



Máster Universitario en  
Sistemas Ferroviarios

# **Desarrollo de metodología y proceso genérico para migración de mantenimiento preventivo a predictivo de bogíes de vehículos ferroviarios**

TRABAJO FIN DE MÁSTER

CURSO:2019-2020

Máster Universitario en Sistemas Ferroviarios  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA ICAI

Autor: Cristian Espinosa González

Director/es: Ismael Ramírez Blanco



**TÍTULO:** DESARROLLO DE METODOLOGÍA Y PROCESO GENÉRICO PARA MIGRACIÓN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO A PREDICTIVO DE BOGÍES DE VEHÍCULOS FERROVIARIOS

**AUTOR:** Cristian Daniel Espinosa González

Firma:



**DIRECTOR:** Ismael Ramírez Blanco

Firma:



**CODIRECTOR** (si procede):

Firma:



## FICHA TÉCNICA

<b>PROGRAMA:</b>	
Máster Universitario en Sistemas Ferroviarios	
<b>CURSO:</b>	2019-2020
<b>TÍTULO DEL TRABAJO:</b>	
Desarrollo de metodología y proceso genérico para migración de mantenimiento preventivo a predictivo de bogíes de vehículos ferroviarios	
<b>BREVE DESCRIPCIÓN DEL TFM:</b>	
<p>Desarrollar una metodología genérica que permita al mantenedor potenciar y mejorar sus procesos de mantenimiento preventivo en bogies a través de la migración a mantenimiento predictivo.</p> <p>La metodología desarrollada propone que el interesado en mejorar sus planes de mantenimiento actuales; siga una serie de procesos que le permita identificar y plantear los cambios necesarios para migrar hacia intervenciones y actividades por condición, tal como se describe a continuación:</p> <p><b>PREPROCESOS:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Identificación de bogie (características, especificaciones, modelo, tipo).</li><li>• Clasificación de elementos y sistemas (tipo, clasificación, ponderación).</li><li>• Definir contexto operacional (límites mínimos y máximos de operación).</li><li>• Definir variables fluctuantes cualitativos (obtener datos representativos).</li><li>• Inspecciones de corto tiempo aplicables (Inspecciones de medición de datos)</li><li>• Análisis de modo de fallo y efectos (Identificación de fallos y mejoras)</li></ul> <p><b>POSPROCESOS:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Acciones predictivas propuestas (implementación de técnicas de sensorización)</li><li>• Gestión de almacenamiento de datos (obtención y almacenamiento de datos)</li><li>• Análisis de datos y small data (Procesamiento de datos y curvas características)</li><li>• Intervenciones predictivas (Ejecución de actividades por condición según análisis de curvas características)</li></ul> <p>La metodología final se representará como un diagrama de flujo de procesos genéricos que se pueda adaptar y aplicar a cualquier escenario de mantenimiento preventivo existente de un mantenedor o al desarrollo por un fabricante.</p>	
<b>AUTOR:</b>	
 Cristian Daniel Espinosa González	
<b>DIRECTOR:</b>	
 Ismael Ramírez Blanco	

## **Agradecimientos**

Al escribir estos párrafos pongo la mirada al cielo y agradezco al creador en primer lugar por todo aquello que hasta la fecha de hoy me ha permitido cumplir.

Gracias a mi esposa e hijos porque su soporte y amor me han inspirado siempre a soñar alto y buscar nuestros sueños; a mis padres, hermana y sobrina por su cariño y apoyo incondicional.

Finalmente, agradecimientos a todos los compañeros de aula, profesores y ferroviarios de cepa que durante este ciclo de estudios han aportado a mi crecimiento personal y profesional.

## INDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1. DESCRIPCIÓN.....	1
1.2. ESTADO DEL ARTE.....	2
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>3</b>
<b>3. PLANIFICACIÓN DE TAREAS.....</b>	<b>4</b>
<b>4. LISTA DE ABREVIATURAS Y DEFINICIONES.....</b>	<b>7</b>
4.1. ABREVIATURAS.....	7
4.2. DEFINICIONES.....	7
<b>5. DESCRIPCIÓN DEL MANTENIMIENTO EN LA INDUSTRIA FERROVIARIA.....</b>	<b>11</b>
5.1. FACTOR HUMANO.....	11
5.2. COSTOS.....	11
5.3. ELEMENTO.....	12
5.4. PROCESOS.....	12
<b>6. PROCESO RAM+S EN LA INDUSTRIA.....</b>	<b>13</b>
<b>7. MANTENIMIENTO.....</b>	<b>14</b>
7.1. PARTICIPANTES EN EL MANTENIMIENTO.....	14
7.2. ORGANIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO.....	15
7.3. OBJETIVOS DEL MANTENIMIENTO.....	15
7.4. ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO.....	16
7.5. PLAN DE MANTENIMIENTO.....	16
<b>8. EVOLUCIÓN CONCEPTUAL DEL MANTENIMIENTO.....</b>	<b>17</b>
<b>9. MANTENIMIENTO POR CONDICIÓN “PREDICTIVO”.....</b>	<b>18</b>
<b>10. PRIMERAS CONSIDERACIONES DE PREVENTIVO A PREDICTIVO.....</b>	<b>19</b>
<b>11. INICIO DEL PROCESO DE MIGRACIÓN.....</b>	<b>21</b>
<b>12. ELEMENTOS, SISTEMAS Y SUBSISTEMAS DE BOGIES.....</b>	<b>22</b>
<b>13. INTERFAZ DE SISTEMAS Y CONTEXTO OPERACIONAL PORMENORIZADO.....</b>	<b>23</b>
<b>14. VARIABLES CUANTITATIVAS Y CUALITATIVAS.....</b>	<b>26</b>
<b>15. GRÁFICA FUNCIONAL.....</b>	<b>28</b>
<b>16. INSPECCIONES DE CORTO TIEMPO APLICABLES.....</b>	<b>29</b>
<b>17. PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA Y EFECTOS EN BOGIES.....</b>	<b>30</b>
<b>18. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>34</b>
18.1. ACCIONES PREDICTIVAS DE MANTENIMIENTO.....	34

18.2.	EFICACIA, EFICIENCIA E INVERSIÓN EN ACCIONES PREDICTIVAS. ....	36
<b>19.</b>	<b>METODOLOGÍA Y PROCESO GENÉRICO FINAL. ....</b>	<b>37</b>
<b>20.</b>	<b>CONCLUSIONES Y APORTACIONES. ....</b>	<b>38</b>
<b>21.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA. ....</b>	<b>40</b>
<b>22.</b>	<b>ANEXOS. ....</b>	<b>41</b>
22.1.	ANEXO 1: DIAGRAMA FINAL DE METODOLOGÍA GENÉRICO.....	41
22.2.	ANEXO 2: AMFE DE UN BOGIE GENÉRICO.....	43

## 1. INTRODUCCIÓN.

### 1.1. DESCRIPCIÓN.

El presente trabajo se centra en el desarrollo de una metodología y procesos genéricos para implementación y ejecución de mantenimientos predictivos de bogíes de vehículos ferroviarios.

El costo de mantenimiento industrial representa la mayor parte del costo operativo total, puede representar entre el 15 y 60 por ciento de los bienes producidos [1] a nivel general. El aspecto de la mantenibilidad desde el punto de vista del mantenedor es tal vez el pilar menos considerado dentro de la ecuación de agilidad y rentabilidad en el sistema de transporte, y cabe preguntarse entonces ¿por qué más del 70% de todas las organizaciones con activos físicos poseen sistemas de mantenimiento preventivo rudimentarios o ninguno? [2] y la respuesta no es sencilla.

Una situación común dentro de una empresa de transporte ferroviario es disponer de varios trenes de diferentes constructores y modelos operando simultanea o alternadamente. Común también es tener diferentes tipos de plan de mantenimiento de cada modelo que no necesariamente coinciden en procedimientos y tiempos. Y más común es generalizar un mismo tipo de mantenimiento de un modelo específico para todas las unidades sin tomar en cuenta los problemas de fiabilidad que esto genera y como se está condicionando la vida útil de todo el parque de unidades. Sin embargo, la misión del departamento de mantenimiento es proporcionar activos físicos confiables y un excelente soporte para sus clientes reduciendo y eventualmente eliminando la necesidad de servicios de mantenimiento [3]

La realidad es que los planes de mantenimiento difieren entre vehículos y marcas porque cada proveedor de material aplica su programa RAM+S en el desarrollo y construcción de sus vehículos con metodologías propias y usualmente patentadas (equipos y sistemas tecnológicos). El mantenedor sin embargo debe ser capaz de adaptar su trabajo y las características de los planes de mantenimiento a su realidad, considerando la eficiencia de tiempos y procesos de ejecución, vigilando los límites y presupuestos económicos.

Una praxis común entre los suministradores de vehículos es desarrollar planes de mantenimiento del tipo preventivo y correctivo. Estos mantenimientos incluyen manuales de mantenimiento, calendarios de actividades, periodicidades de revisiones, y catálogo de repuestos; y están sustentados en proyecciones de fallo pertenecientes al proceso de diseño de partes y equipos, ya sea por simulación o por ensayo de laboratorio en condiciones ideales, pero no necesariamente son aplicables a la práctica en el contexto operacional real de funcionamiento.

Como resultado, el mantenedor busca desarrollar e implementar métodos y procedimientos que le permitan poder migrar de una manera técnica y segura, desde los planes de mantenimiento del fabricante hacia un plan de mantenimiento a la medida y real con beneficios económicos, técnicos y de explotación, estamos hablando del Santo Grial de la industria.

## **1.2. ESTADO DEL ARTE.**

El transporte ferroviario se ha convertido en el medidor conceptual de evolución y cambio de la sociedad. Tan fuerte es su influencia que ha evidenciado y participado en acontecimientos trascendentes en la historia como por ejemplo la revolución industrial (A principios de los años 1800, las minas de carbón requerían máquinas de vapor en grandes cantidades y de gran potencia para su explotación y de medios eficientes de transporte para trasladar las grandes cantidades de carbón hasta el punto de embarque: el tranvía o ferrocarril fue la respuesta, el ferrocarril es hijo de la mina de carbón) [4], la participación en conflictos bélicos (La Deutsche Reichsbahn, los trenes del tercer Reich, y la triste historia de los judíos y los campos de concentración), el trabajo con proyectos trascendentales (El transporte de cohetes y transbordadores espaciales desde las factorías de construcción hasta las plataformas de lanzamiento), etc.

Nuestra naturaleza humana nos hace muy reacios a invertir tiempo y recursos en cosas sin efectos cercanos o evidentes. En su mayoría somos seres a corto plazo, interesados en los resultados inmediatos, no dentro de un año [5] y el sistema ferroviario no es la excepción. Sin embargo, en la última década el tren ha pasado de un fuerte estancamiento y crisis hacia un nuevo resurgir tecnológico tal como “el ave fénix”, con crecimiento sólido e ideológico que apunta a principios de eficiencia, calidad y rapidez de servicio, necesarios en los requerimientos actuales de sistemas de transportes. A comienzos de 2008 existían en operación cerca de 10 000 kilómetros de nuevas líneas ferroviarias de alta velocidad en todo el mundo, y globalmente, incluyendo las líneas convencionales también utilizadas por el Tren de Alta Velocidad, más de 20 000 kilómetros de la red ferroviaria mundial eran utilizados para suministrar servicios de alta velocidad a un creciente número de viajeros dispuestos a pagar por menores tiempos de viaje y mayor calidad en el transporte [6] sin considerar la creciente creación de transportes de cercanías y transporte metropolitanos en el mundo con mas de 12 000 kilómetros de líneas ferroviarias.

El crecimiento en la demanda de transporte por tren, obliga a una de las capas más sensibles del sistema ferroviario a desarrollarse a la par de las exigencias; el área de gestión y ejecución de mantenimiento tomando en consideración factores no contemplados anteriormente como fiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad y seguridad (conocidos actualmente como ingeniería FDMS o RAMS por sus siglas en inglés), estableciéndolos como pilares de las nuevas praxis para trenes modernos y de última tecnología. El despunte tecnológico ha permitido el crecimiento económico del sector industrial ferroviario en Europa, siendo más específicos solo en España existen aproximadamente 600 empresas dedicadas al diseño, construcción y venta de sistemas ferroviarios. Como consecuencia existen una variedad considerable de tecnologías, cada una con sus características constructivas, funcionales y costos específicos.

Esta realidad brinda ventajas considerables al comprador a la hora de adquirir vehículos ferroviarios ya que dispone de una oferta amplia para comparar y diversificar su parque motor, sin embargo, conlleva también tener varias tecnologías diferentes entre sí que deben gestionarse en un mismo sistema de mantenimiento. Es preciso entonces implementar gestiones de mantenimiento orientados a procesos predictivos, no obstante, dado que cualquier cambio tiene un costo monetario, el analista deberá ver cuántos meses o años representa el ahorro inicial (suponiendo que exista) para pagar la inversión necesaria [7].

Al final el equilibrio entre necesidad técnica y costo será el factor decisivo, y cualquier dinero gastado debe ser justificable a la luz de las consecuencias que pueden producirse de los fallos. ¡Por cierto, las fallas que resultan en la muerte, lesiones graves o daños al medio ambiente, no son aceptables en lo absoluto [8]. Los procesos de análisis de mantenimiento también sufren cambios sustanciales, las herramientas y técnicas de identificación y desarrollo de procesos son una necesidad cada vez más recurrente; y están orientados a anticipar los sucesos y permitir manejar eficientemente los tiempos de intervención en los vehículos ferroviarios mejorando el rendimiento y producción del transporte que al final se resume en la frase célebre “cum finis est licitus”.

## 2. OBJETIVOS.

- Desarrollar una metodología genérica para elementos y sistemas de bogies ferroviarios, que permita facilitar la migración y transición de mantenimiento preventivo sistemático hacia un proceso de condición predictivo.
- Identificar los sistemas y elementos característicos de un bogie ferroviario genérico y posteriormente clasificar los elementos según su importancia y tipo de variables cuantitativas analíticas.
- Analizar y definir las variables que deben modificarse, eliminarse o implementarse para posteriormente incluir en las actividades y procesos de mantenimiento predictivo definitivo.

### 3. PLANIFICACIÓN DE TAREAS.

Tareas	Actividad	Fecha inicial	Fecha final	Días
Tarea 1	Definir el tema del TFM	1-Feb	2-Feb	1
Tarea 2	Plantear los objetivos generales y específicos del TFM	3-Feb	5-Feb	2
Tarea 3	Definir el tutor para el TFM	2-Feb	10-Feb	8
Tarea 4	Plantear la estructura del TFM (capítulos, temas, etc..)	10-Feb	12-Feb	2
Tarea 5	Revisar y aprobar los temas y capítulos con el tutor.	12-Feb	16-Feb	4
Tarea 6	Buscar conceptos de la Industria, RAMS y Mantenimiento en Normativa Europea.	17-Feb	21-Feb	4
Tarea 7	Buscar referencias de RAMS y Mantenimiento planteado por fabricantes y suministradores ferroviarios.	17-Feb	21-Feb	4
Tarea 8	Buscar información específica relacionada a los tipos de mantenimiento existentes.	17-Feb	21-Feb	4
Tarea 9	Buscar gráficas e imágenes explicativas del temario e información recopilada.	22-Feb	24-Feb	2
Tarea 10	Ordenar y redactar la información obtenida en los apartados definidos.	25-Feb	6-Mar	10
Tarea 11	Revisar la ortografía, redacción y concordancia de los apartados escritos.	7-Mar	22-Mar	15
Tarea 12	Entrega de los primeros apartados para revisión del tutor.	23-Mar	24-Mar	1
Tarea 13	Análisis de los comentarios y recomendaciones del tutor, correcciones y cambios.	28-Mar	1-Apr	4
Tarea 14	Búsqueda de información y datos de mantenimiento predictivo.	27-Mar	1-Apr	5
Tarea 15	Investigar acerca de los procesos necesarios para ejecutar el mantenimiento predictivo.	27-Mar	1-Apr	5
Tarea 16	Definir requerimientos mínimos para transición de mantenimiento preventivo a predictivo.	1-Apr	8-Apr	7
Tarea 17	Buscar información de bogies y clasificación.	1-Apr	8-Apr	7
Tarea 18	Definir las inspecciones y tipo de mantenimiento que se ejecutan a los sistemas y subsistemas de bogies	5-Apr	11-Apr	6
Tarea 19	Ordenar y redactar la información obtenida en los apartados definidos.	12-Apr	19-Apr	7

Tarea 20	Revisar la ortografía, redacción y concordancia de los apartados escritos.	12-Apr	19-Apr	7
Tarea 21	Entrega de los siguientes apartados para revisión del tutor.	20-Apr	21-Apr	1
Tarea 22	Análisis de los comentarios y recomendaciones del tutor, correcciones y cambios.	27-Apr	1-May	4
Tarea 23	Definir procedimiento de análisis de riesgos para sistemas y subsistemas críticos de bogies genéricos.	18-May	22-May	5
Tarea 24	Definir acciones de mantenimiento predictivo aplicables para mitigar riesgos en bogies genéricos.	25-May	29-May	4
Tarea 25	Análisis de resultados de acciones predictivas propuestas.	30-May	31-May	4
Tarea 26	Analizar y definir la proyección de eficiencia y rendimiento operacional y costos; al aplicar mantenimiento predictivo en bogies genéricos.	1-Jun	5-Jun	4
Tarea 27	Definir la metodología y procesos genéricos aplicables para ejecutar y migrar hacia mantenimientos predictivos.	6-Jun	9-Jun	4
Tarea 28	Ordenar y redactar la información obtenida en los apartados definidos.	10-Jun	13-Jun	5
Tarea 29	Revisar la ortografía, redacción y concordancia de los apartados escritos.	14-Jun	14-Jun	5
Tarea 30	Entrega de los apartados finales para revisión del tutor.	15-Jun	17-Jun	2
Tarea 31	Análisis de los comentarios y recomendaciones del tutor, correcciones y cambios.	19-Jun	22-Jun	4
Tarea 32	Revisión y edición final del documento TFM.	23-Jun	26-Jun	1

**Tabla 3.1**

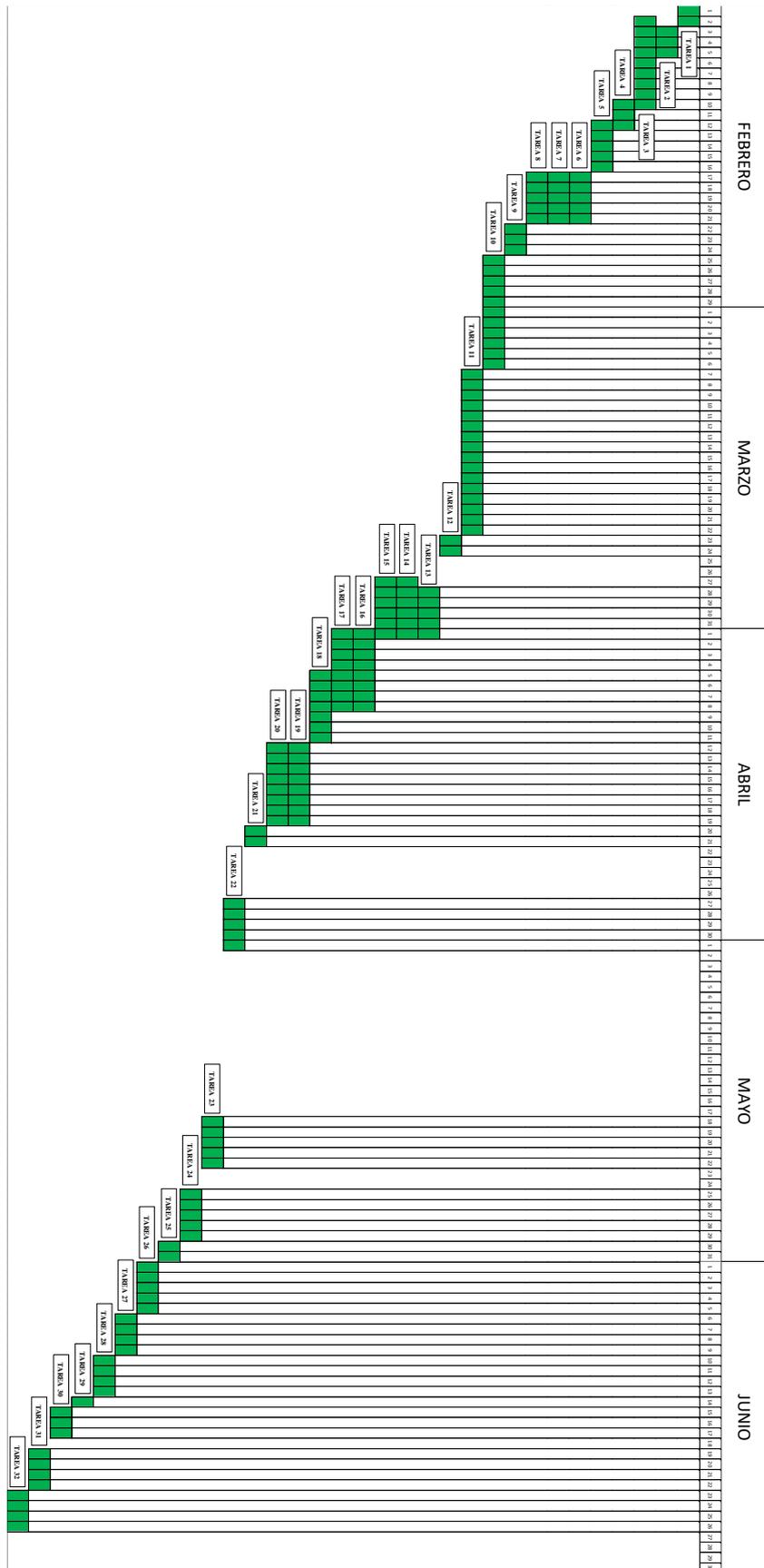


Ilustración 3.1

#### 4. LISTA DE ABREVIATURAS Y DEFINICIONES.

##### 4.1. ABREVIATURAS.

<b>AMFE</b>	Análisis de Modo de Fallo y Efectos
<b>AMFEC</b>	Análisis de Modo de Fallo y Efectos Críticos
<b>FDMS</b>	Fiabilidad, Disponibilidad, Mantenibilidad, Seguridad
<b>LCC</b>	Life Cycle Cost. <i>Traducción: Costo de Ciclo de Vida</i>
<b>MTTF</b>	Mean Time To Failure. <i>Traducción: Tiempo medio para fallos</i>
<b>MKTF</b>	Mean Kilometers To Failure. <i>Traducción: Kilometro medio para fallos</i>
<b>MTTR</b>	Mean Time To Repair. <i>Traducción: Tiempo medio para reparación</i>
<b>MKBF</b>	Mean Kilometers Between Failure. <i>Traducción: Kilómetros medio entre fallos</i>
<b>MKBSF</b>	Mean Kilometers Between Service Failure. <i>Trad: Kilómetros medio entre fallos de servicio</i>
<b>RAM</b>	Reliability, Availability, Mantenibility. <i>Traducción: Fiabilidad, Disponibilidad, Mantenibilidad</i>
<b>RAM+S, RAMS</b>	Reliability, Availability, Mantenibility, + Safety. <i>Traducción: RAM más *seguridad</i>
<b>RCM</b>	Reliability Centered Maintenance. <i>Traducción: Mantenimiento centrado en fiabilidad</i>
<b>TPM</b>	Total Productive Maintenance. <i>Traducción: Mantenimiento productivo total</i>
<b>TQM</b>	Total Quality Managment. <i>Traducción: Gestión de la calidad total</i>
<b>TTF</b>	Time To Failure. <i>Traducción: Tiempo para el fallo</i>
<b>TTR</b>	Time to Repair. <i>Traducción: Tiempo para reparación</i>
<b>UNE</b>	Una Norma Española, Asociación Española de Normalización

Tabla 4.1

##### 4.2. DEFINICIONES.

<b>Acometida Eléctrica</b>	Son el conjunto de cables y soportes presentes en el bogie. Pueden ser cables de potencia, cables de sensorización y/o cables de comunicación.
<b>Amortiguador</b>	Es un dispositivo instalado en la suspensión que amortigua y atenúa los movimientos transmitido entre los muelles y el carril. El movimiento de la suspensión genera energía cinética, que se convierte en energía térmica o calorífica. Esta energía se disipa a través del aceite interno del amortiguador.
<b>Avería</b>	Es la consecuencia final del fallo y se define como el estado de inaptitud para realizar una función requerida [9]. El elemento ha rebasado el límite en el cual podía permanecer funcionando en condiciones degradadas y se encuentra inoperante.
<b>Balón de suspensión</b>	Es un elemento de goma parecido a un neumático que se coloca en ambos lados del bogie conectado con la caja del vehículo y que mediante presión neumática permite regular la altura, nivel y confort de la carrocería del vehículo.
<b>Bogie</b>	Es un dispositivo giratorio perteneciente al sistema de material rodante que posee características mecánicas que le permiten circular por la vía férrea en condiciones seguras. Se compone básicamente de un bastidor, sistema de suspensión y sistema de rodadura. Sobre el bogie se apoya

	el vehículo ferroviario mediante un sistema de unión pivotada. (pivote caja-bogie).
<b>Bogie tractivo</b>	Bogie que mediante suministro energético externo puede moverse a sí mismo y demás elementos que estén unidos a él.
<b>Bogie remolcado</b>	Bogie que no puede moverse a sí mismo y tampoco a los elementos unidos a él. Para moverse requiere asistencia de otro bogie tractivo unido mecánicamente a él.
<b>Caja de grasa</b>	Nombre que recibe el depósito de grasa utilizado para lubricar los rodamientos de eje del bogie.
<b>Chavetas</b>	Elemento metálico de sección rectangular o cuadrada que se inserta entre dos elementos solidarios que requieren transmitir potencia entre ellos. La característica de la chaveta permite el ajuste entre las dos piezas de tal manera que evita la presencia de vibraciones y el deslizamiento no deseado.
<b>Cilindro de freno</b>	Es un dispositivo mecánico-neumático o mecánico-hidráulico que suministra el esfuerzo de frenado a la timonería de freno, zapata o guarnición. El cilindro de freno puede ser del tipo servicio (frenado por requerimiento) o tipo servicio+estacionamiento (igual que el de servicio, pero se adiciona el mecanismo de freno con bloqueo cuando el vehículo esta estacionado).
<b>Circuito neumático</b>	Instalación a base de tuberías y manguitos presente en el bogie que transmiten el flujo y presión de aire a los dispositivos que lo requieran.
<b>Convertidor de par</b>	Es un dispositivo encargado de transmitir el par y velocidad de giro al eje de ruedas a través de la conversión de esfuerzos mecánicos e hidráulicos entrantes y salientes
<b>Disco de freno</b>	Elemento instalado solidario al eje de ruedas que se encarga de transformar la energía cinética del vehículo en calor, el cual es generado por la acción de rozamiento entre el disco y la guarnición de freno para una determinada fuerza de aplicación
<b>Eje</b>	Pieza cilíndrica de acero sobre la cual van montadas ruedas, rodamiento, disco de freno.
<b>Elem. tipo repuesto</b>	Elemento destinado a sustituir a otro elemento análogo a él, con objeto de conservar o mantener la función original requerida del subsistema o sistema al que pertenece. Posee un periodo establecido y estimado de vida útil, está incluido en la planificación de mantenimiento, el nivel de seguridad puede o no ser alto, puede afectar significativamente al nivel de producción del sistema; la mano de obra, tiempo de intervención y coste unitario tiene alta ponderación.
<b>Elem. tipo consumible</b>	Elemento destinado a sustituir a otro elemento análogo a él, con objeto de conservar o mantener la función original requerida del subsistema o sistema al que pertenece. No posee un periodo estimado de vida útil, No está incluido en la planificación de mantenimiento, el nivel de seguridad es mínimo, Afecta mínimamente al nivel de producción del sistema; la mano de obra, tiempo de intervención y coste unitario no representa significativamente en el gasto total.
<b>Engranajes</b>	Se denomina engranajes al conjunto piezas (usualmente metálicas) circulares y dentadas que trabajan en conjunto para transmitir potencia mecánica y sentido de giro desde el componente de entrada al componente de salida.

<b>Equipos telemétricos</b>	Son el conjunto de equipos electrónicos que poseen la tecnología para recolectar las magnitudes físicas generadas por los sensores y enviarla como información hacia los solicitantes de esta (operador del sistema). Incluye las interfaces de comunicación requeridas.
<b>Estator (devanados)</b>	Es un componente del motor eléctrico, es la parte fija unida a la carcasa exterior que permite convertir la energía eléctrica en energía de giro mecánica (rotor).
<b>Fallo</b>	El fallo se define como la falta de aptitud que tiene un elemento para desarrollar su función requerida [10]. El elemento puede continuar en funcionamiento, pero en condiciones degradadas que garanticen seguridad.
<b>Interoperabilidad</b>	Es una directiva europea, y se define como la capacidad de circular indistintamente por cualquier sección de la red ferroviaria. Es decir, el esfuerzo encaminado a hacer operativos los distintos sistemas técnicos ferroviarios existentes en la Unión Europea.
<b>Mantecnología</b>	Es la metodología tecnológica a utilizarse como herramienta en el mantenimiento
<b>Material rodante</b>	Aquellos vehículos capaces de rodar sobre los carriles que conforman las vías de la Red Ferroviaria de Interés General, bien dotados de tracción que les permita moverse o bien que requieran de ella para ser remolcados.
<b>Muelle</b>	Elemento elástico capaz de almacenar energía y desprenderse de ella sin sufrir deformación aparente una vez que cesan los esfuerzos y tensiones a que está sometido.
<b>Pivote caja-bogie</b>	Es la parte del bogie donde la unión mecánica con la carrocería del vehículo se efectúa. Está compuesto usualmente de un pivote o tetón que se inserta en un orificio central con forma de cono en la parte exterior, esta forma permite el deslizamiento y giro del bogie con respecto a la caja.
<b>Proceso reversible</b>	Proceso que después de ser llevado de un estado inicial de equilibrio a uno final de equilibrio, este presenta las características originales iniciales, es decir que físicamente no presenta cambios a nivel termodinámico; pudiendo ejecutarse infinitos procesos con el mismo resultado
<b>Proceso irreversible</b>	Proceso que después de ser llevado de un estado inicial de equilibrio a uno final de equilibrio las características son diferentes en cada cambio (que se hacen mucho más evidentes cuantos más procesos se ejecuten) y no son reversibles en el tiempo. Los procesos irreversibles responden a los fenómenos conocidos por el hombre
<b>Rodamiento común</b>	Es un elemento mecánico que reduce la fricción entre un eje y las piezas conectadas a este por medio de un conjunto que rueda sobre una o varias pistas. Suele servir de apoyo para el giro de máquinas y dispositivos giratorios.
<b>Rodamientos de eje</b>	Es un tipo de rodamiento especializado para esfuerzos y cargas en ejes ferroviarios.
<b>Rotor</b>	Es un componente del motor eléctrico, es la parte móvil soportada sobre los rodamientos extremos que convierte la energía eléctrica en energía de giro mecánica.
<b>Rueda ferroviaria</b>	Son ruedas completas o monobloque, fabricadas de acero fundido en una sola pieza (habitual en los vehículos modernos). tratadas térmicamente en la banda de rodadura muy resistente al desgaste.

<b>Sensores</b>	Es un dispositivo diseñado para captar magnitudes físicas y a partir de ello genera una señal característica de dichos fenómenos. En el transporte ferroviario son de uso común llegando a usarse para medir valores cuantitativos (medición de velocidad puntual, temperatura y presión puntuales) y también sensores con equipos telemétricos que midan valores cualitativos (curvas de tendencia con respecto al tiempo)
<b>Silentblock / masas caucho-metal</b>	Es un elemento fabricado en metal y elastómero que absorbe y aísla las vibraciones de los pivotes, brazos y muelles de suspensión.
<b>Small data</b>	Es un conjunto de datos con un volumen y un formato que hacen que los datos sean accesibles, informativos y procesables.
<b>Timonería</b>	Conjunto de tirantes y palancas que amplifican y transmiten los esfuerzos de los cilindros de freno, volantes de freno y demás actuadores en los sistemas de freno, a los elementos de apriete.
<b>Zapata de freno</b>	Son piezas fabricadas generalmente en acero con alto coeficiente de rozamiento con forma de media luna que se encargan de aplicar el esfuerzo directo entre la timonería y la banda de rodadura.
<b>Guarnición de freno</b>	Son piezas fabricadas en material compuesto con alto coeficiente de rozamiento en forma de pastillas que aplica el esfuerzo directo entre la timonería y el disco de freno.

**Tabla 4.2**

## **5. DESCRIPCIÓN DEL MANTENIMIENTO EN LA INDUSTRIA FERROVIARIA.**

El sector industrial y por supuesto las empresas de fabricación ferroviarias encaminan sus actividades económicas, productivas y técnicas a la transformación de materias primas hasta convertirlas en productos o servicios adecuados para satisfacer las necesidades de sus clientes con el beneficio económico que esto conlleva. No obstante, hoy en día no es suficiente con cumplir los requerimientos mínimos exigidos por el consumidor, ya que la conciencia e ideologías sociales, cuidado ambiental, seguridad y eficiencia definen los productos exitosos más utilizados y requeridos.

La evolución tecnológica y energética exige responsabilidades en eficiencia de consumo de recursos, buscando alternativas hacia menor dependencia de combustibles fósiles con procesos industriales eficientes.

Uno de los procesos considerado como pilar fundamental de la industria que deberá mejorar sustancialmente en busca de alcanzar los objetivos descritos anteriormente en el transporte ferroviario es la gestión y desarrollo del mantenimiento, siendo preciso examinar los 4 factores principales que intervienen en el:

- Factor humano
- Costos
- Elemento
- Proceso

### **5.1. FACTOR HUMANO.**

El factor humano es la razón de ser de la industria, está involucrado directa o indirectamente dentro de todas las fases del producto o elemento. Está presente en el desarrollo y construcción, venta y suministro, operación y uso, mantenimiento y obsolescencia; sin embargo, su simple intervención genera un factor de riesgo y seguridad que debe ser analizado y gestionado.

Por esta razón se desarrollan procesos y protocolos para armonizar la interacción entre el elemento y la persona en todo el ciclo de vida; procesos de fabricación, procesos de control de calidad, manuales operativos, y manuales de mantenimiento son algunos de ellos.

### **5.2. COSTOS.**

El elemento económico regula todos los procesos y actividades cotidianas de la sociedad. El mantenimiento y los costos tiene una poderosa relación a la hora de establecer actividades económicas en la industria, llegando a ponderarse una gran parte de dinero en mantener activos útiles el mayor tiempo posible y en un nivel de producción alto con inversiones energéticas mínimas (el santo grial de la industrialización).

Por esta razón cada día se presiona más a ingenieros y expertos a diseñar elementos con características de fiabilidad y operabilidad altos, y también al desarrollo de mantecnologías\* que permitan ahorrar tiempo y dinero,

\* Verificar la definición de este término en el capítulo 4.2

### **5.3. ELEMENTO.**

El elemento es la materia prima del mantenimiento y se define como la parte, componente, dispositivo, sistema, subsistema, unidad funcional o equipo que puede describirse y considerarse de forma individual [11], también el conjunto de elementos que estén agrupados de manera funcional puede constituir un elemento en sí. Aquí radica la importancia de individualizar los análisis de los elementos.

Como explicaremos más adelante, el mantenimiento tiene por objetivo el restablecer un elemento, esto indica de hecho que ese elemento no se encuentra en su condición de diseño o requerida de operación y que es necesario intervenirlo (mantenerlo). El criterio para decidir que un elemento o grupo de elementos tiene que mantenerse porque no cumple unas condiciones aceptables de funcionamiento es el reconocimiento de condición del fallo y/o avería\*.

Para que un elemento tenga un plan de mantenimiento este debe ser reparable, es decir que después de un fallo y bajo condiciones dadas (económicas, ecológicas, técnicas y/o de otro tipo), pueda volver a un estado en el que pueda realizar una función requerida. Caso contrario se podría considerar que es un elemento tipo repuesto\* y tipo consumible\* (fungible).

### **5.4. PROCESOS.**

Por definición, un proceso es el conjunto de fases sucesivas que describen un fenómeno o evento, todo en la naturaleza tiene procesos ya que los fenómenos que ocurren se componen de fases características de dicho evento.

Si un proceso está compuesto de un conjunto de fases, es necesario suponer que éstas han sido previamente identificadas mediante observación y medición, por lo tanto, tendrán una magnitud física. Entonces, a modo sencillo podríamos definir un proceso como la transición (magnitud medible) de un elemento o sistema de un estado de equilibrio a otro, es decir la transición de un estado inicial a un estado final. Sin embargo, cabe aclarar que el estado inicial y final del elemento será siempre diferente, ya que los procesos son irreversibles\*.

La evolución del hombre en gran medida es la evolución de sus procesos para obtener resultados de los sistemas con menos esfuerzo, más seguridad y mayor beneficio. Dentro del mantenimiento los procesos se ejecutan con la finalidad de restaurar o devolver las características mínimas requeridas para el funcionamiento de un elemento o sistema que carece de ellas. La experiencia y el conocimiento han permitido estudiar e investigar en el desarrollo de procesos que cumplan con los resultados requeridos o deseados en función de las necesidades actuales, y la ingeniería de fabricación y mantenimiento no es la excepción.

\* Verificar la definición de este término en el capítulo 4.2

## 6. PROCESO RAM+S EN LA INDUSTRIA.

El proceso de ingeniería RAM+S\* es una normativa de estricto cumplimiento para todos aquellos desarrolladores y fabricantes de sistemas, subsistemas, productos, tecnologías y componentes de interoperabilidad\* del transporte ferroviario en el espacio europeo; y actualmente constituye una praxis común y una política dentro de la estructura de la industria en general. Es una poderosa herramienta complementaria y que se empareja con los procesos internos de la empresa, definiendo áreas como diseño, producción y servicio al cliente; creando una estructura organizacional muy sólida alrededor de ella.

Dentro del mundo ferroviario y específicamente de material rodante\*, la RAM+S busca a través de procesos sumados a la experiencia, desarrollar y entregar vehículos ferroviarios y componentes de estos vehículos con características de robustez de operación, fiables y seguros, con disponibilidad elevada y que sean mantenibles en el tiempo durante todo el ciclo de vida. Ofrece también a los participantes (fabricante, operador y mantenedor) las responsabilidades, herramientas y limitaciones para el cumplimiento de la RAM+S del sistema.

El planteamiento y acuerdo inicial claro y objetivo de las cuatro directrices (fiabilidad, mantenibilidad, disponibilidad; y el factor “Safety” o seguridad en el diseño) entre el solicitante del producto y el suministrador es clave.

El factor *fiabilidad* define la cualidad o característica de los vehículos y componentes del sistema a operar durante su máxima productividad posible antes de presentar un fallo o reducción de sus características de funcionamiento por debajo de los estándares necesarios. Cabe mencionar aquí que la productividad es una característica comparativa de la fiabilidad, también es importante aclarar que no necesariamente la fiabilidad está relacionada con el tiempo de servicio, ya que en el transporte muchas veces es más importante la distancia recorrida en trabajo que el tiempo que el vehículo está en operación.

El factor de *mantenibilidad* desarrollado por el fabricante se basa en tres criterios, el primero es la filosofía de diseño; refiriéndonos a las políticas constructivas ideológicas como: modularidad, accesibilidad, intercambiabilidad, estandarización y demás que son factores de aporte relevante de cara a facilitar al mantenedor su tarea. El segundo punto importante es la gestión de mantenimiento, con las posibles estrategias, tácticas a emplear y el desarrollo de información relevante. Y como punto final están las herramientas que se implementarán en el sistema para que el mantenedor desarrolle competentemente esta actividad, como por ejemplo:

- Sistemas de detección, localización, memorización y señalización de las averías.
- Comunicación e identificación de fallos vía telemando.
- Software y plataformas varias.

El factor de *disponibilidad* es en términos generales el resultado de la correcta ejecución de los factores de fiabilidad y mantenibilidad durante el tiempo de vida útil del sistema, al ser este factor un término muy amplio, en la práctica se limita a valores definidos por el operador en base a consideraciones propias de la explotación como el número mínimo de unidades requeridas para cumplir el servicio y productividad deseados.

\* Verificar la definición de este término en el capítulo 4.2

*El factor “Safety”, que podríamos definir como “la seguridad aplicada al diseño, operación, mantenimiento y ciclo de vida”, es el factor que cubre a las anteriores fases. “Safety” asegura que desde el concepto inicial de diseño hasta el final de su vida útil existan políticas de seguridad que permitan ofrecer un sistema confiable en todas las interfases con los fabricantes, operadores, usuarios y medio ambiente, poniendo especialmente énfasis en las etapas donde el vehículo tiene más incidencia sobre el factor humano y material, es decir en el ciclo de explotación.*

El resultado de la RAM+S son vehículos que poseen arquitectura redundante para casos solicitados, sistemas automáticos de detección y prealarmas, sistemas de aislamiento, modos de funcionamiento degradado.

También se oficializa la entrega por parte del suministrador información como memoria de fabricación/construcción, fichas descriptivas y catálogo de elementos, manual operativo, plan de mantenimiento, certificados de propiedad, certificados de seguridad y garantía. Tras la entrega de la documentación existe una responsabilidad adquirida con el cumplimiento de los protocolos operativos y de mantenimiento a lo largo de su ciclo de vida.

Sin embargo, aunque el concepto y metodología de aplicación de los manuales y protocolos lleguen a mantener el nivel de disponibilidad y fiabilidad esperados en el sistema; esto no significa que contribuirán a nivel global al cumplimiento de los objetivos económicos y de rentabilidad esperados por el explotador del sistema.

## **7. MANTENIMIENTO.**

La normativa UNE\* señala al mantenimiento como la combinación de todas las acciones técnicas, administrativas y de gestión realizadas durante el ciclo de vida de un elemento, destinadas a conservarlo o a devolverlo a un estado en el que pueda desempeñar la función requerida [12].

### **7.1. PARTICIPANTES EN EL MANTENIMIENTO.**

Los participantes involucrados en el mantenimiento son:

El fabricante (suministrador) es el pilar inicial que define el mantenimiento de un sistema el cual ha diseñado y fabricado bajo ciertas características que permiten conservarlo o devolverlo a un estado donde pueda cumplir su función requerida (RAM).

El cliente (explotador) define el diseño final del producto según sus deseos. Si bien la normativa europea exige parámetros esenciales y generales de cumplimiento obligatorio en los sistemas y elementos de interoperabilidad que desarrollen y fabriquen los suministradores; sin embargo, los requerimientos específicos del cliente tienen una ponderación importante. Adicionalmente, el explotador será el encargado de administrar y gestionar directamente o por terceros el mantenimiento del elemento o sistema adquirido durante el ciclo de vida previsto.

\* Verificar la definición de este término en el capítulo 4.2

Finalmente, los expertos de mantenimiento (el mantenedor) son los participantes especializados en la aplicación de las acciones técnicas y de gestión de procesos necesarios en el mantenimiento, debiendo ejecutar sus actividades con criterio y eficiencia en busca del beneficio en costos y rentabilidad propios y del explotador. Los resultados de sus acciones responden en gran medida a la gestión de los dos primeros participantes y la coordinación efectiva con ellos.

## **7.2. ORGANIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO.**

### ***Gestión de mantenimiento.***

Agrupar y coordinar todas las actividades que determinan los requisitos, los objetivos, las estrategias, las responsabilidades del mantenimiento y la implantación de dichas actividades por medios tales como la planificación del mantenimiento, el control de este y la mejora de las actividades de mantenimiento y las cuestiones económicas [13].

La gestión involucra a departamentos o áreas especializadas y con responsabilidades previamente asignadas para la preparación, ejecución y evaluación general del mantenimiento, de manera genérica se requiere mínimamente de 3 áreas:

*Área de datos y análisis de mantenimiento:* encargados de ordenar, analizar y representar la información antes, durante y después de los procedimientos. La información recopilada usualmente es referente a:

- Datos funcionales de equipos embarcados a tiempo real, por inspección, por tiempo de trabajo, por distancia recorrida, etc.
- Datos de suministros de mantenimiento, suministros directos como repuestos, elementos reparados; y suministros indirectos como equipo de trabajo, impresiones, etc.
- Datos operativos y gestión de personal, tiempo de trabajo efectivo, tiempo efectivo de procesos, etc.

*Área de suministro y compras:* encargados del abastecimiento de insumos necesarios para la ejecución del plan de mantenimiento a ejecutarse, usualmente se basan en los datos entregados por el área de datos y análisis de mantenimiento.

*Área de coordinación y ejecución de mantenimiento:* encargados de gestionar los trabajos basados en el plan y la estrategia de mantenimiento en los elementos y sistemas seleccionados, utilizando los suministros necesarios y recopilando los datos requeridos.

## **7.3. OBJETIVOS DEL MANTENIMIENTO.**

Son metas asignadas y aceptadas para las actividades de mantenimiento. Estas metas pueden incluir, por ejemplo, la disponibilidad, fiabilidad, mantenibilidad, reducción de costes, la calidad del producto, la protección del medio ambiente, la seguridad, la vida útil y la preservación del valor del activo, etc.

### ***Disponibilidad.***

Capacidad de un elemento de estar en un estado que le permita desarrollar una función de la manera y el momento requerido en las condiciones dadas, asumiendo que se proveen los recursos externos requeridos [14]. Se aplica a elementos reparables pues en ellos se puede diferenciar el tiempo que están funcionando del que no lo están.

### ***Fiabilidad.***

Es la aptitud de un elemento de desarrollar una función requerida bajo unas condiciones dadas durante un intervalo de tiempo determinado [15]. La fiabilidad de un elemento está vinculada a condiciones que la afectan como:

- *Condición de sistemas interrelacionados (interfaces)*
- *Condición operativa (contexto operacional)*
- *Condición medioambiental*

### ***Mantenibilidad.***

La mantenibilidad se define como la capacidad de un elemento (o grupo de elementos constituyendo un sistema mayor), bajo unas condiciones de uso dadas, de ser preservado, o ser devuelto a un estado en el cual pueda realizar una función requerida cuando el mantenimiento se ejecuta bajo condiciones dadas y utilizando procedimientos y recursos preestablecidos [16].

Es preciso recalcar que el mantenimiento como se mencionó anteriormente es un proceso de tipo irreversible, de esta manera un elemento únicamente podrá restituirse a su rendimiento operacional ligeramente similar o inferior que el diseño original operacional.

## **7.4. ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO.**

Desarrolla métodos de gestión que serán aplicados para lograr los objetivos del mantenimiento. Algunas posibles estrategias utilizadas son: coordinación de equipos y tiempo, manejo y distribución de recursos, externalización de mantenimientos, métodos de investigación, análisis y ejecución de mejoras de los planes de mantenimiento existentes.

## **7.5. PLAN DE MANTENIMIENTO.**

Es el resultado real y practicable de los objetivos, estrategias y organización del mantenimiento, es un conjunto estructurado y documentado de tareas que incluyen las actividades, los procedimientos, los recursos y la duración necesaria para realizar el mantenimiento.

Finalmente, consolidando la definición de mantenimiento con los términos mencionados, podríamos acordar que:

*El mantenimiento es el grupo de actividades técnicas, administrativas y de gestión; que, desarrolladas y organizadas por un grupo de participantes coordinados, tienen por objetivo el restablecer la funcionalidad de uno o varios elementos (con características de "mantenibilidad") que debido a condiciones de funcionamiento se encuentra en un estado de avería o fallo imposibilitado de cumplir su función requerida.*

## 8. EVOLUCIÓN CONCEPTUAL DEL MANTENIMIENTO.

La filosofía de mantenimiento se inició con la revolución industrial y la necesidad de mantener operativas las maquinarias de aquel entonces, durante muchos años la situación permaneció inamovible hasta que dio el salto evolutivo.

Como la mayoría de los progresos tecnológicos este tuvo su desarrollo inicial durante la segunda guerra mundial, el ejército estadounidense desarrolló una praxis para poder mantener una alta disponibilidad de sus unidades, una revolución para esa época que inevitablemente se extendió a la industria y servicios.

Desde esa época en adelante, el mantenimiento ha tenido que adaptarse a las exigencias propias del desarrollo tecnológico y de mercado hasta nuestros días.

### *1era. Generación.*

Periodo hasta antes de 1950, se ejecutaba el mantenimiento tipo correctivo. La intervención se ejecutaba cuando el fallo era evidente. Como consecuencia podemos recalcar la baja disponibilidad que presentaban los sistemas durante este periodo, no obstante, las exigencias no eran un determinante en ese periodo.

### *2da. Generación.*

Periodo desde 1950 hasta 1985, adicionalmente al mantenimiento correctivo se desarrolla el mantenimiento preventivo fijo y un sistema de planificación y control rígido e inamovible. Como consecuencia se producen sobre mantenimientos innecesarios y no se logran mitigar los fallos ocultos que comprometen la fiabilidad de los sistemas.

### *3era. Generación.*

Periodo desde 1985 hasta 2000, se desarrolla el mantenimiento predictivo y la monitorización como respuesta a la necesidad de encontrar fallos ocultos. Por parte del fabricante se implementan diseños de fabricación orientados a la fiabilidad y mantenibilidad, técnicas AMFE\*, TQM\*, LCC\*, y certificaciones de calidad en construcción y mantenimiento.

### *4ta. Generación.*

Periodo desde 2000 hasta la actualidad, se desarrolla la gestión del mantenimiento orientado a conceptos RCM\*, TPM\*, y personalización con el cliente, mantenimientos predictivos avanzados, personalizados y ajustados a cada sistema. Se desarrolla el término “upgrade”, “benchmarking”, y se intensifican las certificaciones integradas con el cliente.

\* Verificar la definición de este término en el capítulo 4.2

## 9. MANTENIMIENTO POR CONDICIÓN “PREDICTIVO”.

El mantenimiento por condición o predictivo es una evolución dentro del mantenimiento preventivo y es la respuesta a un largo periodo en el cual las actividades tipo preventivo desarrollaron problemas e inconvenientes de aplicabilidad, utilidad y rentabilidad conforme a los requerimientos cada vez más exigentes de la sociedad e industria. Problemas como el gasto excesivo de recursos y mano de obra en periodos determinados sin justificación técnica de fallo o avería, y también la no mitigación de los fallos ocultos con la consecuente indisponibilidad del sistema son puntos para mitigar a través de procesos predictivos.

El mantenimiento por condición plantea la creación de actividades mantenedoras a la carta y según condición, individualizadas para cada sistema. Identificando mediante técnicas predictivas el estado operativo real del elemento, estableciendo variables físicas que representan el estado de funcionamiento, para su análisis y posterior intervención en base a parámetros establecidos y recolectados.

Esta filosofía aplica la intervención de mantenimiento cuando es necesario:

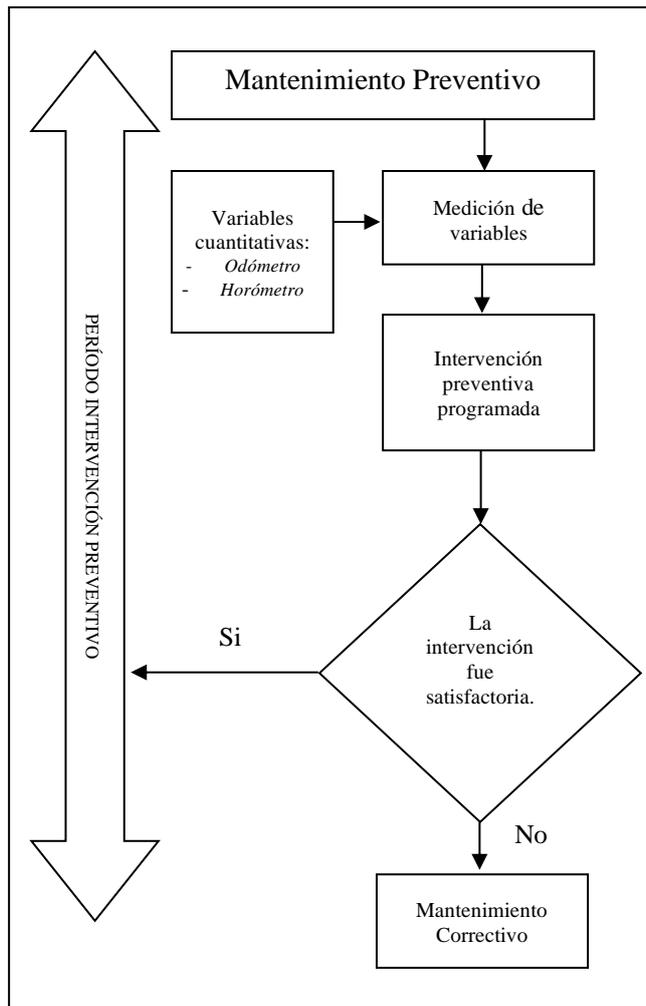
- Redistribuir la carga de trabajo.
- Priorizar elementos y sistemas críticos.
- Reducir los costes de mantenimiento.
- Eficiencia de la ejecución.
- Aumento de disponibilidad.
- Detectar averías con anticipación para mejorar el MKBF\*.
- Identificación de estado actual e inspecciones.
- Definir tendencias y características de degradación.
- Determinar el alcance al siguiente intervalo programado o actuar por evidencia.

\* Verificar la definición de este término en el capítulo 4.2

## 10. PRIMERAS CONSIDERACIONES DE PREVENTIVO A PREDICTIVO.

Para poder plantear los procedimientos de transición de una actividad preventiva a predictiva debemos analizar y definir los procesos involucrados.

El mantenimiento preventivo se caracteriza por definir variables cuantitativas continuas que miden tiempos, distancias en elementos y sistemas que posteriormente serán utilizados para definir los periodos de intervención preventiva.



**Ilustración 10.1**

Por tal motivo, la intervención está condicionado al cumplimiento de horas o kilómetros de funcionamiento (valores que no reflejan el estado real de los elementos) que pueden ser tabulados a cronogramas de mantenimiento sistemático.

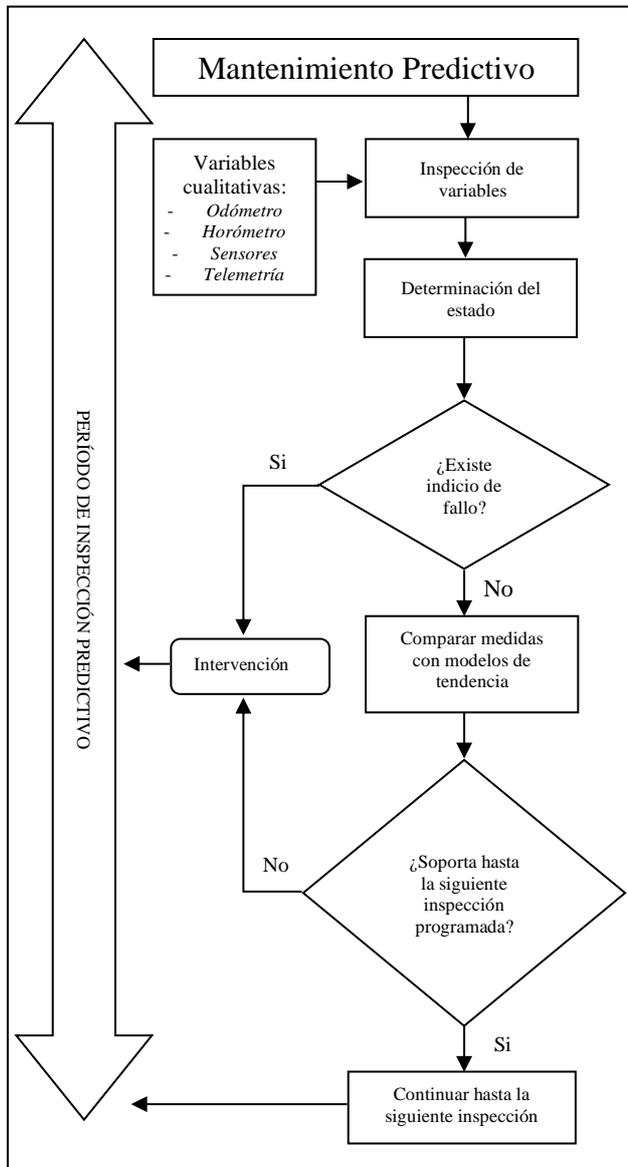
La ejecución de mantenimiento utiliza los procesos y actividades definidos por el fabricante de manera rigurosa, sobre todo en la sustitución y utilización de suministros.

Solo durante la intervención se puede determinar el estado real del elemento, esto representa un inconveniente ya que el elemento puede presentar uno o varios fallos que se encontraban ocultos, pudiendo en el mejor de los casos y por necesidad ejecutarse un mantenimiento correctivo con solución provisional y programación consecuente inmediata (probabilidad y riesgo de fallo no deseado), o directamente ejecutarse un mantenimiento correctivo inmediato, dilatando su MTTR\* (escenario no deseado).

Como conclusión podemos indicar que el mantenimiento preventivo no refleja el estado real de los elementos y puede ocurrir dos escenarios durante su ejecución:

- La sustitución prematura de elementos o suministros no justificado durante los periodos de mantenimiento, lo que lleva a tener un exceso de gasto en el suministro y mano de obra.
- Los elementos pueden presentar fallos ocultos que únicamente se conocerán cuando se presenten en operación o al analizarlos durante una intervención. Como consecuencia se deberá cambiar las actividades, suministros y mano de obra requeridos inicialmente, como también tiempos de mantenimiento dilatados (correctivo)

El mantenimiento predictivo define variables cualitativas basados en características físicas de los elementos que pueden ser obtenidas a tiempo real o por inspecciones programadas.



**Ilustración 10.2**

Las inspecciones programadas son de tiempo muy corto y no invasivas. Sirven para extraer los datos para análisis, estos son obtenidos a través de sensores instalados permanentemente en los elementos o a través de sensores de monitoreo externo.

La determinación del estado de los elementos se hace comparando con los valores registrados en la base datos del elemento y la curva de fiabilidad mínima requerida.

Verificado el estado del elemento se toma la decisión si debe intervenir o no, basado en proyecciones y valores.

La ejecución de mantenimiento predictivo utiliza los procesos del fabricante, pero no en periodos establecidos. Solo cuando el análisis de estado y fiabilidad lo requiera.

En resumen, indicaremos que el proceso de mantenimiento predictivo utiliza variables con obtención de datos durante el funcionamiento de los elementos que le permite evaluar sin métodos invasivos el estado real del sistema y decidir sobre el mantenimiento, llegando a definir tres escenarios:

- Los datos inspeccionados y analizados de los elementos muestran parámetros de comportamiento fiables que no requieren de intervención. Se organiza la siguiente inspección establecida.
- Los datos inspeccionados y analizados muestran parámetros de comportamiento con desgaste, que según los históricos permiten organizar un mantenimiento cercano al límite de fiabilidad.
- Los datos inspeccionados y analizados muestran parámetros de comportamiento con desgaste superior al valor mínimo de fiabilidad (posibilidad de fallo inminente) que deberá intervenir antes de su aparición.

## 11. INICIO DEL PROCESO DE MIGRACIÓN.

De lo analizado anteriormente podemos definir que de manera general para realizar la transición (migración) de procesos de mantenimiento preventivo a predictivo en un bogie\*, se deberá plantear las siguientes acciones:

<b>PREPROCESOS</b>			
<b>ESTADO INICIAL</b>	<b>ACCIÓN</b>	<b>ESTADO FINAL</b>	<b>ESTRATEGIAS BASE</b>
NO existente	Definir	Identificación de tipo de bogie	Definir el bogie por su especificación, característica y tipo
NO existente	Implementar	Clasificación de elementos y sistemas	Deberán plantearse niveles de ponderación para clasificar los elementos por su tipo de intervención y repercusión a los sistemas y subsistema (por ejemplo: elementos consumibles)
Contexto operacional	Definir	Contexto operacional pormenorizado	Ampliar y definir los pormenores operacionales de cada elemento, límites mínimos y máximos de operación.
Variables continuas cuantitativas	Modificar	Variables fluctuantes cualitativas.	Implementar sistemas de adquisición de datos. Clasificar los elementos y sistemas según las variables requeridas.
NO existente	Implementar	Inspecciones de corto tiempo aplicables	Actividad de corto tiempo no invasiva de recolección de datos y variables en tiempos establecidos.
NO existente	Implementar	Análisis de modo de fallo y efectos	Identificar los fallos potenciales y presentes en el bogie para iniciar el planteo de cambios y mejoras.

**Tabla 11.1**

<b>POSPROCESOS</b>			
<b>ESTADO INICIAL</b>	<b>ACCIÓN</b>	<b>ESTADO FINAL</b>	<b>ESTRATEGIAS BASE</b>
Aparición de fallos	Eliminar Mitigar	Procesos y acciones predictivas en los elementos correspondientes	Implementación de sensorización y telemetría en los sistemas aptos para procesos predictivos. Generación de datos y valores a tiempo real.
Obtención de datos y valores	Implementar	Almacenamiento de datos en silos (históricos).	Implementación de software y hardware especializado para almacenar la información telemétrica.
Datos en silos (históricos)	Implementar	Análisis y Small data*	Utilizar tecnología de procesamiento de datos para generar curvas de comportamiento y escenarios.
Intervenciones y actividades iniciales	Modificar	Intervención predictiva.	Ejecución de actividades de mantenimiento predictivo según requerimiento (no programado)

**Tabla 11.2**

Los procesos anteriores corresponden a actividades generales de valor técnico, también se deberá considerar las transiciones a los procesos que involucran el adiestramiento y capacitación del factor humano.

## 12. ELEMENTOS, SISTEMAS Y SUBSISTEMAS DE BOGIES.

El bogie según su tipo (bogie tractivo\* B.T. o bogie remolcado\* B.R.) es un compendio de diversos elementos, sistemas y subsistemas. La complejidad de este dependerá del diseño del fabricante, las prestaciones requeridas, el nivel de seguridad en la operación y la tecnología desarrollada.

A continuación, detallamos los elementos comunes que componen un bogie de manera genérica, en unidades ferroviarias.

<b>ELEMENTOS DE BOGIE</b>	<b>B.T.</b>	<b>B.R.</b>
Rodamientos de motor eléctrico*	Si/No**	No
Rodamientos de convertidor de par*	Si/No**	No
Rodamientos de reductor mecánico*	Si/No**	No
Rodamientos de eje*	Si	Si
Rotor*	Si/No**	No
Estator (devanados)*	Si/No**	No
Bornera y conexionado*	Si/No**	No
Ventilación*	Si/No**	No
Convertidor de par*	Si/No**	No
Engranajes*	Si/No**	No
Chavetas*	Si/No**	No
Guarnición de freno*	Si/No**	Si/No**
Disco de freno*	Si/No**	Si/No**
Timonería*	Si	Si
Zapata de freno*	Si/No**	Si/No**
Caja de grasa*	Si	Si
Eje*	Si	Si
Rueda ferroviaria*	Si	Si
Pivote caja-bogie*	Si	Si
Silentblock y masas caucho-metal*	Si	Si
Muelles*	Si	Si
Amortiguador*	Si/No**	Si/No**
Balón de suspensión*	Si/No**	Si/No**
Circuito neumático*	Si	Si
Cilindro de freno*	Si	Si
Acometida eléctrica*	Si/No**	Si/No**
Sensores (equipos telemétricos) *	Si/No**	Si/No**

**Tabla 12.1**

\* Verificar la definición de este término en el capítulo 4.2.

\*\* Esta expresión indica que dependiendo del tipo y diseño del bogie puede o no estar presente el elemento.

Los elementos se agrupan por su funcionalidad en subsistemas y sistemas que serán valorados según el diseño y fiabilidad requerido para posteriormente asignar la actividad de mantenimiento determinada.

ELEMENTOS	SUBSISTEMAS	SISTEMAS
Rodamientos	Subsistema Reductor mecánico	Sistema Tracción eléctrica
Engranajes		
Chavetas		
Rodamientos	Subsistema Motor eléctrico	Sistema Tracción hidráulica
Rotor		
Estator (devanados)		
Bornera y conexionado		
Ventilación	Subsistema Convertidor hidráulico	Sistema Tracción hidráulica
Rodamientos		
Convertidor de par		
Fluido hidráulico	Sistema Freno (disco)	Sistema Freno rueda
Guarnición de freno		
Disco de freno		
Cilindro de freno		
Timonería		
Zapata de freno	Subsistema Caja grasa	Sistema Rodadura
Rodamiento		
Pista y habitáculo	Subsistema Eje armado	S. Bastidor
Eje		
Rueda ferroviaria	Sistema Suspensión primaria	Sistema Suspensión secundaria
Porta pivote		
Bastidor		
Silentblock y masas caucho-metal	Sistema Neumático	Sistema Neumático
Muelles		
Amortiguador	Sistema Neumático	Sistema Neumático
Balón de suspensión		
Circuito neumático	Sistema Neumático	Sistema Neumático
Cilindro de freno		
Acometida eléctrica		
Sensores y telemetría	Sistema Neumático	Sistema Neumático
Sensores y telemetría		

Tabla 12.2

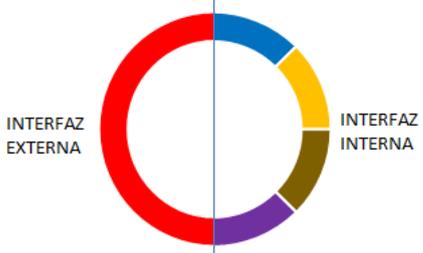
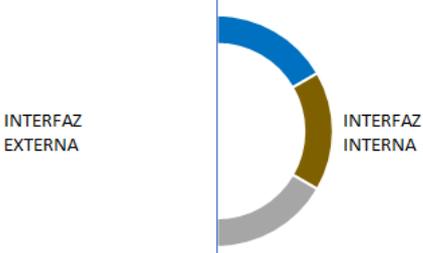
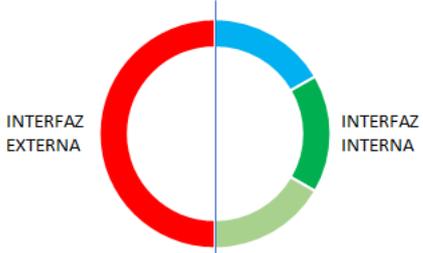
Cada sistema y subsistema está definido y agrupado según su función, operación y mantenimiento (en conjunto) para la ejecución de actividades e inspecciones.

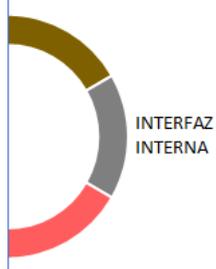
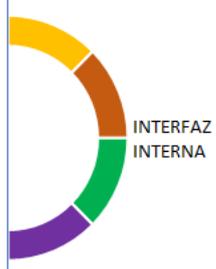
### 13. INTERFAZ DE SISTEMAS Y CONTEXTO OPERACIONAL PORMENORIZADO.

El funcionamiento integral de un bogie ferroviario depende en gran medida de los elementos y sistemas que posee y las interacciones que tienen estos entre sí (interfaz interna) y también las interacciones con sistemas externos y sus características (cambia vías, rieles, peralte, etc.)

La interfaz a grandes rasgos nos permite identificar el grado de participación en el funcionamiento del elemento con los otros sistemas y subsistemas, su importancia dentro del contexto operacional del bogie.

TABLA DE INTERFACES EN SISTEMAS DE BOGIES.

<b>SISTEMA DE TRACCIÓN ELÉCTRICO - HIDRÁULICO</b>		
 <p>Diagram showing a circular interface divided into segments. The left half is red and labeled 'INTERFAZ EXTERNA'. The right half is divided into blue, yellow, green, and purple segments, labeled 'INTERFAZ INTERNA'.</p>	<p>INTERFAZ INTERNA:  <b>Sistema de rodadura.</b>  <b>S. suspensión primaria.</b>  <b>Sistema bastidor.</b>  <b>Acometida eléctrica.</b></p>	<p>INTERFAZ EXTERNA:  <b>Catenaria y sistema alimentación</b></p>
<b>SISTEMA DE FRENO (DISCO Y SOBRE RUEDA)</b>		
 <p>Diagram showing a semi-circular interface. The left side is labeled 'INTERFAZ EXTERNA'. The right side is divided into blue, green, and grey segments, labeled 'INTERFAZ INTERNA'.</p>	<p>INTERFAZ INTERNA:  <b>Sistema de rodadura.</b>  <b>Sistema bastidor.</b>  <b>Sistema neumático.</b></p>	<p>INTERFAZ EXTERNA:  <b>Ninguna</b></p>
<b>SUBSISTEMA EJE Y RUEDA</b>		
 <p>Diagram showing a circular interface divided into segments. The left half is red and labeled 'INTERFAZ EXTERNA'. The right half is divided into blue, green, and light green segments, labeled 'INTERFAZ INTERNA'.</p>	<p>INTERFAZ INTERNA:  <b>Subsistema caja de grasa.</b>  <b>Sistema freno de disco.</b>  <b>Sistema freno en rueda.</b></p>	<p>INTERFAZ EXTERNA:  <b>Carril.</b>  <b>Aparatos de vía.</b></p>
<b>SUBSISTEMA CAJA DE GRASA</b>		
 <p>Diagram showing a semi-circular interface. The left side is labeled 'INTERFAZ EXTERNA'. The right side is divided into blue and yellow segments, labeled 'INTERFAZ INTERNA'.</p>	<p>INTERFAZ INTERNA:  <b>Subsistema de eje armado.</b>  <b>Sistema de suspensión primaria.</b></p>	<p>INTERFAZ EXTERNA:  <b>Ninguno</b></p>
<b>SISTEMA SUSPENSIÓN PRIMARIA</b>		
 <p>Diagram showing a semi-circular interface. The left side is labeled 'INTERFAZ EXTERNA'. The right side is divided into blue and brown segments, labeled 'INTERFAZ INTERNA'.</p>	<p>INTERFAZ INTERNA:  <b>Sistema de rodadura.</b>  <b>Sistema bastidor.</b></p>	<p>INTERFAZ EXTERNA:  <b>Ninguno</b></p>

<b>SISTEMA SUSPENSIÓN SECUNDARIA</b>		
 <p>INTERFAZ EXTERNA</p> <p>INTERFAZ INTERNA</p>	<p>INTERFAZ INTERNA:</p> <p><b>Sistema bastidor.</b> <b>Sistema neumático.</b> <b>Pivote y Caja</b></p>	<p>INTERFAZ EXTERNA:</p> <p><b>Ninguno</b></p>
<b>SISTEMA NEUMÁTICO</b>		
 <p>INTERFAZ EXTERNA</p> <p>INTERFAZ INTERNA</p>	<p>INTERFAZ INTERNA:</p> <p><b>Sistema de freno de disco.</b> <b>Sistema de freno en rueda.</b> <b>Sistema de suspensión secundaria.</b></p>	<p>INTERFAZ EXTERNA:</p> <p><b>Sistema de generación de aire.</b> <b>Instalación neumática de tren.</b> <b>Panel neumático.</b></p>
<b>SISTEMA BASTIDOR</b>		
 <p>INTERFAZ EXTERNA</p> <p>INTERFAZ INTERNA</p>	<p>INTERFAZ INTERNA:</p> <p><b>Sistema suspensión (primaria y secundaria).</b> <b>Sistema tracción (eléctrica/hidráulica).</b> <b>Timonería de freno y soportes.</b> <b>Acometida eléctrica.</b></p>	<p>INTERFAZ EXTERNA:</p> <p><b>Ninguna</b></p>

**Tabla 13.1**

El contexto operacional de los elementos y sistemas de bogies son procesos individuales en los cuales mediante entradas establecidas (suministro, energía, condiciones operacionales, condiciones ambientales) se ejecutan procesos establecidos por diseño (funciones) y se obtiene un resultado cuantificable mediante salidas (producción, rendimiento, e impacto ambiental).

Se debe tener en cuenta que el contexto operacional está involucrado en las operaciones de material rodante aunque seamos conscientes o no de ello, por lo tanto, a la hora de iniciar un proceso de migración a mantenimiento predictivo es crucial pasar a un estado completo de conocimiento del contexto operativo. Y como consecuencia es importante el incluir de manera acertada en las entradas y salidas de los sistemas la sensorización y telemetría que nos permita crear silos de información con históricos, tendencias para análisis y decisión.

De forma genérica y rápida podemos definir los contextos operacionales de los sistemas de bogies como se indica en el siguiente cuadro:

SISTEMAS		ENTRADAS	PROCESOS	SALIDAS
Sistema de tracción	Subsistema Reductor mecánico	Energía eléctrica CC: 600[V], 750[V], 1 500[V] CA [50hz]: 25 000 [V]	<ul style="list-style-type: none"> <li>Convertir la energía eléctrica en energía mecánica.</li> <li>Convertir la energía eléctrica en energía hidráulica.</li> <li>Generar par y esfuerzo de movimiento rotativo en la salida del motor.</li> <li>Transmitir el par y esfuerzo al reductor mecánico o convertidor hidráulico.</li> <li>Adaptar la velocidad y potencia a la salida del eje motriz.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Momento en engranaje de eje motriz: [N·m]</li> <li>Consumo de amperios.</li> <li>Temp. de motor eléctrico</li> <li>Temp. de convertidor hidráulico</li> <li>Temp. de reductor mecánico</li> <li>Vibraciones de reductor mecánico.</li> <li>Vibraciones de convertidor hidráulico</li> </ul>
	Subsistema motor eléctrico			
	Subsistema Convertidor hidráulico			
Sistema de freno		Velocidad de giro motor. Potencia eléctrica de frenado. Esfuerzo mecánico de cilindro de freno Rend. mecánico de timonería $\approx (0,9)$	<ul style="list-style-type: none"> <li>Convertir la presión de aire en el cilindro en esfuerzo mecánico en la timonería.</li> <li>Transmitir la fuerza de frenado hacia la guarnición o zapata.</li> <li>Aplicar presión sobre el disco o rueda.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Esfuerzo de fricción.</li> <li>Temperatura de disco.</li> </ul>
Sistema Rodadura	Subsistema Eje armado	Coef. de rozam. $\approx 0,3$ Esfuerzo en rueda: [N·m]	<ul style="list-style-type: none"> <li>Transmitir esfuerzo de giro recibido hacia las ruedas.</li> <li>Transmitir esfuerzo tractivo de la rueda al carril.</li> <li>Transmitir esfuerzo de freno de la rueda a carril.</li> <li>Efectuar el guiado de ruedas y bogíes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Momento rueda carril: [N·m]</li> <li>Distancia de giro recorrida</li> <li>Temperatura interna rodamiento.</li> <li>Vibración interna rodamiento.</li> </ul>
	Subsistema Caja de grasa			
Sistema Bastidor		Esfuerzos de tracción. Esfuerzos de torsión.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Soporte de sistemas y subsistemas de bogie</li> </ul>	
Sistema de Suspensión primaria y secundaria		Desniveles. Peraltes	<ul style="list-style-type: none"> <li>Amortiguar movimientos laterales.</li> <li>Amortiguar movimientos verticales.</li> <li>Mantener el contacto rueda carril.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aceler. laterales [m/s<sup>2</sup>]</li> <li>Aceler. verticales [m/s<sup>2</sup>]</li> <li>Momentos laterales [N·m]</li> </ul>
Sistema Neumático		Aire. Presión $\approx 10$ bar	<ul style="list-style-type: none"> <li>Convertir la presión de aire en ganancia mecánica a la salida del pistón.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Esfuerzo mecánico de cilindro de freno.</li> </ul>

**Tabla 13.2**

#### 14. VARIABLES CUANTITATIVAS Y CUALITATIVAS.

El mantenimiento preventivo de un bogie; utiliza variables cuantitativas en unidades de tiempo o distancia para valorar la fiabilidad intrínseca (fiabilidad según diseño del fabricante) de los elementos y establecer su periodicidad de intervención, esto sirve para definir y ejecutar las actividades programadas.

Componentes	Variable de referencia	Unidad
Sistema de tracción eléctrico	Distancia	Kilometraje
Sistema de tracción hidráulico	Distancia	Kilometraje
Sistema de tracción mecánico	Distancia	Kilometraje
Sistema de freno de disco	Desgaste	milímetros
Sistema de freno sobre rueda	Desgaste	milímetros
Eje armado	Desgaste	milímetros
Rodamiento y caja de grasa	Distancia/Temperatura	Kilometraje/C°
Sistema de suspensión primaria	Desgaste	milímetros
Sistema de suspensión primaria	Distancia	Kilometraje
Sistema de suspensión secundaria	Desgaste	Fisuras/holguras

Sistema de suspensión secundaria	Distancia	Kilometraje
Sistema neumático	Desgaste/ Tiempo de servicio	Fisuras/Bar
Sistema de bastidor	Tiempo de servicio	horas
Acometida eléctrica	Impedancia/Desgaste	Ohmios/daño

**Tabla 14.1**

Sin embargo, para mantenimiento de tipo predictivo es necesario analizar los elementos, sistemas y subsistemas; y como se pueden caracterizar con variables de medición en base al resultado del contexto operacional tal como se indica en el siguiente cuadro.

ELEMENTOS	SALIDAS	V. MEDICIÓN	RANGO OPR.
Engranajes	Temperatura	[C°]	Por definir
Engranajes	Vibración	[Hz]	Por definir
Rodamientos	Temperatura	[C°]	Por definir
Rodamientos	Vibración	[Hz]	Por definir
Motor eléctrico	Temperatura	[C°]	Por definir
Motor eléctrico	Vibración	[Hz]	Por definir
Motor eléctrico	Consumo energético	[A]	Por definir
Convertidor de par	Temperatura	[C°]	Por definir
Convertidor de par	Vibración	[Hz]	Por definir
Guarnición de freno	Desgaste	[mm]	Por definir
Zapata de freno	Desgaste	[mm]	Por definir
Cilindro de freno	Presión	[bar]	Por definir
Disco de freno	Desgaste	[mm]	Por definir
Disco de freno	Temperatura	[C°]	Por definir
Timonería	Holguras y desgaste	[mm]	Por definir
Eje	Esfuerzos	[N]	Por definir
Rueda	Desgaste de pestaña	[mm]	Por definir
Rueda	Desgaste de banda	[mm]	Por definir
Pivote caja	Esfuerzos	[N]	Por definir
Bastidor	Esfuerzos	[N]	Por definir
Silentblock y masas caucho-metal	Esfuerzos	[N]	Por definir
Muelles	Aceleración	[m/s <sup>2</sup> ]	Por definir
Amortiguador	Fuerza	[N]	Por definir
Balón de suspensión	Presión	[bar]	Por definir
Instalación neumática	Presión	[bar]	Por definir

**Tabla 14.2**

Los valores de medición sirven para definir las unidades características y el rango de los parámetros y variables cualitativas pormenorizadas a emplearse en las tendencias de predictividad, para luego identificar la sensorización y telemetría que se requiere implementar.

Cabe indicar que no todos los sistemas podrán migrar hacia el mantenimiento por condición (predictivo) y de la misma manera no todos podrán disponer de sensores y telemetría fija como más adelante en el análisis AMFE evidenciaremos.

Cada sistema y elemento por diseño o funcionamiento tiene un rango de operación específico en el cual la fiabilidad y el rendimiento son el máximo posible. Las pruebas en vía, los históricos de funcionamiento, los datos de mantenimiento y la implementación de sensorización permitirán determinar la gráfica funcional donde se establece las zonas de trabajo particulares.

## 15. GRÁFICA FUNCIONAL.

La gráfica funcional es una herramienta descriptiva que permite establecer una curva que representa como cambia la variable de medición (por ejemplo: temperatura, presión, voltaje, corriente, vibraciones, etc.) con el tiempo de funcionamiento en las condiciones del contexto operacional. A partir de la curva se puede establecer los rangos y zonas operativas de análisis en operación y mantenimiento.

Si bien, se pueden obtener valores y parámetros con la implementación y uso de sensores con telemetría, toda la información será útil en medida que se pueda establecer correctamente la relación entre el valor medido en un tiempo determinado y su interpretación en la curva representativa. El gráfico funcional no es un parámetro fijo, se puede redefinir y mejorar en base a los históricos de funcionamiento y mantenimiento. Los cambios y mejoras se pueden perfeccionar en cualquiera de los dos ejes funcionales:

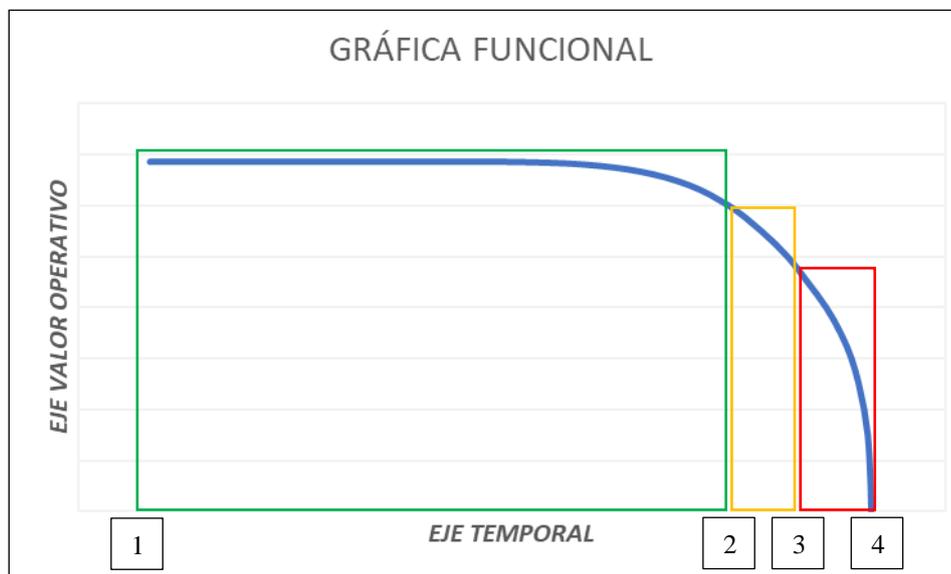
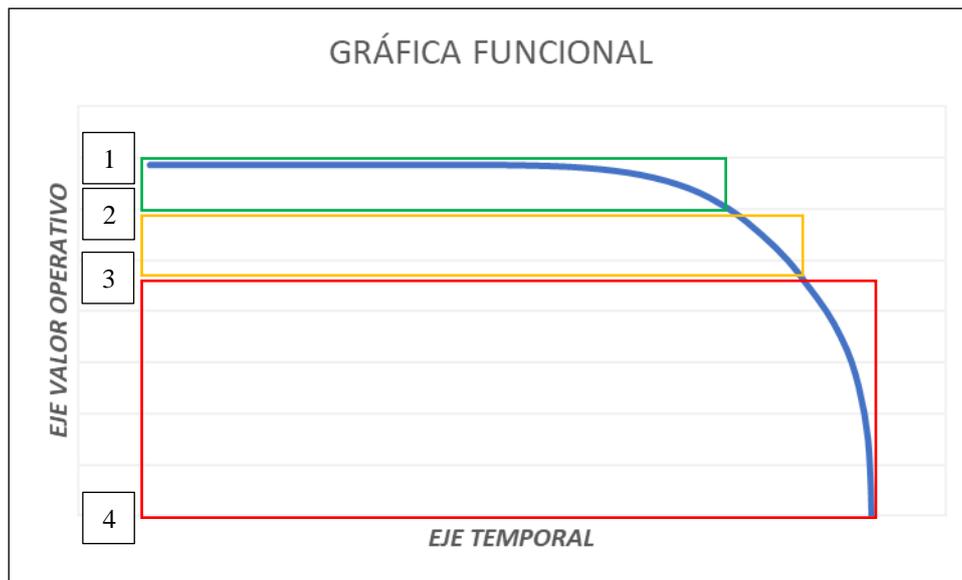


Ilustración 15.1

**EJE TEMPORAL.** Se mide en horas, minutos, segundos, etc.

- Zona temporal de trabajo normal (verde): Caracteriza el RANGO OPERACIONAL desde que inicia el funcionamiento del elemento  $t=0$  (1) con el valor máximo de funcionalidad hasta que alcanza el valor mínimo de funcionalidad deseado (2).
- Zona temporal de cambio (naranja): Caracteriza el RANGO OPERACIONAL desde que es evidente el cambio de valor mínimo requerido de funcionalidad en el elemento (2) hasta que alcanza el valor de inicio de fallo potencial (3). Se requiere que este RANGO OPERACIONAL sea lo más pequeño posible para aprovechar el rendimiento. Pero la actuación en la transición debe ser rápida.
- Zona temporal de fallo potencial (rojo): Caracteriza el RANGO OPERACIONAL desde que el elemento entra en la zona de fallo potencial (3) hasta que el fallo aparece (4).



**Ilustración 15.2**

**EJE DEL VALOR OPERATIVO.** Se mide según la variable característica: C°, Hz, mm, etc.

- Zona funcional de trabajo: Caracteriza el RANGO OPERACIONAL de valores en el cual el elemento opera de manera fiable de (1) a (2).
- Zona funcional de actuación: Caracteriza el RANGO OPERACIONAL de valores en el cual se deberá actuar sobre el elemento (2) para prevenir que alcance el punto de inicio de fallo potencial (3).
- Zona de fallo potencial: Caracteriza el RANGO OPERACIONAL de valores en el cual el elemento puede fallar inevitablemente de (3) a (4).

En la práctica los valores iniciales podrán considerarse los definidos por el fabricante en el diseño, pero se modificarán con los históricos de mantenimiento, fallos, averías y operación analizados en el tiempo.

## **16. INSPECCIONES DE CORTO TIEMPO APLICABLES.**

Cada elemento o sistema posee una o más actividades de mantenimiento preventivo sistemático que está asociado al diseño específico del fabricante y su característica tecnológica (Mecánica, Eléctrica, Hidráulica, Neumática y Térmica).

Las herramientas y tecnologías en el diseño le permiten al fabricante proyectar escenarios supuestos basados en condiciones estandarizadas de funcionamiento, como resultado se originan

frecuencias de actividades generalizadas a grupos de elementos y sistemas, que en conjunto describen un valor medio de periodicidad para un valor de fiabilidad aceptable.

SISTEMAS	FRECUENCIA DE ACTIVIDADES	TECNOLOGÍA				
		M	E	H	N	T
Sistema de tracción eléctrico	Actividad frecuente	✓	✓			✓
Sistema de tracción hidráulico	Actividad frecuente	✓		✓		
Sistema de tracción mecánico	Actividad frecuente	✓				✓
Sistema de freno de disco	Actividad muy frecuente	✓				✓
Sistema de freno sobre rueda	Actividad muy frecuente	✓				✓
Sistema rodadura	Actividad frecuente	✓				
Sistema de bastidor	Actividad muy poco frecuente	✓				
Sistema de suspensión primaria	Actividad poco frecuente	✓		✓		
Sistema de suspensión secundaria	Actividad poco frecuente	✓		✓		
Sistema neumático	Actividad frecuente				✓	
Acometida eléctrica	Actividad poco frecuente		✓			

**Tabla 16.1**

Como se ha mencionado anteriormente algunos sistemas no podrán sensorizarse de manera fija por múltiples razones (problemas técnicos, económicos u operativos). Sin embargo, la monitorización por equipos externos no invasivos es una posibilidad factible, y para este fin se deberán establecer inspecciones frecuentes de corto tiempo adicionales a las inspecciones y actividades preventivas concertadas.

SISTEMAS	INSPECCIONES DE CORTO TIEMPO
Sistema de tracción eléctrico	NO se requiere inspección. Sensorizable (temperatura)
Sistema de tracción hidráulico	NO se requiere inspección. Sensorizable (temperatura)
Sistema de tracción mecánico	NO se requiere inspección. Sensorizable (temperatura)
Subsistema reductor de velocidad	SI se requiere. Inspección frecuente (vibraciones)
Sistema de freno de disco	SI se requiere. Inspección frecuente (desgaste)
Sistema de freno sobre rueda	SI se requiere. Inspección frecuente (desgaste)
Sistema rodadura	SI se requiere. Inspección frecuente (vibraciones)
Sistema de bastidor	NO se requiere inspección, se considera innecesario
Sistema de suspensión primaria	NO se requiere inspección. Inspección con frecuencia preventivo
Sistema de suspensión secundaria	NO se requiere inspección. Inspección con frecuencia preventivo
Sistema neumático	NO se requiere inspección. Inspección con frecuencia preventivo
Acometida eléctrica	NO se requiere inspección, se considera innecesario

**Tabla 16.2**

## 17. PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA Y EFECTOS EN BOGIES.

Con toda la información obtenida en los capítulos anteriores el análisis de modos de fallo y efecto se convierte en la herramienta documental de las funciones, condiciones y procesos del bogie y sus componentes. Establecerá de forma ordenada las situaciones presentes de los elementos y sistemas, los posibles modos de fallos, los efectos que puede sufrir cada elemento y

los sistemas interrelacionados (interfaces), los valores de severidad, ocurrencia y riesgo iniciales, los cambios y acciones a tomarse para mejorar las condiciones iniciales, y el valor de riesgo final.

Se deben definir algunos criterios iniciales como el de severidad de fallo, que evalúa la incidencia y efecto que el fallo puede ocasionar a la seguridad y el funcionamiento. La puntuación o rango inicio desde 1 que representa que el fallo no produce ningún efecto en el sistema; hasta el valor 10 con un máximo de peligrosidad.

<b>Efecto</b>	<b>Criterio: Severidad del Efecto</b>	<b>Rango</b>
Peligroso sin advertencia	Puede dañar el elemento o sistema, modo de falla potencial afecta la operación segura del sistema y bogie. La falla ocurrirá sin advertencia.	10
Peligroso con advertencia	Igual que el anterior, pero la falla ocurrirá con advertencia	9
Muy alto	Interrupción importante de servicio y funcionamiento del elemento o sistema. Se considera el sistema y bogie inoperable, hay una pérdida de la función principal.	8
Alto	Interrupción menor de servicio y funcionamiento del elemento o sistema. El sistema y bogie son operables, en modo degradado y únicamente para moverlo hacia talleres.	7
Moderado	Interrupción menor de servicio y funcionamiento del elemento sistema. El sistema o bogie son operables, con ciertas restricciones de servicio y en modo degradado.	6
Bajo	Interrupción menor de servicio y funcionamiento del elemento o sistema. El sistema y bogie son operables luego de valoración general, aunque algunos elementos de confort o conveniencia deben operar a un nivel reducido o ser cancelados.	5
Muy bajo	Interrupción mínima de servicio y funcionamiento del elemento o sistema. El fallo puede generar sobre todo percepción de falta de confort y ruido al cliente, pero las características de operación se consideran en el límite de lo aceptable.	4
Menor	Igual que el anterior, pero el efecto de confort es mucho menor que el anterior sobre los clientes, y las características de operación se consideran dentro de los valores aceptables.	3
Muy menor	Igual que el anterior, pero el defecto ya no es perceptible por los clientes.	2
Ninguno	No tiene efecto	1

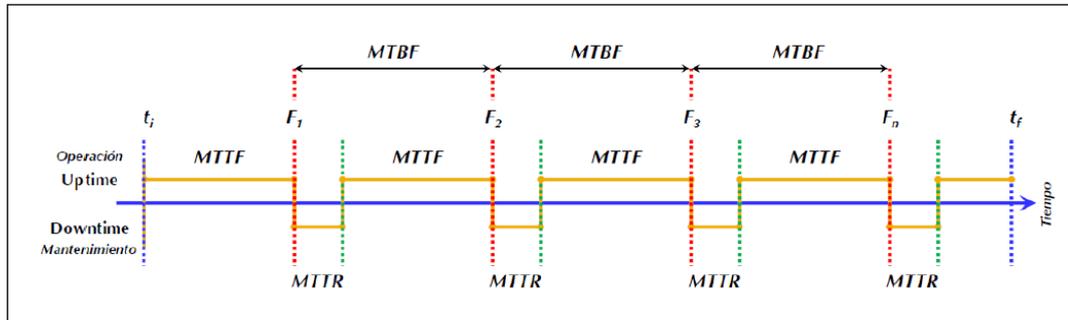
**Tabla 17.1**

Otro criterio a tomar en cuenta es la probabilidad del fallo, con la misma escala de 1 a 10 que corresponde a una falla con probabilidad remota hasta una falla con probabilidad alta.

La probabilidad de fallo utiliza el valor MKBF o MTTF (el cual puede ser un valor cuantificado por necesidad del operador y/o mantenedor; o recopilado de los históricos de unidades similares) para calcular la tasa de fallos posibles.

$$\lambda = \frac{\text{No. fallos mecánicos}}{\text{Distancia recorrida}} = \frac{\text{No. fallos mecánicos}}{\text{Tiempo}}$$

$$\lambda = \frac{1}{MTTF} = \frac{1}{MKTF}$$



**Ilustración 17.1**

Para poner un ejemplo, si se plantea el escenario de un tren autopropulsado de transporte metropolitano al cual se le solicita una tasa máxima de fallo constante para todos los elementos y sistemas como se indica a continuación:

*1 fallo cada 500 000 km o 1 fallo cada 20 000 horas de servicio*

La tabla de probabilidad de fallo se podría describir como sigue:

Probabilidad de falla	Criterio: Probabilidad del Fallo	Tasas de falla posibles (fallo/km)	Rango
Muy alta:	La falla es casi inevitable.	> 1 in 50	10
		1 in 100	9
Alta:	Asociado con procesos similares al anterior, pero que han fallado con alta frecuencia.	1 in 500	8
		1 in 1 000	7
Moderada:	Asociado con procesos similares al anterior, pero que han fallado ocasionalmente.	1 in 3 000	6
		1 in 7 000	5
		1 in 15 000	4
Baja:	Fallas aisladas que se presentan con mínima frecuencia.	1 in 55 000	3
Muy baja:	Fallas aisladas que se presentan excepcionalmente.	1 in 150 000	2
Remota:	La falla es muy poco probable. Nunca se han asociado fallas a este elemento o sistema	< 1 in 500 000	1

**Tabla 17.2**

La tasa de fallo se puede considerar como un parámetro que requiere un análisis independiente y pormenorizado para cada elemento y sistema. La probabilidad de un defecto será detectada mientras más específica y exacta sea la tasa de fallo.

El último criterio es la capacidad de detección de fallos de los que se disponga, ya sea por herramientas informáticas y de control, o por protocolos previos. Se aplica el mismo rango de

valores, iniciando con 1 que representa procesos y controles que permiten detectar fallos con una máxima certeza, hasta el valor de 10 para fallos con una alta imposibilidad de detección.

<b>Detección</b>	<b>Criterio: Capacidad de detección por controles previos</b>	<b>Rango</b>
Casi imposible	No se conocen controles disponibles para detectar el modo de falla.	10
Muy remota	Muy remota posibilidad de que los controles actuales detectarán el modo de falla.	9
Remota	Igual que el anterior, pero con remota posibilidad.	8
Muy baja	Igual que el anterior, pero con muy baja posibilidad.	7
Baja	Igual que el anterior, pero con baja posibilidad.	6
Moderada	Igual que el anterior, pero con moderada posibilidad.	5
Moderadamente alta	Moderadamente alta posibilidad de que los controles actuales detectarán el modo de falla.	4
Alta	Igual que el anterior, pero con alta posibilidad.	3
Muy alta	Igual que el anterior, pero con muy alta posibilidad.	2
Casi cierta	Detección casi con certeza, los controles actuales detectarán el modo de falla. Se conocen los controles de detección confiables con procesos similares.	1

**Tabla 17.3**

Establecer los tres criterios de manera acertada permiten calcular el número de riesgo (NR) inicial de cada elemento, al multiplicarlos entre ellos:

- Severidad (S)
- Ocurrencia (O)
- Detección (D)

$$NR = S \cdot O \cdot D$$

NR tomará valores de 1 a 1 000. Para los NR más altos (límite establecido), el equipo debe emprender esfuerzos para reducir el riesgo a través de acciones correctivas. Posterior a la ejecución de las acciones de mitigación debe volver a valorarse los criterios de Severidad, Ocurrencia y Detección y verificarse que el valor NR se encuentra por debajo del máximo solicitado.

Para resumir lo anterior el formato inicial se compone de la descripción de elementos, subsistemas y sistemas, para posterior definir los modos de fallo, los efectos potenciales, las causas potenciales, los controles, los criterios iniciales y el número de riesgo.

Elemento	Subsistema	Sistema	Modo potencial de fallo	Efecto potencial de fallo	Severidad	Causas potenciales	Ocurrencia	Controles vigentes	Detección	NR
----------	------------	---------	-------------------------	---------------------------	-----------	--------------------	------------	--------------------	-----------	----

**Ilustración 17.2**

El formato complementario se constituye de las acciones recomendadas para mitigar el riesgo, los responsables del seguimiento, las acciones tomadas y finalmente el cálculo de número de riesgo final.

Acciones recomendadas	Responsables	Acciones tomadas	Severidad	Ocurrencia	Detección	NR
-----------------------	--------------	------------------	-----------	------------	-----------	----

**Ilustración 17.3**

En el anexo No. 2, se ha incluido un ejemplo práctico de AMFE para un bogie genérico tipo de un tren autopropulsado metropolitano, que se utilizará como base para los análisis siguientes.

## 18. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

### 18.1. ACCIONES PREDICTIVAS DE MANTENIMIENTO.

Las acciones resultantes después de la realización del AMFE, se utilizarán para eliminar o mitigar los valores de riesgo inicial de los elementos correspondientes. Como se mencionó anteriormente, no todos los procesos de mejora resultan en acciones predictivas, ya sea porque el valor de riesgo es insignificante en contraste a su inversión; como también por las imposibilidades técnicas presentes.

Tomando como referencia el AMFE indicado en el anexo 2, las acciones relacionadas con procesos predictivos en el bogie genérico utilizado como ejemplo fueron encaminadas hacia los elementos, subsistemas y sistemas cuyo funcionamiento se considera crítico como: reductor mecánico, motor eléctrico, sistema de rodadura, sistema de freno y todas las interfaces.

En el ejemplo se ha establecido un valor máximo admisible de riesgo NR=125 (S=5; O=5; D=5), al implementar sensores y procesos predictivos, estos han permitido reducir el riesgo de los elementos y sistemas por debajo del admisible.

Elemento	Subsistema	Sistema	Modo potencial de fallo	NR Inicial	Acciones recomendadas	Acciones tomadas	NR final	
Engranajes	Reductor mecánico	Sistema de Tracción	Presencia de fatiga en el diente de contacto	128	Realizar seguimiento sensorizado para determinar la curva característica de desgaste para ejecutar un proceso predictivo.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se implementa la instalación de un sensor de temperatura (telemétrico) para seguimiento del reductor.</li> <li>Incluir PROGRAMACIÓN DE INSPECCIÓN PREDICTIVA mediante equipo externo no invasivo (medidor de vibraciones), para evaluación de vibración de engranajes.</li> </ul>	48	
			Exceso de impactos en el diente de contacto	168			63	
			Desgaste abrasivo en la superficie	168			63	
Chavetas			Aplastamiento y deformación	128	Realizar seguimiento sensorizado para determinar la curva característica de desgaste para ejecutar un proceso predictivo	<ul style="list-style-type: none"> <li>No es necesario implementar sensorización y telemetría.</li> <li>Incluir PROGRAMACIÓN DE INSPECCIÓN PREDICTIVA mediante equipo externo no invasivo (medidor de vibraciones), para evaluación de vibración de engranajes.</li> </ul>	54	
				144			48	
Lubricante			Perdida de Características de lubricación	147	Realizar seguimiento sensorizado para determinar la curva característica de temperatura para ejecutar un proceso predictivo	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se implementa la instalación de un sensor de temperatura (telemétrico) para seguimiento de la temperatura de aceite.</li> <li>Incluir PROGRAMACIÓN DE INSPECCIÓN PREDICTIVA mediante equipo externo no invasivo (medidor de vibraciones), para evaluación de vibración de engranajes.</li> </ul>	63	
Rotor			Motor eléctrico	Estrés térmico	256	Realizar seguimiento sensorizado para determinar la curva característica de estrés térmico para ejecutar un proceso predictivo	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se implementa la instalación de un sensor de temperatura (telemétrico) para seguimiento de la temperatura de aceite.</li> </ul>	96
				Desbalance Mecánico	196	Realizar seguimiento sensorizado para determinar la gráfica representativa de desbalance mecánico	<ul style="list-style-type: none"> <li>Incluir PROGRAMACIÓN DE INSPECCIÓN PREDICTIVA mediante equipo externo no invasivo (medidor de vibraciones), para evaluación de vibración de engranajes</li> </ul>	84
				Rotura del eje	100	No es posible efectuar el control, se deberá solicitar las garantías de fabricación del eje al suministrador	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ninguna acción, sin embargo, se aconseja verificar posibles indicios de vibraciones en los análisis predictivos</li> </ul>	100
Guarnición de freno Zapata de freno	Freno de bogie	Excesivo desgaste	40	Instalar sensor de desplazamiento para desgaste de guarnición y zapata	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ninguna acción, se mantiene el mantenimiento preventivo anterior</li> </ul>	40		
		Desgaste irregular	40	No es necesario realizar acciones adicionales, se puede mantener la inspección preventiva inicial	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ninguna acción, se mantiene el mantenimiento preventivo anterior</li> </ul>	40		
Eje	Eje armado	Rodadura	Pandeo del eje	144	Realizar una ficha de control y trabajo para inspección de pandeo durante los procesos de calado de ruedas y discos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Incluir dentro de la actividad de calado de ruedas y discos el protocolo de medición de pandeo de eje.</li> </ul>	32	
			Rotura del eje	100	No es necesario, ya que la probabilidad de ocurrencia es baja	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ninguna acción, la garantía técnica del suministrador deberá ser solicitada</li> </ul>	100	
Rodamiento de eje	Caja de grasa	Desalineamiento descentramiento del rodamiento	128	No es necesario realizar acciones adicionales, se puede mantener la inspección preventiva inicial	<ul style="list-style-type: none"> <li>Incluir PROGRAMACIÓN DE INSPECCIÓN PREDICTIVA mediante equipo externo no invasivo (medidor de vibraciones), para evaluación de vibración de engranajes</li> </ul>	64		

Tabla 18.1

Las propuestas predictivas deben coordinarse entre la gerencia de mantenimiento y los especialistas de mantenimiento.

## ***18.2. EFICACIA, EFICIENCIA E INVERSIÓN EN ACCIONES PREDICTIVAS.***

Las acciones predictivas propuestas en el AMFE deben analizarse con el criterio de factibilidad en tres aspectos:

*Eficacia.* La obtención de los resultados esperados deberá exigir la menor cantidad de procesos posibles. Y el resultado alcanzado deberá tener porcentaje alto de similitud (> 90%) con respecto a los resultados previstos, por ejemplo, la implementación de sensores de temperatura en el reductor mecánico o motor eléctrico deberá ser lo más práctico, sencillo y directo posible desde el punto de vista técnico; también los datos y mediciones de temperatura obtenidos deben tener un resultado de fiabilidad (> 90%) a los solicitados.

*Eficiencia.* Los resultados de las actividades de mantenimiento e intervención que se originen por los procesos y datos predictivos implantados deberán lograrse con el mínimo de recursos utilizados, con un rendimiento de tiempo mucho mayor (mayor tiempo de producción del bogie y menor tiempo de paro por mantenimiento) y con mayor tasa de producción, comparado con los mantenimientos y tiempo de intervenciones que se efectúan sin las acciones predictivas. Por ejemplo, la suma del coste total en el reductor mecánico por concepto de mano de obra en inspecciones de corto tiempo, en intervenciones predictivas de mantenimiento, en tiempo de paro y tiempo de no producción; debe ser mucho menor y más eficiente que la suma del coste de mano de obra, tiempo de paro y tiempo de no producción del mantenimiento preventivo original.

*Inversión.* La inversión es el factor más decisivo a la hora de decidir implementar una solución predictiva, la amortización y de los equipos debe complementar la eficacia y eficiencia esperada.

## 19. METODOLOGÍA Y PROCESO GENÉRICO FINAL.

Como resumen final, el proceso genérico de migración concatena todos los capítulos desarrollados anteriormente que se utilizarán para el análisis pormenorizado del bogie que será estudiado, tal como indica el siguiente resumen del diagrama de flujo correspondiente.

La metodología de procesos final está incluido en el anexo 1.

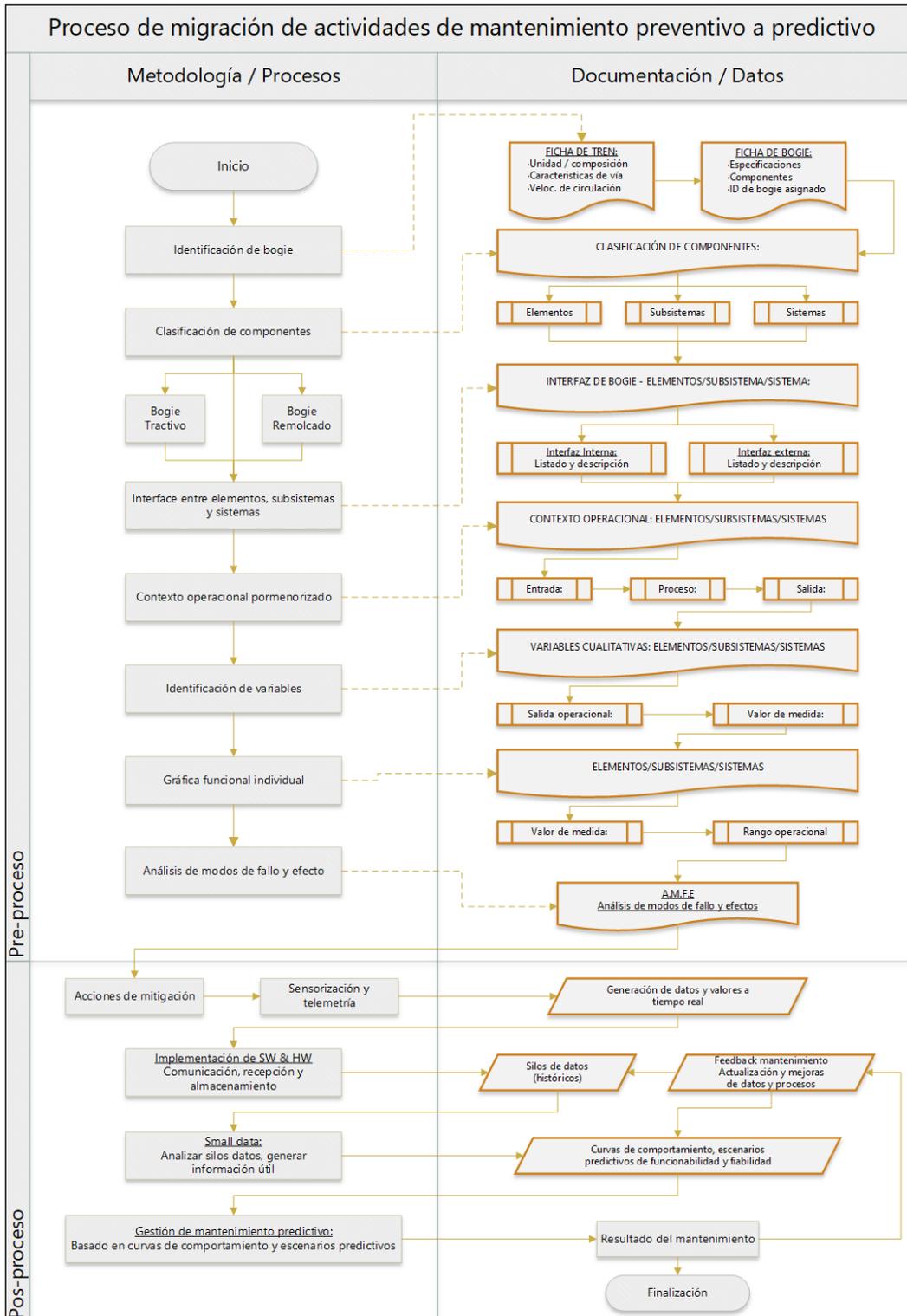


Ilustración 19.1

## 20. CONCLUSIONES Y APORTACIONES.

### CONCLUSIONES.

El presente trabajo final de máster ha logrado desarrollar una metodología basado en pre y posprocesos coordinados que ayudan a describir datos analizables y cuantificables de cara a la toma de decisiones en la mejora de los procesos iniciales de mantenimiento preventivo de los componentes de un bogie ferroviario para migrara a procesos eficientes de mantenimiento predictivo, tal como se indica a continuación.

### PREPROCESOS.

- *Identificación de bogie.* Permite ingresar los datos, características, y especificaciones para estructurar un perfil inicial.
- *Clasificación de elementos.* Describe los componentes del bogie y los clasifica por su funcionalidad e interfaces entre ellos.
- *Contexto operacional pormenorizado.* Define las características físicas donde el bogie y componentes trabajarán y los rangos de valores máximos y mínimos admisibles de operación.
- *Variables fluctuantes cualitativas.* Define el tipo de variable necesaria para analizar y describir cualitativamente el comportamiento del elemento o sistema, mediante la elaboración de la gráfica funcional individualizada, para posteriormente evaluar las posibilidades de sensorización del elemento.
- *Inspecciones de corto tiempo aplicables.* Plantea la implementación de inspecciones de corto tiempo para los elementos, subsistemas y sistemas donde la sensorización no sea posible implementar.
- *Análisis de modos de fallo y efectos.* Permite identificar los fallos potenciales en diseño o producción y valorarlos según su criticidad.

### POSPROCESOS.

- *Propuestas de acciones predictivas.* Son las acciones implementadas como resultado del análisis de modo de fallo y efecto y la mitigación.
- *Gestión de almacenamiento de datos.* Gestiona todos los datos obtenidos por la sensorización en el lugar de almacenamiento físico y virtual disponible para el análisis.
- *Análisis de datos (small data).* Aquí se analiza la información y se representa en gráficas o curvas de comportamiento el funcionamiento de los elementos y la predicción de fallo según la gráfica funcional.
- *Intervenciones y mantenimiento predictivo.* La ejecución del mantenimiento preventivo se dará cuando las grafica funcional medida en el elemento refleje un valor cercano a fallar indicado en la curva de comportamiento.

También, tomando en cuenta el ejemplo del bogie desarrollado en los anexos, el sistema de tracción y sobre todo el reductor mecánico, motor eléctrico y convertidor de par son los componentes de mayor riesgo de avería entre mantenimientos preventivos, razón por la cual se deberá priorizar el análisis e implementación de sensorización o inspecciones cortas con actividades predictivas para evitar la posibilidad de fallo.

Como consecuencia de lo dicho anteriormente, se concluye también que no todos los elementos y sistemas podrán sensorizarse y monitorearse de manera fija ya que la inversión técnica, económica u operativa no representa una ventaja con respecto al valor de riesgo y tiempo de intervención.

## **APORTACIONES.**

Las aportaciones de este TFM son:

### **ESPECÍFICAS.**

Desarrollo y creación de un documento metodológico genérico que se soporta en normativas y directivas europeas como también españolas, en procesos y herramientas de fiabilidad cuya estructura es de fácil utilización e interpretación por empresas interesadas en mejorar sus procesos mantenimiento en bogies y por empresas que desarrollan bogies con nuevas metodologías de mantenimiento (mantecnologías)

Esta metodología es una guía técnica dentro del ámbito de mantenimiento ferroviario que puede adaptarse a diferentes niveles de mantenimiento que pueden beneficiar al mantenedor, como el desarrollo de una plataforma informática de control de los procesos de migración, mantenimiento predictivo y posterior seguimiento.

Los pre y posprocesos desmenuzan y describen las condiciones originales de un bogie tipo con sus componentes y actividades de mantenimiento inicial, que pueden ser aprovechados también en otras áreas de interés para el mantenimiento, por ejemplo, la planificación de compra de repuestos para disminuir la necesidad de espacio y gestión de sobrestock.

Da una idea clara de los problemas y riesgos en el bogie y que puedan estar en planos ocultos a la vista de los involucrados en mantenimiento, de esta manera permite desarrollar históricos que se almacenarán para futuros estudios de bogies similares.

Organiza la responsabilidad y seguimiento de los riesgos, acciones y resultados por áreas definidas. De esta manera las propuestas, acciones e implementaciones tecnológicas son medidas y evaluadas por los especialistas sin tener que recurrir en actividades administrativas excesivas (descentralización de las actividades).

La práctica metodológica habitual de este TFM permite crear en el mantenedor una destreza reflexiva en el análisis de los componentes, su contexto operacional y los conflictos que pueden existir con ciertos mantenimientos preventivos existentes y posteriormente exportar esa experiencia a otros sistemas y componentes ferroviarios al alcance de sus actividades y necesidades.

### **GENERALES.**

Servir de plataforma de acercamiento inicial a los profesionales, técnicos y alumnos a la historia, teoría y principios del mantenimiento del sector ferroviario, vigentes y no vigentes. También a las nuevas propuestas de cambio a las actividades de mantenimiento tradicionales muchas de ellas insostenibles por las exigencias industriales y ambientales actuales.

Despertar el interés de profesionales, especialistas y estudiantes en la rama de mantenimiento, hacia el desarrollo de procesos y metodologías nuevas de sostenibilidad de procesos en vehículos y equipos ferroviarios. Y como consecuencia la posibilidad de desarrollo tecnológico para implementar procesos eficientes, eficaces y de baja inversión de mantenimiento.

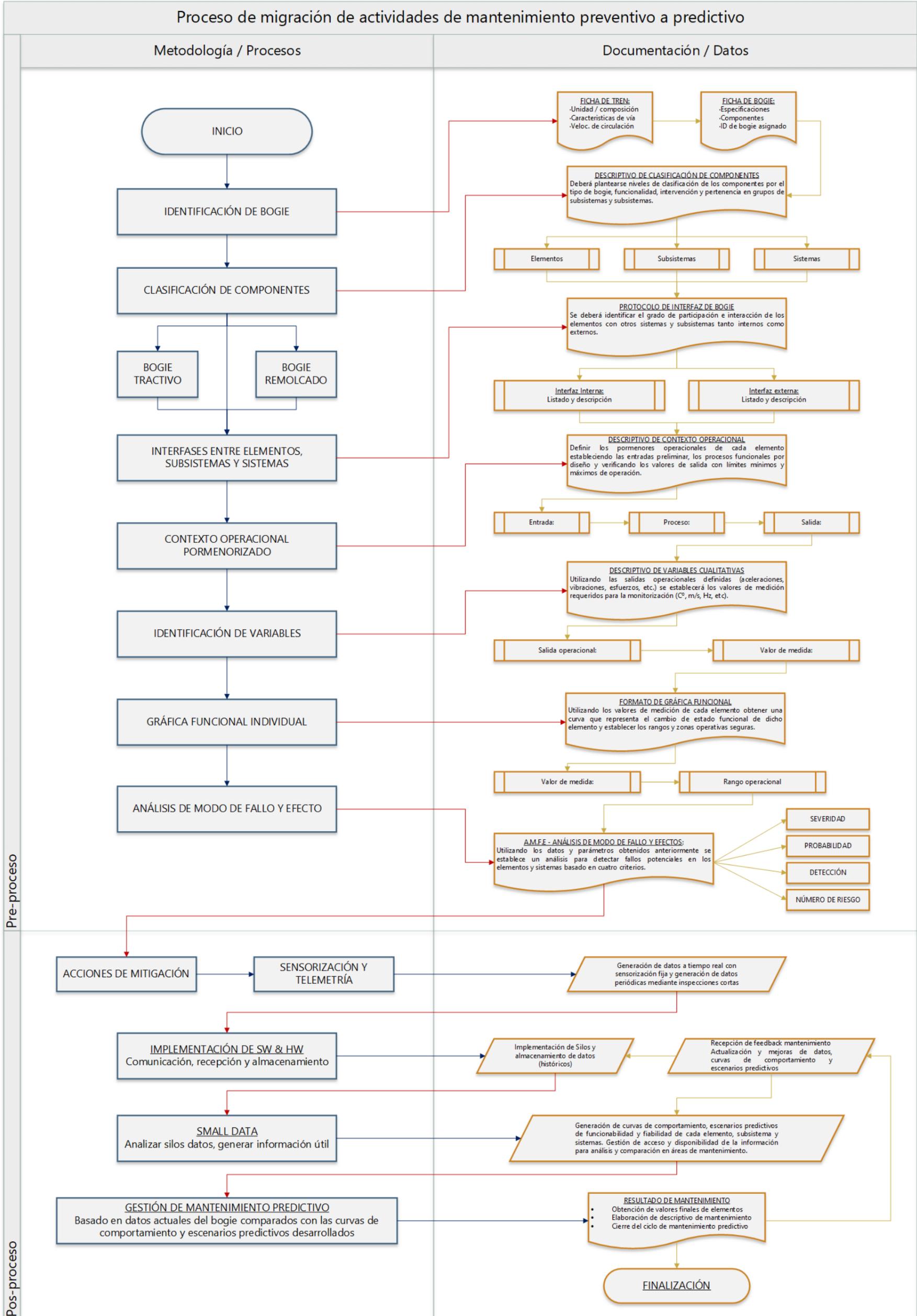
## 21. BIBLIOGRAFÍA

- [1] R. K. Mobley, «Plant maintenance - Management,» de *An introduction to predictive maintenance*, Woburn, Butterworth-Heinemann, 2002, p. 1.
- [2] J. Levitt, «Complete guide to preventive and predictive maintenance,» de *Plant maintenance 2, industrial equipment - maintenance and repair*, New York, Industrial Press Inc., 2003, p. 1.
- [3] J. Levitt, «Complete guide to preventive and predictive maintenance,» de *Plant maintenance 2, industrial equipment - maintenance and repair*, New York, Industrial Press Inc., 2003, p. 4.
- [4] A. Aparicio Cabrera, «Economía Informa,» vol. 378, p. 64, enero - febrero 2013.
- [5] J. Levitt, «Complete guide to preventive and predictive maintenance,» de *Plant maintenance 2, industrial equipment - maintenance and repair*, New York, Industrial Press Inc., 2003, p. 1.
- [6] G. d. R. M. e. I. B. d. A. Javier Campos Méndez, *Transporte ferroviario de alta velocidad: una visión económica*, Bilbao: Fundación BBVA, 2009, p. 5.
- [7] J. Levitt, «Complete guide to preventive and predictive maintenance,» de *Plant maintenance 2, industrial equipment - maintenance and repair*, New York, Industrial Press Inc., 2003, p. 15.
- [8] J. Levitt, «Complete guide to preventive and predictive maintenance,» de *Plant maintenance 2, industrial equipment - maintenance and repair*, New York, Industrial Press Inc., 2003, p. 5.
- [9] UNE Asociación Española de Normalización, «UNE-EN 13306,» de *Mantenimiento Terminología del mantenimiento*, Julio 2018, p. 14.
- [10] UNE Asociación Española de Normalización, «UNE-EN 13306,» de *Mantenimiento Terminología del mantenimiento*, Julio 2018, p. 13.
- [11] UNE Asociación Española de Normalización, «UNE-EN 13306,» de *Mantenimiento Terminología del mantenimiento*, Julio 2018, p. 8.
- [12] UNE Asociación Española de Normalización, «UNE-EN 13306,» de *Mantenimiento Terminología del mantenimiento*, Julio 2018, p. 6.
- [13] UNE Asociación Española de Normalización, «UNE-EN 13306,» de *Mantenimiento Terminología del mantenimiento*, Julio 2018, p. 7.
- [14] UNE Asociación Española de Normalización, «UNE-EN 13306,» de *Mantenimiento Terminología del mantenimiento*, Julio 2018, p. 10.
- [15] UNE Asociación Española de Normalización, «UNE-EN 13306,» de *Mantenimiento Terminología del mantenimiento*, Julio 2018, p. 9.
- [16] UNE Asociación Española de Normalización, «UNE-EN 13306,» de *Mantenimiento Terminología del mantenimiento*, Julio 2018, p. 9.

## **22. ANEXOS.**

### ***22.1. ANEXO 1: DIAGRAMA FINAL DE METODOLOGÍA GENÉRICO.***

# Proceso de migración de actividades de mantenimiento preventivo a predictivo



Pre-proceso

Pos-proceso

**22.2. ANEXO 2: AMFE DE UN BOGIE GENÉRICO.**

## BOGIE GENÉRICO TIPO.



- Bogie tipo tractivo
- Tipo reversible
- Un motor eléctrico por eje
- Tensión de funcionamiento 3 000 Vcc
- Freno eléctrico regenerativo
- Freno neumático con disco en cada rueda
- Suspensión secundaria con balonas de aire

### ELEMENTOS Y FUNCIONES.

Elemento	Función	Subsistema	Función	Sistema	Función
Rodamiento	· Facilitar el apoyo y el movimiento del eje rotativo con el mínimo de interferencias y pérdidas posibles.	Reductor mecánico	Transmitir la velocidad y potencia mecánica proveniente del eje del motor eléctrico a la salida del subsistema eje armado.	Sistema de tracción	Aportar la potencia y velocidad de giro del motor eléctrico hacia el eje que se traduzcan en esfuerzos tractivos en las ruedas.
Engranajes	· Transmitir la potencia y velocidad desde el eje de entrada hacia el eje de salida en condiciones de rendimiento máximo.				
Chavetas	· Asegurar el engranaje en una posición fija en el eje evitando la traslación o rotación solidaria. · Transmitir el momento y esfuerzo de giro del eje hacia el engranaje.				
Lubricante	· Crear una película con características específicas de lubricación entre las partes móviles sometidas a transmisión de esfuerzo para evitar su desgaste excesivo. · Disipar el exceso de calor que se presenta entre las partes móviles durante la transmisión de esfuerzo. · Atrapar y depositar en el fondo del depósito la escoria y limalla que se pueda producir durante la operación de las partes móviles.				
Rodamiento	· Facilitar el apoyo y el movimiento del eje rotativo con el mínimo de interferencias y pérdidas posibles.	Motor Eléctrico	Convertir la energía eléctrica de suministro en energía mecánica rotativa.		
Rotor	· Generar en el eje el movimiento rotativo resultante de la fuerza electromotriz al circular corriente por él.				
Estator	· Generar el campo de inducción que incita el movimiento giratorio del rotor.				
Bornera y conexionado	· Distribuir la energía hacia los elementos del motor eléctrico · Establecer la configuración de conexionado del motor eléctrico.				
Ventilación	· Refrigerar mediante aire impulsado el rotor, estator y conexionado.	Convertidor de par	Transmitir la velocidad y potencia mecánica proveniente del eje del motor eléctrico a la salida de la turbina y al subsistema de eje armado.		
Rodamiento	· Facilitar el apoyo y el movimiento de la bomba, turbina y rotor con el mínimo de interferencias y pérdidas posibles.				
Convertidor de par	· Transmitir hidráulicamente la potencia y velocidad que entra por el eje del motor eléctrico hacia el eje de ruedas a la salida				
Fluido hidráulico	· Transmitir el movimiento y esfuerzo de entrada en la bomba hacia la turbina. · Mantener la temperatura funcionamiento homogéneo.	Sistema de freno	Generar por medio de presión de aire y transmisión de fuerzas por mecanismos, un esfuerzo mecánico de rozamiento entre guarnición y disco de freno que decelere el giro del eje y ruedas		
Guarnición de freno	· Ejercer fuerza de fricción en el disco de freno para reducir su velocidad. · Disipar la temperatura de frenado.				
Zapata de freno	· Ejercer fuerza de fricción en la banda de rodadura para reducir la velocidad del eje. · Disipar la temperatura de frenado.				
Disco de freno	· Decelerar el eje mediante esfuerzo de fricción. · Disipar el calor a través de ventilación de aire forzada				
Cilindro de freno	· Convertir la presión neumática en esfuerzo mecánico. · Transmitir movimiento lineal al aplicar y desaplacar presión neumática.				
Timonería	· Transmitir movimiento y esfuerzo a través de los mecanismos. · Multiplicar o desmultiplicar el esfuerzo.				
Rodamiento de eje	· Facilitar el apoyo y el movimiento del eje rotativo con el mínimo de interferencias y pérdidas posibles. · Soportar el peso del bogie y la caja.	Subsistema caja de grasa	Facilita el punto de soporte y giro del eje	Sistema de rodadura	· Transmite el esfuerzo de tracción y desplazamiento a través del área de contacto

			con respecto al bogie y el vehículo		entre rueda y carril. · Soporta la carga del bogie y caja, y también transmite el peso total al carril. · Mantiene el guiado sobre el trazado de los carriles durante el desplazamiento del eje armado.				
Eje	· Portar a presión las ruedas en la distancia y posición prevista. · Transmitir el movimiento y esfuerzo giratorio a las ruedas. · Absorber los esfuerzos transmitidos por el bogie y ruedas	Subsistema de eje armado	· Transmite el movimiento y desplazamiento del bogie a través de los carriles. · Mantiene el guiado al trazado utilizando el perfil de las ruedas.						
Rueda ferroviaria	· Transmite el esfuerzo de tracción en el área de contacto con el carril a través del movimiento rotatorio. · Produce el desplazamiento longitudinal del bogie sobre los carriles. · Guiar y evitar el descarrilamiento del bogie utilizando el perfil y pestaña correspondiente.								
Porta pivote	· Permite la unión y enlace del bogie con la caja. · Permite el movimiento giratorio del bogie con respecto a la caja	Sistema bastidor			· Soporta el peso y esfuerzo de todos los elementos del bogie. · Permite la conexión entre bogie y caja, con los respectivos movimientos permitidos.				
Bastidor	· Soporta todos los sistemas y elementos presente en el bogie. · Absorber los esfuerzos producidos por los sistemas internos y externos.								
Silentblock y masas caucho metal	· Absorber vibraciones y esfuerzos presentes en elementos móviles de suspensión.					Sistema de suspensión			· Absorbe y disipa la energía, movimientos y vibraciones transmitidos desde la vía a las ruedas y ejes, de manera controlada. · Garantiza el continuo contacto entre rueda y carril. · Mantiene estable la posición de la caja con respecto al bogie en condiciones de servicio.
Muelles	· Almacena la energía que se produce en los movimientos de la suspensión al comprimirse y la devuelve de manera controlada mediante el amortiguador. · Permite el movimiento controlado y limitado del eje con respecto al bogie.								
Amortiguador	· Controla el movimiento, almacenamiento y disipación de la energía que gestiona el sistema de suspensión.								
Balón de suspensión	· Almacena la energía que se produce entre el bogie y la caja. · Estabiliza la inclinación de la caja con respecto al bogie.								
Tubería neumática	· Conmuta la entrada y salida de presión de aire hacia los dispositivos neumáticos					Sistema Neumático			· Alimenta con presión de aire requerida a los sistemas de suspensión y freno del bogie.
Cilindro de freno	· Transforma la presión neumática en movimiento y fuerza mecánica a la salida. · Aplica fuerza de frenado de servicio (presión de aire) y también fuerza de frenado de estacionamiento (esfuerzo mecánico).								
Válvula de nivel	· Conmuta la entrada y salida de presión de aire hacia la balona de suspensión de acuerdo con la posición del vástago de nivel.								
Acometida eléctrica	· Permite la comunicación y conexionado entre sensores, actuadores y los equipos telemétricos.								

## ELEMENTOS Y RANGO OPERACIONAL.

ELEMENTOS	SALIDAS	V. MEDICIÓN	RANGO OPR.
Engranajes de Reductor	Temperatura	[C°]	80,0 – 100,0
	Vibración	[Hz]	350,0 – 550,0
Rodamientos de Eje	Temperatura	[C°]	70,0 – 110,0
	Vibración	[Hz]	110,0 – 150,0
Motor eléctrico	Temperatura	[C°]	90,0 – 130,0
	Vibración	[Hz]	70,0 – 110,0
	Consumo energético	[A]	Máximo consumo 300
Convertidor de par	Temperatura	[C°]	120,0 – 150,0
	Vibración	[Hz]	75,0 - 85,0
Guarnición de freno	Desgaste	[mm]	Máximo 15,0
Zapata de freno	Desgaste	[mm]	Máximo 55,0
Cilindro de freno	Presión	[bar]	Máximo 12,0
Disco de freno	Desgaste	[mm]	Máximo 2,0 por lado
	Temperatura	[C°]	250,0 – 350,0
Timonería	Holguras y desgaste	[mm]	Máx. 2,0 por orificio
Eje	Esfuerzos	[N]	Indefinido
Rueda	Desgaste de pestaña	[mm]	Según perfil de rueda
Rueda	Desgaste de banda	[mm]	Según perfil de rueda
Pivote caja	Esfuerzos	[N]	Indefinido
Bastidor	Esfuerzos	[N]	Indefinido
Silentblock y masas caucho-metal	Esfuerzos	[N]	8 000 – 15 000
Muelles	Aceleración	[m/s <sup>2</sup> ]	Por definir
Amortiguador	Fuerza	[N]	5 000 – 8 000
Balón de suspensión	Presión	[bar]	Máximo 12,0
Instalación neumática	Presión	[bar]	Máximo 12,0

La tasa de fallo requerida (remota) para este AMFE es de:

- *1 fallo cada 500 000 km o 1 fallo cada 20 000 horas de servicio en todos los sistemas.*

Probabilidad de falla	Tasas de falla posibles (fallo/km)	Rango
Muy alta:	> 1 in 50	10
	1 in 100	9
Alta:	1 in 500	8
	1 in 1 000	7
Moderada:	1 in 3 000	6
	1 in 7 000	5
	1 in 15 000	4
Baja:	1 in 55 000	3
Muy baja:	1 in 150 000	2
Remota:	< 1 in 500 000	1

Ponderación de efecto de falla para este AMFE es de:

Efecto de la falla	Rango
Peligroso sin advertencia	10
Peligroso con advertencia	9
Muy alto	8
Alto	7
Moderado	6
Bajo	5
Muy bajo	4
Menor	3
Muy menor	2
Ninguno	1

Ponderación de detección de falla para este AMFE es de:

Detección de falla	Rango
Casi imposible	10
Muy remota	9
Remota	8
Muy baja	7
Baja	6
Moderada	5
Moderadamente alta	4
Alta	3
Muy alta	2
Casi cierta	1

Elemento	Subsistema	Sistema	Modo potencial de fallo	Efecto potencial de fallo	Valor de Severidad	Causas potenciales	Valor de Ocurrencia	Controles vigentes	Valor de Detección	N. riesgo inicial	Acciones recomendadas	Responsables	Acciones tomadas	Valor de Severidad	Valor de Ocurrencia	Valor de Detección	N. riesgo final
Rodamiento	Reductor mecánico Motor eléctrico Convertidor de par	Sistema de Tracción	Pérdida de material lubricación	Atascamiento del rodamiento	5	Rotura sello de rodamiento	3	Inspección de rodamiento concertado a realizarse en el mantenimiento preventivo anual	6	90	No es necesario realizar acciones adicionales, se puede mantener la inspección preventiva inicial	Ninguno	Ninguna acción, se mantiene el mantenimiento preventivo anterior	5	3	6	90
				Desgaste y juego excesivo		Ineficiente lubricación en tarea de mantenimiento											
			Exceso de temperatura de funcionamiento	Ruido	5	Falla de origen.	2	No existe control vigente	8	80	No es necesario, ya que la probabilidad de ocurrencia y riesgo es muy bajo	Ninguno	Ninguna acción, la garantía técnica del suministrador deberá ser solicitada	5	2	8	80
				Atascamiento del rodamiento		Exceso de carga en el ajuste y calado del rodamiento											
Desalineamiento/descentramiento del rodamiento	Astillamiento de elementos internos	5	Fatiga de material	Rotura de rodamiento	2	No existe control vigente	8	80	No es necesario, ya que la probabilidad de ocurrencia y riesgo es muy bajo	Ninguno	Ninguna acción, la garantía técnica del suministrador deberá ser solicitada	5	2	8	80		
				Falla de origen													
Engranajes	Reductor mecánico	Sistema de Tracción	Presencia de fatiga en el diente de contacto	Rotura de parcial o total de uno o varios dientes	8	Falla de material constructivo	2	Inspección de engranajes concertado a realizarse en el mantenimiento preventivo anual	8	128	Realizar seguimiento sensorizado para determinar la curva característica de desgaste para ejecutar un proceso predictivo.	Mecánico Senior 1	Se implementa la instalación de un sensor de temperatura (telemétrico) para seguimiento del reductor. Incluir PROGRAMACIÓN DE INSPECCIÓN PREDICTIVA mediante equipo externo no invasivo (medidor de vibraciones), para evaluación de vibración de engranajes.	8	2	3	48
				Picado de dientes		Uso promedio, aparece después de muchos ciclos de trabajo											
			Exceso de impactos en el diente de contacto	Desprendimiento y desconchado de material	7	Falla de diseño y fabricación de material	3	Inspección de engranajes concertado a realizarse en el mantenimiento preventivo anual	8	168	Error en el montaje, apriete y holgura de engranajes	Mecánico Senior 1	7	3	3	63	
				Deformación de los dientes por flujo plástico		Error en el área de ataque del diente											
			Desgaste abrasivo en la superficie	Formación de estriado y huella sobre el diente	7	Generación de partículas abrasivas	3	Inspección de engranajes concertado a realizarse en el mantenimiento preventivo anual	8	168	Error en el montaje e instalación de los engranajes	Mecánico Senior 1	7	3	3	63	
																	Exceso de juego y holgura entre dientes.
Chavetas	Reductor mecánico	Sistema de Tracción	Cizallamiento	Liberación entre engranaje y eje	9	Falla de material - Constructivo	2	No existe control vigente	8	144	Realizar seguimiento sensorizado para determinar la curva característica de desgaste para ejecutar un proceso predictivo	Mecánico Senior 2	No es necesario implementar sensorización y telemetría. Incluir PROGRAMACIÓN DE INSPECCIÓN PREDICTIVA mediante equipo externo no invasivo (medidor de vibraciones), para evaluación de vibración de engranajes.	9	2	3	54
				Atascamiento de engranajes		Error de diseño - dimensionamiento de chaveta											
			Aplastamiento y deformación	Presencia de vibraciones	8	Falla de material constructivo	2	No existe control vigente	8	128	Error en el montaje e instalación chaveta engranaje	Mecánico Senior 2	8	2	3	48	
				Atascamiento de engranajes													
Lubricante	Reductor mecánico	Sistema de Tracción	Pérdida de características de lubricación	Pérdida de película de protección entre engranajes	7	Error al escoger las características del lubricante a utilizarse	3	No existe control vigente	7	147	Realizar seguimiento sensorizado para determinar la curva característica de temperatura para ejecutar un proceso predictivo	Mecánico Junior 2	Se implementa la instalación de un sensor de temperatura (telemétrico) para seguimiento de la temperatura de aceite. Incluir PROGRAMACIÓN DE INSPECCIÓN PREDICTIVA mediante equipo externo no invasivo (medidor de vibraciones), para evaluación de vibración de engranajes.	7	3	3	63
				Aumento de la temperatura entre piezas móviles		Separación y decantación de componentes del lubricante por parada prolongada											
			Contaminación	Desgaste prematuro	7	Partículas metálicas por desgaste de piezas en contacto	3	Toma muestra de aceite cada revisión anual	6	126	Error en el procedimiento de cambio y sustitución durante el mantenimiento	Mecánico Junior 2	7	3	4	84	
				Desgaste de elementos internos y atascamiento del sistema		Fisura o rotura de sellos o coraza de protección											
Rotor	Motor eléctrico	Sistema de Tracción	Estrés térmico	Pérdida de aislamiento en el devanado	8	Presencia de sobretensiones durante tiempos prolongados	4	No existe control vigente	8	256	Realizar seguimiento sensorizado para determinar la curva característica de estrés térmico para ejecutar un proceso predictivo	Eléctrico Senior 2	Se implementa la instalación de un sensor de temperatura (telemétrico) para seguimiento de la temperatura de aceite.	8	4	3	96
				Presencia de cortocircuito		Falta de ventilación en el sistema											
			Desbalance mecánico	Rozamientos internos entre con el estator	7	Error de instalación en origen	4	No existe control vigente	7	196	Esfuerzos excesivos en los extremos de los ejes	Eléctrico Senior 2	7	4	3	84	
				Presencia de cortocircuito													
			Rotura del eje	Rotura parcial o total de estator y/o carcasa	10	Fallo del material de origen	1	No es posible control	10	100	Esfuerzos excesivos en los extremos del eje (interfaz externa - rodadura)	Ninguno	10	1	10	100	
				Atascamiento de motor		Error en el diseño del rotor											
Estator	Motor eléctrico	Sistema de Tracción	Exceso de contaminación	Aumento de temperatura por falta de refrigeración	5	Falta de ventilación en el sistema	4	Inspección y actividades preventivas cada 6 meses	5	100	No es necesario realizar acciones adicionales, se puede mantener la inspección preventiva inicial	Ninguno	Ninguna acción, se mantiene el mantenimiento preventivo anterior	5	4	5	100
			Pérdida de aislamiento	Presencia de cortocircuito	8	Presencia de sobretensiones durante tiempos prolongados (interfaz interna-eléctrica)	3	No existe control vigente	8	192	Concertar programación de actividades para inspección de detección de pérdida de aislamiento en conductores (medición megger)	Eléctrico Senior 1	Incluir dentro de la revisión semestral el análisis de aislamiento eléctrico mediante equipo de medición megger	8	3	3	72
			Desequilibrio de voltaje	Presencia de vibraciones en el rotor (interfaz externa)	8	Error en el sistema de alimentación eléctrica al bogie (interfaz interna-eléctrica)	2	No existe control vigente	4	64	El control no es necesario en el bogie, se lo debe implementar en la interfaz externa	Ninguno	Ninguna acción	8	2	4	64
Bornera y conexonado	Motor eléctrico	Sistema de Tracción	Falso contacto	Funcionamiento intermitente	8	Presencia de óxido y sulfato en los bornes de conexión	3	Inspección y actividades preventivas cada 3 meses	3	72	No es necesario realizar acciones adicionales, se puede mantener la inspección preventiva inicial	Ninguno	Ninguna acción, se mantiene el mantenimiento preventivo anterior	8	3	3	72
				Aumento de temperatura en la conexión		Error de apriete durante la actividad de mantenimiento											
Ventilación	Motor eléctrico	Sistema de Tracción	Degradación de aislamiento en cables	Fuga de corriente hacia el motor (interfaz interna)	7	Ciclo de vida útil normal.	3	Inspección y actividades preventivas cada 6 meses	4	84	No es necesario realizar acciones adicionales, se puede mantener la inspección preventiva inicial	Ninguno	Ninguna acción, se mantiene el mantenimiento preventivo anterior	7	3	4	84
				Exceso de tensión y corriente durante periodos prolongados (interfaz interna)													
Convertidor de par	Convertidor de Par	Sistema de Tracción	Acumulación de suciedad	Atascamiento del ventilador	6	Error y falta de mantenimiento	3	Inspección y actividades preventivas cada 3 meses	4	72	No es necesario realizar acciones adicionales, se puede mantener la inspección preventiva inicial	Ninguno	Ninguna acción, se mantiene el mantenimiento preventivo anterior	6	3	4	72
				Bajo flujo de aire para ventilación													
Convertidor de par	Convertidor de Par	Sistema de Tracción	Pérdida de fijación entre eje y ventilador	Ausencia de ventilación	8	Falla de chavetero o prisionero de sujeción.	2	No existe control vigente	8	128	Concertar programación preventiva para inspección de fijación entre eje y ventilador	Eléctrico Junior 1	Incluir dentro de la revisión semestral la inspección de la sujeción del ventilador	8	2	5	80
				Rotura y falla del material del ventilador.													
Fluido hidráulico	Convertidor de Par	Sistema de Tracción	Pérdida de fluido hidráulico	Pérdida de transmisión de par	8	Sellos rotos y fisurados	2	Inspección y actividades preventivas cada mes	2	32	No es necesario, ya que la probabilidad de ocurrencia y riesgo es muy bajo	Ninguno	Ninguna acción, la garantía técnica del suministrador deberá ser solicitada	8	2	2	32
				Fugas por el circuito hidráulico													
Guarnición de freno Zapata de freno	Freno de bogie	Sistema de Tracción	Pérdida de presión hidráulica	Pérdida de transmisión de par	8	Falla en bomba hidráulica de alimentación	3	Inspección y actividades preventivas cada 6 meses	3	72	No es necesario realizar acciones adicionales, se puede mantener la inspección preventiva inicial	Ninguno	Ninguna acción, se mantiene el mantenimiento preventivo anterior	8	3	3	72
				Contaminación de fluido		Desgaste de elementos internos											
Guarnición de freno Zapata de freno	Freno de bogie	Sistema de Tracción	Excesivo desgaste	Pérdida de capacidad de frenado	5	Error en dureza y características de fricción del material	4	Inspección y actividades preventivas cada 3 meses	2	40	Instalar sensor de desplazamiento para desgaste de guarnición y zapata	Neumático Junior 2	Ninguna acción, se mantiene el mantenimiento preventivo anterior	5	4	2	40
				Daño en la superficie del disco de freno		Error en holgura y esfuerzos de frenado entre guarnición y discos (interfaz interna - neumático)											
			Desgaste irregular	Pérdida de capacidad de frenado	5	Error en colocación de la guarnición o zapata	4	Inspección y actividades preventivas cada 3 meses	2	40	No es necesario realizar acciones adicionales, se puede mantener la inspección preventiva inicial	Ninguno	Ninguna acción, se mantiene el mantenimiento preventivo anterior	5	4	2	40
				Daño en la superficie del disco de freno		Alineamiento erróneo entre timonería, guarnición y el disco o timonería, zapata y rueda											
			Rotura del material de fricción	Pérdida completa de frenado	6	Material fracturado o fragilizado por cargas de esfuerzo y temperatura cíclicas	2	Inspección y actividades preventivas cada 3 meses	3	36	No es necesario realizar acciones adicionales, se puede mantener la inspección preventiva inicial	Ninguno	Ninguna acción, se mantiene el mantenimiento preventivo anterior	6	2	3	36
				Excesiva temperatura de funcionamiento durante periodos prolongados, frenadas emergentes con velocidades y esfuerzos altos													
Cristalización del material de fricción	Pérdida de capacidad de frenado	6	Falta de refrigeración entre el disco de freno y guarnición, o zapata y rueda	3	Inspección y actividades preventivas cada 3 meses	5	90	No es necesario realizar acciones adicionales, se puede mantener la inspección preventiva inicial	Ninguno	Ninguna acción, se mantiene el mantenimiento preventivo anterior	6	3	5	90			
	Daño en la superficie del disco de freno																
Caída del elemento	Pérdida de capacidad de freno	9	Error durante la actividad de mantenimiento, colocación errónea del seguro de guarnición	1	No existe control vigente	8	72	Realizar una ficha de control y trabajo en la actividad de sustitución del material de fricción guarnición o zapatas	Neumático junior 2	Incluir dentro de la actividad de mantenimiento preventivo una hoja de control y revisión de la guarnición y porta guarnición posterior al mantenimiento	9	1	3	27			

Timonería		Freno de bogie	Desgaste y holguras	Pérdida de rendimiento en la transmisión de fuerza	5	Ciclo de vida útil normal.	4	Inspección y actividades preventivas cada 3 meses	2	40	No es necesario realizar acciones adicionales, se puede mantener la inspección preventiva inicial	Ninguno	Ninguna acción, la garantía técnica del suministrador deberá ser solicitada	5	4	2	40
			Rotura de seguros	Caída de elementos de timonería	9	Error durante la actividad de mantenimiento	1	No es posible control	2	18	No es necesario, ya que la probabilidad de ocurrencia y riesgo es muy bajo	Ninguno	Ninguna acción, la garantía técnica del suministrador deberá ser solicitada	9	1	2	18
Disco de freno	Eje armado	Rodadura	Cristalización del disco	Pérdida de capacidad de frenado	6	Excesiva temperatura de funcionamiento durante periodos prolongados, frenadas emergentes con velocidades y esfuerzos altos Falta de refrigeración entre el disco de freno y guarnición, o zapata y rueda	4	Inspección y actividades preventivas cada 3 meses	3	72	No es necesario, ya que la probabilidad de ocurrencia y riesgo es muy bajo	Ninguno	Ninguna acción, la garantía técnica del suministrador deberá ser solicitada	6	4	3	72
			Daño en la superficie de frenado	Pérdida completa de frenado													
Eje	Eje armado	Rodadura	Pandeo del eje	Vibraciones anormales transmitidas al bogie	8	Error durante el proceso de calado de elementos de eje armado	2	No existe control vigente	9	144	Realizar una ficha de control y trabajo para inspección de pandeo durante los procesos de calado de ruedas y discos	Industrial Senior	Incluir dentro de la actividad de calado de ruedas y discos el protocolo de medición de pandeo de eje.	8	2	2	32
				Desgaste anormal de pestaña y banda de rodadura de ruedas													
				Presencia de esfuerzos perjudiciales en rodamientos de eje													
			Rotura del eje	Posibilidad de descarrilamiento y accidente	10	Fractura del material por excesivas cargas y momentos de esfuerzo.	1	No existe control vigente	10	100	No es necesario, ya que la probabilidad de ocurrencia es baja	Ninguno	Ninguna acción, la garantía técnica del suministrador deberá ser solicitada	10	1	10	100
Rueda ferroviaria	Eje armado	Rodadura	Desgaste de perfil de rodadura	Condiciones inseguras de rodaje. Aumento de efecto lazo recta, esfuerzos de pestaña en curva. Pérdida de rendimiento de tracción y transmisión de esfuerzos rueda carril. Pérdida de confort transmitida.	7	Esfuerzo ejercido a la rueda por el carril durante la circulación (interfaz externa - carril, aparatos de vía)	5	Inspección y actividades periódicas por kilometraje recorrido	3	105	No es necesario realizar acciones adicionales, se puede mantener la inspección preventiva inicial	Ninguno	Ninguna acción, se mantiene el mantenimiento preventivo anterior	7	5	3	105
			Rotura de rueda	Posibilidad de descarrilamiento y accidente													
Rodamiento de eje	Caja de grasa	Rodadura	Pérdida de material lubricación	Atascamiento del rodamiento	8	Rotura sello de rodamiento Ineficiente lubricación en tarea de mantenimiento Falla de origen.	3	Inspección y actividades preventivas cada 6 meses	3	72	No es necesario realizar acciones adicionales, se puede mantener la inspección preventiva inicial	Ninguno	Ninguna acción, se mantiene el mantenimiento preventivo anterior	8	3	3	72
				Desgaste y juego excesivo													
			Exceso de temperatura de funcionamiento	Atascamiento del rodamiento	8	Exceso de carga en el ajuste y calado del rodamiento	2	Mediante medidores de temperatura de cajas de grasa montados en vía	4	64	No es necesario incluir acciones adicionales, con las revisiones en vía se puede llevar el control	Ninguno	Ninguna acción es requerida	8	2	4	64
			Desalineamiento/descenramiento del rodamiento	Atillamiento de elementos internos Presencia de vibraciones que se transmiten a la rueda	8	Error en el montaje del rodamiento Falla de origen.	2	No existe control vigente	8	128	Realizar seguimiento sensorizado para determinar la curva característica de comportamiento de rodamiento	Industrial Senior	Incluir PROGRAMACIÓN DE INSPECCIÓN PREDICTIVA mediante equipo externo no invasivo (medidor de vibraciones), para evaluación de vibración de engranajes	8	2	4	64
Porta pivote		Bastidor de bogie	Fisura / Rotura	Presencia de desplazamientos y vibraciones laterales y longitudinales	9	Error en el montaje	1	No existe control vigente	9	81	No es necesario, ya que la probabilidad de ocurrencia y riesgo es muy bajo	Ninguno	Ninguna acción, la garantía técnica del suministrador deberá ser solicitada	9	1	9	81
Bastidor		Bastidor de bogie	Fisura / Rotura	Posibilidad de descarrilamiento y accidente	9	Sobrecargas y golpes superiores al máximo de resistencia (descarrillos y similares)	1	No existe control vigente	8	72	No es necesario, ya que la probabilidad de ocurrencia y riesgo es muy bajo	Ninguno	Ninguna acción, la garantía técnica del suministrador deberá ser solicitada	9	1	8	72
Silentblock y masas caucho metal	Suspensión primaria	Suspensión de bogie	Fisura / Rotura	Transmisión de vibraciones directamente al bogie y caja Transmisión de golpes directamente al bogie	5	Ciclo de vida útil normal. Desgaste por resequeidad, o exceso de cargas.	3	No existe control vigente	7	105	Realizar una ficha de control y trabajo para inspección de los silentblock cada 6 meses	Industrial Junior	Incluir dentro de las inspecciones semestrales la ficha de estado y control de los silentblock de la suspensión	5	2	3	30
Muelles / Ballestas	Suspensión primaria	Suspensión de bogie	Pérdida elasticidad	Diferencia de reacción y absorción de golpes y defectos de carril con otras ruedas de bogie Diferencia de adherencia rueda carril con las otras ruedas del bogie.	6	Exceso de cargas por encima de su capacidad de máxima (interfaz interna - bastidor, interfaz externa - caja)	2	Inspección y actividades preventivas cada 12 meses	9	108	No es necesario, ya que la probabilidad de ocurrencia y riesgo es muy bajo	Ninguno	Ninguna acción, la garantía técnica del suministrador deberá ser solicitada	6	2	9	108
			Fisura / Rotura	Pérdida de reacción y absorción de golpes y defectos de carril Pérdida de adherencia rueda carril sobre todo en curvas Golpe externo crítico (descarrilamiento y similares)	6	Falla de material de origen Sobrecargas excesivas con desplazamientos de muelle incontrolados (descarrilamiento y similares) Golpe externo crítico (descarrilamiento y similares)	2	No es posible control	9	108	No es necesario, ya que la probabilidad de ocurrencia y riesgo es muy bajo	Ninguno	Ninguna acción, la garantía técnica del suministrador deberá ser solicitada	6	2	9	108
Amortiguador	Suspensión primaria	Suspensión de bogie	Pérdida de líquido hidráulico	Pérdida de disipación de oscilaciones y vibraciones de los muelles y ballestas Aparición de inestabilidad por exceso de oscilaciones.	6	Rotura y fisura de sellos de amortiguador	3	Inspección y actividades preventivas cada 6 meses	8	144	Se puede acortar el periodo de inspección preventiva a 3 meses	Industrial Junior	Reducir el periodo de inspección semestral a trimestral para acortar el periodo de detección.	6	3	4	72
Balón de suspensión	Suspensión secundaria	Suspensión de bogie	Fisura y daño de material elástico	Aumento de la aceleración no compensada. Pérdida de sensación de confort en el interior de la caja Pérdida de compensación y nivelación de caja con respecto al plano de vía	6	Ciclo de vida útil normal. Esfuerzo y torsión del material elástico Exceso de cargas por encima de su capacidad de máxima (interfaz interna - bastidor, interfaz externa - caja)	3	Inspección y actividades preventivas cada 6 meses	5	90	No es necesario, ya que la probabilidad de ocurrencia y riesgo es muy bajo	Ninguno	Ninguna acción, la garantía técnica del suministrador deberá ser solicitada	6	3	5	90
Tubería neumática	Suspensión secundaria	Instalación neumática	Fisura y daño de tubería	Pérdida de servicios neumáticos como freno y suspensión secundaria. (interfaz interna: suspensión, freno)	8	Ciclo de vida útil normal. Golpes exteriores críticos.	3	Inspección y actividades preventivas cada 3 meses	2	48	No es necesario, ya que la probabilidad de ocurrencia y riesgo es muy bajo	Ninguno	Ninguna acción, la garantía técnica del suministrador deberá ser solicitada	8	3	2	48
Válvula de nivel	Suspensión secundaria	Instalación neumática	Fisura y daño de válvula	Mal funcionamiento del sistema de suspensión secundaria.	6	Rotura o fisura de sellos de válvulas	3	Inspección y actividades preventivas cada 3 meses	5	90	No es necesario, ya que la probabilidad de ocurrencia y riesgo es muy bajo	Ninguno	Ninguna acción, la garantía técnica del suministrador deberá ser solicitada	6	3	5	90
Cilindro de freno		Instalación neumática	Atascamiento del mecanismo de freno estacionamiento	Bloqueo de freno de estacionamiento	7	Error durante la actividad de mantenimiento Falla de material de origen	2	No existe control vigente	9	126	Elaborar un protocolo de inspección de funcionamiento en situ, de la operación del sistema de freno de estacionamiento.	Neumático Senior	Incluir dentro de las inspecciones trimestrales el protocolo de revisión y funcionamiento de la porción de freno de estacionamiento	7	2	3	42
			Rotura de sellos y membranas	Pérdida de fuerza de frenado de servicio Bloqueo de freno de estacionamiento	6	Ciclo de vida útil normal. Partículas y materiales extraños dentro del circuito neumático (interfaz externa sistema de generación de aire)	3	No existe control vigente	9	162	No es posible realizar un control en los sellos y membranas internas, por lo tanto, se debe solicitar garantías de los elementos al suministrador	Neumático Senior	Se instalarán sensores de desplazamiento en el vástago para reconocer la posición de aplicación del cilindro	6	2	9	108
Acometida eléctrica			Degradación de aislamiento en cables	Pérdida de voltaje Pérdida de comunicación electrónica Pérdida de señal digital	7	Ciclo de vida útil normal. Golpes y cizallamientos externos	3	Inspección y actividades preventivas cada 6 meses	4	84	No es necesario, ya que la probabilidad de ocurrencia y riesgo es muy bajo	Ninguno	Ninguna acción, la garantía técnica del suministrador deberá ser solicitada	7	3	4	84