, y 3,5 para el máximo freno de servicio (freno indirecto). Esta presión es regulada desde la cabina del conductor a través del mando de freno indirecto. La caída de la presión de la TFA provoca la aplicación de los frenos por medio del distribuidor.

La presión se muestra por pantalla y por un manómetro neumático en el pupitre.

La apertura de los lazos de emergencia provoca el corte de tracción y desexcitación de la válvula de emergencia SIFA. Estas válvulas conectan la TFA con la atmósfera, provocando la evacuación del aire comprimido, esto implica una caída de presión a 0 bares de manera inmediata, es lo que se llama como freno de emergencia.

La aplicación de freno de emergencia es debido a las distintas válvulas de emergencia, por una ruptura de tubería o por un por una seta de emergencia en la cabina del conductor.

4.2.2 Tubería de depósitos principales (TDP).

La función principal de la tubería de depósitos principales es alimentar con aire comprimido los depósitos principales. El aire almacenado será posteriormente utilizado en el equipo de frenos.

Esta tubería no es regulada por el mando de freno. La presión se mantiene entre 7 y 10 bares.

Cada uno de los consumidores conectados a la TDP disponen de válvulas de aislamiento, en caso de avería. Generalmente, las llaves están dotadas con vía de escape a la atmosfera.

4.2.3 Depósitos.

El sistema de frenos del estudio presenta diferentes tipos de depósitos, los depósitos principales y los depósitos auxiliares.

Los depósitos principales están directamente conectados a la unidad de producción de aire, son los primero en cargarse de aire comprimido. Tienen la función de mantener la presión de la tubería principal, puesto que al aplicar los frenos la presión de la tubería disminuye.

Los depósitos auxiliares son los depósitos de freno y los depósitos de suspensión neumática. Estos depósitos son alimentados por la tubería principal. Tienen como objetivo suministrar aire a sus respectivos subsistemas de cada vagón individual.

4.2.4 Panel alimentación/corte freno estacionamiento.

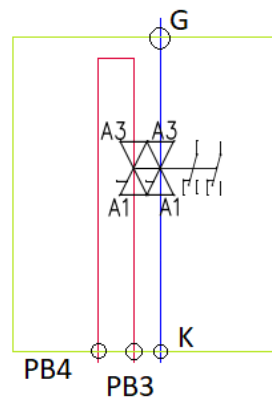


Ilustración 9 Esquema panel alimentación/corte freno estacionamiento

Fuente: Elaboración propia

El aislamiento del freno de estacionamiento sólo se puede hacer de forma manual, la doble válvula corta el paso de los depósitos de frenos (punto G) hacia el módulo de freno de estacionamiento del panel de freno (punto K). También impide el paso al aire que proviene del freno de estacionamiento, del panel de freno (punto PB3) hacia las unidades de pinzas con freno de estacionamiento (punto PB4).

En el interior de ambas válvulas hay unos micro interruptores que indican el estado de la válvula.

4.2.5 Panel alimentación/corte freno.

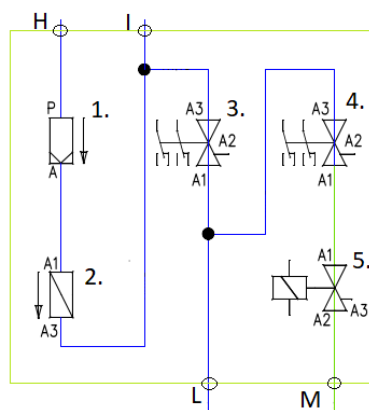


Ilustración 10 Esquema panel alimentación/corte freno

Fuente: Elaboración propia

El aire comprimido de la tubería de depósitos (TDP) (punto H) pasa por un filtro para evitar que se obstruyan los dispositivos aguas abajo. La válvula antirretorno (2) asegura que el aire comprimido almacenado de los depósitos de frenos (punto I) es utilizado solamente para los frenos, evita que el aire vuelva a la tubería de depósitos principales.

En el caso de que ocurra algún fallo con el freno directo y que quede aplicado el freno de manera continua, este sistema permite liberar y aislar dicho freno. Para ello se tiene las válvulas normalmente abiertas 4 y 5, la primera se puede accionar de manera manual y la segunda de manera remota. La electroválvula 5 cuando se excita no permite el paso por A1 y abre el paso de A2 hacia A3, evacuando el aire a la atmosfera.

La válvula 3 aislará el freno neumático, al cerrarla no permitirá el paso al punto L (que está conectado a la alimentación "R" de la válvula relé y tampoco permite el paso del aire al control de freno directo (punto M).

4.2.6 Panel alimentación/corte tubería de freno.

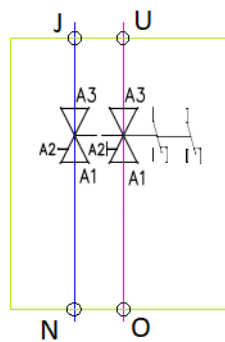


Ilustración 11 Esquema alimentación/corte tubería de freno

Fuente: Elaboración propia

Este panel tiene como entrada los depósitos de freno (Punto J) y la tubería de freno automático (Punto U). En el caso de cerrar el grifo doble, el uso del freno indirecto, no estará disponible. Ya que se corta el suministro de aire al distribuidor (punto N y O).

4.2.7 Panel freno+distribuidor.

Este esquema representa el sistema encargado de suministrar/ventilar aire a los cilindros del freno de cada vagón individual.

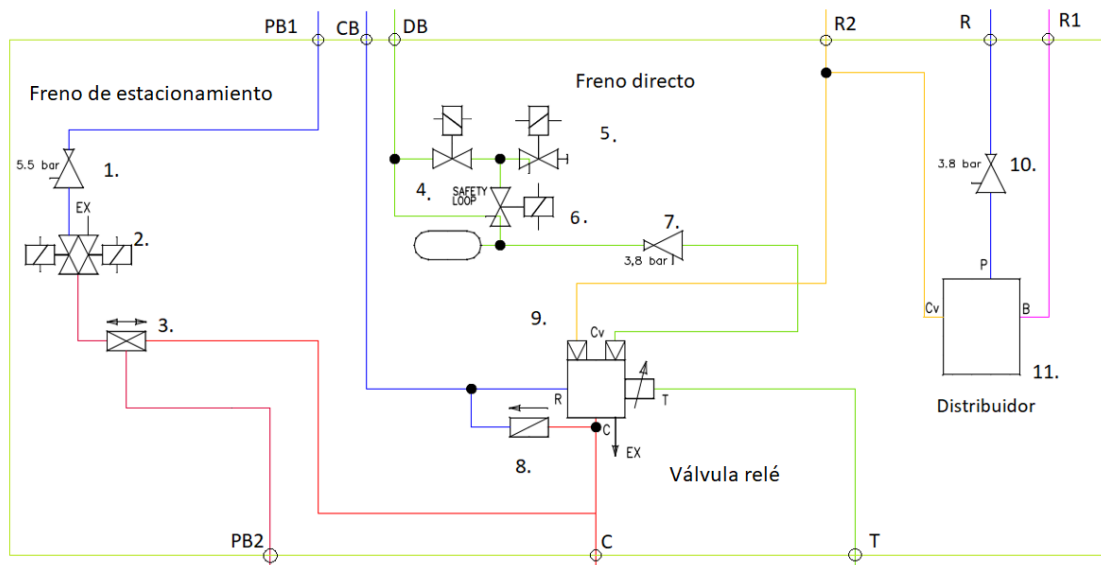


Ilustración 12 Esquema panel freno + distribuidor

Fuente: Elaboración propia

Está compuesto por los siguientes módulos:

- Freno de estacionamiento
- Control de freno
- Distribuidor
- Válvula relé

Freno de estacionamiento

El aire de los depósitos de freno (punto PB1), proviene previamente del panel de alimentación/corte de freno de estacionamiento. En primer lugar, se encuentra una válvula reductora de presión (1) que establece la presión a 5.5 bar. Después la válvula de impulsos (2) es la encargada de la aplicación y afloje del freno de estacionamiento y finalmente una válvula anti-compound (3), la cual evita la superposición de esfuerzos de freno de estacionamiento con el freno neumático. El punto PB2 está conectado a los muelles acumuladores del freno de parking, pero previamente atraviesa el panel de alimentación/corte de freno de estacionamiento.

El freno de estacionamiento se utiliza para mantener el vehículo detenido durante un periodo indefinido de tiempo. Puede ser accionado de manera manual a través de un pulsador en el pupitre de conducción de la cabina activa y de manera automática al deshabilitar cabina. La liberación del freno de estacionamiento solo puede hacerse de manera manual.

Control de freno de freno directo y emergencia

El control de freno directo está compuesto por las válvulas electromagnéticas 4 y 5, las cuales están directamente conectadas a la unidad electrónica del freno. Controlan la presión enviada al puerto de pilotaje de la válvula relé. La electroválvula 6 está conectada al lazo de emergencia. Cuando esta energizada (en freno de servicio) conecta las válvulas electromagnéticas 4 y 5 con la válvula relé, permitiendo así el control electrónico de la presión del freno. Si se des-energiza (en freno de emergencia) conecta directamente el depósito de reserva (punto R1) con la válvula limitadora de presión (7), que limita la presión de precontrol a 3,8 bar.

El freno de servicio a control electro-neumático en caso de falle, en caso de no poder abrir o cerrar será liberado de manera remota.

Distribuidor

Su objetivo principal es el de garantizar que el freno sea automático, ajustable en apriete y afloje, e inagotable.

Este dispositivo tiene como entradas las presiones de los depósitos de frenos (R) y de la tubería de freno automático (R1), la salida "Cv", está conectada a la válvula relé. Este sistema controla el freno indirecto y de emergencia sin la intervención de software, ya que se enviará presión al canal "Cv" cuando se detecte una caída de la presión de la TFA.

Los rangos de presión de Cv varía entre 0 bar y 3,8 bar (freno máximo), dependiendo de la presión de la TFA que varía entre 5bar y 3,5 bar.

Hay un distribuidor por cada dos bogies.

Válvula relé con control de carga (Amplificación neumática)

Se trata de una válvula con dos puertos de pilotaje, de tipo auto variable, con relación de amplificación variable con la carga.

La válvula relé amplifica la mayor de las presiones aplicadas en los puertos de pilotaje (Cv). Una de las presiones proviene del freno automático por distribuidor y la otra del control freno directo.

La presión de salida es regulada en función de la entrada "T". Es decir, si la presión que proviene de la suspensión neumática aumenta, la presión que llega a los cilindros de frenos aumentará también.

Cada coche tiene un panel de freno. En el Análisis de modos de fallos y efectos desarrollado se distingue entre si el panel de freno está en un coche remolque o en un coche motor. Por esa razón la cantidad de paneles de freno, en el vehículo, es 2 ya que, el FMEA se basa en el esquema de un vagón con bogie remolque.

4.2.8 Suspensión neumática.

La suspensión de un vehículo ferroviario tiene como objetivo absorber las vibraciones del vehículo, permitiendo un movimiento elástico sobre sus ejes. Gracias a este sistema se mantiene la estabilidad del vehículo y se proporciona seguridad y confort a los pasajeros.

Se tiene dos tipos de suspensiones:

- Suspensión primaria
- Suspensión secundaria

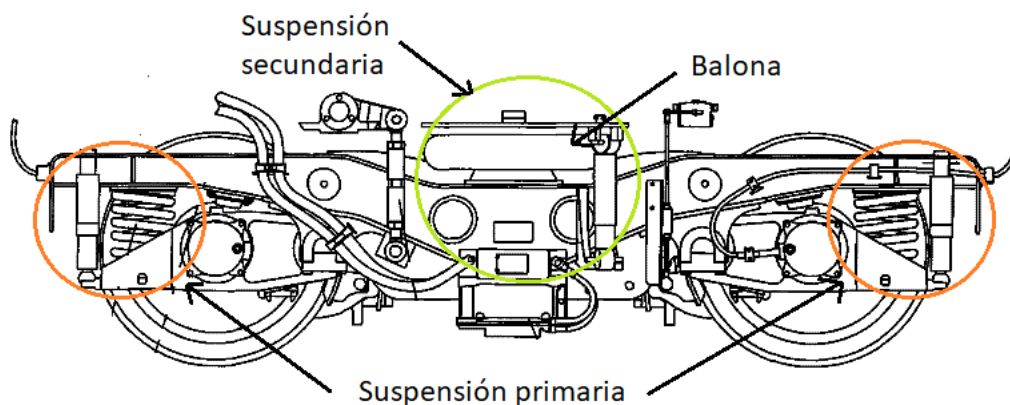


Ilustración 13 Suspensión neumática

Fuente: Fu Chengjun et al. (2010a)

La suspensión primaria se encuentra entre el eje y el bastidor del bogie. El bastidor es una estructura metálica que soporta los elementos que existen en el vehículo.

La suspensión secundaria se ubica entre la caja del coche y el bogie o radial. Está constituido por una balona y un amortiguador hidráulico, en cada lado del vagón. La balona se encarga de mantener la altura constante independiente de la masa de la carga.

Es decir, este tipo de suspensión es el que permite saber la carga del vehículo, con la obtención de este dato se podrá ajusta el esfuerzo de freno en función de la carga. Evitando así aplicar un freno excesivo cuando no es necesario, puesto que provocaría un mayor desgaste de las pastillas de freno o incluso el bloqueo de los ejes y también, se evitaría situaciones como no tener freno suficiente, en caso de necesitarlo.

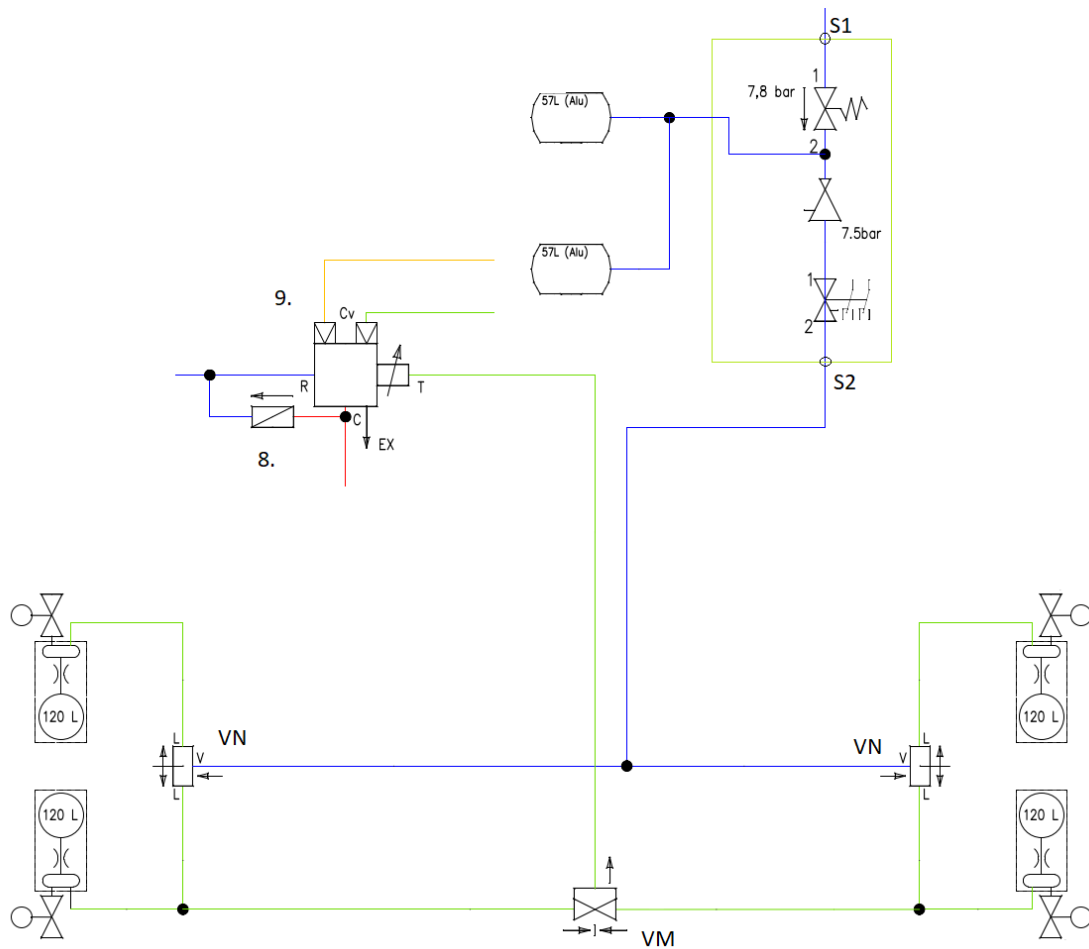


Ilustración 14 Esquema suspensión neumática

Fuente: Elaboración propia

El panel de suspensión neumática es alimentado por la TDP (punto S1). La válvula de rebose (1) limita el llenado de la suspensión cuando la presión de la TDP es superior a 7,8. Gracias a este dispositivo se consigue llenar primero los depósitos de freno y luego el sistema de suspensión y los depósitos auxiliares de la suspensión. La válvula reductora de presión (2) limita la presión aguas debajo del panel, en la balona, a 7.5 bares. Finalmente, se dispone de un grifo de aislamiento por pareja de bogies.

La salida del panel (punto S2) está conectado a las válvulas de nivel (VN). Las válvulas de nivel ajustan la presión requerida en las balonas. A la válvula de presión media (VM) le llegan las presiones de las dos válvulas de nivel (VN) y genera la presión media de cada coche. Esta presión alimenta la entrada "T" de la válvula relé del panel de freno.

4.2.9 Sistema antibloqueo (WSP).

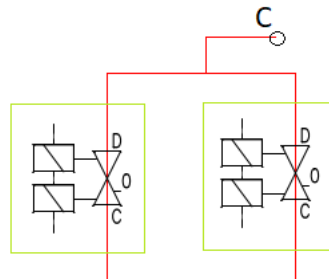


Ilustración 15 Esquema sistema antibloqueo

Fuente: Elaboración propia

Las válvulas antideslizamiento ajustan la presión neumática que llega a los cilindros de freno. Están compuestas por 2 electroválvulas. La conexión D es la presión que viene de la salida de la válvula relé (punto C) del panel de freno y la conexión C es la salida de la presión de la válvula antideslizamiento.

La presión de los cilindros de frenos se ajusta combinando energización o des-energización de las electroválvulas de la siguiente manera:

	Electroválvula D	Electroválvula C
Válvula no corrigiendo	Des-energizada	Des-energizada
Reducir presión	Energizada	Energizada
Mantener presión	Des-energizada	Energizada

Tabla 1 Combinación de electroválvulas

Cada unidad recibe información de los sensores de velocidad de cada eje. En caso de que el giro de un eje se retrase, las electroválvulas actuarán bloqueando la alimentación de aire comprimido de cada cilindro de freno y evacuando la presión. Después de que las condiciones se normalicen se permitirá el paso de aire.

4.2.10 Pinzas neumáticas.

Cada bogie está equipado con dos pinzas sin freno de estacionamiento y 2 pinzas con freno de estacionamiento.

En la siguiente imagen se puede observar cómo están ubicadas estos dos tipos de pinzas.

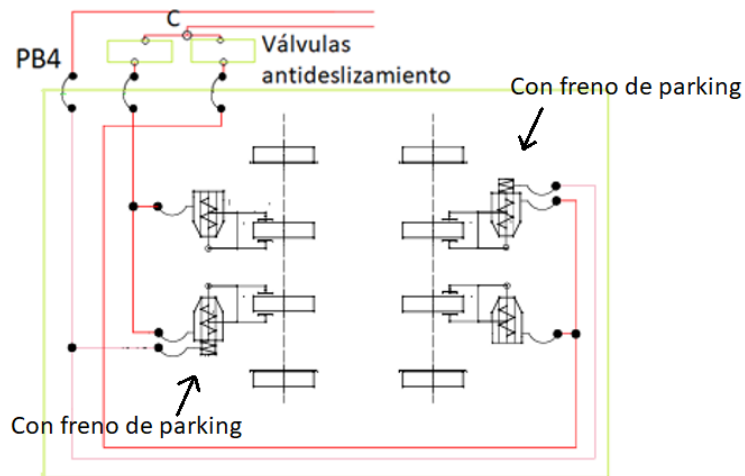


Ilustración 16 Esquema bogie remolque

Fuente: Elaboración propia

La pinza neumática es un conjunto de mecanismos compacto que tiene como objetivo presionar las pastillas sobre el disco de freno para así producir la deceleración.

Lleva integrado:

- Cilindro de freno
- Mecanismo de multiplicación de esfuerzo de freno
- Recuperador de desgaste
- Cilindro de freno de parking (si está instalado)

El cilindro de freno es uno de los elementos fundamentales integrados en las pinzas neumáticas, es el encargado de desarrollar el esfuerzo de frenado. El aire comprimido enviado por la válvula relé del panel de freno, entra en el cilindro y empuja el pistón hacia afuera. Este movimiento del pistón se transforma en fuerza mecánica que presiona las zapatas de freno contra las ruedas del tren.

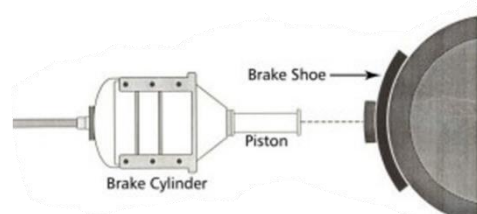


Ilustración 17 Cilindro de frenos

Fuente: Government of Canada, Transportation Safety Board of Canada, 2022

En los bogies remolques, el esfuerzo de frenado se realiza sobre unos discos. Los discos de freno están colocados en el interior del eje montado (entre las ruedas). La ventaja principal es una reducción del desgaste de las ruedas de manera significativa.

Las pinzas de freno con acumulador de muelle son las encargadas de aplicar y aflojar el freno de estacionamiento.

Las pinzas con freno de parking disponen de una cámara adicional con un muelle acumulador. En posición de afloje la cámara está a presión, apretando el muelle. En el momento en que la presión del cilindro de freno de parking desaparece, el freno de estacionamiento se aplica de manera automática, debida a la energía acumulada en el resorte.

5. NPR (NÚMERO PRIORITARIO DE RIESGOS).

El análisis de modo de fallos y efectos recoge un listado de todos los posibles fallos, con sus consecuencias, de todos los componentes que forman el sistema de frenos. Es importante establecer una jerarquía de los problemas, para saber con qué prioridad debe atacarse cada fallo encontrado en el estudio. Para ello se utiliza el número prioritario de riesgos (NPR). Dicho número se obtiene de la siguiente manera:

$$\text{NPR} = \text{SEVERIDAD} * \text{OCURRENCIA} * \text{DETECTIBILIDAD.} \quad (2)$$

5.1 Severidad

La severidad es un identificador del riesgo, representa como de grave puede llegar a ser la consecuencia en todo el vehículo. Se establece una escala numérica del 1 al 5. El valor más pequeño indica que se trata de un fallo de bajo riesgo y el máximo valor indica que se trata de un fallo grave.

En la siguiente tabla se muestra como han sido asignado los valores de la columna de severidad en función de la categoría de fallo.

SEVERIDAD	CATEGORIA DE FALLO
1	Fallo
2	Perdida de confort
3	Incidente/Retraso
4	Trasladado
5	Anulación

Tabla 2 Valores de Severidad

5.2 Ocurrencia

Representa la probabilidad de que ocurra un modo de fallo durante un tiempo de operación. Para ello se utiliza las tasas de fallo por kilómetro recorrido, proporcionadas por el proveedor.

La tasa de fallo es la inversa del tiempo que transcurre entre dos fallos consecutivos de cada componente para cada una de las funciones.

La siguiente tabla muestra que valores han sido asignados a cada rango de tasas de fallo por kilómetro recorrido para el estudio.

OCURRENCIA	
1	Tasa de fallo \leq 0,00000025
2	0,00000025<Tasa de fallo \leq 0,0000011
3	0,0000011<Tasa de fallo \leq 0,000015
4	0,000015<Tasa de fallo \leq 0,000085
5	0,000085<Tasa de fallo

5.3 Detectabilidad

La detectabilidad es un parámetro que indica la probabilidad de encontrar la falla en la realización del estudio. En caso de que el fallo solamente sea detectable a través de la unidad de control y sistema de monitorización del vehículo, se asignará 1,2 y 3 dependiendo del nivel. Si el fallo puede ser detectado por el conductor o por el personal se le asignará un 4. Finalmente, se asignará el máximo valor en el caso de que el fallo sea detectado en el mantenimiento.

6. FMEA SISTEMA DE FRENOS

Sistema	Componente	Cantidad	Cantidad	Función	Modo de fallo	Posibles causas	Consecuencias (nivel de vehículo)	Consecuencias (nivel sistema)	Consecuencias (nivel componentes)	Severidad	Ocurrencia	Detectabilidad	NPR	Tasa de fallos (1/MKBF)
		(nivel vehículo)	(nivel sistema)											
Panel alimentación /corte freno estacionamiento	Doble válvula de aislamiento	4	1	Mantiene la presión de liberación del freno	Fuga de aire	Conexión incorrecta	Ninguna	Probablemente mínima caída de presión en la presión de liberación del freno de estacionamiento , probablemente mínima caída de presión en la presión del depósito auxiliar/probablemente mínima caída de presión en la presión del TDP	Pérdida de función, mínima pérdida de aire	1	1	3	3	1,68E-08

Panel alimentación /corte freno estacionamiento	Doble válvula de aislamiento	4	1	Mantiene la presión de liberación del freno	Fuga de aire	Suciedad, envejecimiento, desgaste	Ninguna	Probablemente mínima caída de presión en la liberación del freno de estacionamiento , probablemente mínima caída de presión en la presión del depósito auxiliar/probablemente mínima caída de presión en la presión de TDP.	Pérdida de función, mínima pérdida de aire	1	1	3	3	1,87E-09
Panel alimentación /corte freno estacionamiento	Doble válvula de aislamiento	4	1	Abre el paso a los cilindros del freno de estacionamiento y carga	No abre	Suciedad, envejecimiento, desgaste	No es posible comprobar el funcionamiento del freno de estacionamiento, lo que aumenta el tiempo de mantenimiento	Cilindros del freno de estacionamiento no cargados/no se acumula presión de desbloqueo del freno de estacionamiento	Pérdida de la función	1	1	3	3	1,17E-09

Panel alimentación /corte freno estacionamiento	Doble válvula de aislamiento	4	1	Cierra el paso a los cilindros del freno de estacionamiento y ventila	No cierra	Suciedad, envejecimiento, desgaste	Mayor tiempo de mantenimiento, el coche tiene que aislarse por otros medios	No se corta el paso a los cilindros del freno de estacionamiento /no es posible el mantenimiento del equipo del freno de estacionamiento	Pérdida de la función	1	1	5	5	1,11E-09
Panel alimentación /corte freno estacionamiento	Doble válvula de aislamiento	4	1	Cierra el paso a los cilindros del freno de estacionamiento y ventila	No cierra	Suciedad, envejecimiento, desgaste	Dependiente del fallo primario, el coche tiene que ser aislado por otros medios	No se corta el paso a los cilindros del freno de estacionamiento /cilindros del freno de estacionamiento aún bajo presión, desbloqueo del freno de estacionamiento	Pérdida de la función	1	1	5	5	5,84E-11
Panel alimentación /corte freno estacionamiento	Doble válvula de aislamiento	4	1	Indica la posición cerrada	No indica posición	Fallo eléctrico	La unidad de control del tren no es consciente de aislar el freno de estaciona-	Sin señal para la unidad de control de freno/unidad de control del tren/Ninguna	Pérdida de la función	1	1	3	3	4,68E-10

							miento, el diagnóstico de freno de estacionamiento aplicado conduce a un límite de velocidad o freno de emergencia							
Panel alimentación /corte freno estacionamiento	Doble válvula de aislamiento	4	1	Indica la posición cerrada	No indica posición	Conexión eléctrica incorrecta	La unidad de control del tren no es consciente de aislar el freno de estacionamiento, el diagnóstico de freno de estacionamiento aplicado conduce a un límite de velocidad o freno de emergencia	Sin señal para la unidad de control del freno/unidad de control del tren/ Ninguna	Pérdida de la función	1	1	3	3	1,87E-09

Panel de alimentación /corte de freno	Filtro de aire (1)	4	1	Mantiene la presión de TDP	Fuga de aire	Conexión incorrecta	Ninguna	Probablemente haya una pequeña caída de presión en TDP	Pérdida de la función, mínima pérdida de aire	1	1	3	3	3,97E-08
Panel de alimentación /corte de freno	Filtro de aire (1)	4	1	Mantiene la presión de TDP	Fuga de aire	Envejecimiento y desgaste	Ninguna	Probablemente haya una pequeña caída de presión en TDP	Pérdida de la función, mínima pérdida de aire	1	1	3	3	2,09E-09
Panel de alimentación /corte de freno	Filtro de aire (1)	4	1	Carga la presión del depósito auxiliar	Bloqueado	Suciedad	Diagnóstico de baja presión R (Válvula relé), aplicación del freno de emergencia, posibilidad de continuar la marcha tras la desconexión del vehículo en cuestión	El depósito auxiliar no está cargado, la presión de liberación del freno de estacionamiento no está cargada / caída gradual de la presión del depósito auxiliar	Pérdida de la función, la presión de la TDP aumenta.	1	1	3	3	1,83E-09

Panel de alimentación /corte de freno	Filtro de aire (1)	4	1	Carga la presión del depósito auxiliar	Bloqueado	No drenaje	Diagnóstico de baja presión R (Válvula relé), aplicación del freno de emergencia, posibilidad de continuar la marcha tras la desconexión del vehículo en cuestión	El depósito auxiliar no está cargado, la presión de liberación del freno de estacionamiento no está cargada / caída gradual de la presión del depósito auxiliar	Pérdida de la función, la presión de la TDP aumenta.	1	1	4	4	7,84E-10
Panel de alimentación /corte de freno	Filtro de aire (1)	4	1	Filtros de aire comprimido	No filtra el aire	No drenaje	Ninguna	El equipo de control de frenos con aire sucio, posible daño a otros equipos	Después de un largo periodo de funcionamiento, no se filtra más el aire comprimido	1	1	5	5	7,84E-09

Panel de alimentación /corte de freno	Válvula antirretorno (2)	4	1	Mantiene la presión de TDP	Fuga de aire	Suciedad, envejecimiento, desgaste	Ninguna	Probablemente haya una pequeña caída de presión en TDP	Pérdida de la función, perdida mínima de aire en la TDP	1	1	3	3	9,19E-09
Panel de alimentación /corte de freno	Válvula antirretorno (2)	4	1	Mantiene la presión de TDP	Fuga de aire	Conexión incorrecta	Ninguna	Probablemente haya una pequeña caída de presión en TDP	Pérdida de la función, perdida mínima de aire en la TDP	1	1	3	3	3,68E-08
Panel de alimentación /corte de freno	Válvula antirretorno (2)	4	1	Carga la presión del depósito auxiliar	No abre	Fallo	Presión en el punto R (Válvula relé) baja, no es posible soltar los frenos de estacionamiento, no es posible arrancar	Los depósitos auxiliares no están cargados, no disponibles.	Pérdida de la función	1	1	3	3	5,75E-09

Panel de alimentación /corte de freno	Válvula antirretorno (2)	4	1	Corta la presión del depósito auxiliar de la presión de la TDP	No cierra	Fallo	Pérdida del suministro de aire, aplicación del freno de emergencia y corte de tracción, aplicación del freno automático de parking	Se ventila la presión del depósito auxiliar /presión del depósito auxiliar no disponible	Pérdida de la función	1	1	5	5	5,75E-09
Panel de alimentación /corte de freno	Válvula de aislamiento (3)	4	1	Mantiene la presión del depósito auxiliar	Fuga de aire	Conexión incorrecta	Ninguna	Probablemente haya una pequeña caída de presión en los depósitos auxiliares/ Ninguna	Pérdida de la función, perdida mínima de aire	1	1	3	3	1,68E-08
Panel de alimentación /corte de freno	Válvula de aislamiento (3)	4	1	Mantiene la presión del depósito auxiliar	Fuga de aire	Suciedad, envejecimiento, desgaste	Ninguna	Caída de presión probablemente pequeña en los depósitos auxiliares/ Ninguna	Pérdida de la función, perdida mínima de aire	1	1	3	3	1,87E-09

Panel de alimentación /corte de freno	Válvula de aislamiento (3)	4	1	Abre el paso de la presión del depósito auxiliar al sistema de válvulas relé y lo carga	No abre	Suciedad, envejecimiento, desgaste	En un coche no hay freno, aumenta el tiempo de mantenimiento	Freno directo aireado y no conectado a los depósitos auxiliares	Pérdida de la función	1	1	3	3	1,17E-09
Panel de alimentación /corte de freno	Válvula de aislamiento (3)	4	1	Cierra el paso de la presión del depósito auxiliar al sistema de válvulas relé y lo ventila	No cierra	Suciedad, envejecimiento, desgaste	El equipo tiene que ser aislado por otros medios, dependiendo del tipo de fallo.	No se corta el paso de freno directo	Pérdida de la función	1	1	3	3	1,17E-10
Panel de alimentación /corte de freno	Válvula de aislamiento (3)	4	1	Indica la posición cerrada	No indica posición	Fallo eléctrico	No se obtiene información de la presión de la tubería de freno, probablemente sea confuso para el conductor	Ninguna/A la unidad de control del tren no llega información	Pérdida de la función	1	1	3	3	4,68E-10

Panel de alimentación /corte de freno	Válvula de aislamiento (4)	4	1	Mantiene la presión del depósito auxiliar	Fuga de aire	Conexión incorrecta	Ninguna	Probablemente haya una pequeña caída de presión en los depósitos auxiliares/ Ninguna	Pérdida de la función, pérdida mínima de aire	1	1	3	3	1,68E-08
Panel de alimentación /corte de freno	Válvula de aislamiento (4)	4	1	Mantiene la presión del depósito auxiliar	Fuga de aire	Suciedad, envejecimiento, desgaste	Ninguna	Caída de presión probablemente pequeña en los depósitos auxiliares/ Ninguna	Pérdida de la función, pérdida mínima de aire	1	1	3	3	1,87E-09
Panel de alimentación /corte de freno	Válvula de aislamiento (4)	4	1	Abre el paso de la presión del depósito auxiliar al sistema de válvulas relé y lo carga	No abre	Suciedad, envejecimiento, desgaste	En un coche no hay freno, aumenta el tiempo de mantenimiento	Freno directo aireado y no conectado a los depósitos auxiliares	Pérdida de la función	1	1	3	3	1,17E-09
Panel de alimentación /corte de freno	Válvula de aislamiento (4)	4	1	Cierra el paso de la presión del depósito auxiliar al sistema de válvulas	No cierra	Suciedad, envejecimiento, desgaste	El equipo tiene que ser aislado por otros medios, dependien-	No se corta el paso de freno directo	Pérdida de la función	1	1	3	3	1,17E-10

				relé y lo ventila			do del tipo de fallo.							
Panel de alimentación /corte de freno	Válvula de aislamiento (4)	4	1	Indica la posición cerrada	No indica posición	Fallo eléctrico	Ninguno/ La falta de presión R(válvula relé) provoca un mensaje de error en el sistema de freno directo	Ninguna/A la unidad de control del tren no llega información	Pérdida de la función	1	1	3	3	4,68E-10
Panel de alimentación /corte de freno	Válvula electromagnética (5)	4	1	Mantiene la presión del depósito auxiliar	Fuga de aire	Conexión incorrecta	Ninguna	Probablemente haya una pequeña caída de presión en los depósitos auxiliares/ Ninguna	Pérdida de la función, perdida mínima de aire	1	1	5	5	3,31E-08
Panel de alimentación /corte de freno	Válvula electromagnética (5)	4	1	Mantiene la presión del depósito auxiliar	Fuga de aire	Suciedad, envejecimiento, desgaste	Ninguna	Caída de presión probablemente pequeña en los depósitos auxiliares/ Ninguna	Pérdida de la función, perdida mínima de aire	1	1	5	5	8,28E-09

Panel de alimentación /corte de freno	Válvula electromagnética (5)	4	1	Abre el paso de la presión del depósito auxiliar al sistema de válvulas relé y lo carga	No abre	Fallo eléctrico	En un coche no hay freno, aumenta el tiempo de mantenimiento	Freno directo aireado y no conectado a los depósitos auxiliares	Pérdida de la función	1	1	2	2	1,73E-09
Panel de alimentación /corte de freno	Válvula electromagnética (5)	4	1	Abre el paso de la presión del depósito auxiliar al sistema de válvulas relé y lo carga	No abre	Fallo mecánico	En un coche no hay freno, aumenta el tiempo de mantenimiento	Freno directo aireado y no conectado a los depósitos auxiliares	Pérdida de la función	1	1	2	2	8,54E-10
Panel de alimentación /corte de freno	Válvula electromagnética (5)	4	1	Cierra el paso de la presión del depósito auxiliar al sistema de válvulas relé y lo ventila	No cierra	Conexión eléctrica incorrecta	El equipo tiene que ser aislado por otros medios, dependiendo del tipo de fallo.	No se corta el paso de freno directo	Pérdida de la función	1	1	2	2	5,20E-09

Panel de alimentación /corte de freno	Válvula electromagnética (5)	4	1	Cierra el paso de la presión del depósito auxiliar al sistema de válvulas relé y lo ventila	No cierra	Fallo mecánico	El equipo tiene que ser aislado por otros medios, dependiendo del tipo de fallo.	No se corta el paso de freno directo	Pérdida de la función	1	1	2	2	8,54E-10
Panel de alimentación /corte de freno	Válvula electromagnética (5)	4	1	Cierra el paso de la presión del depósito auxiliar al sistema de válvulas relés y lo ventila	No cierra	Fallo eléctrico	El equipo tiene que ser aislado por otros medios, dependiendo del tipo de fallo.	No se corta el paso de freno directo	Pérdida de la función	1	1	2	2	1,71E-09
Panel alimentación /corte tubería de freno	Doble válvula de aislamiento	4	1	Mantiene la presión de la tubería del freno automático	Fuga de aire	Conexión incorrecta	Ninguna	Probablemente haya una mínima caída de presión en la tubería de freno automático/ Ninguna	Pérdida de la función, perdida mínima de aire	1	1	3	3	8,42E-09
Panel alimentación /corte tubería de freno	Doble válvula de aislamiento	4	1	Mantiene la presión de la tubería del freno automático	Fuga de aire	Suciedad, envejecimiento, desgaste	Ninguna	Probablemente haya una mínima caída de presión en la tubería de freno automático/ Ninguna	Pérdida de la función, perdida mínima de aire	1	1	3	3	9,35E-10

Panel alimentación /corte tubería de freno	Doble válvula de aislamiento	4	1	Abre el paso de la TFA al distribuidor y lo carga	No abre	Suciedad, envejecimiento, desgaste	Prueba de funcionamiento del freno automático no posible, aumento del tiempo de mantenimiento	Sin aumento de la presión de control previo, sin aumento de la presión de frenado/ Ninguno	Pérdida de la función	1	1	3	3	9,35E-10
Panel alimentación /corte tubería de freno	Doble válvula de aislamiento	4	1	Cierra el paso de la TFA al distribuidor y lo carga	No cierra	Suciedad, envejecimiento, desgaste	El coche tiene que ser aislado por otros medios	El paso al distribuidor no se interrumpe/ depende del fallo primario	Pérdida de la función	1	1	3	3	9,35E-11
Panel alimentación /corte tubería de freno	Doble válvula de aislamiento	4	1	Mantiene la presión de la TDP	Fuga de aire	Conexión incorrecta	Ninguna	Probablemente haya una mínima caída de presión en la TDP/Ninguna	Pérdida de la función, perdida mínima de aire	1	1	3	3	8,42E-09
Panel alimentación /corte tubería de freno	Doble válvula de aislamiento	4	1	Mantiene la presión de la TDP	Fuga de aire	Suciedad, envejecimiento, desgaste	Ninguna	Probablemente haya una mínima caída de presión en la TDP/Ninguna	Pérdida de la función, perdida mínima de aire	1	1	3	3	9,35E-10

Panel alimentación /corte tubería de freno	Doble válvula de aislamiento	4	1	Abre el paso de la TDP al distribuidor y lo carga	No abre	Suciedad, envejecimiento, desgaste	Prueba de funcionamiento del freno automático no posible, aumento del tiempo de mantenimiento	Sin aumento de la presión de control previo, sin aumento de la presión de frenado/ Ninguna	Pérdida de la función	1	1	3	3	9,35E-10
Panel alimentación /corte tubería de freno	Doble válvula de aislamiento	4	1	Cierra el paso de la TDP al distribuidor y lo ventila	No cierra	Suciedad, envejecimiento, desgaste	El coche tiene que ser aislado por otros medios	El paso al distribuidor no está cortado/depende del fallo del primario	Pérdida de la función	1	1	3	3	9,35E-11
Panel de freno	Válvula reductora de presión (1)	2	1	Mantiene la presión de depósito auxiliar	Fuga de aire	Conexión incorrecta	Ninguna	Caída de presión probablemente mínima en el depósito auxiliar presión/Ninguna	Pérdida de la función, mínima pérdida de aire	1	1	5	5	3,06E-08
Panel de freno	Válvula reductora de presión (1)	2	1	Mantiene la presión de depósito auxiliar	Fuga de aire	Suciedad, envejecimiento, desgaste	Ninguna	Caída de presión probablemente mínima en el depósito auxiliar presión/ Ninguna	Pérdida de la función, mínima pérdida de aire	1	1	5	5	3,40E-09

Panel de freno	Válvula reductora de presión (1)	2	1	Abre paso al equipo de freno de estacionamiento y carga con presión reducida de TDP	No abre	Configuración incorrecta del valor	No se sueltan los frenos de estacionamiento en el coche en cuestión, no es posible el arranque, aumento del tiempo de mantenimiento.	Carga insuficiente o inexistente de la tubería del freno de estacionamiento /carga insuficiente o inexistente de los cilindros del freno de estacionamiento	Pérdida de la función	1	1	3	3	3,40E-09
Panel de freno	Válvula reductora de presión (1)	2	1	Abre paso al equipo de freno de estacionamiento y carga con presión reducida de TDP	No abre	Fallo	No se sueltan los frenos de estacionamiento en el coche en cuestión, no es posible el arranque, aumento del tiempo de mantenimiento.	Carga insuficiente o inexistente de la tubería del freno de estacionamiento /carga insuficiente o inexistente de los cilindros del freno de estacionamiento	Pérdida de la función	1	1	3	3	8,49E-10

Panel de freno	Válvula reductora de presión (1)	2	1	Cierra el paso al equipo de freno de estacionamiento una vez alcanzada la presión exigida	No cierra	Configuración incorrecta del valor	Ninguna	Demasiada presión de desbloqueo en el tubo del freno de estacionamiento / demasiada presión de desbloqueo del freno de estacionamiento	Pérdida de la función	1	1	3	3	3,40E-09
Panel de freno	Válvula reductora de presión (1)	2	1	Cierra el paso al equipo de freno de estacionamiento una vez alcanzada la presión exigida	No cierra	Fallo	Ninguna	Demasiada presión de desbloqueo en el tubo del freno de estacionamiento / demasiada presión de desbloqueo del freno de estacionamiento	Pérdida de la función	1	1	3	3	8,49E-10
Panel de freno	Válvula de impulsos (2)	2	1	Mantiene la presión del depósito auxiliar	Fuga de aire	Conexión incorrecta	Ninguna	Probablemente una caída de presión mínima en la presión de liberación del freno de estacionamiento /Ninguna	Pérdida de la función, mínima pérdida de aire	1	1	5	5	2,41E-08

Panel de freno	Válvula de impulsos (2)	2	1	Mantiene la presión del depósito auxiliar	Fuga de aire	Suciedad, envejecimiento, desgaste	Ninguna	Probablemente una caída de presión mínima en la presión de liberación del freno de estacionamiento /Ninguna	Pérdida de la función, mínima pérdida de aire	1	1	5	5	6,01E-09
Panel de freno	Válvula de impulsos (2)	2	1	Carga el equipo de freno de estacionamiento	No abre	Fallo mecánico	No es posible aflojar el freno de estacionamiento en el coche en cuestión	No se carga el tubo del freno de estacionamiento /no se cargan los cilindros de freno	Pérdida de la función	1	1	2	2	3,76E-09
Panel de freno	Válvula de impulsos (2)	2	1	Para de cargar el equipo de freno de estacionamiento	No cierra	Fallo mecánico	Aplicación del freno de parking no disponible en el coche en cuestión	No se ventila el tubo del freno de estacionamiento /no se ventilan los cilindros del freno	Pérdida de la función	1	1	2	2	3,76E-09

Panel de freno	Válvula (anti-suma de esfuerzos) (3)	2	1	Abre el paso de la tubería del cilindro de freno a la tubería del freno de estacionamiento y carga	No abre	Fallo	Superposición de la fuerza del freno de servicio y del freno de estacionamiento en el coche en cuestión, probablemente daños en las pinzas de freno afectadas.	No se carga el tubo del freno de estacionamiento /no se libera presión en el freno de estacionamiento accionado por resorte de las pinzas de freno en cuestión.	Pérdida de la función	1	1	3	3	2,87E-10
Panel de freno	Válvula (anti-suma de esfuerzos) (3)	2	1	Abre el paso de TDP al tubo del freno de estacionamiento y carga.	No abre	Fallo	No es posible liberar el freno de estacionamiento accionado por resorte.	No se carga el tubo del freno de estacionamiento /no se libera presión en el freno de estacionamiento accionado por resorte de las pinzas de freno en cuestión.	Pérdida de la función	1	1	3	3	2,59E-09

Panel de freno	Válvula (anti-suma de esfuerzos) (3)	2	1	Mantiene la presión de desbloqueo del freno de estacionamiento	Fuga de aire	Conexión incorrecta	Ninguna	Probablemente una caída de presión mínima en la presión TDP/ Ninguna	Pérdida de la función, pérdida de aire mínima	1	1	5	5	1,61E-08
Panel de freno	Válvula (anti-suma de esfuerzos) (3)	2	1	Mantiene la presión de la tubería del cilindro de freno C	Fuga de aire	Conexión incorrecta	Ninguna	Probablemente mínima caída de presión en la presión del cilindro de freno C, probablemente mínima caída de presión en la presión del depósito auxiliar/probablemente mínima caída de presión en la presión del TDP.	Pérdida de la función, pérdida de aire mínima	1	1	5	5	1,79E-09
Panel de freno	Válvula (anti-suma de esfuerzos) (3)	2	1	Mantiene la presión de desbloqueo del freno de estacionamiento	Fuga de aire	Suciedad, envejecimiento, desgaste	Ninguna	Probablemente una caída de presión mínima en la presión TDP/ Ninguna	Pérdida de la función, pérdida de aire mínima	1	1	5	5	4,03E-09

Panel de freno	Válvula (anti-suma de esfuerzos) (3)	2	1	Mantiene la presión de la tubería del cilindro de freno C	Fuga de aire	Suciedad, envejecimiento, desgaste	Ninguna	Probablemente mínima caída de presión en la presión del cilindro de freno C, probablemente mínima caída de presión en la presión del depósito auxiliar/probablemente mínima caída de presión en la presión del TDP	Pérdida de la función, pérdida de aire mínima	1	1	5	5	4,48E-10
Panel de freno	Válvula (anti-suma de esfuerzos) (3)	2	1	Cierra el paso de la válvula de relé a la TDP	No cierra	Fallo	Posible superposición de la fuerza del freno de servicio y del freno de estacionamiento en el coche en cuestión, posibles daños en las pinzas de freno afectadas.	Caída de presión en la presión de la tubería del freno, presión de alivio ventilada a través de la válvula magnética/probablemente caída de presión en la presión de la TDP	Pérdida de la función	1	1	3	3	2,87E-10

Panel de freno	Válvula (anti-suma de esfuerzos) (3)	2	1	Cierra el paso de la TDP al tubo del cilindro de freno	No cierra	Fallo	Ninguna	Caída de presión en la tubería del freno de estacionamiento , aumento de presión en la tubería del cilindro de freno ventilado por la válvula de relé/ probablemente caída de presión en la presión TDP	Pérdida de la función	1	1	3	3	2,59E-09
Panel de freno	Válvula (anti-suma de esfuerzos) (3)	2	1	Ventila la presión de desbloqueo del freno de estacionamiento	No abre	Fallo	No aplicación del freno de estacionamiento por la presión de liberación del freno de estacionamiento en el coche en cuestión.	No se libera la presión de la tubería del freno de estacionamiento /Ninguna	Pérdida de la función	1	1	3	3	5,75E-10

Panel de freno	Válvula electromagnética (4)	2	1	Mantiene la presión de precontrol Cv (pilotaje válvula relé)	Fuga de aire	Conexión incorrecta	Ninguna	Probablemente mínima caída de presión en la presión de precontrol, ajustada mediante regulador de presión/probablemente mínima caída de presión en la presión de los depósitos auxiliares	Perdida de la función, pérdida de aire mínima	1	1	5	5	1,66E-08
Panel de freno	Válvula electromagnética (4)	2	1	Mantiene la presión de precontrol Cv (pilotaje válvula relé)	Fuga de aire	Suciedad, envejecimiento, desgaste	Ninguna	Probablemente mínima caída de presión en la presión de precontrol, ajustada mediante regulador de presión/probablemente mínima caída de presión en la presión de los depósitos auxiliares	Perdida de la función, pérdida de aire mínima	1	1	5	5	4,14E-09

Panel de freno	Válvula electromagnética (4)	2	1	Abre el paso a la válvula de relé y carga la presión de precontrol Cv.	No abre	Fallo eléctrico	Liberación remota	Presión de precontrol Cv no cargada, valor real Cv < valor exigido Cv/presión del cilindro de freno C no cargada	Pérdida de la función	1	1	2	2	8,54E-10
Panel de freno	Válvula electromagnética (4)	2	1	Abre el paso a la válvula de relé y carga la presión de precontrol Cv.	No abre	Conexión eléctrica incorrecta	Liberación remota	Presión de precontrol Cv no cargada, valor real Cv < valor exigido Cv/presión del cilindro de freno C no cargada	Pérdida de la función	1	1	2	2	2,60E-09
Panel de freno	Válvula electromagnética (4)	2	1	Abre el paso a la válvula de relé y carga la presión de precontrol Cv.	No abre	Fallo mecánico	Liberación remota	Presión de precontrol Cv no cargada, valor real Cv < valor exigido Cv/presión del cilindro de freno C no cargada	Pérdida de la función	1	1	2	2	4,27E-10

Panel de freno	Válvula electromagnética (4)	2	1	Cierra el paso a la válvula de relé y deja de cargar la presión de precontrol Cv.	No cierra	Fallo mecánico	Liberación remota	Carga de la presión de precontrol Cv no parado, valor real Cv > valor demandado Cv/presión del cilindro de freno C no evacuada	Perdida de la función	1	1	2	2	4,27E-10
Panel de freno	Válvula electromagnética (4)	2	1	Cierra el paso a la válvula de relé y deja de cargar la presión de precontrol Cv.	No cierra	Fallo eléctrico	Liberación remota	Carga de la presión de precontrol Cv no parado, valor real Cv > valor demandado Cv/presión del cilindro de freno C no evacuada	Perdida de la función	1	1	2	2	8,66E-10

Panel de freno	Válvula electromagnética (5)	2	1	Mantiene la presión de precontrol Cv	Fuga de aire	Conexión incorrecta	Ninguna	Probablemente mínima caída de presión en la presión de precontrol, ajustada mediante regulador de presión/probablemente mínima caída de presión en la presión de los depósitos auxiliares	Perdida de la función, perdida de aire mínima	1	1	5	5	1,66E-08
Panel de freno	Válvula electromagnética (5)	2	1	Mantiene la presión de precontrol Cv	Fuga de aire	Suciedad, envejecimiento, desgaste	Ninguna	Probablemente mínima caída de presión en la presión de precontrol, ajustada mediante regulador de presión/probablemente mínima caída de presión en la presión de los depósitos auxiliares	Perdida de la función, perdida de aire mínima	1	1	5	5	4,14E-09

Panel de freno	Válvula electromagnética (5)	2	1	Ventila la presión de precontrol Cv	No abre	Fallo eléctrico	Ninguna	Presión de precontrol Cv no ventilado, valor real Cv > valor demandado Cv/ presión del cilindro de freno C no ventilado	Pérdida de la función	1	1	2	2	8,66E-10
Panel de freno	Válvula electromagnética (5)	2	1	Ventila la presión de precontrol Cv	No abre	Fallo mecánico	Ninguna	Presión de precontrol Cv no ventilado, valor real Cv > valor demandado Cv/ presión del cilindro de freno C no ventilado	Pérdida de la función	1	1	2	2	4,27E-10
Panel de freno	Válvula electromagnética (5)	2	1	Detiene la ventilación de la presión de precontrol Cv	No cierra	Conexión eléctrica incorrecta	Liberación remota	Venteo de la presión de precontrol Cv no detenido, valor real Cv < valor demandado Cv/ presión de cilindro de freno C venteado	Pérdida de la función	1	1	2	2	2,60E-09

Panel de freno	Válvula electromagnética (5)	2	1	Detiene la ventilación de la presión de precontrol Cv	No cierra	Fallo mecánico	Liberación remota	Venteo de la presión de precontrol Cv no detenido, valor real Cv < valor demandado Cv/presión de cilindro de freno C venteado	Pérdida de la función	1	1	2	2	4,27E-10
Panel de freno	Válvula electromagnética (5)	2	1	Detiene la ventilación de la presión de precontrol Cv	No cierra	Fallo eléctrico	Liberación remota	Venteo de la presión de precontrol Cv no detenido, valor real Cv < valor demandado Cv/presión de cilindro de freno C venteado	Pérdida de la función	1	1	2	2	8,54E-10

Panel de freno	Válvula electromagnética (6)	2	1	Cierra el paso de la válvula de precontrol a la válvula relé, abre el paso del depósito auxiliar a la válvula relé y carga la presión de precontrol	No cierra	Fallo mecánico	Liberación remota	Sin carga de la válvula relé con la presión del depósito, generación redundante de presión de precontrol a través del sistema de freno directo/ Ninguna	Pérdida de la función	1	1	2	2	1,55E-10
Panel de freno	Válvula electromagnética (6)	2	1	Cierra el paso de la válvula de precontrol a la válvula relé, abre el paso del depósito auxiliar a la válvula relé y carga la presión de precontrol	No cierra	Fallo eléctrico	Liberación remota	Sin carga de la válvula relé con la presión del depósito, generación redundante de presión de precontrol a través del sistema de freno directo/Ninguna	Pérdida de la función	1	1	2	2	3,62E-10

Panel de freno	Válvula electromagnética (6)	2	1	Abre el paso de la válvula de precontrol a la válvula de relé, abre el paso del depósito auxiliar a la válvula de relé y carga la presión de precontrol	No abre	Fallo mecánico	Liberación remota	No se libera la presión/presión del cilindro de freno C no se ventila	Pérdida de la función	1	1	2	2	2,59E-10
Panel de freno	Válvula electromagnética (6)	2	1	Abre el paso de la válvula de precontrol a la válvula de relé, abre el paso del depósito auxiliar a la válvula de relé y carga la presión de precontrol	No abre	Fallo eléctrico	Liberación remota	No se libera la presión/presión del cilindro de freno C no se ventila	Pérdida de la función	1	1	2	2	5,17E-10

Panel de freno	Válvula electromagnética (6)	2	1	Abre el paso de la válvula de precontrol a la válvula de relé, abre el paso del depósito auxiliar a la válvula de relé y carga la presión de precontrol	No abre	Conexión eléctrica incorrecta	Liberación remota	No se libera la presión/presión del cilindro de freno C no se ventila	Pérdida de la función	1	1	2	2	1,81E-09
Panel de freno	Válvula electromagnética (6)	2	1	Mantiene la presión de los depósitos auxiliares	Fuga de aire	Conexión incorrecta	Ninguna	Ninguna	Pérdida de la función, perdida de aire mínima	1	1	5	5	3,31E-09
Panel de freno	Válvula electromagnética (6)	2	1	Mantiene la presión de precontrol	Fuga de aire	Conexión incorrecta	Ninguna	Caída de presión probablemente mínima en la presión de precontrol, ajustada mediante válvulas de precontrol	Pérdida de la función, perdida de aire mínima	1	1	5	5	1,32E-08

Panel de freno	Válvula electromagnética (6)	2	1	Mantiene la presión de los depósitos auxiliares	Fuga de aire	Suciedad, envejecimiento, desgaste	Ninguna	Ninguna	Pérdida de la función, pérdida de aire mínima	1	1	5	5	8,28E-10
Panel de freno	Válvula electromagnética (6)	2	1	Mantiene la presión de precontrol	Fuga de aire	Suciedad, envejecimiento, desgaste	Ninguna	Caída de presión probablemente mínima en la presión de precontrol, ajustada mediante válvulas de precontrol	Pérdida de la función, pérdida de aire mínima	1	1	5	5	3,31E-09
Panel de freno	Válvula reductora de presión (7)	2	1	Mantiene la presión de precontrol de la válvula relé	Fuga de aire	Conexión incorrecta	Ninguna	Probablemente mínima caída de presión en la presión de precontrol, ajustada mediante válvula reductora de presión/Ninguna	Pérdida de la función, mínima pérdida de aire	1	1	5	5	2,39E-08
Panel de freno	Válvula reductora de presión (7)	2	1	Mantiene la presión de precontrol de la válvula relé	Fuga de aire	Suciedad, envejecimiento, desgaste	Ninguna	Probablemente mínima caída de presión en la presión de precontrol, ajustada	Pérdida de la función, mínima pérdida de aire	1	1	5	5	6,37E-09

								mediante válvula reductora de presión/Ninguna						
Panel de freno	Válvula reductora de presión (7)	2	1	Mantiene la presión de precontrol de la válvula relé	Fuga de aire	Fallo	Ninguna	Probablemente mínima caída de presión en la presión de precontrol, ajustada mediante válvula reductora de presión/Ninguna	Pérdida de la función, mínima pérdida de aire	1	1	5	5	1,59E-09

Panel de freno	Válvula reductora de presión (7)	2	1	Mantiene la presión de precontrol de la válvula relé	Fuga de aire extrema	Envejecimiento	Sin frenado en un coche, reducción de la fuerza de frenado por fricción freno de emergencia disponible	Caída de presión extrema en la presión de precontrol, caída de presión alimentada en la presión del depósito/sin carga de la presión del cilindro de freno C	Pérdida de la función, pérdida de aire extrema	1	1	3	3	2,12E-09
Panel de freno	Válvula reductora de presión (7)	2	1	Cierra el paso a la válvula de relé y limita la presión de precontrol según el valor ajustado	No cierra	Desajuste	Aumento de la frenada en el coche afectado, probablemente frenada excesiva, riesgo de daños en los mecanismos de frenado	La presión de precontrol no está limitada, carga de la válvula de relé con toda la presión del depósito/carga de la presión del cilindro de freno C con toda la presión del depósito	Perdida de la función	1	1	3	3	1,91E-09

Panel de freno	Válvula reductora de presión (7)	2	1	Cierra el paso a la válvula de relé y limita la presión de precontrol según el valor ajustado	No cierra	Fallo	Aumento de la frenada en el coche afectado, probablemente frenada excesiva, riesgo de daños en los mecanismos de frenado	La presión de precontrol no está limitada, carga de la válvula de relé con toda la presión del depósito/carga de la presión del cilindro de freno C con toda la presión del depósito	Perdida de la función	1	1	3	3	2,12E-10
Panel de freno	Válvula reductora de presión (7)	2	1	Ventilación la presión de precontrol de la válvula relé	No abre	Fallo	No se aflojan los frenos del coche en cuestión	Sin evacuación de la presión de precontrol/sin ventilación de la presión del cilindro de freno C	Pérdida de la función	1	1	2	2	2,12E-09
Panel de freno	Válvula antirretorno (8)	2	1	Mantiene la presión TDP	Fuga de aire	Suciedad, envejecimiento, desgaste	Ninguna	Probablemente mínima caía de presión de la TDP	Pérdida de la función, mínima perdida de aire	1	1	5	5	4,60E-09
Panel de freno	Válvula antirretorno (8)	2	1	Mantiene la presión TDP	Fuga de aire	Conexión incorrecta	Ninguna	Probablemente mínima caía de presión de la TDP	Pérdida de la función, mínima perdida de aire	1	1	5	5	1,84E-08

Panel de freno	Válvula antirretorno (8)	2	1	Cierra la presión C de salida a los cilindros	No se cierra	Fallo	Bogie frenado, se puede aislar bogie	Presión del depósito de frenos en los cilindros	Pérdida de la función	1	1	4	4	2,87E-09
Panel de freno	Válvula antirretorno (8)	2	1	Carga la presión del depósito auxiliar	No abre	Fallo	Bogie frenado constantemente	El aire de los cilindros no se ventila	Pérdida de la función	1	1	4	4	2,87E-09
Panel de freno	Válvula relé (9)	2	1	Aumentar la presión C en función de la presión T	Presión de C incorrecta	Fallo	Frenado insuficiente o excesivo en el bogie afectado	Presión incorrecta de la tubería del cilindro de freno/presión incorrecta del cilindro de freno C	Pérdida de la función	3	1	2	6	4,18E-09
Panel de freno	Válvula relé (9)	2	1	Abre el paso a los cilindros de freno y los carga	No se abre	Fallo	Reducción o ausencia de frenado en un coche, reducción de la fuerza de frenado por fricción	Reducción o ausencia de carga de la tubería del cilindro de freno/reducción o ausencia de carga de la presión del cilindro de freno C	Pérdida de la función	3	1	2	6	4,18E-10

Panel de freno	Válvula relé (9)	2	1	Ventila la presión del cilindro de freno	No se abre	Fallo	No se aflojan los frenos del coche en cuestión, aislamiento del coche en cuestión	Reducción o ausencia de ventilación de la tubería del cilindro de freno/reducción o ausencia de ventilación de la presión del cilindro de freno C	Pérdida de la función	5	1	2	10	4,18E-10
Panel de freno	Válvula relé (9)	2	1	Abre el paso a los cilindros de freno y los carga	No se abre	Suciedad, envejecimiento, desgaste	Reducción o ausencia de frenado en un coche, reducción de la fuerza de frenado por fricción	Reducción o ausencia de carga de la tubería del cilindro de freno/reducción o ausencia de carga de la presión del cilindro de freno C	Pérdida de la función	3	1	2	6	1,67E-09
Panel de freno	Válvula relé (9)	2	1	Ventila la presión de freno cilindro de freno	No se abre	Suciedad, envejecimiento, desgaste	No se aflojan los frenos del coche en cuestión, aislamiento del coche en cuestión	Reducción o ausencia de ventilación de la tubería del cilindro de freno/reducción o ausencia de ventilación de la presión del cilindro de freno C	Pérdida de la función	1	1	2	2	1,67E-09

Panel de freno	Válvula relé (9)	2	1	Mantiene la presión de los cilindros del freno C	Fuga de aire	Fallo	Ninguna	Caída de presión probablemente mínima en la tubería del cilindro de freno, ajustada por la propia válvula relé/Ninguna	Pérdida de la función, mínima pérdida de aire	1	1	5	5	1,57E-09
Panel de freno	Válvula relé (9)	2	1	Mantiene la presión de los cilindros del freno C	Fuga de aire	Conexión incorrecta	Ninguna	Caída de presión probablemente mínima en la tubería del cilindro de freno, ajustada por la propia válvula relé/ Ninguna	Pérdida de la función, mínima pérdida de aire	1	1	5	5	2,35E-08
Panel de freno	Válvula relé (9)	2	1	Mantiene la presión de los cilindros del freno C	Fuga de aire	Suciedad, envejecimiento, desgaste	Ninguna	Caída de presión probablemente mínima en la tubería del cilindro de freno, ajustada por la propia válvula relé/ Ninguna	Pérdida de la función, mínima pérdida de aire	1	1	5	5	6,27E-09

Panel de freno	Válvula relé (9)	2	1	Mantiene la presión de los cilindros del freno C	Fuga de aire extrema	Envejecimiento o desgaste	Sin freno en un coche, reducción de la fuerza de frenado por fricción, freno de emergencia disponible	Caída de presión extrema en la tubería del cilindro de freno/caída de presión extrema en la presión del cilindro de freno C	Pérdida de la función	1	1	3	3	2,09E-09
Panel de freno	Válvula reductora de presión (10)	2	1	Mantiene la presión de la tubería de depósitos principales	Fuga de aire	Conexión incorrecta	Ninguna	Caída de presión probablemente mínima en la reducción de la presión de TDP/ Ninguna	Perdida de la función, mínima pérdida de aire	1	1	5	5	2,39E-08
Panel de freno	Válvula reductora de presión (10)	2	1	Mantiene la presión de la tubería de depósitos principales	Fuga de aire	Suciedad, envejecimiento, desgaste	Ninguna	Caída de presión probablemente mínima en la reducción de la presión de TDP/ Ninguna	Perdida de la función, mínima pérdida de aire	1	1	5	5	6,37E-09
Panel de freno	Válvula reductora de presión (10)	2	1	Mantiene la presión de la tubería de depósitos principales	Fuga de aire	Fallo	Ninguna	Caída de presión probablemente mínima en la reducción de la presión de la TDP/ Ninguna	Perdida de la función, mínima pérdida de aire	1	1	5	5	1,59E-09

Panel de freno	Válvula reductora de presión (10)	2	1	Cierra el paso al aire comprimido del depósito de frenos al distribuidor	No cierra	Desajuste	Ninguna	No limita la presión de entrada en caso de sobrepasarla, presión en los cilindros excesiva	Perdida de la función	1	1	3	3	1,91E-09
Panel de freno	Válvula reductora de presión (10)	2	1	Cierra el paso al aire comprimido del depósito de frenos al distribuidor	No cierra	Fallo	Ninguna	No limita la presión de entrada en caso de sobrepasarla, presión en los cilindros excesiva	Perdida de la función	1	1	3	3	2,12E-10
Panel de freno	Válvula reductora de presión (10)	2	1	Abre el paso al aire comprimido del depósito de frenos al distribuidor y lo carga	No abre	Fallo	Freno indirecto no disponible en el coche en cuestión	Distribuidor no cargado	Perdida de la función	1	1	2	2	2,12E-09
Panel de freno	Distribuidor (11)	2	1	Mantiene la presión de la TFA	Fuga de aire	Conexión incorrecta	Ninguna	Probablemente una caída de presión mínima en la presión de la tubería de freno/Ninguno	Pérdida de la función, pérdida de aire mínima	1	1	5	5	1,64E-08

Panel de freno	Distribuidor (11)	2	1	Mantiene la presión de precontrol	Fuga de aire	Conexión incorrecta	Ninguna	Caída de presión probablemente mínima en la presión de precontrol Cv, ajustada por la propia válvula distribuidora/ Ninguna	Pérdida de la función, pérdida de aire mínima	1	1	5	5	1,64E-08
Panel de freno	Distribuidor (11)	2	1	Mantiene la presión de la TFA	Fuga de aire	Suciedad, envejecimiento, desgaste	Ninguna	Probablemente una caída de presión mínima en la presión de la tubería de freno/Ninguno	Pérdida de la función, pérdida de aire mínima	1	1	5	5	4,36E-09
Panel de freno	Distribuidor (11)	2	1	Mantiene la presión de precontrol	Fuga de aire	Suciedad, envejecimiento, desgaste	Ninguna	Caída de presión probablemente mínima en la presión de precontrol Cv, ajustada por la propia válvula distribuidora/ Ninguna	Pérdida de la función, pérdida de aire mínima	1	1	5	5	4,36E-09
Panel de freno	Distribuidor (11)	2	1	Mantiene la presión de la TFA	Fuga de aire	Fallo	Ninguna	Probablemente una caída de presión mínima en la presión de la tubería de freno/Ninguno	Pérdida de la función, pérdida de aire mínima	1	1	5	5	1,09E-09

Panel de freno	Distribuidor (11)	2	1	Mantiene la presión de precontrol	Fuga de aire	Fallo	Ninguna	Caída de presión probablemente mínima en la presión de precontrol Cv, ajustada por la propia válvula distribuidora/ Ninguna	Pérdida de la función, pérdida de aire mínima	1	1	5	5	1,09E-09
Panel de freno	Distribuidor (11)	2	1	Abre el paso a la unidad de control de los frenos y modifica la presión de precontrol	No abre	Desajuste	Frenado indirecto reducido o nulo en los vehículos afectados	Reducción o ausencia de carga de la presión de precontrol/reducción o ausencia de carga de la presión del cilindro de freno C	Pérdida de la función	1	1	2	2	4,09E-10
Panel de freno	Distribuidor (11)	2	1	Ventila la presión de precontrol	No abre	Desajuste	Freno en coche afectado no liberado	Reducción o ausencia de ventilación de la presión de precontrol/reducción o ausencia de ventilación de la presión del cilindro de freno C	Pérdida de la función	1	1	2	2	4,09E-10

Panel de freno	Distribuidor (11)	2	1	Abre el paso a la unidad de control de los frenos y modifica la presión de precontrol	No abre	Fallo	Frenado indirecto reducido o nulo en los vehículos afectados	Reducción o ausencia de carga de la presión de precontrol/reducción o ausencia de carga de la presión del cilindro de freno C	Pérdida de la función	1	1	2	2	1,36E-10
Panel de freno	Distribuidor (11)	2	1	Ventila la presión de precontrol	No abre	Fallo	Freno en coche afectado no liberado	Reducción o ausencia de ventilación de la presión de precontrol/reducción o ausencia de ventilación de la presión del cilindro de freno C	Pérdida de la función	1	1	2	2	1,36E-10
Panel de freno	Distribuidor (11)	2	1	Abre el paso a la unidad de control de los frenos y modifica la presión de precontrol	No abre	Suciedad, envejecimiento, desgaste	Frenado indirecto reducido o nulo en los vehículos afectados	Reducción o ausencia de carga de la presión de precontrol/reducción o ausencia de carga de la presión del cilindro de freno C	Pérdida de la función	1	1	2	2	2,18E-09

Panel de freno	Distribuidor (11)	2	1	Ventila la presión de precontrol	No abre	Suciedad, envejecimiento, desgaste	Freno en coche afectado no liberado	Reducción o ausencia de ventilación de la presión de precontrol/reducción o ausencia de ventilación de la presión del cilindro de freno C	Pérdida de la función	1	1	2	2	2,18E-09
Panel de freno	Distribuidor (11)	2	1	Cierra el paso a la unidad de control del freno y deja de cargar la presión de precontrol	No cierra	Fallo	Mayor frenado en un coche	Carga adicional de la presión de precontrol/carga adicional de la presión del cilindro de freno C	Pérdida de la función	1	1	2	2	1,36E-10
Panel de freno	Distribuidor (11)	2	1	Deja de ventilar la presión de precontrol	No cierra	Fallo	No hay frenado indirecto en el coche en cuestión	Ventilación adicional de la presión de precontrol/ventilación adicional de la presión del cilindro de freno C	Pérdida de la función	1	1	2	2	1,36E-10

Panel de freno	Distribuidor (11)	2	1	Cierra el paso a la unidad de control del freno y deja de cargar la presión de precontrol	No cierra	Suciedad, envejecimiento, desgaste	Mayor frenado en un coche	Carga adicional de la presión de precontrol/carga adicional de la presión del cilindro de freno C	Pérdida de la función	1	1	2	2	2,18E-09
Panel de freno	Distribuidor (11)	2	1	Deja de ventilar la presión de precontrol	No cierra	Suciedad, envejecimiento, desgaste	No hay frenado indirecto en el coche en cuestión	Ventilación adicional de la presión de precontrol/ventilación adicional de la presión del cilindro de freno C	Pérdida de la función	1	1	2	2	2,18E-09
Panel de freno	Distribuidor (11)	2	1	Cierra el paso a la unidad de control del freno y deja de cargar la presión de precontrol	No cierra	Desajuste	Mayor frenado en un coche	Carga adicional de la presión de precontrol/carga adicional de la presión del cilindro de freno C	Pérdida de la función	1	1	2	2	4,09E-10

Panel de freno	Distribuidor (11)	2	1	Deja de ventilar la presión de precontrol	No cierra	Desajuste	No hay frenado indirecto en el coche en cuestión	Ventilación adicional de la presión de precontrol/ventilación adicional de la presión del cilindro de freno C	Pérdida de la función	1	1	2	2	4,09E-10
Panel suspensión neumática	Válvula de rebose (1)	4	1	Mantiene la presión de la TDP	Fuga de aire	Suciedad, envejecimiento, desgaste	Ninguna	Probablemente mínima caída de presión/ probablemente mínima caída de presión en TDP presión	Pérdida de la función, mínima pérdida de aire	1	1	5	5	5,89E-09
Panel suspensión neumática	Válvula de rebose (1)	4	1	Mantiene la presión de la TDP	Fuga de aire	Conexión incorrecta	Ninguna	Probablemente mínima caída de presión/ probablemente mínima caída de presión en TDP presión	Pérdida de la función, mínima pérdida de aire	1	1	5	5	2,36E-08
Panel suspensión neumática	Válvula de rebose (1)	4	1	Carga el equipo de suspensión neumática a la presión TDP ajustada	No abre	Fallo	Sin suspensión neumática en un bogie, menor confort de suspensión, frenado con carga sustitutiva	El equipo de suspensión neumática no está cargado/no hay señal de presión de carga	Pérdida de la función	3	1	5	15	1,07E-09

Panel suspensión neumática	Válvula de rebose (1)	4	1	Cierra el paso al equipo de suspensión neumática	No cierra	Fallo	Pérdida temporal de aire en un bogie	Drenaje de la presión de la TDP debido al consumo de aire de la suspensión neumática/ probablemente mayor tiempo de puesta en marcha	Pérdida de la función	1	1	5	5	3,86E-09
Panel suspensión neumática	Válvula de rebose (1)	4	1	Cierra el paso al equipo de suspensión neumática	No cierra	Fallo	Ninguna	Caída de presión en la suspensión neumática/ Ninguna	Pérdida de la función	1	1	5	5	4,28E-10
Panel suspensión neumática	Válvula de rebose (1)	4	1	Evita el reflujo, mantiene la presión de suspensión del aire	Sin prevención de reflujo	Suciedad, envejecimiento, desgaste	Pérdida temporal de aire en un bogie	Caída de presión en la suspensión neumática/ probablemente mayor tiempo de arranque	Pérdida de la función	1	1	5	5	9,64E-09

Panel suspensión neumática	Válvula de rebose (1)	4	1	Evita el reflujo, mantiene la presión de suspensión del aire	Sin prevención de reflujo	Suciedad, envejecimiento, desgaste	Sin suspensión neumática en un bogie, menor confort de la suspensión neumática, frenado con carga sustitutiva.	Caída de la presión de la suspensión neumática/ probablemente sin presión de carga.	Pérdida de la función	1	1	5	5	1,07E-09
Panel suspensión neumática	Válvula reductora de presión (2)	4	1	Mantiene la presión de TDP	Fuga de aire	Conexión incorrecta	Ninguna	Probablemente una caída de presión mínima en la presión TDP/Ninguna	Pérdida de la función, mínima pérdida de aire	1	1	5	5	4,89E-08
Panel suspensión neumática	Válvula reductora de presión (2)	4	1	Mantiene la presión de TDP	Fuga de aire	Suciedad, envejecimiento, desgaste	Ninguna	Probablemente una caída de presión mínima en la presión TDP/Ninguna	Pérdida de la función, mínima pérdida de aire	1	1	5	5	5,43E-09
Panel suspensión neumática	Válvula reductora de presión (2)	4	1	Abre paso al control de la suspensión y carga con presión TDP reducida	No abre	Configuración incorrecta del valor	No es posible arrancar	Probablemente baja presión de suspensión con carga excepcional	Pérdida de la función	3	1	5	15	6,79E-09

Panel suspensión neumática	Válvula reductora de presión (2)	4	1	Abre paso al control de la suspensión y carga con presión TDP reducida	No abre	Fallo	No es posible arrancar	La suspensión no se llena	Pérdida de la función	3	1	5	15	1,70E-09
Panel suspensión neumática	Válvula reductora de presión (2)	4	1	Cierra el paso al control de suspensión cuando se alcanza la presión ajustada.	No cierra	Configuración incorrecta del valor	Ninguna	Presión de suspensión no limitada en caso de fallo de la válvula de nivelación	Pérdida de la función	1	1	5	5	6,79E-09
Panel suspensión neumática	Válvula reductora de presión (2)	4	1	Cierra el paso al control de suspensión cuando se alcanza la presión ajustada.	No cierra	Fallo	Ninguna	Presión de suspensión no limitada en caso de fallo de la válvula de nivelación	Pérdida de la función	1	1	5	5	1,70E-09

Panel suspensión neumática	Válvula de aislamiento (3)	4	1	Mantiene la presión de la suspensión neumática	Fuga de aire	Conexión incorrecta	Ninguna	Probablemente mínima caída de presión en la presión de la suspensión neumática/ probablemente mínima caída de presión en la presión de la TDP.	Pérdida de la función, pequeña pérdida de aire	1	1	5	5	1,89E-08
Panel suspensión neumática	Válvula de aislamiento (3)	4	1	Mantiene la presión de la suspensión neumática	Fuga de aire	Suciedad, envejecimiento, desgaste	Ninguna	Probablemente mínima caída de presión en la presión de la suspensión neumática/ probablemente mínima caída de presión en la presión de la TDP.	Pérdida de la función, pequeña pérdida de aire	1	1	5	5	2,10E-09
Panel suspensión neumática	Válvula de aislamiento (3)	4	1	Abre paso al bogie de suspensión neumática y carga	No abre	Suciedad, envejecimiento, desgaste	Sin suspensión neumática en un coche, sin posibilidad de arranque, mayor tiempo de mantenimiento.	El equipo de suspensión neumática del bogie en cuestión no está cargado/no hay presión de suspensión neumática en el bogie en cuestión.	Perdida de la función	5	1	3	15	1,17E-09

Panel suspensión neumática	Válvula de aislamiento (3)	4	1	Cierra el paso al equipo de suspensión neumática de un bogie y ventila	No cierra	Suciedad, envejecimiento, desgaste	Aumentan el tiempo de mantenimiento	Equipo de suspensión neumática no ventilado, control de suspensión neumática de un bogie no cortado/ no es posible comprobar el funcionamiento del equipo de suspensión neumática.	Pérdida de la función	1	1	5	5	1,05E-09
Panel suspensión neumática	Válvula de aislamiento (3)	4	1	Cierra el paso al equipo de suspensión neumática de un bogie y ventila	No cierra	Suciedad, envejecimiento, desgaste	Sin suspensión neumática en un bogie.	Equipo de suspensión neumática no ventilado, control de suspensión neumática de un bogie no cortado/ la presión TDP desciende a la presión ajustada limitada por la válvula de rebose, presión TDP limitada	Pérdida de la función	1	1	5	5	1,17E-10

								utilizada para crear presión de carga a través de la válvula relé para la aplicación del freno de emergencia.						
Panel suspensión neumática	Válvula de presión media (VM)	4	1	Mantiene la presión de carga T	Fuga de aire	Fallo	Ninguna	Caída mínima de la presión de la suspensión neumática	Pérdida de la función, pérdida de aire mínima	1	1	5	5	6,37E-08
Panel suspensión neumática	Válvula de presión media (VM)	4	1	Abre el paso a la entrada "T" de la válvula relé y carga	Apertura nula o reducida	Fallo	Frenado con carga por defecto en coche afectado	Ninguna	Pérdida de la función	1	1	5	5	7,96E-10
Panel suspensión neumática	Válvula de presión media (VM)	4	1	Cierra el paso a la entrada "T" de la válvula relé y ventila	Sin ventilación o con ventilación reducida	Fallo	Posible sobrefrenada y activación del WSP (sistema antideslizamiento)	Ninguna	Pérdida de la función	1	1	5	5	7,96E-10

Panel suspensión neumática	Válvula de nivelación (VN)	8	2	Mantiene la presión de la suspensión neumática	Fuga de aire	Fallo	Ninguna	Probablemente una caída de presión mínima en la presión de la suspensión neumática, probablemente carga/ ventila a través de válvulas de nivelación/ Ninguna	Pérdida de la función, pérdida de aire mínima	2	1	5	10	7,44E-10
Panel suspensión neumática	Válvula de nivelación (VN)	8	2	Mantiene la presión de la suspensión neumática	Fuga de aire	Conexión incorrecta	Ninguna	Probablemente una caída de presión mínima en la presión de la suspensión neumática, probablemente carga/ ventila a través de válvulas de nivelación/ Ninguna	Pérdida de la función, pérdida de aire mínima	2	1	5	10	1,12E-08

Panel suspensión neumática	Válvula de nivelación (VN)	8	2	Mantiene la presión de la suspensión neumática	Fuga de aire	Suciedad, envejecimiento, desgaste	Ninguna	Probablemente una caída de presión mínima en la presión de la suspensión neumática, probablemente carga/ ventila a través de válvulas de nivelación/ Ninguna	Pérdida de la función, pérdida de aire mínima	2	1	5	10	2,97E-09
Panel suspensión neumática	Válvula de nivelación (VN)	8	2	Abre el paso al fuelle de aire y carga	No abre	Fallo	Probable reducción del confort de suspensión en un bogie	No es posible cargar el fuelle/Ninguna	Pérdida de la función	2	1	2	4	8,26E-11
Panel suspensión neumática	Válvula de nivelación (VN)	8	2	Abre el paso al fuelle de aire y carga	No abre	Desajuste	Reducción de la comodidad de la suspensión en un bogie/el peor caso de suspensión en la parte superior siempre	No es posible la ventilación del fuelle/ Ninguno	Pérdida de la función	2	1	2	4	3,31E-10

Panel suspensión neumática	Válvula de nivelación (VN)	8	2	Detiene la salida de aire del fuelle	No cierra	Desajuste	Reducción del confort de suspensión en un bogie.	Vaciado de fuelles/ probablemente caída de presión en TDP hasta el nivel de presión de la válvula de rebose, hay que aislar el equipo.	Pérdida de la función	2	1	2	4	4,13E-10
Panel suspensión neumática	Válvula de nivelación (VN)	8	2	Cierra el paso al fuelle de aire y deja de cargarlo	No cierra	Desajuste	Reducción del confort de suspensión en un bogie.	No se detiene la carga del fuelle de aire en cuestión/ carga del fuelle de aire con presión TDP	Pérdida de la función	2	1	2	4	4,13E-10
Sistema antideslizamiento	Válvula antideslizamiento	16	2	Mantiene la presión del cilindro de freno C, corta la presión del cilindro de freno D	Fuga de aire	Conexión incorrecta	Ninguna, recarga por protección de deslizamiento de rueda WSP	Probablemente la caída de presión es mínima/ probablemente la presión del cilindro de freno C disminuye lentamente, probablemente la fuerza de frenado en el bogie disminuye lentamente	Pérdida de la función, mínima pérdida de aire en la válvula de ventilación	1	1	5	5	5,56E-09

Sistema antideslizamiento	Válvula antideslizamiento	16	2	Mantiene la presión del cilindro de freno C, corta la presión del cilindro de freno D	Fuga de aire	Conexión incorrecta	Ninguna, liberación por protección de deslizamiento de rueda WSP	Probablemente aumento de la presión mínima/ probablemente presión de cilindro de freno C aumenta lentamente, probablemente fuerza de freno en un bogie aumenta lentamente	Pérdida de la función, fuga de aire mínima en la válvula de carga	1	1	5	5	3,70E-09
Sistema antideslizamiento	Válvula antideslizamiento	16	2	Mantiene la presión del cilindro de freno C, corta la presión del cilindro de freno D	Fuga de aire	Suciedad, envejecimiento, desgaste	Ninguna, recarga por protección de deslizamiento de rueda WSP	Probablemente la caída de presión es mínima/ probablemente la presión del cilindro de freno C disminuye lentamente, probablemente la fuerza de frenado en un bogie disminuye lentamente	Pérdida de la función, mínima pérdida de aire en la válvula de carga	1	1	5	5	9,26E-10

Sistema antideslizamiento	Válvula antideslizamiento	16	2	Mantiene la presión del cilindro de freno C, corta la presión del cilindro de freno D	Fuga de aire	Suciedad, envejecimiento, desgaste	Ninguna, liberación por protección de deslizamiento de rueda WSP	Probablemente aumento mínimo de la presión/ probablemente presión del cilindro de freno C aumenta lentamente, probablemente fuerza de frenado en un bogie aumenta lentamente	Pérdida de la función, fuga de aire mínima en la válvula de carga	1	1	5	5	9,26E-10
Sistema antideslizamiento	Válvula antideslizamiento	16	2	Abre el paso a los cilindros de freno y los ventila	No abre	Fallo mecánico	Fuerza de fricción de frenado demasiado alta en el bogie, probablemente rueda deslizante, freno de arrastre posible	No hay ventilación del tubo del cilindro de freno/demasiada presión del cilindro de freno C	Pérdida de la función, válvula de carga bloqueada cerrada y válvula de ventilación cerrada.	1	1	3	3	4,63E-10

Sistema antideslizamiento	Válvula antideslizamiento	16	2	Abre el paso a los cilindros de freno y los carga	No abre	Fallo mecánico	Sin frenado en un bogie, reducción de la fuerza de frenado por fricción	No alimentación o alimentación demasiado baja de la tubería del cilindro de freno/ no presión o presión demasiado baja del cilindro de freno C, no frenado en un bogie.	Pérdida de la función, válvula de carga bloqueada cerrada y válvula de ventilación cerrada.	1	1	3	3	4,63E-10
Sistema antideslizamiento	Válvula antideslizamiento	16	2	Abre el paso al orificio de ventilación	No abre	Fallo mecánico	Fuerza de fricción de frenado demasiado alta en un bogie, probablemente rueda deslizante, freno de arrastre posible	No hay ventilación del tubo del cilindro de freno/demasiada presión del cilindro de freno C	Pérdida de la función, válvula de ventilación bloqueada cerrada y válvula de carga cerrada.	1	1	3	3	2,32E-10

Sistema antideslizamiento	Válvula antideslizamiento	16	2	Abre el paso a los cilindros de freno y los ventila	No abre	Fallo eléctrico	Fuerza de fricción de frenado demasiado alta en un bogie, probablemente rueda deslizante, freno de arrastre posible	No hay ventilación del tubo del cilindro de freno/demasiada presión del cilindro de freno C	Pérdida de la función, válvula de carga bloqueada cerrada y válvula de ventilación cerrada.	1	1	3	3	1,85E-09
Sistema antideslizamiento	Válvula antideslizamiento	16	2	Abre el paso a los cilindros de freno y los carga	No abre	Fallo eléctrico	No frenado en un bogie, reducción de la fuerza de frenado de la fricción.	No alimentación o alimentación demasiado baja de la tubería del cilindro de freno/ no presión o presión demasiado baja del cilindro de freno C, no frenado en el bogie.	Pérdida de la función, válvula de carga bloqueada cerrada y válvula de ventilación cerrada.	1	1	3	3	1,85E-09

Sistema antideslizamiento	Válvula antideslizamiento	16	2	Abre el paso al orificio de ventilación	No abre	Fallo eléctrico	Fuerza de fricción de frenado demasiado alta en un bogie, probablemente rueda deslizante, freno de arrastre posible	No hay ventilación del tubo del cilindro de freno/demasiada presión del cilindro de freno C	Pérdida de la función, válvula de ventilación bloqueada cerrada y válvula de carga cerrada.	1	1	3	3	9,26E-10
Sistema antideslizamiento	Válvula antideslizamiento	16	2	Cierra el paso al orificio de ventilación y detiene la ventilación	No cierra	Fallo eléctrico	No frenado en el bogie, reducción de la fuerza de frenado de la fricción.	Caída probable de la presión del cilindro de freno C/ presión del cilindro de freno C no aumentada	Pérdida de función, válvula de ventilación bloqueada abierta.	1	1	2	2	2,78E-09
Sistema antideslizamiento	Válvula antideslizamiento	16	2	Cierra el paso al cilindro de freno y detiene la carga	No cierra	Fallo eléctrico	Fuerza de frenado por fricción demasiado alta en el bogie hasta liberar por protección de deslizamiento de rueda WSP.	La presión del cilindro de freno C aumenta hasta la presión de frenado exigida.	Pérdida de función, válvula de carga bloqueada abierta y válvula de ventilación cerrada.	1	1	2	2	9,26E-10

Sistema antideslizamiento	Válvula antideslizamiento	16	2	Cierra el paso al cilindro de freno y detiene la carga	No cierra	Fallo eléctrico	Ninguna	Probable caída temporal de la presión del cilindro de freno C/ caída temporal de la presión del depósito auxiliar	Pérdida de función, válvula de carga y válvula de ventilación abiertas al mismo tiempo	1	1	2	2	9,26E-10
Sistema antideslizamiento	Válvula antideslizamiento	16	2	Cierra el paso al orificio de ventilación y detiene la ventilación	No cierra	Fallo mecánico	Sin frenado en el bogie, reducción de la fuerza de frenado por fricción.	Caída probable de la presión del cilindro de freno C/ presión del cilindro de freno C no aumentada	Pérdida de función, válvula de ventilación bloqueada abierta	1	1	2	2	6,95E-10
Sistema antideslizamiento	Válvula antideslizamiento	16	2	Cierra el paso al cilindro de freno y detiene la carga	No cierra	Fallo mecánico	Fuerza de frenado por fricción también alta en el bogie hasta liberar por protección de deslizamiento de la rueda WSP	La presión C del cilindro de freno aumenta hasta alcanzar la presión de frenado exigida.	Pérdida de función, válvula de carga bloqueada abierta y válvula de ventilación cerrada	1	1	2	2	2,32E-10

Sistema antideslizamiento	Válvula antideslizamiento	16	2	Cierra el paso al cilindro de freno y detiene la carga	No cierra	Fallo mecánico	Ninguna	Probable caída temporal de la presión del cilindro de freno C/ caída temporal de la presión del depósito auxiliar	Pérdida de función, válvula de carga y válvula de ventilación abiertas al mismo tiempo	1	1	2	2	2,32E-10
Pinzas de freno	Unidad de pinza de freno (con freno de estacionamiento)	16	4	Mantiene la presión de desbloqueo del freno de estacionamiento	Fuga de aire	Suciedad, envejecimiento, desgaste	Ninguna	Probablemente una caída de presión mínima en la TDP	Pérdida de la función	1	1	5	5	3,21E-09
Pinzas de freno	Unidad de pinza de freno (con freno de estacionamiento)	16	4	Transmite la fuerza periférica	Posible pérdida de la unidad de pinza del freno	Fijación incorrecta de los tornillos, fallo en el soporte	Sin frenado en el eje, reducción de la fuerza de frenado por fricción, riesgo de descarrilamiento, corte del bogie afectado	Sin fuerza de apriete, sin carrera de aplicación/sin generación de fricción en todos los ejes del bogie correspondiente	Pérdida de la función, probablemente pérdida de la unidad de pinza, pérdida extrema de aire	3	1	5	15	5,35E-09

Pinzas de freno	Unidad de pinza de freno (con freno de estacionamiento)	16	4	Genera fuerza de frenado de servicio	Generación de fuerza de frenado reducida/ sin servicio	Fallo en el cilindro de diafragma	Probablemente se redujo el frenado en el bogie en cuestión, probablemente se redujo la fuerza de frenado por fricción	Carrera de aplicación reducida/probablemente generación de fricción reducida o nula en el eje en cuestión	Pérdida de la función, pérdida extrema de aire	3	1	5	15	1,07E-08
Pinzas de freno	Unidad de pinza de freno (con freno de estacionamiento)	16	4	Transmite la fuerza de frenado de servicio/ fuerza de apriete	Transmisión de la fuerza de frenado reducida/ sin servicio	Fallo en la pinza, fallo en el ajustador de la varilla de empuje, fallo en el soporte de la pastilla	Probablemente reducción del frenado en el bogie en cuestión, probablemente reducción de la fuerza de frenado por fricción	Carrera de aplicación reducida/probablemente menor generación de fricción en el eje	Pérdida de la función	3	1	5	15	2,14E-08

Pinzas de freno	Unidad de pinza de freno (con freno de estacionamiento)	16	4	Transmite fuerza periférica	No hay transmisión de fuerza periférica	Fijación incorrecta de los tornillos, fallo en el soporte, fallo en la pinza, fallo en el soporte de la pastilla	Probablemente se redujo el frenado en el bogie en cuestión, probablemente se redujo la fuerza de frenado por fricción.	Sin fuerza de apriete, sin carrera de aplicación/sin generación de fricción en un eje	Pérdida de la función	1	1	5	5	1,07E-08
Pinzas de freno	Unidad de pinza de freno (con freno de estacionamiento)	16	4	Permite la disminución neumática de la fuerza del freno de servicio	Reducción/sin disminución neumática de la fuerza del freno de servicio	Fallo en la pinza, fallo en el cilindro de diafragma	Freno de arrastre	Reducción de la carrera de retorno/probablemente reducción de la liberación de la unidad de pinza de freno, calentamiento del disco de freno correspondiente	Pérdida de la función	1	1	5	5	1,07E-08

Pinzas de freno	Unidad de pinza de freno (con freno de estacionamiento)	16	4	Permite ajuste de holgura	Ajuste reducido/sin holgura	Fallo en la varilla de empuje ajustada	Probablemente reducción del frenado en el bogie en cuestión, probablemente reducción de la fuerza de frenado por fricción	Menor ajuste de la holgura, se reduce la fuerza de apriete/fuerza periférica, se reduce la carrera de aplicación/probablemente se reduce la generación de fricción en un eje	Pérdida de la función	1	1	5	5	3,21E-08
Pinzas de freno	Unidad de pinza de freno (con freno de estacionamiento)	16	4	Garantiza la holgura de las pastillas de freno	No hay holgura para las pastillas de freno	Fallo en el cilindro del diafragma, fallo en la pinza, fallo en el soporte de la pastilla.	Freno de arrastre	Sin holgura de las pastillas de freno, montaje de las pastillas de freno en el disco de freno/desbloqueo reducido de la unidad de pinza de freno calentamiento del disco de freno correspondiente	Pérdida de la función	1	1	4	4	2,68E-08

Pinzas de freno	Unidad de pinza de freno (con freno de estacionamiento)	16	4	Permite reajustar la apertura de la pinza	Sin reajuste de la apertura de la pinza	Fallo en la varilla de empuje ajustada	Sin posibilidad de arranque, mayor tiempo de mantenimiento	No es posible reajustar la apertura de la pinza, no es posible sustituir las pastillas de freno/ Ninguna	Pérdida de la función	1	1	5	5	5,35E-09
Pinzas de freno	Unidad de pinza de freno (con freno de estacionamiento)	16	4	Genera una fuerza de frenado accionada por resorte	Reducción/sin generación de fuerza de frenado por muelle	Fallo en el cilindro accionado por muelle, fallo en la pinza, fallo en el dispositivo de desbloqueo de emergencia.	Probablemente reducción del frenado accionado por muelle en el bogie afectado, probablemente reducción de la fuerza de frenado accionado por muelle	Menor carrera de aplicación/probablemente menor generación de fricción en el eje correspondiente	Pérdida de la función	1	1	5	5	1,07E-08

Pinzas de freno	Unidad de pinza de freno (con freno de estacionamiento)	16	4	Genera una fuerza de frenado accionada por resorte	Sin generación de fuerza de frenado por resorte	Aplicación involuntaria del dispositivo de desbloqueo de emergencia	Reducción del frenado accionado por resorte en el bogie afectado, reducción de la fuerza de frenado accionado por resorte	Sin carrera de aplicación/probablemente menor generación de fricción en el eje correspondiente	Pérdida de la función	1	1	5	5	5,35E-09
Pinzas de freno	Unidad de pinza de freno (con freno de estacionamiento)	16	4	Transmite la fuerza de frenado accionada por resorte	Reducción/sin transmisión de fuerza de frenado por muelle	Fallo en la pinza, fallo en el cilindro accionado por muelle, fallo en el ajustador de la varilla de empuje, fallo en el soporte de la pastilla	Probablemente reducción del frenado accionado por muelle en el bogie en cuestión, probablemente reducción de la fuerza de frenado accionado por muelle	Carrera de aplicación reducida/probablemente menor generación de fricción en el eje correspondiente	Pérdida de la función	1	1	5	5	1,61E-08

Pinzas de freno	Unidad de pinza de freno (con freno de estacionamiento)	16	4	Permite la disminución neumática de la fuerza de frenado accionada por muelle	Reducción/sin disminución neumática de la fuerza de frenado accionada por resorte	Fallo en el cilindro accionado por muelle, fallo en la pinza, carga de presión de liberación	No es posible la liberación completa del freno de estacionamiento accionado por resorte hasta la liberación de emergencia de la unidad de pinza de freno en cuestión, es posible el freno de arrastre	Reducción de la carrera de retorno/probablemente reducción del desbloqueo de la unidad de pinza de freno accionada por muelle, calentamiento del disco de freno correspondiente	Pérdida de la función	3	1	5	15	1,07E-08
Pinzas de freno	Unidad de pinza de freno (sin freno de estacionamiento)	16	4	Mantiene la presión del cilindro de freno C	Fuga de aire	Conexión incorrecta	Ninguna	Caída de presión probablemente mínima en la presión del cilindro de freno C/caída de presión probablemente mínima en la presión del TDP	Pérdida de la función, mínima pérdida de aire	1	1	5	5	3,96E-08

Pinzas de freno	Unidad de pinza de freno (sin freno de estacionamiento)	16	4	Mantiene la presión del cilindro de freno C	Fuga de aire	Suciedad, envejecimiento, desgaste	Ninguna	Caída de presión probablemente mínima en la presión del cilindro de freno C/caída de presión probablemente mínima en la presión del TDP	Pérdida de la función, mínima pérdida de aire	1	1	5	5	9,89E-09
Pinzas de freno	Unidad de pinza de freno (sin freno de estacionamiento)	16	4	Transmite fuerza periférica	Posible pérdida de la pinza de freno	Tornillería incorrecta, fallo en el freno	Sin frenado en el eje, reducción de la fuerza de frenado por fricción, riesgo de descarrilamiento, corte del bogie afectado	Sin fuerza de apriete, sin carrera de aplicación/sin generación de fricción en todos los ejes del bogie correspondiente	Pérdida de función, probablemente pérdida de la unidad de pinza del freno, pérdida de aire extrema	3	1	5	15	4,12E-09

Pinzas de freno	Unidad de pinza de freno (sin freno de estacionamiento)	16	4	Genera fuerza de frenado de servicio	Reducción/sin generación de fuerza de frenado de servicio	Fallo en el cilindro de diafragma	Probablemente reducción del frenado en el bogie en cuestión, probablemente reducción de la fuerza de frenado por fricción	Carrera de aplicación reducida/probablemente generación de fricción reducida o nula en el eje en cuestión	Pérdida de la función, pérdida de aire extrema	1	1	5	5	8,24E-09
Pinzas de freno	Unidad de pinza de freno (sin freno de estacionamiento)	16	4	Transmite la fuerza de frenado de servicio/ fuerza de apriete	Transmisiones de fuerza de frenado reducidas /sin servicio	Fallo en la pinza, fallo en la varilla de empuje ajustada, fallo en el soporte de la pastilla.	Probablemente se redujo el frenado en el bogie en cuestión, probablemente se redujo la fuerza de frenado por fricción	Carrera de aplicación reducida/probablemente menor generación de fricción en un eje	Pérdida de la función	1	1	5	5	1,65E-08
Pinzas de freno	Unidad de pinza de freno (sin freno de estacionamiento)	16	4	Transmite fuerza periférica	No hay transmisión de fuerza periférica	Tornillería incorrecta, fallo en el freno, fallo en la pinza, fallo en el	Probablemente se redujo el frenado en el bogie en cuestión, probable-	Sin fuerza de apriete, sin carrera de aplicación/ sin generación de fricción en 1 eje	Pérdida de la función	1	1	5	5	8,24E-09

						soporte de la pastilla	mente se redujo la fuerza de frenado por fricción								
Pinzas de freno	Unidad de pinza de freno (sin freno de estacionamiento)	16	4	Permite la disminución neumática de la fuerza del freno de servicio	Reducción/sin disminución neumática de la fuerza del freno de servicio	Fallo en la pinza, el fallo es el cilindro de diafragma	Freno de arrastre	Reducción de la carrera de retorno/probablemente reducción de la liberación de la unidad de pinza de freno, calentando el disco de freno correspondiente	Pérdida de la función	3	1	5	15		8,24E-09
Pinzas de freno	Unidad de pinza de freno (sin freno de estacionamiento)	16	4	Permite ajustar la holgura	Ajuste reducido/sin holgura	Fallo en el ajustador de la barra de empuje	Probablemente se redujo el frenado en el bogie en cuestión, probablemente se redujo la fuerza de frenado por fricción	Reducción de la holgura de ajuste, reducción de la fuerza de apriete/fuerza periférica, reducción de la carrera de aplicación/probablemente reducción de la generación de fricción en el eje	Pérdida de la función	1	1	5	5		2,47E-08

Pinzas de freno	Unidad de pinza de freno (sin freno de estacionamiento)	16	4	Garantiza la holgura de las pastillas de freno	No hay espacio para los frenos	Fallo en el cilindro del diafragma, fallo en la pinza, fallo en el soporte de la pastilla	Freno de arrastre	No hay holgura en el freno, montaje de las pastillas de freno en el freno/liberación reducida de la unidad de pinza de freno, calentamiento del disco de freno correspondiente	Pérdida de la función	1	1	4	4	2,06E-08
Pinzas de freno	Unidad de pinza de freno (sin freno de estacionamiento)	16	4	Permite reajustar la apertura de la pinza	Sin reajuste de la apertura de la pinza	Fallo en el ajustador de la barra de empuje	Sin posibilidad de arranque, mayor tiempo de mantenimiento	No es posible reajustar la apertura de la pinza, no es posible sustituir las pastillas de freno/ Ninguna	Perdida de la función	1	1	5	5	4,12E-09

7. ESTUDIO ECONÓMICO Y PRESUPUESTO

Para la realización del estudio económico y presupuesto de este trabajo de fin de grado se considerarán los siguientes aspectos:

- Coste de la mano de obra
- Coste de licencia de software (Microsoft Excel)
- Coste total

7.1 Coste de mano de obra

Es este apartado se desarrollará el coste de mano de obra de un ingeniero técnico

Para obtención de salario anual de un ingeniero técnico se ha mirado las tablas retributivas de la Administración de la Generalitat Valenciana, publicadas en “*El diari oficial de la Generalidad Valenciana*”.

- Salario anual: 32.539,40 €
- Horas de trabajo anual: 1820 h

Por lo tanto, el precio por hora es:

$$\frac{32.539,40 \text{ €/año}}{1820 \text{ h/año}} = 17,88 \text{ €/h} \quad (3)$$

El FMEA ha sido realizado en un periodo de dos meses, trabajando jornada completa. En total unas 320 h.

Finalmente, el importe de la mano de obra de un ingeniero técnico por la realización de un Análisis de modos de fallos y efectos es el siguiente:

$$320 \text{ h} * 17,88 \text{ €/h} = 5.721,60 \text{ €} \quad (4)$$

7.2 Coste de licencia software

Para utilizar Microsoft Excel, es necesario adquirir una licencia. Actualmente, el precio de la licencia de Microsoft 365 Personal es aproximadamente 69 € al año. Suponiendo 1820 h de trabajo anual (total de horas laborales en un año). Se tiene que la amortización de software, Excel, por el periodo de utilización durante la realización del estudio es de 12, 27 €.

$$\frac{69 \text{ €}}{1820 \text{ h}} \times 320 \text{ h} \approx 12,13 \text{ €} \quad (5)$$

7.3 Coste total

Finalmente, teniendo en cuenta la mano de obra y la amortización del Excel. Se calcula un coste total de 6.937,98 € (IVA incluido). A continuación, se adjunta un cuadro resumen de los costes implicados.

Descripción	Total (€)
Mano de obra del Ingeniero técnico	5.721,60
Amortización Excel	12,13
Total (sin IVA)	5733,73
IVA (21%)	1204,08
Total	6937,81

Tabla 3 Cuadro resumen del presupuesto total

8. CONCLUSIÓN

Finalmente, después de realizar el Análisis de Modos de fallos y efectos, tras analizar con detalle cada componente que forma parte del sistema de frenos de un vehículo ferroviario, se tendrá que poner más atención en aquellos fallos que presentan número prioritario de riesgos (NPR) más elevado.

Cada proyecto tiene un valor de NPR máximo establecido, en caso de sobrepasar dicho límite se tendría que aplicar medidas de mitigación para reducirlo, como, por ejemplo, cambiar de componente con unas tasas de fallo mejores. En caso de no sobrepasar ese límite, el NPR nos indica en que elementos hay que poner más atención a la hora de realizar un plan de mantenimiento.

En este caso, se ha obtenido como número prioritario de riesgos máximo un valor de 15, en algún modo de fallo de elementos como la válvula de nivelación y en los tres componentes que forman el sistema de suspensión neumática.

Este tipo de estudios aportan un gran valor, ya que no solo permiten evitar posibles problemas antes de la construcción del sistema, también se pueden utilizar durante el ciclo de vida del mismo, ofreciendo un conocimiento detallado, abierto a futuras mejoras y como fuente de inspiración para otros proyectos.

9. BIBLIOGRAFIA:

[https://iritm.indianrailways.gov.in/uploads/files/1679296594176-Chapter_3%20LHB%20Maint%20Manual%20Vol_II%20\(1\).pdf](https://iritm.indianrailways.gov.in/uploads/files/1679296594176-Chapter_3%20LHB%20Maint%20Manual%20Vol_II%20(1).pdf)

Villarreal, R., & Villarreal, R. (2022, 13 junio). Un fallo en el sistema de frenos, posible causa del accidente ferroviario de Vila-seca. ELMUNDO. <https://www.elmundo.es/cataluna/2022/06/13/62a6ba3bfc6c83e2058b45ad.html>

INE - Spanish Statistical Office. (s. f.). INEbase. CONSUL. INE. <https://www.ine.es/consul/serie.do?d=true&s=TF11>

Company, J. (2024, 28 mayo). Movilidad sostenible: ferrocarril y transporte público para descarbonizar el transporte. ECOTicias. <https://www.ecoticias.com/sostenibilidad/movilidad-sostenible-ferrocarril-transporte-publico>

BBCross. (2023, 28 abril). FMEA: Historia. I4is Blog By Blackberry&Cross. <https://i4is.blackberrycross.com/fmea-historia/>

Historia FMEA. (2024, 30 enero). <https://www.superinzynier.pl/blog/fmea-historia>

Solutions, V. (2023, 17 febrero). Desventajas de IBM DOORS: ¿Está ralentizando a su equipo? Visure Solutions. <https://visuresolutions.com/es/risk-management-fmea-guide/history-and-evolution/>

Kolstad, C. (2024, 16 agosto). La guía definitiva para silenciadores neumáticos. Tameson.es. <https://tameson.es/pages/silenciador-neumatico>

Manual 1_4. (s. f.). https://www.sindicatoferroviario.com/DOCUMENTACION/CIRCULACION/RGC/mci/mci1_4.htm

Government of Canada, Transportation Safety Board of Canada. (2022b, marzo 31). Locomotive and freight car brakes (p. 209 of the report). <https://www.tsb.gc.ca/eng/medias-media/fiches-facts/R19C0015/r19c0015-20220331-3.html>

Kanjo, W., Natschke, S., & Co, W. A. B. (2000, 24 febrero). US6761253B1 - Spring applied parking brake assembly - Google Patents. <https://patents.google.com/patent/US6761253B1/en>

Retribuciones - Generalitat Valenciana. (s. f.). <https://gvaoberta.gva.es/es/retribuciones-empleados>