



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ETS INGENIERÍA DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

**ESTUDIO DE SOLUCIONES PARA LA OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS DE
MANTENIMIENTO FERROVIARIO MEDIANTE LA MONITORIZACIÓN DE
ALGUNOS COMPONENTES DEL PARQUE MÓVIL EN LOS TALLERES DE
METRO DE FGV (VÀLENCIA SUD)**

Presentado por

Valido Acosta, Alba

Para la obtención del

Máster Universitario en Transporte, Territorio y Urbanismo

Curso: 2020//2021

Fecha: junio de 2021

Tutor: Sebastián Argente Cuesta



AGRADECIMIENTOS

A Sebastián Argente, mi tutor, quién me ha transmitido el gusto por los ferrocarriles y me ha motivado a desarrollar el presente TFM.

A Ferrocarrils de la Generalitat Valenciana (FGV) por facilitar la información necesaria y en especial a Javier Canet, por su paciencia e interés.

A Carla García, de Talgo, por compartir las nuevas herramientas tecnológicas del mercado.

A Marc Gispert y Marta Puig, de Smart Motors, por presentar su herramienta de gestión y permitirme proponerla como solución.

A mi familia, que dedican sus recursos en formarme y me motivan en seguir subiendo peldaños en la escalera de la vida.

A mi compañero Francisco Fornés y a mi pareja Fernando del Castillo, quienes han sido un apoyo incondicional y una fuente de motivación.

Tabla de contenido

Resumen	7
Abstract	8
1. Introducción	9
2. Objetivo.....	10
3. Bases de Partida	11
3.1 Ferrocarrils de la Generalitat Valenciana (FGV)	11
3.2 Líneas de Metro.....	11
3.3 Viajeros	15
3.4 Parque Móvil Metrovalencia.....	16
4. Taller de Mantenimiento València Sud.....	17
4.1 Ubicación	17
4.2 Características Principales Taller	18
5. Fundamentos teóricos.....	20
5.1 Tipos de Mantenimientos Ferroviarios.....	20
5.1.1 Mantenimiento No Planificado	21
5.1.2 Mantenimiento Planificado:	21
5.1.3 Mantenimiento Productivo Total.....	24
5.2 Mantenimiento Correctivo vs. Preventivo vs. Predictivo.....	25
5.3 Situación actual y tendencia del mantenimiento	27
5.4 Propuesta de transformación tecnológica.....	28
5.5 Método Jidoka.....	29
5.5.1 Lean Manufacturing	30
5.6 Ciclo DEMING	32
5.6.1 Diagrama de Pareto	34
5.6.2 Método de las 5S	37
6. Plan de Mantenimiento materia móvil (Serie 4300)	38
6.1 Ciclos de revisión: corto y largo	38
7. Parámetros de medición – Indicadores de mantenimiento	43
7.1 Índices de disponibilidad.....	43
7.2 Índices de gestión de Órdenes de Trabajo.....	44
7.3 Índices de Coste	45
7.4 Índices de proporción de tipo de mantenimiento	46
7.5 Índices de Gestión de Almacenes y Compras	46
7.6 Índices de Seguridad y Medio Ambiente	47

7.7	Índices de formación	48
7.7.1	Análisis e interpretación de indicadores.....	48
8.	Medidas a implementar – I+D+i	49
8.1	Propuestas monitorización	49
8.1.1	Pantógrafos.....	49
8.1.2	Rodadura	52
8.1.3	Areneros y limpiaparabrisas.....	54
8.2	Otras propuestas	55
8.2.1	Apertura de puertas	55
8.2.2	Aire acondicionado	56
8.2.1	Imágenes videovigilancia.....	57
8.2.2	Implementación acelerómetros e inclinómetros y GPS.....	58
8.2.3	Implementación cámara en el techo de la unidad.....	59
8.2.4	Tensión del muelle del pantógrafo	59
9.	Organización operativa y administrativa.....	59
9.1	ECOGESTOR GMAO y Norma ISO 55001.....	59
9.1.1	ECOGESTOR GMAO	59
9.1.2	Desventajas y limitaciones. Tendencia temporal.	63
9.1.3	Norma ISO 5501	64
9.1.4	Orden de Trabajo.....	65
9.2	Smart Motors: SAVANA	67
9.2.1	Introducción	67
9.2.2	El enfoque SAVANA.....	67
9.2.3	Problemáticas del mantenimiento	68
9.2.4	Propuesta de mantenimiento: Mantenimiento basado en condición	68
9.3	Ventajas CBM (Condition Base Management):.....	78
9.3.1	Gestión de recursos	78
9.3.2	Conclusión y limitaciones de implantación.....	80
10.	Inversión transformación digital y monitorización activos.....	81
10.1	Ahorro de tiempo	81
10.2	Estimación económica: monitorización y Software	83
10.3	Limitaciones y retos de la transformación digital	86
11.	Futuras líneas de investigación	87
12.	Conclusiones	88
13.	Bibliografía	89
	Anexo: Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).....	91

Índice de ilustraciones

Ilustración 1 - Logo corporativo Ferrocarrils de la Generalitat Valenciana (FGV).....	11
Ilustración 2 - Logo corporativo Metrovalencia.....	11
Ilustración 3 - Plano entorno urbano MetroValencia. Fuente: FGV	13
Ilustración 4 - Plano zonal Metro Valencia. Fuente: FGV	14
Ilustración 5 - Serie 4300, Serie 4200 y Serie 3800, respectivamente	16
Ilustración 6 - Vista en planta Taller Mantenimiento FGV (València Sud). Fuente: Google Maps.....	17
Ilustración 7 - Vista 3D Taller Mantenimiento FGV (València Sud). Fuente: Google Maps.....	18
Ilustración 8 - Plano en planta distribución Taller Mantenimiento València Sud. Fuente: FGV.	19
Ilustración 9 - Clasificación tipos de mantenimiento en función de planificación. Fuente: elaboración propia.....	21
Ilustración 10 – Pasarelas del Taller de València Sud. Fuente: elaboración propia.....	40
Ilustración 11 - Foso de Talle València Sud para revisión de bogies, rueda y remolque. Fuente: elaboración propia.....	40
Ilustración 12 – Gatos de levante trenes Taller València Sud. Fuente: elaboración propia.....	41
Ilustración 13 - Bogies desmontados para revisión de tipo larga. Taller de Mantenimiento Valencia Sud. Fuente: elaboración propia.....	42
Ilustración 14 - Vista en planta banda de contacto del pantógrafo. Estación de Alameda. Fuente: elaboración propia.....	50
Ilustración 15 - Modelo de cámara Pantobot 3D. Fuente: Camlin Rail	51
Ilustración 16 - Representación gráfica del procesamiento en 3D. Fuente: Camlin Rail.....	51
Ilustración 17 - Vista lateral bogies en foso. Serie 4300. Taller València Sud. Fuente: elaboración propia.....	52
Ilustración 18 - Vista frontal limpiaparabrisas tren Serie 4300. Fuente: elaboración propia.....	54
Ilustración 19 – Puertas coches Metrovalencia. Fuente: elaboración propia.....	55
Ilustración 20 - Vista en planta aire acondicionado coche Metrovalencia. Estación de Alameda. Fuente: elaboración propia.....	56
Ilustración 21 – Cámaras de videovigilancia estación y coche, respectivamente, en Metrovalencia.. Fuente: elaboración propia.....	57
Ilustración 22 – Interfaz herramienta SigmaQ. Fuente: Web SigmaRail.....	58
Ilustración 23 - Logo empresa Smart Motors. Fuente: Página web Smart Motors	67

Índice de tablas

Tabla 1 - Composición líneas FGV. Elaboración propia	12
Tabla 2- Tasa de crecimiento viajeros Metrovalencia por año. Fuente: elaboración propia.....	15
Tabla 3 - Composición Parque Móvil Metrovalencia 2020. Fuente: Elaboración propia.....	16
Tabla 4 - Ficha técnica Serie 4300. Fuente: FGV	17
Tabla 5 - Resumen comparativo tipos de mantenimiento	26
Tabla 6 - Ejemplo cálculo porcentaje y porcentaje acumulado de ocurrencias averías	34
Tabla 7 - Periodicidad operaciones ciclo corto en km y tiempo de servicio. Serie 4300.....	39
Tabla 8 - Periodicidad operaciones ciclo largo en km y tiempo de servicio. Serie 4300.....	42
Tabla 9 - Proporción de horas dedicadas a mantenimiento Taller València Sud. Fuente datos: FGV. Elaboración propia	46
Tabla 10 - Clasificación número revisiones al año según tipo. Fuente: elaboración propia.....	82
Tabla 11 - Relación de tiempo y coste trabajos Taller València Sud. Fuente: elaboración propia.	82

Tabla 12 - Relación porcentual tiempos mantenimiento Taller València Sud. Fuente: elaboración propia.	83
Tabla 13 - Comparativa económica trabajos Taller València Sud. Fuente: elaboración propia.	83
Tabla 14 - Coste implantación monitorización y software en Taller València Sud. Fuente: elaboración propia.	84
Tabla 15 - Amortización de la inversión Taller València Sud. Fuente: elaboración propia.	84
Tabla 16 - Amortización del gasto de monitorización Taller València Sud. Fuente: elaboración propia.....	85
Tabla 17 - Estudio barreras transformación digital. Fuente: II Estudio Smart Industria 4.0.....	86

Resumen

En la actualidad muchas empresas del sector ferroviario utilizan la digitalización para obtener información de la superestructura. De igual forma y en menor medida, lo realizan también sobre su parque móvil ferroviario con el fin de optimizar y mejorar los procesos de mantenimiento.

En la actualidad Metrovalencia, objeto de estudio del presente TFM, y en concreto el Taller de Mantenimiento de València Sud, no cuenta con ningún tipo de digitalización. Por ende, ninguno de sus trenes está monitorizado, realizándose todas las tareas de revisión o medición de forma manual, lo que implica que los operarios inviertan su tiempo en realizar tareas metódicas y rutinarias que aportan poco valor.

El tipo de mantenimiento llevado a cabo se basa en el preventivo, el cual consiste en estimar el estado de los activos. Al no basarse en ningún histórico se genera un exceso de mantenimiento, produciéndose una innecesaria paralización de la explotación. La planificación, así como las órdenes de trabajo, se realizan de forma manual.

Con el fin de mejorar el proceso de mantenimiento en Metrovalencia, en el presente estudio se ha desarrollado una primera fase de transformación digital, la cual abarca desde la monitorización del parque móvil ferroviario hasta la implantación de un sistema de gestión de datos y planificación de tareas. Todo ello ha sido definido de forma particularizada y conforme a las necesidades y cultura de Metrovalencia, basándonos a su vez en fundamentos teóricos, y teniendo en cuenta que los componentes objeto de monitorización no estén relacionados con la seguridad del tren pero sí con la funcionalidad del mismo, como por ejemplo; el pantógrafo, elementos de rodadura, arenero y limpiaparabrisas.

De igual forma, y a título de mejora, se propone la monitorización de elementos sencillos y no críticos, tales como contabilizar el número de aperturas de las puertas o el aire acondicionado, hasta algunas más complejas como la implementación de acelerómetros e inclinómetros. Estas últimas hacen referencia al mantenimiento de la vía y energía de catenaria, no siendo objeto de estudio, pero con especial interés en el desarrollo futuro.

Con todas las medidas propuestas, en Metrovalencia se garantizaría una mejora en la productividad, eficiencia, competitividad e integración en la era digital del mantenimiento. Por ende, al obtener una disminución en los tiempos de parada de los activos se conseguiría un incremento en la explotación de estos. De forma paralela, se consigue incrementar la satisfacción laboral de los empleados y redirigir el tiempo destinado a realizar tareas de mayor valor.

En resumen, las medidas adoptadas podrían reducir notoriamente los tiempos de mantenimiento, costes de mano de obra, material o el impacto ambiental, a cambio de incrementar la eficiencia, productividad, fiabilidad, tiempo de respuesta y capacidad de análisis. Todo ello sería posible realizando una pequeña inversión anual que nos muestre como resultado la posibilidad de gestionar, cada vez de forma más precisa, todos los activos.

Palabras clave: ferrocarriles, taller, mantenimiento, monitorización, digitalización, GMAO.

Abstract

Nowadays, many companies in the railway sector use digitization to obtain information from the superstructure. Similarly, and to a lesser extent, they also do it on their railway rolling stock in order to optimize and improve maintenance processes.

At present, Metrovalencia, the object of study of this TFM, and specifically the Valencia Sud Maintenance Workshop, does not have any type of digitalization. Therefore, none of its trains has any kind of monitoring, and all the revision or measurement tasks are carried out manually, which means that operators spend their time performing methodical and routine tasks that provide little value.

The type of maintenance carried out is based on preventive maintenance, which consists of estimating the condition of the assets. Since it is not based on any history, there is an excess of maintenance, which causes an unnecessary paralyzation of the operation. The planning, as well as the work orders, are carried out manually.

In order to improve the maintenance process in Metrovalencia, this study has developed a first phase of digital transformation, which ranges from the monitoring of the railway rolling stock to the implementation of a data management system and task planning. All this has been defined in a particularized way and according to the needs and culture of Metrovalencia, based in turn on theoretical foundations, and taking into account that the components to be monitored are not related to the safety of the train but with the functionality of the same, such as the pantograph, rolling elements, sandbox and windshield wipers.

Similarly, and as an improvement, simple and non-critical monitoring will be carried out, such as counting the number of door openings or air conditioning, to more complex ones such as the implementation of accelerometers and inclinometers. The latter refer to the maintenance of the track and catenary energy, not being the subject of study, but with special interest in future development.

With all the proposed measures, Metrovalencia would guarantee an improvement in productivity, efficiency, competitiveness and integration in the digital era of maintenance. Therefore, by obtaining a decrease in the downtime of the assets, an increase in the exploitation of these would be achieved. At the same time, it is possible to increase employee job satisfaction and redirect the time spent on higher-value tasks.

In short, the measures adopted could significantly reduce maintenance times, labor and material costs and environmental impact, in exchange for increased efficiency, productivity, reliability, response time and analysis capacity. All this would be possible by making a small annual investment that would result in the possibility of managing all assets more and more precisely.

Keywords: railways, maintenance workshop, maintenance, monitoring, digitisation, GMAO.

1. Introducción

En el transporte ferroviario la seguridad es un factor esencial que se encuentra presente en todos sus elementos, desde la infraestructura hasta su material rodante. Es por ello que, para garantizar la calidad del mismo, se realiza un proceso exhaustivo de mantenimiento durante la vida útil del servicio.

Algunas empresas del sector ferroviario han empezado a optimizar los procesos de mantenimiento del parque móvil ferroviario mediante la monitorización o sensorización de algunos elementos. No obstante, este no es el caso de Metrovalencia (FGV).

En la actualidad el Taller de Mantenimiento de València Sud, objeto de estudio, no cuenta con ningún tipo digitalización, al igual que sus trenes que tampoco se encuentran monitorizados. Cabe destacar que de igual forma, realiza la planificación y genera las órdenes de trabajo de forma manual.

Centrándonos en el material móvil, el tipo de mantenimiento que se les aplica es el preventivo. Entre sus problemas, cabe destacar el elevado coste y la inexactitud a la hora de detectar incidencias. Todo ello puede deberse a que la información suministrada desde los vehículos a los talleres es escasa e insuficiente, resultado del déficit de monitorización o sensorización de algunos componentes.

Todos los vehículos del parque móvil ferroviario, en especial la Serie 4300 objeto de estudio, son sometidos a una serie de revisiones previstas ya programadas, entre las que destaca la revisión visual o medición manual. Todo ello implica que los operarios inviertan su tiempo en realizar tareas metódicas y rutinarias de comprobación, que en el caso de estar monitorizadas podrían dedicar su tiempo a realizar tareas más productivas, que entrañen una mayor especialización y por ende una mayor satisfacción laboral.

Por otro lado, al realizar el tipo de mantenimiento preventivo o sistemático, numerosos elementos son sustituidos de forma automática al estimar que han cumplido con su vida útil. Todo ello genera una gran cantidad de residuos y por ende una pérdida económica, ya que gran parte de las piezas no llegan a ser amortizadas o se realizan tareas de mantenimiento sobre ellas que no corresponden a su desgaste real. De igual forma, se genera sobre coste resultado de la gran cantidad de artículos que se deben disponer en stock.

2. Objetivo

Por todo lo anteriormente expuesto, en el presente Trabajo Fin de Máster se pretende optimizar los procesos de mantenimiento del parque móvil de Metrovalencia, en concreto en el Taller de València Sud.

Se definirá para Metrovalencia, de forma particularizada y conforme a las necesidades y cultura de la empresa, una primera fase de transformación digital. Todo ello con el fin de aumentar la productividad, hacerla más competitiva, eficiente e integrada en el proceso de digitalización que sufren las empresas del sector. Además, se pretende informar y concienciar al lector de la importancia de adaptarse a la era digital y los beneficios, no solo económicos, que esta puede aportarnos.

Para conseguir el objetivo propuesto se propone realizar un cambio en el modelo de mantenimiento, desde el preventivo al predictivo. Además, se presenta como solución la monitorización de algunos componentes ferroviarios, definidos en los siguientes apartados, de forma individual o en conjunto aplicando las nuevas tecnologías del mercado. La elección de las mismas realizará a demanda y a criterio del responsable del Taller de València Sud, teniendo en cuenta que los componentes objeto de monitorización no estén relacionados con la seguridad del tren pero sí con la funcionalidad del mismo, como por ejemplo; el pantógrafo, elementos de rodadura, arenero y limpiaparabrisas.

De igual forma, y a título de mejora, se realizarán monitorizaciones sencillas y no críticas, tales como contabilizar el número de aperturas de las puertas o el aire acondicionado, hasta algunas más complejas como la implementación de acelerómetros e inclinómetros. Estas últimas hacen referencia al mantenimiento de la vía y energía de catenaria, no siendo objeto de estudio, pero con especial interés en el desarrollo futuro.

Con todo ello se pretende optimizar los tiempos de revisión, y destinar los mismos a realizar otro tipo de tareas que permitan aumentar la productividad de los talleres. Así como, definir el estado de los componentes y anticiparnos a posibles incidencias en el servicio, reduciendo los tiempos de paralización del activo.

Paralelamente, se tiene como objetivo mejorar la satisfacción laboral del empleado. Mediante la monitorización se permitirá reducir la carga de trabajo, eliminar las tareas que no aporten valor y reorganizar a la plantilla en tareas que les hagan sentir realizados. Todo ello con el fin de reducir las tareas rutinarias que, bajo un falso nivel de confianza, generen errores en la toma de datos.

Se propone la implementación de Softwares que nos permita recopilar los datos obtenidos, gestionar los activos y planificar las tareas. El objetivo es que cuando un componente se aproxime a un nivel no aceptable avise de su revisión, llenado, o sustitución. Así como recoger y almacenar de forma automática, mediante una base de datos, la información relacionada con los tipos de fallo de cada elemento y su tiempo de vida útil de forma que se pueda estimar, con cierto margen de error, las posibles incidencias del servicio logrando una mejora de la planificación en las tareas de mantenimiento.

En el ámbito ambiental se pretende reducir la cantidad de residuos emitidos, reduciendo el stock de los componentes, por lo que se obtendría un mayor aprovechamiento de los materiales e influyendo favorablemente a la economía de la empresa. De igual modo se pretende digitalizar todas las órdenes de trabajo para eliminar el formato papel actual.

En resumen, las soluciones propuestas pretenden reducir notoriamente los tiempos de mantenimiento, costes de mano de obra, material o el impacto ambiental, a cambio de incrementar la eficiencia, productividad, fiabilidad, tiempo de respuesta y capacidad de análisis.

3. Bases de Partida

3.1 Ferrocarrils de la Generalitat Valenciana (FGV)

Ferrocarrils de la Generalitat Valenciana (FGV) es una empresa de carácter público dependiente que se constituye en el año 1986, pertenece a la Generalitat Valenciana y se encuentra adherida a la Autoridad de Transporte Metropolitano de Valencia. Es la encargada de gestionar y administrar los servicios de transporte ferroviarios en la Comunidad Valenciana, compuestas por ancho métrico y una longitud total de 258,53 kilómetros de vía (metro, tranvía y tren ligero).



Ilustración 1 - Logo corporativo Ferrocarrils de la Generalitat Valenciana (FGV)

“La misión de FGV es prestar a los ciudadanos en la Comunidad Valenciana un servicio público de transporte por ferrocarril sostenible, mediante una gestión eficiente y con la máxima calidad, seguridad, transparencia y rentabilidad social” es oportuno desarrollar los contenidos de esta declaración de principios que debe estar presente e impregnar las distintas acciones de comunicación, tanto internas como externas, que se promuevan en la empresa.”¹

Dentro del área metropolitana de Valencia la operadora comercializa con el nombre de la marca “Metrovalencia”, la cual se compone de la red de metro y tranvía que conecta el centro de la ciudad con todo su área metropolitana y zonas más externas, contando con un total de 133 estaciones y un recorrido de vías de 146 kilómetros.



Ilustración 2 - Logo corporativo Metrovalencia

3.2 Líneas de Metro

La red ferroviaria se encuentra compuesta por un total de 10 líneas, de las cuales 9 se encuentran en servicio y 3 en construcción. Está conformada por un total de 276.116 km de red en el año 2019, compuesta a su vez por 28,448 km en túnel y 227, 386 en superficie.

¹ FGV.(2021). *Qué es FGV* [en línea]. Disponible en: <https://www.fgv.es/la-empresa/que-es-fgv/>. [Consultado 29/01/2021]










Línea	Cabeceras	Tipo	Longitud (km)	Estaciones/ Paradas	Viajeros (2019)
<i>En servicio</i>					
	Bétera Villanueva de Castellón	Metro	72,145	40	9.808.295
	Llíria Torrent Avingua	Metro	39,445	33	9.124.791
	Rafaelbunyol Aeroport	Metro	24, 691	26	14.147.324
	Mas del Rosari Lloma Llarga Terramellar Doctor Lluch	Tranvía	16,999	33	6.644.251
	Marítim- Serrería Aeroport	Metro	13,293	18	10.774.501
	Tossal del Rei Marítim - Serrería	Tranvía	10,067	21	2.112.300
	Marítim – Serrería Torrent Avinguda	Metro	15,497	16	7.702.423
	Marina Reial Joan Carles I Marítim – Serrería	Tranvía	1,230	4	433.213
	Alboraya – Peris Aragó Riba – roja de Túria	Metro	24,859	23	8.695.441
<i>En construcción</i>					
	Alacant Natzaret	Metro Tranvía	5,320	8	Inicio obras principios 2022
	Ciudad de las Ciencias Maria València	Metro Tranvía	3,320	6	Inicio obras principios 2022
	Alacant Nou Hospital la Fe	Metro Tranvía	4,1	6	Inicio obras principios 2022/23
TOTAL			156,388²	138	69.442.539

Tabla 1 - Composición líneas FGV. Elaboración propia

En cuanto a la explotación cabe mencionar que 162,661 km son en vía única y 93,284 km en vía doble.

Cuenta con 209 estaciones apeaderos, de las cuales 39 corresponden a infraestructuras subterráneas y 171 a en superficie.

A continuación, se muestran los planos de entorno urbano y zonal de metro con la distribución de las líneas 1-9 a lo largo del área metropolitana de Valencia:

² Los km de línea totales equivalen a los km de red ya que algunas de las líneas comparten trazado, tal y como se puede observar en la Ilustración 4.

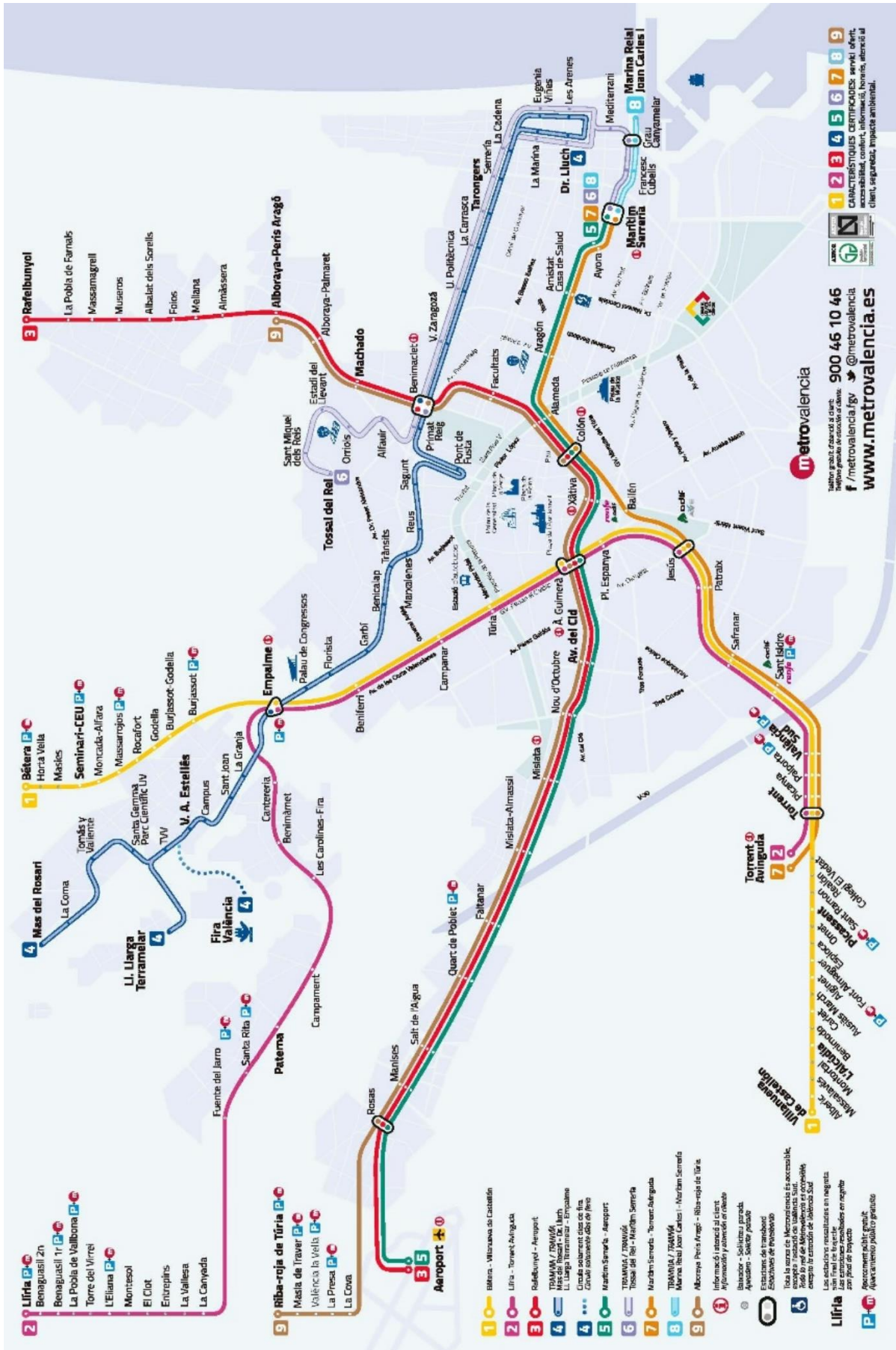


Ilustración 3 - Plano entorno urbano MetroValencia. Fuente: FGV

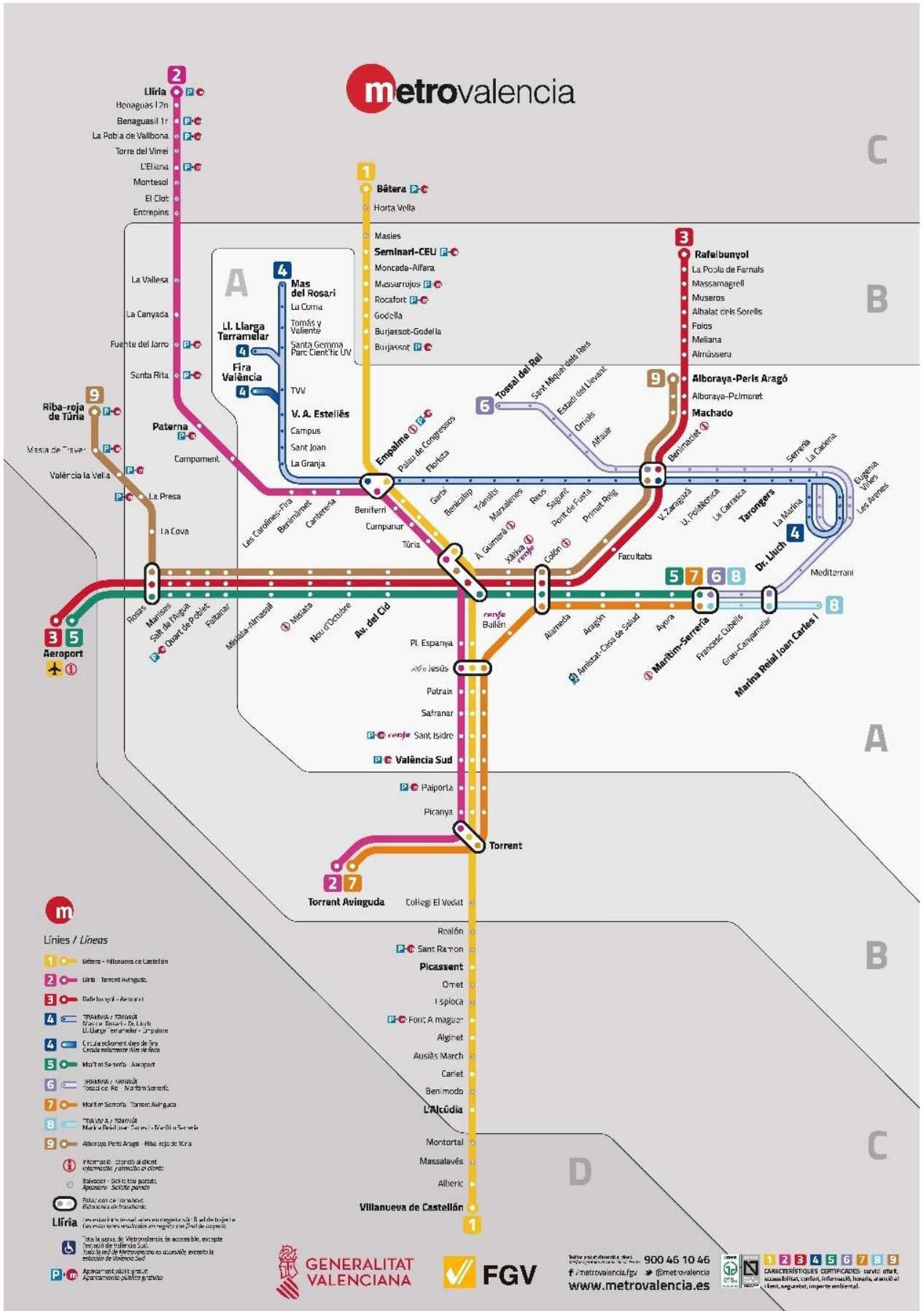


Ilustración 4 - Plano zonal Metro Valencia. Fuente: FGV

3.3 Viajeros

La demanda en Metrovalencia en el año 2019 se sitúa en 81.533.731 viajeros, siendo el mejor dato obtenido en 10 años.

Si analizamos el tráfico de viajeros desde el año 2003 podemos observar cómo, a pesar de sufrir un ligero decrecimiento entre los años 2011-2013, el tráfico de viajeros cuenta con un pronóstico favorable dentro de una evolución tendencial creciente.

Pese a la crisis sanitaria actual de COVID-19 y el desconocimiento de la futura evolución del tráfico de viajeros, se considera que la tasa de crecimiento de este modo de transporte se encuentra al alza.

Tabla 2- Tasa de crecimiento viajeros Metrovalencia por año. Fuente: elaboración propia.

Año	Viajeros	Tasa de crecimiento (%)	Tendencia
2003	53.519.068	-	-
2004	60.003.113	12%	↑
2005	64.012.952	7%	↑
2006	67.037.893	5%	↑
2007	70.045.267	4%	↑
2008	72.223.857	3%	↑
2009	71.188.720	-1%	↓
2010	72.990.687	3%	↑
2011	71.047.507	-3%	↓
2012	69.149.657	-3%	↓
2013	67.236.265	-3%	↓
2014	70.430.054	5%	↑
2015	70.975.101	1%	↑
2016	73.064.243	3%	↑
2017	74.348.865	2%	↑
2018	78.323.520	5%	↑
2019	81.533.731	4%	↑
PROMEDIO	69.831.206	3%	↑

Figura 1 - Gráfico evolución tendencial viajeros Metrovalencia. Fuente: elaboración propia.



3.4 Parque Móvil Metrovalencia

El Parque Móvil actual de Metrovalencia está compuesto por un total de 106 vehículos, los cuales se encuentran distribuidos en las siguientes series:

Parque Móvil Metrovalencia (2020)	
Tipo	Nº de vehículos
Metro - Serie 4300	62
<i>Unidades de 4 coches</i>	42
<i>Unidades de 5 coches</i>	20
Tranvía - Serie 4200	19
Tranvía - Serie 3800	25
TOTAL	106 unidades

Tabla 3 - Composición Parque Móvil Metrovalencia 2020. Fuente: Elaboración propia.

Dicho parque se encuentra en constante ampliación y renovación para incorporar nuevas tecnologías. Además, se prevé el crecimiento del mismo mediante la construcción y explotación de las nuevas líneas.



Ilustración 5 - Serie 4300, Serie 4200 y Serie 3800, respectivamente

Actualmente, en el taller de València Sud se realiza el mantenimiento de la Serie de metro 4.300, fabricados por Vossloh entre los años 2006 y 2011. Fueron adquiridos por la Generalitat Valenciana y pretendían sustituir a todos los trenes de la serie 3600 y 3700 en las líneas 1 y 2, 3, 5, 7 y 9 de Metro Valencia. Los trenes fueron puestos en servicio en el año 2007.

A continuación, se presentan algunas de las principales características técnicas de la Serie 4300:

FICHA TÉCNICA SERIE 4300						
Tipología	Tensión (V)	Toma de corriente	Velocidad aprox.(km/h)	Potencia (KW)	Longitud (metros)	Capacidad (Pasajeros)
Unidades de 4 coches	1.500	Pantógrafo	80	1.480	60,49	588 (116 plazas de asiento y 472 de pie)
Unidades de 5 coches					75,00	750

Tabla 4 - Ficha técnica Serie 4300. Fuente: FGV

4. Taller de Mantenimiento València Sud

El presente Trabajo Fin de Máster es realizado en base a un caso práctico de estudio, siendo este el Taller de Mantenimiento de València Sud, ubicado en la cochera anexa a la propia estación.

4.1 Ubicación

El ámbito de estudio del presente documento se encuentra situado al sur de Valencia, concretamente en los talleres de mantenimiento de FGV anexos a la estación de València Sud. La dirección concreta es Partida Xirivelleta , s/n.



Ilustración 6 - Vista en planta Taller Mantenimiento FGV (València Sud). Fuente: Google Maps.



Ilustración 7 - Vista 3D Taller Mantenimiento FGV (València Sud). Fuente: Google Maps.

La superficie de la nave del taller cuenta con aproximadamente unos 11.000 metros cuadrados y una playa de vías con capacidad para 17 líneas.

4.2 Características Principales Taller

El Taller de València Sud tiene como objetivo realizar las tareas de mantenimiento de la Serie 4300, categorizando sus tareas en ciclo largo y ciclo corto. En el apartado 6 del presente documento se define la composición y frecuencia de cada tipo de mantenimiento.

Actualmente en el taller trabaja un promedio de 42 trabajadores, los cuales realizan diversas tareas.

El taller se distribuye en las siguientes secciones de trabajo:

- Sección de mantenimiento de ciclo corto
- Sección de mantenimiento de ciclo largo (gatos de levante y nivelación, torno de foso).
- Sección boogie
- Sección reparación equipos de aire
- Sección máquina y herramienta. Equipos auxiliares
- Sección neumática: control frenos
- Sección plancha y soldadura
- Sección electricidad, electrónica
- Sección de confort
- Zona de pintura
- Almacén
- Zona de lavado (trenes y piezas grandes)
- Cadenas auxiliares: se reparan las piezas que se pueden extraer de revisiones para utilizarlas en otras unidades (aire acondicionado, disyuntores, piezas pequeñas, etc.)

Las secciones de trabajo coexisten sin quedar delimitadas, a diferencia de la sección de fosos y gatos de levante que la podemos localizar a simple vista.

En el siguiente plano en planta se encuentra representado por sectores las diferentes zonas de trabajo:

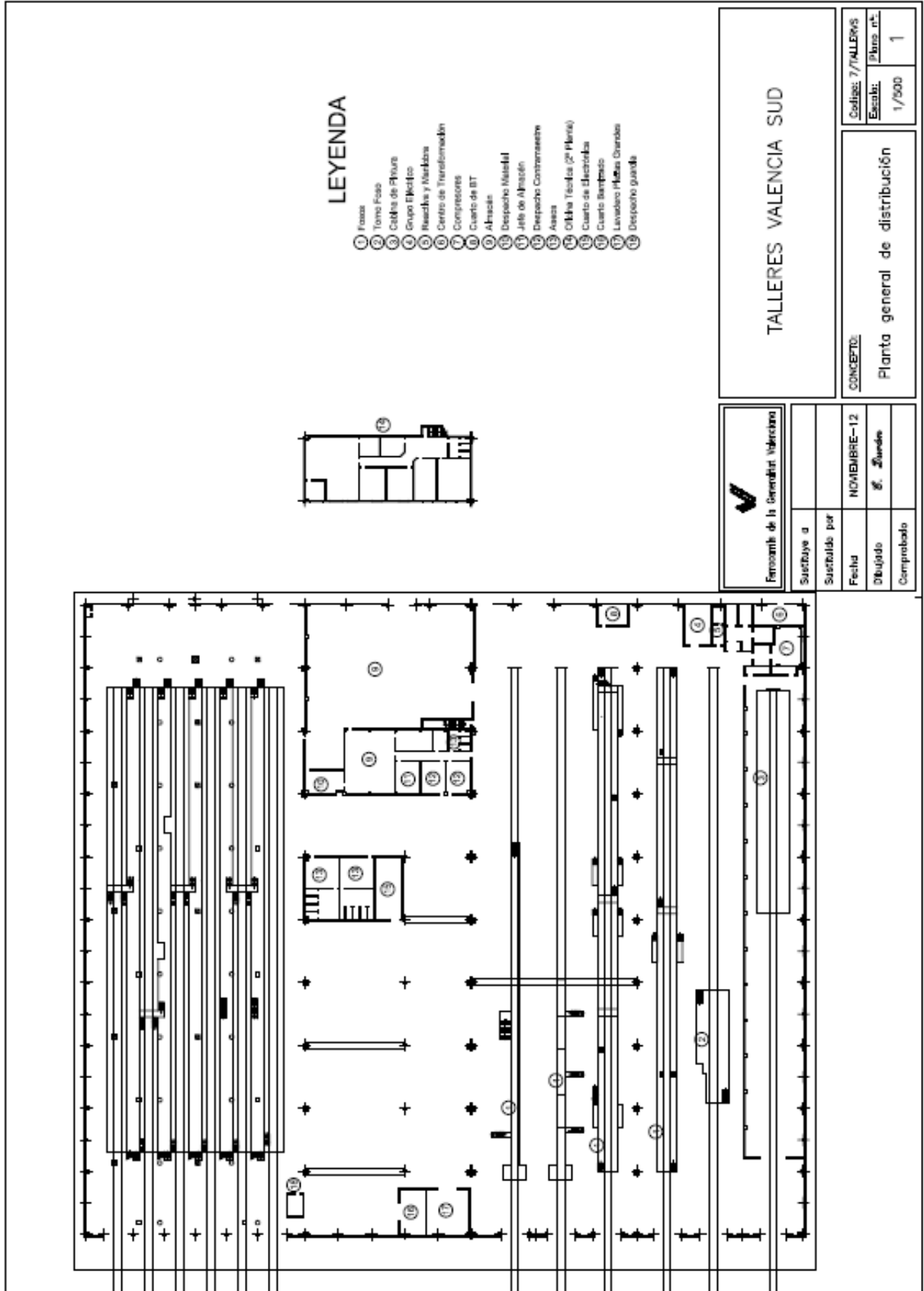


Ilustración 8 - Plano en planta distribución Taller Mantenimiento Valencia Sud. Fuente: FGV.

5. Fundamentos teóricos

Hasta la década de 1990, la gran mayoría de los fabricantes de material rodante no tenían en cuenta el plan de mantenimiento de los vehículos a la hora de diseñarlos y construirlos.

No obstante, es en los últimos años cuando se empieza a reflejar en los contratos de suministro de material la inclusión del mantenimiento de los trenes. Esta medida obligaba a los constructores a diseñarlos pensando en el plan de mantenimiento con el fin de reducir costes, así como producir un menor impacto ambiental.

El diseño de un tren se estima para que la vida útil sea de aproximadamente 30 años. Es por ello que, para alcanzar dichos objetivos, se deberá de realizar un mantenimiento específico y llevar a cabo una remodelación importante del equipo previo al cumplimiento de los 20 años.

Conforme a lo citado en el apartado 3.4 del presente documento, la Serie 4300 comienza a prestar servicio en el año 2007. Si consideramos una vida útil de 30 años podríamos afirmar que los trenes cuentan con aproximadamente 15 años de uso, lo que significa casi el 50%.

El presente estudio tiene como fin justificar la necesidad de una remodelación y adaptación de los trenes, apoyándose en la monitorización de los diferentes elementos que lo componen. Esta propuesta surge del alto grado de digitalización al que están siendo sometidas las infraestructuras y con el fin de acomodar y adaptar el mantenimiento durante la explotación de los activos.

Todos los planes de mantenimiento ferroviario deben ser estudiados y planificados en función a las condiciones del entorno en el que dan servicio. Se realizan de forma específica de acuerdo a cada tipo de vehículo y explotación. Sin embargo, es muy común encontrar con que el plan de mantenimiento estipulado para una serie de vehículos se encuentra normalizado y es un estándar, no diferenciando según tipo de explotación a la que dan servicio o al trazado por el cual discurren.

Por tanto, todos los planes de mantenimiento del material rodante deberán tener en consideración, además del manual del fabricante, las condiciones del entorno.

En el siguiente subapartado se definirán los tipos de mantenimiento ferroviarios, su clasificación y gestión. No será objeto de estudio el mantenimiento de la infraestructura, centrándonos así en el Parque Móvil.

5.1 Tipos de Mantenimientos Ferroviarios

El Mantenimiento se puede definir como una serie de actuaciones técnicas destinadas a la conservación en servicio de equipos e instalaciones en estado óptimo durante el mayor tiempo posible al mayor rendimiento. Esto implica evitar incidencias inesperadas en el servicio que interfieran en el funcionamiento operativo del servicio, optimizando costes y llegando a ser más eficientes.

Para garantizar una correcta seguridad ferroviaria se deberá de realizar las revisiones y tareas de mantenimiento en la vía, propias de su explotación o de las características de su entorno. Además, el parque móvil deberá de cumplir con los mantenimientos estipulados por el manual del fabricante o los descritos en la ficha técnica, así como las tareas propias de corrección del mobiliario o fallos imprevistos.

Por tanto, aplicando el concepto al parque vehicular, se entenderá por mantenimiento a la combinación de todas las acciones técnicas, administrativas o de gestión necesarias durante el

ciclo de vida útil. La finalidad del mantenimiento es conservar los elementos en condiciones óptimas o devolverlos al estado inicial en el cual podrán desarrollar la función para la que fueron diseñados.

El mantenimiento puede ser clasificado de acuerdo con dos estrategias diferentes, fundamentadas en la planificación. A continuación, se muestra un esquema de clasificación de los mismos en función de las actuaciones y la planificación a utilizar en cada caso. Posteriormente se procede a definir la funcionalidad, ventajas y desventajas de cada tipo:

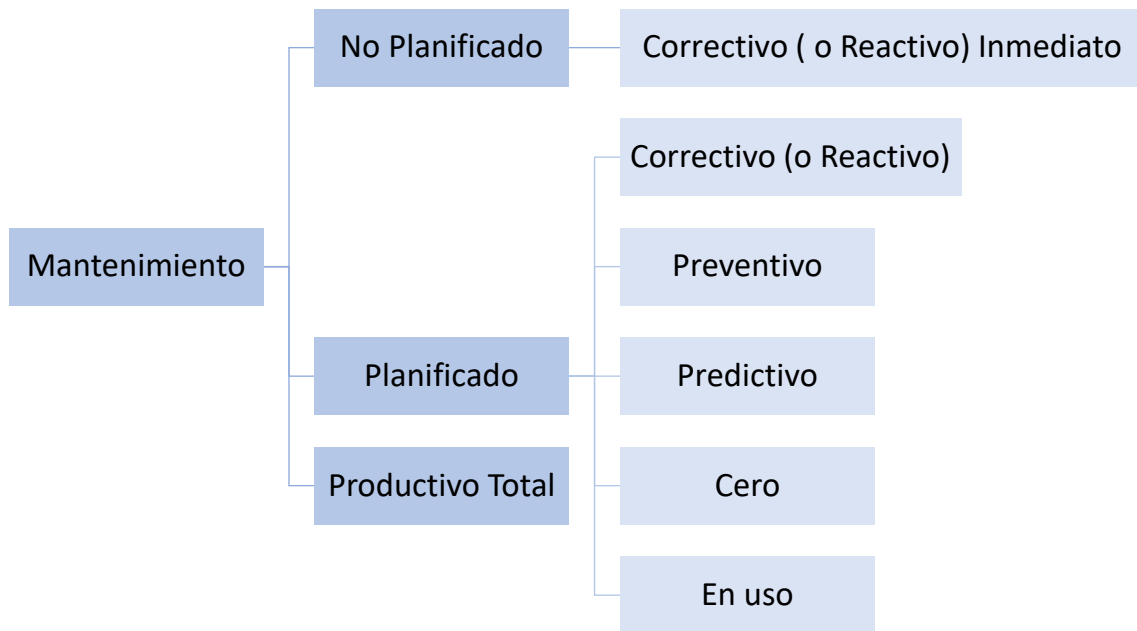


Ilustración 9 - Clasificación tipos de mantenimiento en función de planificación. Fuente: elaboración propia

5.1.1 Mantenimiento No Planificado

También conocido como Mantenimiento Correctivo (o Reactivo) Inmediato, consiste en actuar de inmediato una vez la avería se ha producido.

Puede ser aplicado a equipos que no sean críticos en el funcionamiento del servicio y por tanto su avería no afectaría a la seguridad del mismo, ni provocaría daños irreversibles o altamente costosos en su reparación, con su correspondiente inmovilizado y vuelta de puesta en servicio. Además, este tipo de avería no debe de afectar al medio ambiente (emisiones o vertidos), a la calidad o al nivel de producción.

Entre sus principales ventajas destaca el ahorro en la planificación y el agotamiento de su vida útil ya que los elementos no son sustituidos hasta la sintomatología e identificación del fallo, alargando su duración útil respecto a una sustitución programada a intervalos.

5.1.2 Mantenimiento Planificado:

Por el contrario, a Mantenimiento no Planificado, existe una programación de las operaciones de mantenimiento a realizar sobre el equipo o la instalación de forma que se logra reducir la probabilidad de que surjan averías y, en el caso de que aparezca, no lleguen a generar consecuencias indeseadas.

El Mantenimiento Planificado se subdivide a su vez en tres tipos diferentes, a continuación, descritos:

5.1.2.1 Mantenimiento Correctivo (o Reactivo) – Explotación hasta el fallo

Consiste en someter a una reparación a todos aquellos elementos que hayan sido fruto de una avería/anomalía a medida que se presentan, o no conserven las prestaciones de su estado inicial. Es igual que el anterior, pero en este caso se programa la intervención para ejecutarla en el momento que sea posible. Se trata de agotar la vida útil de los elementos o reparar aquellos que han sufrido alguna anomalía previa al fin de su vida útil, por tanto, no se llevará a cabo ninguna inspección o puesta a punto innecesaria. El objetivo de este mantenimiento es que afecte en la menor medida posible a la disponibilidad del activo.

Una de sus principales ventajas es que es un tipo de mantenimiento bastante rentable ya que llega a agotar la vida útil del elemento.

No obstante, este tipo de mantenimiento puede llegar a suponer ciertos inconvenientes que hará que la seguridad del servicio se vea reducida tales como una falta de detección del fallo. Además, provoca un alto gasto de puesta a punto ya que se requerirán mayores periodos de reparación inesperados, desconocimiento del fallo, inutilización del servicio y por ende problemas en la planificación.

En resumen, es un tipo de mantenimiento poco viable y resulta bastante complicado optimizar los recursos de trabajo empleados.

5.1.2.2 Mantenimiento Preventivo – Puesta a punto periódica preventiva

El Mantenimiento Preventivo consiste en realizar inspecciones periódicas de forma que se pueda sustituir los componentes que se acerquen al fin de su vida útil o encontrar posibles incidencias en el servicio. Se programan las operaciones a realizar en el activo en momentos oportunos. Por ejemplo, sustituciones de elementos a intervalos basados en cálculos teóricos, patrones o recomendaciones del fabricante. Para ello se basa en operaciones rutinarias que son realizadas en periodos fijos mediante contadores como, por ejemplo: kilometraje, tiempo, número de ciclos...etc. Para llevarlo a cabo se planifican una serie de actuaciones, distribuidas en un horizonte temporal, que permiten detectar con cierta antelación los posibles fallos o averías.

Su objetivo es mantener un nivel de servicio adecuado, logrando reducir el número de paradas no planificadas por fallo y averías, siendo esta su principal ventaja.

Este tipo de mantenimiento nos permitirá reducir los tiempos de inutilización y aumentar la seguridad, ya que nos garantiza que todos o la gran mayoría de los elementos se encuentren en correcto estado. Otro de los beneficios es que la probabilidad de fallos inesperados es baja y existe una buena posibilidad de planificación, por lo que se puede optimizar cómodamente la fuerza de trabajo ya que se conoce cuando va a fallar. También nos permitirá aumentar la disponibilidad del activo, ya sufrirá menos inmovilizaciones para realizar tareas de mantenimiento imprevistas.

No obstante, sus inconvenientes se encuentran en los elevados costes de mantenimiento, los recursos materiales, humanos y las paralizaciones innecesarias. Esto es debido a que se realizan intervenciones sobre activos en buen estado, ya que dicho mantenimiento ha sido previamente

programado y no se basa en su desgaste real. Existe la posibilidad de que los elementos se averíen de forma inesperada o no se pueda detectar el desgaste de los mismos. Además, para realizar un diagnóstico será necesario tener experiencia previa en la inspección visual o diagnóstico. Por todo ello se considera que es un tipo de mantenimiento poco rentable y que se puede pecar de exceso de mantenimiento.

Este tipo de mantenimiento es recomendable para los equipos o instalaciones en los cuales una avería llevaría consigo consecuencias graves en cuanto a coste o seguridad.

5.1.2.3 Mantenimiento Predictivo – Puesta a punto dependiente del estado

Se analiza constantemente el activo para lograr predecir (mediante datos o indicadores) las averías antes de que estas lleguen a producirse, aportando grandes ahorros. Para realizar este tipo de mantenimiento se deberá asignar unas variables físicas (temperatura, presión, consumo...) cuya variación indique un problema en el activo, decidiendo si intervenir en el mismo.

Pretende encontrar el punto de equilibrio entre la economía y la seguridad, siendo el mantenimiento más seguro. Consta en determinar el estado de los componentes en servicio buscando un indicio previo al fallo. Realiza una estimación de los fallos más comunes de los elementos ferroviarios para obtener la curva de desgaste o fallo y su probabilidad de incidencia, por tanto, el mantenimiento de estos será previsible, evitando fallos graves y reduciendo la cantidad de estos.

Provocará que las paralizaciones que se produzcan sean las justas y necesarias y se realicen bajo una planificación programada. Con este mantenimiento se obtiene un alto grado de aprovechamiento de todos los elementos y por ende un menor impacto ambiental, ya que logra aumentar la disponibilidad del activo y ser más rentable. También se logra reducir de forma notoria el coste empleado en materiales. Es por ello que este tipo de mantenimiento es uno de los más avanzados y requiere de grandes medios y conocimientos técnicos, por lo cual se recomienda estudiar el coste de implantación y ahorro que la misma supone.

No obstante, algunos de sus inconvenientes es el elevado gasto en la inspección de todos los elementos ferroviarios ya que se tendrá que recurrir a la creación de nuevas estructuras o equipos, así como aumentar el tiempo de mano de obra o personal. Cabe destacar que este sistema, aunque sea más preciso, puede llegar a tener fallos a la hora de previsión. Es por ello que se debe manejar cierto grado de error y cuanto mayor cantidad de datos se recopilen más preciso será. Por otro lado, cabe destacar las dificultades para optimizar la fuerza de trabajo, lo cual nos induce a hacer uso de herramientas de software.

5.1.2.4 Mantenimiento cero

Consiste en realizar sobre el activo operaciones que lo dejen a “*cero horas de funcionamiento*”, es decir, como si el elemento fuera nuevo y no contara con horas de funcionamiento. Se realiza de acuerdo a un plan de mantenimiento o cuando se identifica que el equipo disminuye su rendimiento. En estas operaciones se sustituyen o reparan todos los componentes necesarios para dejar el equipo sin desgaste alguno.

El objetivo de este mantenimiento es alargar la vida útil del activo de forma controlada.

5.1.2.5 Mantenimiento en uso

Es un tipo de mantenimiento de baja intervención. Consiste en operaciones elementales para la prevención como por ejemplo inspecciones visuales, limpieza o lubricación. No es necesaria una gran formación del personal de mantenimiento, por lo que puede llegar a ser realizado por los propios usuarios del equipo.

El Mantenimiento en uso es la base del Mantenimiento Productivo Total (TPM).

5.1.3 Mantenimiento Productivo Total

El Mantenimiento Productivo Total (MPT) tiene su origen en Japón y su objetivo es definir el modelo de mantenimiento más eficaz que sirva como base a cualquier tipo de servicio de diferente naturaleza.

Es entendido no como un tipo de mantenimiento, si no como una estrategia, debido a que está compuesto por un conjunto de actuaciones que tienen como objetivo eliminar mermas en el periodo productivo debidos al mal estado de los equipos. Mediante esta estrategia se garantiza que tanto los elementos como los equipos se encuentren en correcto estado para producir al máximo de su capacidad, haciendo referencia a su nombre.

Entre sus principales objetivos cabe destacar los siguientes:

- Cero accidentes laborales
- Cero averías en los equipos
- Cero defectos en la producción
- Cero pérdidas de rendimiento

Esta estrategia pretende en hacer participar a la mayor cantidad de personal involucrado en los procesos de mantenimiento posible, de forma que se garantice una mayor participación y transparencia.

Una de sus funcionalidades es asignar tareas de mantenimiento que sean básicas y que no requieren de gran cualificación del personal, por lo que se pueden adquirir con una simple formación. A continuación, se muestra un listado con algunos ejemplos de tareas objeto de aplicación en el presente documento:

- Inspecciones visuales
- Limpieza y engrase
- Registro de lecturas
- Arreglo de averías sencillas

Los beneficios que nos aporta este tipo de estrategia son múltiples, tanto organizativos y productivos como a nivel de seguridad y salud del personal. Además, nos permitirá aumentar la productividad y eficiencia de los procesos de mantenimiento ya que nos permitirá aumentar la producción y reducir los costes, optimizando la disponibilidad de los equipos y evitando así inhabilitaciones en el servicio.

5.2 Mantenimiento Correctivo vs. Preventivo vs. Predictivo

En el presente apartado se pretende establecer las diferencias entre un mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo, de cara a mejorar la gestión del mantenimiento en los Talleres de València Sud.

De acuerdo a lo descrito en el apartado 5.1.2.1 del presente documento, el mantenimiento correctivo tiene por finalidad devolver las prestaciones de su estado inicial a todos los elementos que hayan presentado algún tipo de fallo, ya sea en una reparación menor o en su totalidad mediante una sustitución. Es por ello que no se establece una planificación previa y dichas actuaciones se realizan a medida que acontecen, caracterizándose por ser un mantenimiento reactivo ante la aparición de una avería. No obstante, puede llegar a ser planificado para así evitar que afecte, en la medida de lo posible, al tiempo de servicio del activo.

Este tipo de mantenimiento puede ser aplicado a elementos de baja criticidad, es decir, para los cuales no se requiera un alto nivel de seguridad, técnico o no supongan grandes costes económicos derivados del mismo. Una de sus grandes ventajas es el ahorro en los tiempos de planificación, alargando la vida útil de cualquier elemento.

Sin embargo, su principal inconveniente al definirlo como modelo de mantenimiento es que no es muy efectivo ya que los tiempos de parada del activo son mayores, produciéndose así altos costes en inventarios, aumentando el stock de partes críticas y reduciendo la calidad.

Una de las propuestas para lograr prevenir este tipo de incidencias inesperadas es creando una política de mantenimiento proactiva, donde el principal objetivo será prevenir y programar el mantenimiento para lograr reducir, en la medida de lo posible, las averías inesperadas. De esta manera se logra conseguir un mantenimiento más eficiente y efectivo.

Para llevar a cabo este tipo de propuesta se llevará a cabo un mantenimiento sistemático, en el cual entra en juego el Mantenimiento Preventivo y Predictivo.

El Mantenimiento Preventivo, conforme a lo definido en el apartado 5.1.2.2 del presente documento, pretende prevenir los fallos en los activos. Este tipo de mantenimiento se llevan a cabo sin tener en cuenta cuál es la condición o estado actual del elemento o equipo a reparar o sustituir. Por todo ello, uno de sus principales inconvenientes es que genera altos costes de mantenimiento que en ocasiones no son justificados, derivando en problemas en la planificación y generando un exceso de stock. Con la finalidad de optimizar el proceso de mantenimiento y bajo las limitaciones del mantenimiento preventivo, surge el Mantenimiento Predictivo.

El Mantenimiento Predictivo, de acuerdo a lo descrito en el apartado 5.1.2.3 del presente documento, consiste en programar las tareas de mantenimiento a realizar en un periodo, de forma que se realicen en el momento óptimo logrando priorizar las tareas más prioritarias e importantes. Para realizar dichas tareas nos basamos en cálculos, estadísticas o de acuerdo con las recomendaciones de manuales de fabricante, todas basadas en el tiempo de funcionamiento.

Con este tipo de mantenimiento se logra predecir y prevenir el número de averías imprevistas, reducir tiempos muertos y alargar la vida útil de los equipos y disponibilidad en activo, obteniendo a cambio una reducción de costes de mantenimiento, un aumento de la calidad y de la seguridad del servicio.

Para llevar a cabo el mantenimiento predictivo y facilitar su gestión, se hace uso de herramientas de softwares informáticos como por ejemplo GMAO (Gestión de Mantenimiento Asistido por Ordenador). Esta herramienta nos permite almacenar los recursos de la empresa

tales como; crear solicitudes de trabajo para los correctivos, generar órdenes de trabajo, gestionar recursos humanos o materiales, y poder llegar a gestionarlos.

A continuación, a modo de resumen, se presenta una tabla en la cual se establecen como comparativa las principales ventajas y desventajas de ambos modos de mantenimiento:

Tabla 5 - Resumen comparativo tipos de mantenimiento

CRITERIO	TIPOS DE MANTENIMIENTO		
	Correctivo	Preventivo	Predictivo
Detección fallo	Se detecta cuando existe la avería.	Prevención de fallos antes de que ocurran.	Detección temprana del fallo.
Paradas activo	Una parada no programada puede ocasionar graves consecuencias.	Programación de paradas en función de disponibilidad.	Programación de paradas en función de disponibilidad.
Fiabilidad	Nula	Alta	Alta
Formación y herramientas	No precisa sistemas de mantenimiento complicados ni personal altamente cualificado.	Precisa sistemas de mantenimiento más complicados y personal más cualificado	Precisa personal muy cualificado.
Coste	Coste cero durante todo el periodo de funcionamiento.	Mayores costes. En algunos casos hasta un 30% del gasto es inútil.	Costes favorables a medio y largo plazo.
			Inversión inicial elevada (formación personal y equipos de detección)
			Dificultades de introducción por reticencias del personal.
Producción	Baja	Mayor tiempo no productivo (paradas obligadas por revisión)	Alta

Como mejora a los procesos de mantenimiento dentro del Taller de València Sud, se propone realizar una evolución del Mantenimiento Preventivo al Predictivo, de forma que se logre predecir los fallos de los activos y evitar gastos injustificados e innecesarios.

Cabe resaltar que los diferentes tipos de mantenimiento pueden coexistir dentro de una planificación. Es decir, pese a que el mantenimiento de una empresa se base en el predictivo siempre va a existir tareas de tipo correctivo, que surjan de forma inesperada. No obstante, cabe destacar que con una correcta metodología este número de incidencias se pueden llegar a reducir de forma notoria.

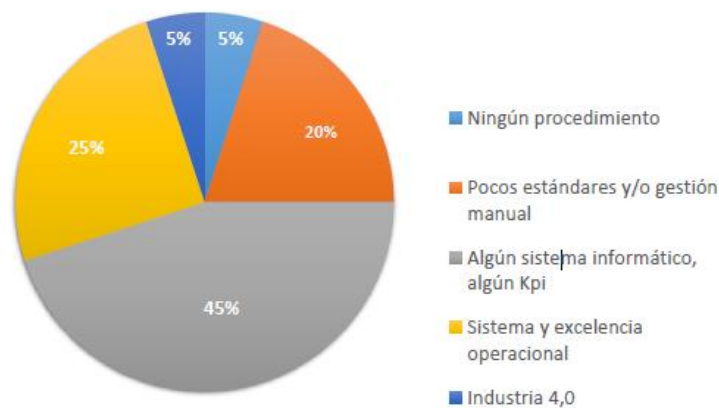
5.3 Situación actual y tendencia del mantenimiento

Como ya se adelanta en el apartado 5.2 del presente documento, la tendencia actual en el mantenimiento ferroviario consiste en aumentar los recursos en los mantenimientos predictivos y preventivo, de forma que se pueda predecir o reducir al mínimo la cantidad de mantenimiento correctivo.

Cada vez son más las empresas que deciden invertir parte del capital en digitalizar sus procesos. De acuerdo al II Estudio Smart Industria 4.0, publicado por el Observatorio de Industria 4.0, podemos afirmar que parte de las empresas se encuentran en proceso avanzado de digitalización y gran parte de ellas al menos cuenta con algún sistema informático.

No obstante, aún existe un 25% que no cuenta con ningún procedimiento, con pocos estándares o donde la gestión aún se realiza de forma manual. Esto genera un desequilibrio e incrementa la competitividad entre empresas de un mismo sector.

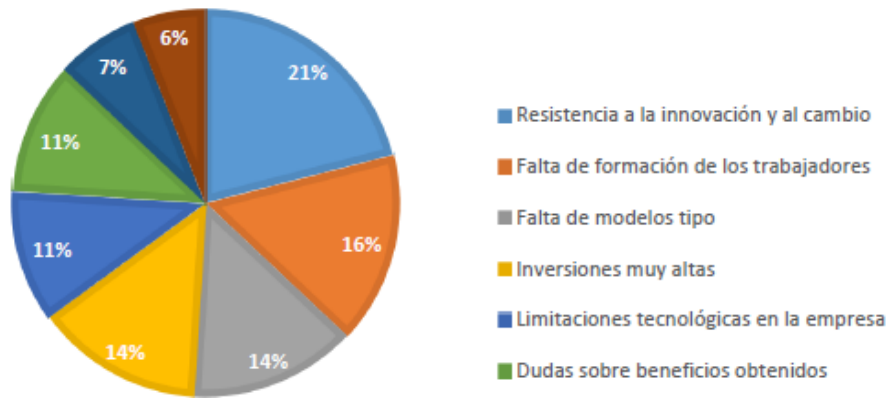
Figura 2 – Porcentaje de digitalización empresas. Fuente: II Estudio Smart Industria 4.0



La empresa FGV, y en concreto Metrovalencia, no cuenta con ningún tipo de monitorización en su servicio. Focalizándonos en el parque móvil ferroviario, objeto de nuestro estudio, podemos afirmar que los activos cuentan con muy pocos (o casi nulos) elementos de digitalización que faciliten las tareas de mantenimiento. Partiendo de la necesidad de optimizar los tiempos, costes y ser más competitivos como referente del sector, los encargados de Metrovalencia demandan optimizar los procesos de mantenimiento.

La digitalización aún se encuentra lejos de ser implementada en algunas empresas, ya sea por motivos culturales o económicos. Muchas de ellas se resisten a la innovación y al cambio, tal y como veremos en los siguientes apartados. Dicha resistencia puede estar motivada por una falta de formación de los trabajadores o referencias en modelos tipo. También encontramos limitaciones económicas, ya que una de las principales desventajas son los altos costes de implementación a los que algunas empresas no pueden hacer frente. Por último, cabe destacar la falta de información y las dudas ante los beneficios que pueden llegar a tener invirtiendo en un proceso de digitalización.

Figura 3 – Motivos y limitaciones de la digitalización. Fuente: II Estudio Smart Industria 4.0



En el presente documento se estudian y desarrollan las posibles limitaciones de Metrovalencia ante esta un proceso de digitalización, los costes derivados, amortización, así como las principales ventajas. Cabe destacar que todos los procesos de transformación deberán ser particularizados, adaptándose a las necesidades y a la cultura de cada empresa.

Algunas de las soluciones propuestas para conseguir dicha transformación son las siguientes:

- Refuerzo del pre-mantenimiento
- Mantenimiento según estado frente a mantenimiento cíclico o periódico
- Externalización de las operaciones de mantenimiento frente a medios propios
- Incorporación de sistemas de información a la gestión de mantenimiento

5.4 Propuesta de transformación tecnológica

En el presente estudio se apuesta por introducir unas pautas a la hora de realizar una transformación tecnológica, en fase inicial, dentro del Taller de Mantenimiento de València Sud. Además, se proponen y definen una serie de soluciones tecnológicas para implementar en el parque móvil ferroviario (ver apartado 0).

Con todo ello se pretende reducir la cantidad de incidencias de forma inesperada, mejorando la fiabilidad, durabilidad, seguridad y calidad del servicio. Además, se logra reducir los tiempos de mantenimiento y obtener una mayor planificación en los mismo, logrando un menor impacto económico. Por último, a pesar de la inversión inicial en la implementación de la tecnología se tendrá en cuenta que se logra reducir los costes de mantenimiento preventivo de las unidades.

Para una primera fase de transformación tecnológica en Metrovalencia se proponen las siguientes pautas:

- **Reingeniería del mantenimiento.** Se deberá adaptar los procesos de mantenimientos recomendados y estipulados por los fabricantes de los activos, los cuales suelen ser conservadores y poco actualizados. Se aconseja adaptar el mantenimiento a las condiciones de la explotación, así como recopilar y generar un histórico de datos que permita obtener información valiosa de cara a planificar los procesos.
- **Mantenimiento predictivo.** Para establecer un mantenimiento predictivo como base en la planificación, se deberá monitorizar gran parte de los elementos ferroviarios, en concreto el parque móvil.
- **Mantenimiento normativo y de seguridad.** Aunque los elementos del parque móvil a monitorizar (propuestos en el presente estudio) no afecten a la seguridad del activo, se deberá garantizar la seguridad de los componentes.

Otro aspecto importante a la hora de iniciar la transformación es garantizar a los trabajadores el alto grado de satisfacción que se obtendrá, al cual se hace referencia en el siguiente apartado.

En conclusión, el mantenimiento planificado logra aumentar la seguridad de los trabajadores y garantiza la producción. Además, produce ahorros en reparaciones de emergencia al lograrse reducir su probabilidad.

La gestión del mantenimiento industrial es imprescindible y para ello podemos ayudarnos de herramientas informáticas como GMAO (Gestión de Mantenimiento Asistido por Ordenador), a la cual se desarrolla en el apartado 9.1 del presente documento.

5.5 Método Jidoka

El método Jidoka es una metodología de origen japonés traducida al español como *Autonomización de los defectos* o *Automatización con enfoque humano*. Dicha metodología es uno de los pilares del “*Lean Manufacturing*” junto con el “*Just in time*”.

Su principal objetivo es lograr verificar la calidad durante la producción mediante sus propios mecanismos de autocontrol. Esto significa lograr que todos los procesos a realizar cuenten con controles automáticos de calidad, detectando posibles defectos o errores en los productos o procesos automáticamente y poniendo en conocimiento del mismo al operario.

Los cinco objetivos del método Jidoka, aplicados al sector ferroviario, son los siguientes:

- 1. Manejo efectivo del personal**
- 2. Calidad del servicio del activo**
- 3. Disminución del tiempo de producción**
- 4. Disminución de anomalías e incidencias**
- 5. Disminución costes**

A continuación, se muestran los cinco pasos para la aplicación del método Jidoka:

- 1. Identificación del problema.** El operario o el dispositivo detecta una anomalía en el servicio.
- 2. Parada.** El servicio se detiene para realizar el mantenimiento.
- 3. Alerta.** Se detecta, identifica y notifica la incidencia.
- 4. Solución rápida.** Se realiza la operación de mantenimiento más rápida y efectiva para poder seguir explotando el activo.
- 5. Investigar y corregir la raíz.** Se recopila un historial de fallos mediante una base de datos para identificar la causa común del problema y así aplicar una solución definitiva preventiva. También se puede llamar “*evento Kaizen*”.

Como principales ventajas podríamos destacar; la alta satisfacción del cliente, un incremento de la calidad del servicio, aumento de la producción, reducción de actividades que no aportan valor, reducción de costes a medio y largo plazo y obtención de plantilla cualificada.

Una de sus críticas es el posible descenso o despidos de los trabajadores, debido a que gran parte del trabajo que aporta poco valor o que es rutinario lo realizarán los elementos destinados a tal efecto, permitiendo así que los empleados realicen labores de mayor valor. No obstante, este aspecto puede llegar a generar un conflicto o discrepancia por los trabajadores, además de

suponer elevados costes iniciales debidos a los despidos, organización de la planta, formación o paros en la producción.

Los problemas que surgen en los procesos productivos y que son solucionados por el departamento de mantenimiento o los mismos operarios de los equipos, ha se de ser gestionado y evaluado para investigar y corregir sus causas. La gestión de estas operaciones puede ser realizada mediante un software informático, como por ejemplo el GMAO.

Con la digitalización del parque móvil ferroviario en Metrovalencia se lograría reducir el número de tareas que no aportan valor al empleado y por ende, destinar el tiempo en tareas menos rutinarias y que generen mayor satisfacción laboral.

Este concepto de trabajo viene ligado con el Lean Manufacturing, el cual pretende optimizar los procesos de producción.

5.5.1 Lean Manufacturing

El Lean Manufacturing es un modelo de gestión del trabajo que consiste en optimizar los procesos, eliminando todas aquellas operaciones que no generen valor a la actividad, logrando optimizar el sistema de producción.

Su objetivo principal es reducir las pérdidas producidas durante el proceso de fabricación, o en este caso mantenimiento, mediante la utilización de los recursos mínimos necesarios y con ello potenciando el valor añadido al cliente final o al activo correspondiente.

Este modelo considera que las personas son el capital más importante de una empresa, debido a que los trabajadores son los que se encuentran en contacto permanente con el trabajo a realizar y son las figuras principales encargadas de detectar los problemas y aportar soluciones a los mismos. Mediante el Lean Manufacturing se logra hacerles partícipes y transmitirles de forma clara qué es lo que el trabajador debe aportar a la empresa y comunicar a todos los niveles de esta, integrándose con un clima laboral excelente.

Algunos de los desperdicios o actividades que no aportan valor definidos son los siguientes:

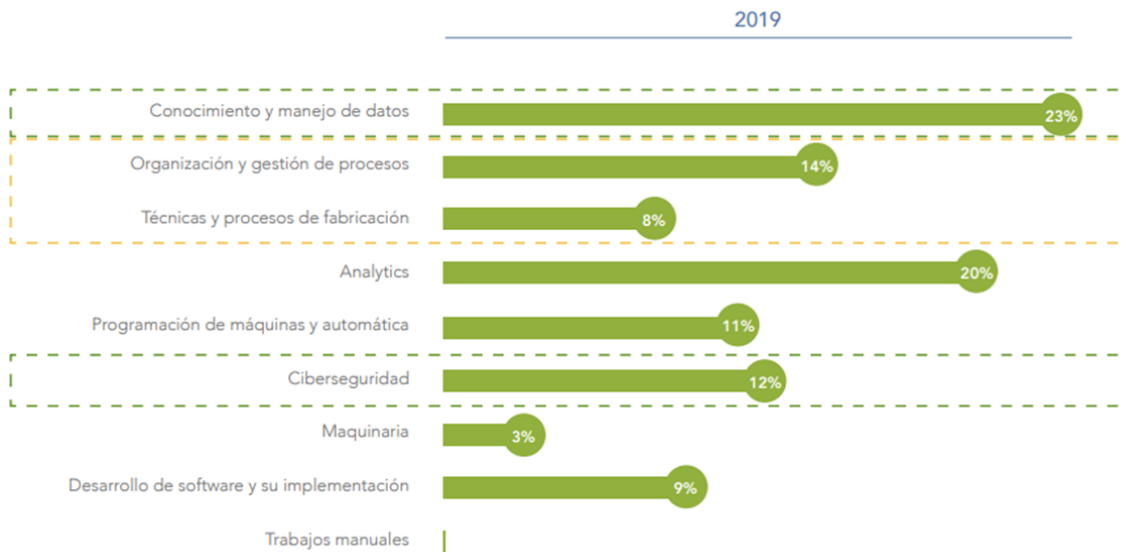
- Exceso de almacenamiento
- Sobreproducción
- Tiempos de espera
- Transporte o movimientos innecesarios
- Defectos en la producción y rechazos del cliente

Es por ello que se crean los siguientes objetivos, para lograr eliminarlos:

- Hacerlo de forma correcta a la primera, logrando eliminar los defectos.
- Eliminar actividades que no aportan valor
- Proceso de mejora continua, incrementando la productividad
- Implementar procesos “pull” produciendo bajo demanda o prioridades
- Flexibilidad
- Colaboración con proveedores
- Enfoque de venta

El Lean Manufacturing genera a las empresas grandes beneficios, transformándolas así en empresas más eficientes, efectivas e innovadoras, aumentando la productividad y mejorando la calidad, ventas y valor de la empresa.

Figura 4 – Estudio valoración empresarios conocimientos trabajadores. Fuente: II Estudio Smart Industria 4.0



Como se puede observar en la gráfica anterior, la aptitud que más valoran los empresarios es el conocimiento y manejo de datos, así como la organización y gestión de proceso. Frente a ello se refleja que los trabajos manuales aportan poco valor, siendo así tanto de cara al empresario como al trabajador. Cada vez más los trabajos manuales están interpretados como capacidades inherentes a la propia empresa.

A continuación, se presenta una serie de propuestas a realizar, previas a la transformación digital, en Metrovalencia. Todas ellas están basadas en el Método Jidoka y en el Lean Manufacturing:

- Desarrollar y presentar el proceso de transformación digital a los trabajadores.
- Aumentar la transparencia de implantación y demostrar ventajas.
- Informar y formar a los trabajadores en nuevas tecnologías.
- Proponer un plan de carrera o reubicar a empleados. Incentivar y motivar.

Por último y a título de resumen, cabe destacar que todo este proceso conlleva un cambio cultural en la empresa logrando: una reducción de costes, un aumento en la productividad y de valor añadido, y un mayor aprovechamiento.

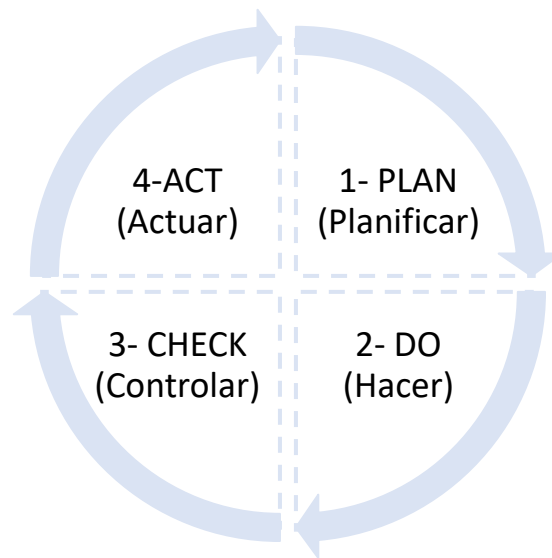
5.6 Ciclo DEMING

Para garantizar que una empresa se mantenga dentro de su sector en un entorno competitivo se requiere mejorar la calidad y eficiencia de sus servicios, así como adaptarse con rapidez a los constantes cambios.

Para ello se debe adoptar un Proceso de Gestión y una mejora continua con lo que se haga frente a la competitividad y se mejora la calidad de los productos, reduciendo los costes y fallos, logrando incrementa y optimizar la producción y por ende eliminar los posibles riesgos.

El Ciclo Deming consiste en un sistema para implantar un plan de mejora continua. Se encuentra compuesto por cuatro (4) etapas cíclicas, de forma que al finalizar la última del periodo el ciclo vuelva a repetirse. La principal ventaja es que los procesos de las actividades serán evaluados numerosas veces de forma periódica e incorporarán nuevas mejoras. A continuación, se presentan las diferentes etapas:

Figura 5 - Esquema proceso Ciclo Deming



- **PLAN (Planificar):** refiere a la primera fase y es la más influyente. Consiste en definir los siguientes aspectos mediante métodos como por ejemplo la búsqueda de nuevas tecnologías.

A continuación, se muestra un listado de ejemplo con algunas herramientas de planificación:

- Diagrama de Gantt: planificación y seguimiento de actividades y proyectos
 - Método de diseño intuitivo Poka- yoke: diseño a prueba de errores
 - AMFE: análisis modal de fallos y efectos
 - Lluvia de ideas (brainstorming): participación de todas las partes implicadas
- **DO (Hacer):** en esta etapa se realizará lo determinado en el plan, pudiendo comenzar como un periodo de prueba piloto.
 - **CHECK (Controlar):** en la tercera etapa se debe comprobar si la mejora implantada en el paso dos ha logrado alcanzar el objetivo definido mediante las herramientas de control como **Diagrama de Pareto**, Check lists o KPI's.
 - **ACT (Actuar):** en la última etapa de las cuatro fases se debe ajustar el plan de mejora. En ella se normaliza la solución adoptada para el problema y se establecerán las condiciones para que continúe en funcionamiento. En el caso de que se logre alcanzar el objetivo en la

prueba piloto la solución será adoptada e implementada como la definitiva. Si por el contrario no se logra cumplir con el objetivo deseado se deberá analizar el desarrollo y determinar los posibles errores para comenzar un nuevo ciclo. Con ello quedará cerrado el ciclo y se realimenta volviendo a la fase inicial.

Si nos basamos en estos fundamentos teóricos somos capaces de representar el esquema de proceso del Ciclo Deming propio, para Metrovalencia:

Figura 6 – Esquema proceso Ciclo Deming aplicado a Metrovalencia

Ciclo Deming - Metrovalencia	
<p>4.ACT</p> <ul style="list-style-type: none"> • Establecer ajuste de plan de mejora, en caso necesario. 	<p style="text-align: right;">1.PLAN</p> <ul style="list-style-type: none"> • Información y formación en nuevas tecnologías. • Identificación problema o actividad a mejorar en proceso de mantenimiento. • Definir objetivo. • Definir herramientas/ software para llevarlo a cabo. • Crear plan de transformación. • Crear fondo de inversión.
<p>3.CHECK</p> <ul style="list-style-type: none"> • Plan de seguimiento. • Verificar si se ha cumplido los objetivos. • Establecer grados o índices de incumplimiento. 	<p style="text-align: right;">2.DO</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verificar y aplicar las correcciones planificadas. • Introducir las modificaciones al plan inicial si el resultado de las correcciones no ha sido positivo. • Registrar lo desarrollado y los resultados obtenidos. • Formar al personal que deba aplicar las soluciones desarrolladas.

La realización de todas las fases nos permite optimizar las etapas del proceso mejorándolos y reduciendo al mínimo posible los fallos.

Para aplicar los principios del Ciclo Deming se hará uso de herramientas de mejora, las cuales tendrán como objetivo identificar puntos débiles en los procesos, productos y servicios. A continuación, se muestra un listado con algunas de las herramientas a utilizar:

- Análisis de valor: método utilizado para aumentar el valor de un producto o de un servicio.
- Método Kaien: consiste en buscar la mejora en todos los aspectos de la organización, como por ejemplo el **Método de las 5S**.
- Diagrama de afinidad: consiste en recopilar ideas y aspectos a mejorar y agrupar las ideas afines.
- Los cinco porqués: método basado en la realización de preguntar que tienen como fin relacionar causas-efectos que generan un problema en particular.

En la Norma ISO 9001 y ISO 14001 se hace referencia explícitamente al ciclo PDCA, al tratar la mejora de la gestión continua de calidad y de la gestión medioambiental respectivamente. El Ciclo Deming es por tanto sistema de ayuda necesaria para cualquier tipo de actividad que

requiera desarrollar un sistema de gestión y mejora continua, ayudando así a ser más competitivo y mejorar su desarrollo en un futuro.

5.6.1 Diagrama de Pareto

El diagrama de Pareto, también conocido como la regla del 80-20, define dos grupos de proporciones 80-20, refiriéndose al 20% como las causas responsables del 80% de las consecuencias y viceversa.

Mediante este principio se puede llegar a construir dicho diagrama, también conocido como curva cerrada o distribución A-B-C, conformando un gráfico que permite llegar a ordenar y clasificar los aspectos de mayor a menor frecuencia de ocurrencia.

En el diagrama se puede observar con facilidad la principal causa de una consecuencia para así determinar la forma de corregirla. Este tipo de método facilita el estudio de los fallos y nos ayudará a determinar un orden de prioridad a la hora de tomar decisiones.

El procedimiento para elaborar el diagrama de Pareto es el siguiente:

- 1- Determinar el problema
- 2- Identificar la causa
- 3- Definir el número de ocurrencias y un período de tiempo
- 4- Ordenar de mayor a menor de acuerdo al número de ocurrencias
- 5- Calcular el porcentaje y el porcentaje acumulado

Tabla ejemplo:

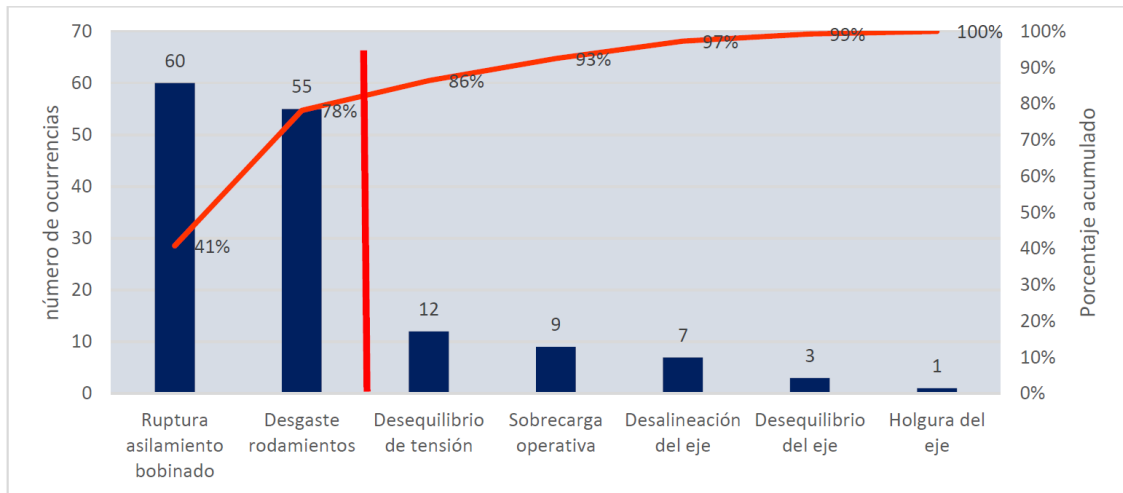
Tabla 6 - Ejemplo cálculo porcentaje y porcentaje acumulado de ocurrencias averías

Avería motor			
Causas	Ocurrencias	%	% acumulado
Ruptura asilamiento bobinado	60	40,82%	40,82%
Desgaste rodamientos	55	37,41%	78,23%
Desequilibrio de tensión	12	8,16%	86,39%
Sobrecarga operativa	9	6,12%	92,52%
Desalineación del eje	7	4,76%	97,28%
Desequilibrio del eje	3	2,04%	99,32%
Holgura del eje	1	0,68%	100,00%
Total	147	100,00%	

- 6- Muestra de resultados gráficamente: El gráfico estará compuesto de las causas, la frecuencia acumulada y de la división. Una vez representadas, superpondremos las causas y la frecuencia acumulada, separando la proporción 80-20.

Gráfico ejemplo:

Figura 7 – Gráfico relación número de ocurrencias, tipo de avería y porcentaje acumulado



Finalmente, mediante la obtención del diagrama, se puede llegar a analizar los resultados obtenidos para tomar las decisiones sobre las nuevas medidas.

Un GMAO puede ser una herramienta de gran ayuda a la hora de controlar las acciones de mantenimiento y de identificar con facilidad el análisis de fallos y causas de los mismos.

5.6.1.1 Sistema ABC para el control de inventarios

El análisis ABC, basado en el Principio de Pareto o regla 80/20 (definido en el apartado 5.6.1 del presente documento), consiste en segmentar productos, proveedores, clientes...etc. Su principal objetivo es clasificar inventarios y organizar las mercancías distribuyéndolas de acuerdo a su relevancia.

Aplicando este sistema a la regla 80/20 se podría afirmar que el 20% de los artículos llegan a generar el 80% de los movimientos o el 80% de los objetivos del almacén.

La clasificación de las referencias es la siguiente:

- **Categoría A:** aproximadamente el 20% de las referencias representan en torno al 80% de la importancia en el almacén.
- **Categoría B:** aproximadamente el 30% de las referencias representan el 15% de su importancia.
- **Categoría C:** en torno al 50% de las referencias representan solo el 5% del peso en el almacén.

Dicho peso, usado para clasificar los artículos, puede llegar a calcularse de las siguientes maneras:

- **Clasificación ABC por rotación:** las mercancías son ordenadas en función de su nivel de utilización de acuerdo con su velocidad de renovación.
- **Clasificación ABC por coste unitario:** las mercancías son ordenadas en función de la inversión destinada a cada una de ellas.
- **Clasificación ABC por valor total de inventario:** se tiene en cuenta las unidades en stock de cada referencia y se multiplican por el coste unitario.

- **Clasificación por utilización y valor:** refiere al método más extendido y eficaz en el que se tiene en cuenta el valor de la mercancía y la demanda de las mismas. Con ello se consigue una valoración fiable ya que se deben cumplir los ambos aspectos.

Si se quiere afinar más en dicha clasificación se puede llegar a combinar ambos parámetros con el margen de beneficio o el impacto ante una rotura de stock.

Una vez que se realiza este análisis de clasificación en las tres categorías, se puede llegar a establecer diferentes estrategias para el control del inventario de acuerdo con su clasificación:

- **Categoría A:** representan los artículos más importantes para el almacén. Por ello se deberán destinar recursos y esfuerzos para controlar su stock. Se deberán evitar posibles roturas de stock y realizar conteos con cierta frecuencia.

La ubicación destinada en el almacén para las categorías A serán las zonas bajas de acceso directo y fácil para los operarios, de cara a eliminar demoras de tiempos y aumentar la eficiencia.

- **Categoría B:** son los elementos que se encontrarán ubicados en la zona intermedia. Refiere al 30% de las referencias y se deberá prestar especial atención a los artículos por posibles cambios de categoría promocionando al grupo A o descenso al C.

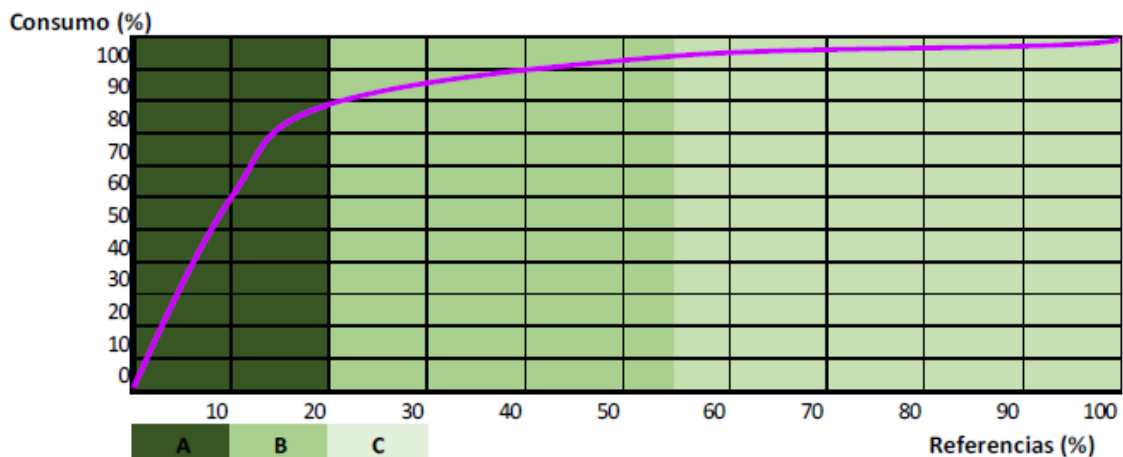
La ubicación destinada en el almacén será la zona intermedia, donde el acceso no es tan directo, pero no llegan a ser los más inaccesibles.

- **Categoría C:** engloba a los artículos o productos menos importantes. Se encuentran en torno al 50% de las referencias, pero sólo constituyen un 5% del valor, ya que cuentan con poca rentabilidad y se deberá valorar la conveniencia de mantener los mismos o no en stock.

No compensa invertir una gran cantidad de recursos al control del inventario de dichos artículos ya que los costes de almacenaje o esfuerzo pueden llegar a superar su valor.

A continuación, se muestra una gráfica que muestra la relación de las referencias frente al consumo, clasificándolas por categorías:

Figura 8- Gráfica clasificación A,B,C en función de %



Se propone hacer uso de este método de cara a controlar el inventario de repuestos de Metrovalencia, ya que el departamento de mantenimiento de una empresa tiene una importancia vital ya que puede influir directamente en los costes de la misma. Si se da el supuesto de que surge una avería y no existe stock de un repuesto, se podría llegar a originar una larga y costosa parada en la producción, influyendo directamente en los costes y dando lugar a tener que replantear la planificación prevista. Destacar también la importancia de las herramientas necesarias para ejecutar las reparaciones.

El software GMAO destinado para la gestión del mantenimiento puede ayudar en gran medida al inventariado y control de los repuestos y medios auxiliares necesarios en las tareas de mantenimiento. De esta manera se podría llegar a identificar cualquier tipo de incidencia en las operaciones previstas y evitar que las mismas afecten a la planificación.

5.6.2 Método de las 5S

Consiste en lograr que se mantengan y mejoren las condiciones de organización, orden y limpieza. Además de lograr mejorar las condiciones laborales, seguridad, clima, motivación y eficiencia. Es por ello que mediante la implantación de este método se logra obtener un proceso de mejora continua, incrementando la productividad, competitividad y calidad de la empresa.

Las “5S” hacen referencia a las iniciales de cinco palabras de origen japonés que describen las cinco fases del método:

FASE 1. SEIRI- Clasificación: identificar y clasificar los materiales necesarios de los innecesarios para dejar de hacer uso de estos últimos.

FASE 2. SEITON- Orden: definir el modo por el cual deben ubicarse e identificarse los materiales necesarios, para facilitar su identificación para utilizarlos y reponerlos.

FASE 3. SEISO- Limpieza: identificar y eliminar el origen de la suciedad.

FASE 4. SEIKETSU- Estandarización: poder distinguir una situación normal de una anormal mediante normas.

FASE 5. SHITSUKE- Disciplina: trabajar de acuerdo a las normas definidas.

Las tres primeras fases son operativas y orientadas al entorno físico, mientras que las dos últimas a personas.

5.6.2.1 Beneficios

Para obtener una mejora continua todos los implicados deben involucrarse en el objetivo, ya que las fases del presente método se fundamentan en el trabajo en equipo. Permite involucrar a todos los trabajadores en este proceso de mejora ya que son los que mejor conocen las labores a realizar, así como los puntos débiles y fuertes.

En el método de las 5s la calidad comienza por la propia persona y por el ambiente en el que se encuentra, es por ello que implementándolo se logra obtener los siguientes beneficios:

- Incremento de la productividad
- Mejora de las condiciones de trabajos en materia de seguridad y salud
- Reducción de pérdidas de tiempo y mayor rapidez tiempos de respuesta
- Incremento en calidad de servicio
- Bajo nivel de inversión para lograr su implementación

- Generación de cultura organizacional y disciplina personal
- Generación de mayor compromiso, responsabilidad, cooperación y trabajo en equipo.
- Mejorar imagen empresa
- Aproximación a implementar gestión de calidad total
- Mejora el ambiente del trabajador, ayudándolo a crecer
- Transformación física del entorno de trabajo, aumentando el orden y espacio

Una de sus ventajas más destacables es la capacidad de reducir los tiempos fijos de desplazamientos, los cuales no pueden ser optimizados.

6. Plan de Mantenimiento materia móvil (Serie 4300)

6.1 Ciclos de revisión: corto y largo

De cara al mantenimiento, los vehículos ferroviarios son un conjunto de equipos que para cumplir con sus características funcionales deberán de someterse a una serie de revisiones y operaciones que aseguren su correcto funcionamiento, con la fiabilidad y seguridad que se requiera.

En el Taller de València Sud se lleva a cabo las tareas relacionadas con el mantenimiento de las unidades de la Serie 4300, correspondientes a las líneas 1,2, 3,5,7 y 9.

Actualmente, se llevan dos tipos de mantenimiento correspondientes al ciclo corto y ciclo largo, denominados P y R respectivamente. Dicho mantenimiento tiene previsto ser realizado desde la puesta en marcha de los vehículos hasta el fin de su vida útil, tanto en el ciclo corto como en el largo. La periodicidad de las tareas de mantenimiento se basa en el manual del fabricante y han sido modificadas, tanto las frecuencias como las operaciones, de acuerdo a criterios técnicos basados en la propia experiencia o a las condiciones propias de la explotación del servicio. Con ello se ha logrado determinar unos ciclos cortos óptimos para todos los equipos.

A continuación, se muestra la secuencia de mantenimiento de ciclo corto y largo de la Serie 4300. Como se puede observar, se repite la secuencia de revisiones de ciclo corto de manera cíclica a excepción de las largas, que dependerán de los kilómetros recorridos.

Figura 9 - Secuencia de mantenimiento Serie 4300.

P1-P2-P1-P3-P1-P2-P1-P4-P1-P2-P1-P3-P1-P2-P1-R1	1 año
P1-P2-P1-P3-P1-P2-P1-P4-P1-P2-P1-P3-P1-P2-P1-R1	
P1-P2-P1-P3-P1-P2-P1-P4-P1-P2-P1-P3-P1-P2-P1-R1	
P1-P2-P1-P3-P1-P2-P1-P4-P1-P2-P1-P3-P1-P2-P1-R1	
P1-P2-P1-P3-P1-P2-P1-P4-P1-P2-P1-P3-P1-P2-P1-R1	
P1-P2-P1-P3-P1-P2-P1-P4-P1-P2-P1-P3-P1-P2-P1-R2	
P1-P2-P1-P3-P1-P2-P1-P4-P1-P2-P1-P3-P1-P2-P1-R1	
P1-P2-P1-P3-P1-P2-P1-P4-P1-P2-P1-P3-P1-P2-P1-R1+R2(AA)	
P1-P2-P1-P3-P1-P2-P1-P4-P1-P2-P1-P3-P1-P2-P1-R1	
P1-P2-P1-P3-P1-P2-P1-P4-P1-P2-P1-P3-P1-P2-P1-R1	
P1-P2-P1-P3-P1-P2-P1-P4-P1-P2-P1-P3-P1-P2-P1-R1	
P1-P2-P1-P3-P1-P2-P1-P4-P1-P2-P1-P3-P1-P2-P1-R3	

- **Planes de mantenimiento de ciclo corto (P):**

Existen cuatro tipos de revisiones (P1, P2, P3 y P4) y corresponden a las revisiones que se realizan con una periodicidad corta, llevándose a cabo en el día a día. Para realizar este plan de mantenimiento se tiene en cuenta cierto margen de tolerancia, que permita replanificar las tareas en caso de que estas no puedan ser realizadas.

En la siguiente tabla podemos observar la periodicidad con la que se repiten, dependiendo de los kilómetros recorridos o del tiempo de servicio. Una vez terminada la secuencia de mantenimiento de ciclo corto se procederá a realizar la de ciclo largo correspondiente.

Tabla 7 - Periodicidad operaciones ciclo corto en km y tiempo de servicio. Serie 4300.

OPERACIONES CICLO CORTO REVISIONES TIPO P					
CICLO	P1	P2	P3	P4	R1
Mínimo	6.315 km ó 20 días	14.130 km ó 1 mes + 1 sem	29.760 km ó 3 meses – 2 sem	59.520 km ó 5 meses	115.040 km
Medio	7.815 km ó 22 días	15.630 km ó 1 mes + 2 sem	31.260 km ó 3 meses	62.520 km ó 6 meses	125.040 km
Máximo	9.315 km ó 24 días	17.130 km ó 1 mes + 3 sem	32.760 km ó 3 meses + 2 sem	65.520 km ó 7 meses	135.040 km

Para realizar los cálculos del presente estudio se ha considerado un ciclo de tipo medio.

Se realizan en fosos que permiten el acceso a bogies, cofres y elementos de los costados de las unidades sin necesidad de llegar a levantar el tren. También se llega a trabajar a nivel de la caja y por encima de la misma gracias a las pasarelas existentes.



Ilustración 10 – Pasarelas del Taller de València Sud. Fuente: elaboración propia.



Ilustración 11 - Foso de Talle València Sud para revisión de bogies, rueda y remolque. Fuente: elaboración propia.



Ilustración 12 – Gatos de levante trenes Taller València Sud. Fuente: elaboración propia.

Las operaciones de ciclo corto serán las propuestas para monitorización en el presente estudio.

- **Planes de mantenimiento de ciclo largo (R):**

Son las denominadas R y existen tres tipos (R1, R2 y R3). Corresponden a las revisiones que se realizan con una periodicidad larga, clasificándose según sus kilómetros de recorrido, sin depender de una periodicidad de tiempo.

Requieren realizar una parada de 4 o 5 días del activo, en la cual se desmonta, revisa o cambian los componentes. En el caso de que la vida útil del mismo se haya agotado se procederá a realizar el traslado al centro de recogida autorizado.

Las de tipo R1 se realizan conforme a la tabla del apartado anterior, mientras que las de tipo R2 y R3 se realizan una vez cumplidos los km de recorrido establecidos en la tabla siguiente:

Tabla 8 - Periodicidad operaciones ciclo largo en km y tiempo de servicio. Serie 4300.

OPERACIONES CICLO LARGO								
CICLO	R2 (AA)	R2 (bogies)	R2 (caja)	R2 (neumática)	R3 (AA)	R3 (bogies)	R3 (caja)	R3 (neumática)
Mínimo	950.320 km	700.240 km	700.240 km	700.240 km	1.950.640 km	1.450.480 km	1.450.480 km	1.450.480 km
Medio	1.000.320 km	750.240 km	750.240 km	750.240 km	2.000.640 km	1.500.480 km	1.500.480 km	1.500.480 km
Máximo	1.050.320 km	800.240 km	800.240 km	800.240 km	2.050.640 km	1.550.480 km	1.550.480 km	1.550.480 km

Para realizar los cálculos del presente estudio se ha considerado un ciclo de tipo medio.

Se trata de revisiones severas para los activos y una mala planificación de las mismas puede producir cambios que afecten directamente a la productividad, plazos y por ende a los costes.

Durante este periodo de revisiones se procede a realizar una revisión en profundidad, desmontando los equipos para comprobar su estado. Los bogies son sacados con el fin de comprobar que todos los elementos, soldadoras, fluidos, etc. se encuentran en correcto estado.



Ilustración 13 - Bogies desmontados para revisión de tipo larga. Taller de Mantenimiento Valencia Sud. Fuente: elaboración propia.

7. Parámetros de medición – Indicadores de mantenimiento

Los indicadores de mantenimiento son mecanismos de control que nos permiten garantizar el cumplimiento y la calidad en la gestión integral, haciendo referencia a las instalaciones, maquinaria, personal y equipos. Los indicadores serán de utilidad para cualquier actividad empresarial que venga relacionada con la gestión, pero deberán de diseñarse indicadores específicos para el control de las actividades.

En definitiva, el objetivo de los indicadores es aplicar mecanismos de control para poder realizar una evaluación de la gestión llevada a cabo en el mantenimiento.

Existe un listado de indicadores de mantenimiento universales destacados por ser los más usados a nivel mundial, denominados World Class. La Norma UNE-EN 15341:2008 es la normativa internacional que se encarga de definir los indicadores relacionados con el mantenimiento a nivel económico, técnico y organizacional. La gran mayoría de estos indicadores se encuentran presentes en EcoGestor GMAO, destacando los siguientes:

- **Tiempo medio entre fallos [MTBF] o [TMEF]**
- **Tiempo medio para la reparación [MTTR] o [TMPR]**
- **Disponibilidad total [DE]**
- **Disponibilidad por avería [DAE]**
- **Coste de mantenimiento total [CMT]**
- **Tiempo de mantenimiento total [T.MAN]**

Cabe resaltar la relevancia de la calidad ante la cantidad, es decir, cada empresa deberá de realizar una elección de los indicadores que considere más relevantes en su mantenimiento. Un exceso de indicadores nos puede conducir a una menor indefinición del objetivo.

A continuación, se procede a definir los indicadores de la gestión integral de mantenimiento ferroviario:

7.1 Índices de disponibilidad

- **Tiempo medio entre fallos [MTBF] o [TMEF]:** medida de tiempo de buen funcionamiento (Medium time Between Faults), obteniendo la frecuencia de las averías.

$$MTBF = \frac{\text{Nº horas totales en el periodo de tiempo analizado}}{\text{Nº total de fallos en el periodo}}$$

- **Tiempo medio para la reparación [MTTR] o [TMPR]:** Tiempo de reparación (Medium Time To Repair). Representa el tiempo medio que se necesita para que los fallos identificados puedan ser reparados en condiciones de seguridad. Se considerará todo el tiempo que transcurre desde la inmovilización del vehículo en taller hasta su devolución para puesta en servicio. Permite conocer la gravedad de las averías producidas considerando el tiempo medio empleado en su reparación.

$$MTTR = \frac{\text{Nº horas paro por avería}}{\text{Nº total de fallos en el periodo}}$$

- **Disponibilidad total [DE]:** resultado de dividir el nº de horas que un activo ha estado disponible para producir y el nº horas totales de un periodo. Una vez obtenida la disponibilidad de cada uno se calcula la media aritmética para obtener la disponibilidad total.

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Horas totales} - \text{Horas paradas por mantenimiento}}{\text{Horas totales}}$$

$$DE = \frac{\sum \text{Disponibilidad de equipos significativos}}{\text{Nº de equipos significativos}}$$

- **Disponibilidad por avería [DAE]:** únicamente tiene en cuenta las paradas realizadas por averías, es decir, las intervenciones no programadas. No se consideran las paradas programadas.

$$DAE = \frac{\text{Horas totales} - \text{Horas paradas por avería}}{\text{Horas totales}}$$

$$DAE = \frac{MTBF - MTTR}{MTBF}$$

7.2 Índices de gestión de Órdenes de Trabajo

Por otra parte, contamos con los indicadores de Gestión de Órdenes de Trabajo el cual considera el número de órdenes generadas dentro de un periodo de tiempo determinado. Este indicador nos sirve para determinar la carga de trabajo en la empresa.

Puede ser analizado frente a los siguientes indicadores que nos permitirán evaluar la eficacia de las actuaciones:

- **Nº de órdenes de trabajo generadas por sectores o zonas**
- **Nº de órdenes de trabajo acabadas**
- **Nº de órdenes de trabajo pendientes**
 - Pendientes de repuesto
 - Pendientes de parada de un equipo
 - Pendientes por otras causas
- **Nº de órdenes de trabajo de emergencia (prioridad máxima)**
- **Horas estimadas de trabajo pendiente**
- **Índice de cumplimiento de la planificación:** es el indicador más importante ya que nos permite calcular la proporción de órdenes que se han acabado dentro de la fecha prevista o anterior a la misma, sobre el total de las órdenes. Permite calcular el grado de acierto de la planificación llevada a cabo.

$$\text{Índice cumplimiento planificación} = \frac{\text{Nº órdenes acabadas en la fecha planificada}}{\text{Nº órdenes totales}}$$

- **Desviación media del tiempo planificado:** cociente entre la suma de horas de desviación dentro del tiempo planificado entre el nº total de órdenes de trabajo:

- Desviación media sobre el momento de finalización

$$\text{Retraso medio} = \frac{\sum \text{Retrasos cada Orden de Trabajo}}{\text{Nº Órdenes de trabajo}}$$

- Desviación media de las horas/hombre empleadas en una operación de trabajo

$$\text{Desviación media} = \frac{\frac{\sum \text{Incremento de horas}}{\text{Personal necesario en todas las Órdenes de Trabajo}}}{\text{Nº Órdenes de trabajo}}$$

- **Tiempo medio de resolución Orden de Trabajo**

$$\text{Tiempo medio} = \frac{\text{Nº de Órdenes de Trabajo resueltas}}{\text{Nº horas dedicadas a mantenimiento}}$$

7.3 Índices de Coste

- **Coste de la mano de obra por secciones**
- **Proporción de coste de la mano de obra de mantenimiento**

$$\text{Coste de hora medio} = \frac{\text{Nº de horas de mantenimiento}}{\text{Coste total de la mano de obra de mantenimiento}}$$

- **Coste de materiales**
- **Coste de subcontratos**
- **Coste de medios auxiliares**

Figura 10 - Ejemplo tabla de cotes mantenimiento clasificado por secciones

EJEMPLO DE TABLA DE COSTES						
Año XXXX						
Secciones	Mano de obra	N.º horas	Materiales	Subcontratos	Medios auxiliares	Totales
A						
B						
C						
D						
TOTALES						

7.4 Índices de proporción de tipo de mantenimiento

Tabla 9 - Proporción de horas dedicadas a mantenimiento Taller València Sud. Fuente datos: FGV. Elaboración propia

	Horas	%
Mantenimiento preventivo	13.096	45,44%
Mantenimiento correctivo	5.047	17,51%
Planificación y gestión	6.500	22,56%
Conservación taller	2.100	7,29%
Formación	360	1,25%
Conducción	739	2,56%
Modificaciones	976	3,39%
Total	28.818	100%

Los índices de mantenimiento nos permiten interpretar en tanto por uno, o en porcentaje, la proporción de horas en cada tipo de mantenimiento respecto al total. Si realizamos un histórico de los mismos seremos capaces de valorar la evolución respecto a un valor objetivo. A continuación, a títulos de ejemplo, se muestra el cálculo del índice de mantenimiento programado y el correctivo, los cuales corresponden con la tabla anterior.

- **Índice de mantenimiento programado**

$$IMP = \frac{\text{Horas dedicadas a mantenimiento programado}}{\text{Horas totales dedicadas a mantenimiento}}$$

$$IMP = \frac{13.096}{28.818} = 0,45$$

- **Índice correctivo**

$$IMC = \frac{\text{Horas dedicadas a mantenimiento correctivo}}{\text{Horas totales dedicadas a mantenimiento}}$$

$$IMC = \frac{5.047}{28.818} = 0,18$$

- **Índice de emergencias**

$$IME = \frac{\text{Horas Órdenes de Trabajo prioridad máxima}}{\text{Horas totales de mantenimiento}}$$

7.5 Índices de Gestión de Almacenes y Compras

- **Consumo de materiales**

$$\% \text{ Consumo materiales mantenimiento} = \frac{\text{Valor de materiales consumidos para mantenimiento}}{\text{Valor total del material consumido}}$$

- **Rotación del almacén**

$$\text{Rotación} = \frac{\text{Valor repuesto consumido}}{\text{Valor del stock de repuestos}}$$

$$\text{Origen de materiales} = \frac{\text{Valor del material consumido del almacén}}{\text{Valor total del material consumido}}$$

$$\text{Rotación de almacén} = \frac{\text{Valor de materiales consumidos del almacén}}{\text{Valor del almacén}}$$

$$\text{Porcentaje de piezas con movimiento} = \frac{\text{Piezas que han tenido movimientos en un periodo fijado}}{\text{Nº piezas totales}}$$

- **Eficiencia en la cumplimentación de pedidos**

$$\text{Eficiencia de compras} = 100 - \frac{\text{Peticiónes de materiales no atendidos}}{\text{Nº pedidos cursados}} \times 100$$

- **Tiempo medio de recepción de pedidos**

$$\text{Tiempo medio de demora} = \frac{\sum \text{Demora de cada pedido}}{\text{Nº pedidos total}}$$

7.6 Índices de Seguridad y Medio Ambiente

- **Índice de frecuencia de accidentes**

$$I_f = \frac{\text{Nº de accidentes con baja} \times 1.000.000}{\text{Horas trabajadas}}$$

- **Índice de jornadas perdidas**

$$I_p = \frac{\text{Nº jornadas perdidas} \times 1.000}{\text{Horas trabajadas}}$$

- **Índice de tiempo medio de permanencia de residuos en planta**

- **Índice de frecuencia de incidentes ambientales**

$$I_i = \frac{\text{Nº incidentes ambientales graves} \times 10^6}{\text{Horas trabajadas}}$$

7.7 Índices de formación

- **Proporción de horas dedicadas a formación**

$$\% \text{ horas formación} = \frac{\text{Horas dedicadas a formación}}{\text{Horas totales de mantenimiento}}$$

- **Proporción de desarrollo del programa**

$$\% \text{ desarrollo} = \frac{\text{Horas de formación realizadas}}{\text{Horas de formación programadas}}$$

7.7.1 Análisis e interpretación de indicadores

Los sistemas de procesamiento son los encargados en convertir los datos obtenidos y registrados en información útil, para que la toma de decisiones sea más acertada y ajustada a la solución real y demandada.

Para estimar el estado y uso de ciertos componentes ferroviarios se hace uso de los indicadores de material rodante. Dichos parámetros de medición nos hacen evaluar los elementos, de forma individual y conjunta, en base a un valor de referencia para así poder llevar un seguimiento de su plan de mantenimiento y estimar posibles anomalías o roturas.

Mediante un sistema de procesamiento se puede llegar a convertir los datos obtenidos de los indicadores en información de utilidad, que nos permita identificar las carencias de la gestión y llevar a cabo actuaciones de mejora. Para ello se debe determinar una serie de parámetros que nos permitan comparar los resultados obtenidos y evaluarlos.

No obstante, se deberá definir los indicadores a utilizar para que al devolvernos los resultados sean lo más aplicables y específicos posibles.

Mediante un sistema de Gestión de Mantenimiento Asistido por Ordenador (GMAO), se puede realizar un cálculo de los indicadores de forma más rápida. No obstante, a la hora de llevar a cabo la automatización de su cálculo, se deberá tener cierta precaución y extraer un informe con todos los indicadores. Cabe destacar que, como ventaja, una vez automatizado el proceso, se podrá generar informes con la frecuencia deseada y con un mínimo esfuerzo.

Es recomendable no solo conocer el valor, sino su histórico para poder ver su evolución tendencial. Establecer una comparativa con periodos anteriores y saber si la situación ha mejorado u empeorado con respecto a las anteriores gestiones. También se fija un objetivo para cada índice con el fin de identificar si se han cumplido con los valores alcanzados o si por el contrario no.

8. Medidas a implementar – I+D+i

Tanto los sistemas electrónicos como los informáticos de los sistemas ferroviarios evolucionan a gran velocidad y pueden quedar obsoletos entre los 12 y 15 años de la vida útil del vehículo. Es por ello por lo que se requiere una inversión en los diferentes elementos de I+D+i para que los vehículos puedan optimizar su servicio con la infraestructura.

Las medidas descritas a continuación han sido redactadas con el apoyo del Departamento de Innovación de la empresa Talgo y la información obtenida de diversas empresas, referenciadas en el apartado 12 del presente documento. El objetivo de la digitalización o monitorización es obtener una mayor cantidad de información del parque móvil y aumentar la rapidez en el vuelco de esta a los técnicos de mantenimiento, facilitando las tareas de revisiones visuales. Además, se logra aprovechar los recorridos del tren durante el servicio para obtener información de la superestructura.

Cabe resaltar que algunas medidas no serán de necesaria implementación en todos los trenes, tan solo en los que tengan distintos recorridos. De esta forma se logra cubrir todo el recorrido de la línea y abaratar los costes de inversión. Se propone que dichos equipos podrán ser instalados en dos unidades o tres por línea de servicio. En el caso de elementos individuales que pretendan extraer información concreta de una unidad móvil se deberá monitorizar la totalidad de los vehículos.

8.1 Propuestas monitorización

A continuación, se presenta una serie de propuestas a monitorizar. La elección de las mismas se ha realizado a demanda y a criterio del responsable de Taller de València Sud.

Se ha tenido en cuenta que los componentes a monitorizar no estén relacionados con la seguridad del tren, pero sí con los referentes a la funcionalidad del mismo.

Un criterio importante en todas las propuestas es que la monitorización se realice de forma individualizada en cada sistema y no en su conjunto. Es decir, se debe instalar un sensor o equipo en cada elemento y este debe estar correctamente identificado. Esta solución nos permite la identificación y evaluación de cada elemento de forma individualizada, ya que los desgastes o fallos no se producen de igual forma, aun realizando la misma explotación. Además, permitirá un conocimiento exhaustivo de cada elemento por parte de la plantilla de mantenimiento.

Con el fin de facilitar las tareas de mantenimiento a los operarios se propone realizar un plano esquematizado con la identificación de cada elemento.

La digitalización del parque móvil ferroviario irá en función de la envergadura del plan de inversión de una empresa. Se ha de tener en cuenta que los rendimientos serán mucho mayores en función del número de elementos que se hayan llegado a controlar digitalmente.

8.1.1 Pantógrafos

Se realiza la comprobación manual del espesor de la banda de contacto. En el caso de que sea menor de 2 mm de carbón se procede a su cambio. En el caso de ser sustituida se procede a realizar la pesada. Esta operación es importante y se realiza cuando se cambian las bandas de contacto puesto que al ser nuevas pesan más y pueden llegar a desprender la banda del hilo de contacto, produciéndose chispazos.

Se requiere una preparación previa consistente ya que previo a cualquier operación se deberá realizar el corte de tensión de catenaria y establecer los protocolos de prevención de riesgos laborales pertinentes.



Ilustración 14 - Vista en planta banda de contacto del pantógrafo. Estación de Alameda. Fuente: elaboración propia.

Actualmente ya existen desarrollos maduros y soluciones comerciales completas que permiten examinar el estado del pantógrafo mientras un tren está en servicio (tecnología apta incluso para trenes de alta velocidad que vayan circulando hasta 300km/h) monitorizando parámetros como la fuerza entre el pantógrafo y la catenaria, el desgaste de la banda de contacto, si le faltan cuernos al pantógrafo o el grado de inclinación de la mesita (zona próxima al frotador). La tecnología está basada en la obtención de imágenes y su comparativa a partir de los planos 3D del pantógrafo (similar a la utilizada para el freno).

Una de las empresas especializada en esta tecnología y referente dentro del sector ferroviario es Camlin Rail. La solución propuesta es hacer uso del sistema Pantobot 3D³, el cual permite tener una imagen completa del estado del pantógrafo de manera segura y a tiempo real, sin necesidad de retirar los trenes del servicio. Esta solución ya está siendo implementada por operadores ferroviarios en Europa, América del Norte y Asia.

Pantobot 3D puede ser implementado de manera flexible, ya sea en una configuración de marco de montaje superior (OMF) o en el borde de la vía, o una combinación de ambas para adaptarse a los requisitos de los operadores ferroviarios.

³ Si se desea profundizar en las características técnicas de funcionamiento, se propone visualizar el siguiente video: <https://vimeo.com/530370602>

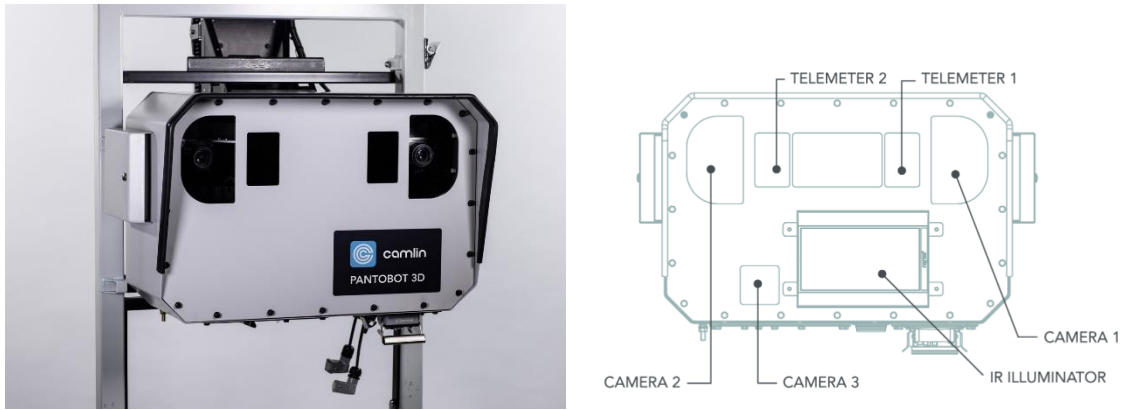


Ilustración 15 - Modelo de cámara Pantobot 3D. Fuente: Camlin Rail

El procesamiento en 3D se realiza conforme a la siguiente imagen. En ella se muestra como se analizan y combinan ambas cámaras estereoscópicas para crear un modelo 3D preciso del pantógrafo.

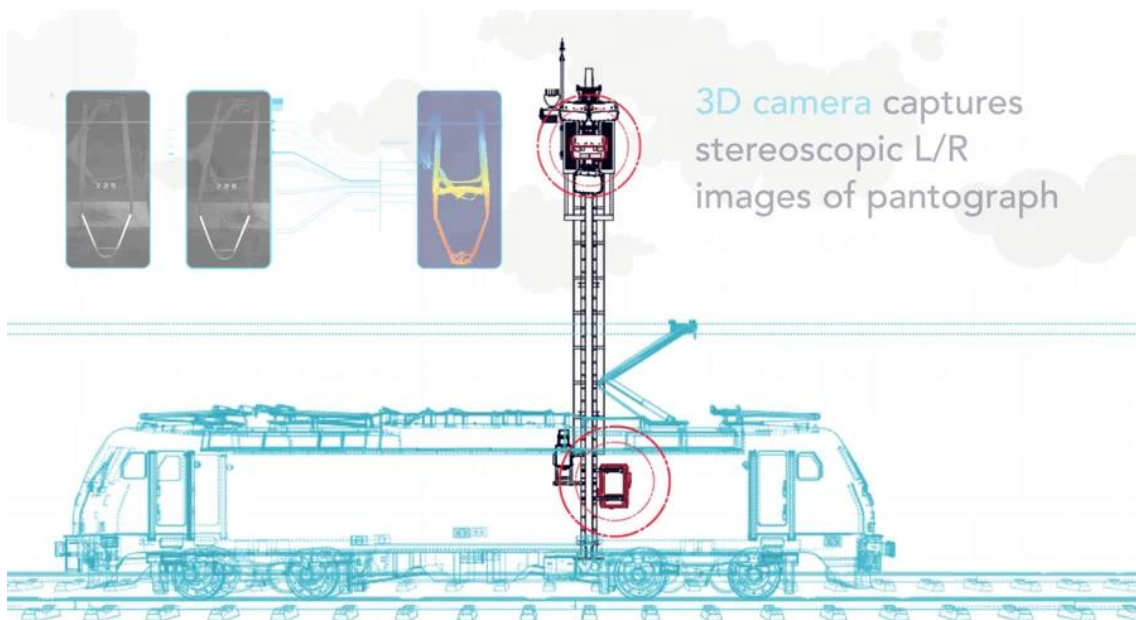


Ilustración 16 - Representación gráfica del procesamiento en 3D. Fuente: Camlin Rail

El análisis de la condición del pantógrafo se realiza mediante potentes algoritmos automáticos, los cuales evalúan el estado del pantógrafo en función de criterios que incluyen el estado de la banda de contacto (desgaste y astillado del carbono), la rotación de la banda de contacto, el grado de elevación, el contacto con la catenaria, la orientación de la cabeza, la ortogonalidad y los defectos en la estructura de la bocina. Los parámetros del pantógrafo que superen los valores del umbral activarán una alarma automática.

Algunas de las ventajas de hacer uso de esta herramienta son las siguientes:

- Nos permite realizar un trabajo más seguro, ya que elimina los riesgos de seguridad para el personal de mantenimiento, sin necesidad de acceder manualmente a la parte superior del coche.
- La inspección del pantógrafo, al estar totalmente automatizada, proporciona resultados altamente precisos y consistentes.

- Reduce el riesgo de avería de la línea y a su vez protege la continuidad del servicio, evitando así las paradas del activo. Con ello se permite que la disponibilidad de la flota quede optimizada y automatizada a tiempo real.

Finalmente, el pantógrafo permite realizar programas de mantenimiento predictivo. Como se ha argumentado con anterioridad, esta herramienta permite conocer el estado de los activos para respaldar y justificar el mantenimiento programado y la optimización de la flota. Se permite monitorear, dar seguimiento, registrar y valorar la tendencia según su estado. Esto nos permite registrar información valiosa sobre su estado, ahorrando los costes relacionados con la interrupción del servicio y los riesgos derivados de la inspección manual. Con todo esto, se pretende programar el mantenimiento predictivo de la flota lo que reduce drásticamente el peligro de que un pantógrafo dañado provoque averías en las líneas aéreas que afecten directamente a los operarios.

8.1.2 Rodadura

8.1.2.1 Discos de freno

Se miden una vez al año en las revisiones tipo R1 (ciclo medio), donde se comprueba el correcto estado de las zapatas de freno (guarniciones) y en caso de que el espesor sea menor de 6 mm se procede a su cambio. En los casos en los que se realiza un cambio de guarniciones se debe notificar al contraмаestre, etiquetar y guardar. Se ha detectado que en alguna ocasión de un año a otro el disco en lugar de desgastarse “ha crecido”. Esto se debe a una mala medición por parte del agente encargado de la revisión. Con una automatización de la medida se evitaría el error humano.



Ilustración 17 - Vista lateral bogies en foso. Serie 4300. Taller València Sud. Fuente: elaboración propia.

Por todo ello, se propone una tecnología que ya existe y está implementada, que consiste en la captación de imágenes con cámaras de muy alta resolución. Con ello se es capaz, mediante comparativa de fotogramas entre lo que se considera condiciones ideales (cuando el disco de

freno está nuevo) y las revisiones que se vayan realizando (estado del disco en ese momento) de determinar el desgaste y enviar una alarma cuando se haya superado el umbral máximo tolerable definido. Esto requiere, por una parte, colocar en la zona de las ruedas un dispositivo de captación (cámara de muy alta resolución); y, por otra parte, el desarrollo de un Software que recopile y compare la información obtenida, avisando de las anomalías detectadas.

No obstante, es verdad que los discos de freno son un elemento que conlleva una inspección visual que se realiza con una periodicidad anual. Por ello, lo que se suele automatizar por sufrir un mayor desgaste y requerir tareas de mantenimiento más frecuentes son los ferodos (pastillas de freno). Alstom ya cuenta con esta tecnología y está realizando un mantenimiento automatizado al respecto.

8.1.2.1 Ruedas y ejes

Actualmente la medición del ancho de las pestañas se realiza de forma manual. Unos equipos de medida automáticos nos permitirían detectar cualquier anomalía en la rodadura con el tren al paso.

Entre las principales ventajas de la monitorización cabría destacar:

- Las medidas podrían tomarse a distintas velocidades.
- La medición se realiza de forma automática, sin necesidad de realizarla manualmente lo que se traduce en una ventaja económica y un aumento de la calidad.
- Posibilidad de registrar las mediciones mediante una base de datos única. En ella se podría contar con los datos de todo el parque de vehículos con lo cual se permitiría un mayor conocimiento del estado de ruedas y ejes. Se asegura una trazabilidad de las medidas y una optimización de la duración, calidad y seguridad.

La empresa Talgo propone equipos de medida en 4 módulos (E.V.A., D.S.R, E.M.O y Shuntado), los cuales pueden suministrarse de manera totalmente independiente:

- **EVA – Equipo de medida de parámetros por Visión Artificial**

Consiste en controlar el perfil de la rodadura y la medida de los parámetros de la rueda, sin requerir contacto mecánico. La medición se realiza al paso del coche por la instalación con un rango de velocidad entre 1-50 km/h.

Algunos de los parámetros medidos por este módulo son los siguientes: altura y grosor de la pestaña, factor qr, distancia entre caras internas y/o activas (DCI y DCA, respectivamente), espesor de llanta, pendiente de la banda de rodadura, acunamiento de la banda de rodadura, ancho de llanta, cálculo del diámetro de la rueda.

Los parámetros a medir serán los definidos por el cliente en función de sus necesidades.

- **D.S.R. – Equipo de detección de Fallos Superficiales de Rodadura**

Un sistema de detección por ultrasonido identifica y cuantifica la degradación instantánea que pudiera aparecer en la banda de rodadura de las ruedas durante su circulación (fisuras, planos, cavidades, cambios en la estructura interna del material, etc.). La medición se realiza cuando circula el vehículo por la instalación con una velocidad máxima de 10 km/h.

- **E.M.O.- Equipos de Medida de Ovalización en rueda**

Detecta mediante tecnología de visión artificial la ovalización de las ruedas de manera fiable, precisa y económica.

Esta inspección se realiza de forma automática con el paso del vehículo por la instalación, a una velocidad máxima de 5km/h, sin ser necesaria la intervención humana.

- **SHUNTADO – Equipo de medida de shuntado de eje**

Detecta de forma rápida la resistencia eléctrica entre las ruedas de un mismo eje. Es una medición fiable, precisa y económica.

Para ello se hace uso de una tecnología de medición de resistencia eléctrica de elevada precisión, automatizando el proceso de medida al paso del vehículo por la instalación a una velocidad máxima de 10 km/h sin necesidad de intervención humana.

8.1.3 Areneros y limpiaparabrisas

Se comprueba el estado de los areneros de la parte izquierda y derecha, y se prueba su funcionamiento fuera de foso. En caso de encontrarse desabastecidos se procede a su relleno.

La solución propuesta consiste en monitorizar el nivel de arena mediante un sensor colocado en el interior del tren y un Software en el que se defina el nivel mínimo admisible para que haga saltar la alerta de necesidad de relleno.

En el caso del limpiaparabrisas, de igual forma, se comprueba el nivel de agua y en caso de ser necesario se procede a rellenarlo. El proceso se realiza en ambas cabinas.



Ilustración 18 - Vista frontal limpiaparabrisas tren Serie 4300. Fuente: elaboración propia.

La operativa para monitorizar el nivel de agua del limpiaparabrisas es la misma que en el arenero. De igual forma, se puede realizar una monitorización contabilizando el número de veces que es accionado el limpiaparabrisas. Esto nos permitiría estimar el número de accionamientos antes de que se agote el líquido y emitir un aviso para que el depósito sea rellenado.

8.2 Otras propuestas

Aun no siendo objeto del presente estudio, se presentan las siguientes propuestas de monitorización/ digitalización. Con ello se pretende mostrar ejemplos de otras tareas que, aunque no sean propias de un plan de mantenimiento del material móvil en taller, pueden ser también motivo del desarrollo de una tesis doctoral, junto al desarrollo de la implementación y ejecución de estos elementos a nivel de comunicación, gestión de la información, software y análisis.

Se hace una presentación desde propuestas de monitorización sencillas y no críticas, tales como contabilizar el número de aperturas de las puertas o el aire acondicionado, hasta algunas más complejas como la implementación de acelerómetros e inclinómetros. Estas últimas hacen referencia al mantenimiento de la vía y energía de catenaria, no siendo objeto de estudio, pero con especial interés en el desarrollo futuro.

8.2.1 Apertura de puertas

Se propone contabilizar el número de aperturas reales de las puertas de los coches durante un periodo determinado, ya que en la actualidad no existe ningún elemento que nos proporcione dicha información.



Ilustración 19 – Puertas coches Metrovalencia. Fuente: elaboración propia.

Se podría automatizar y digitalizar haciendo uso de visión artificial, técnica que, mediante la instalación de cámaras u otros dispositivos de captación de datos, se basa en la extracción de características como la geometría, los colores, los bordes, las esquinas... de los elementos a identificar en la imagen. En función de la complejidad del elemento a identificar, se crearía un algoritmo más o menos elaborado utilizando redes neuronales.

En definitiva, una vez que se hubiera conseguido identificar las puertas y entrenado el algoritmo con la posición abierta y cerrada, el conteo de la apertura de puertas sería automático y se podría obtener en tiempo real en una pantalla de ordenador o Tablet.

Esta tecnología ya se utiliza en el sector ferroviario para la detección de obstáculos en vía o el conteo de pasajeros en el tren. Una de las empresas pionera en este tipo de servicios es SigmaRail.

8.2.2 Aire acondicionado

Se desconoce el funcionamiento real del aire acondicionado de los coches, así como su temperatura. Es por ello por lo que se pretende cuantificar las horas de funcionamiento, obteniendo así la cantidad de tiempo que se encuentra en marcha. Con ello se permitiría conocer su uso real y además el tiempo de cambiado de los filtros.

Además, relacionándolo con la medida anterior, se propone sincronizar su funcionamiento con la monitorización de la apertura de puertas, para así poder ponerlas en funcionamiento cuando las puertas se encuentren cerradas. Esta medida podría mejorar notoriamente la eficiencia energética del servicio y poder optimizar costes y reducir la contaminación.

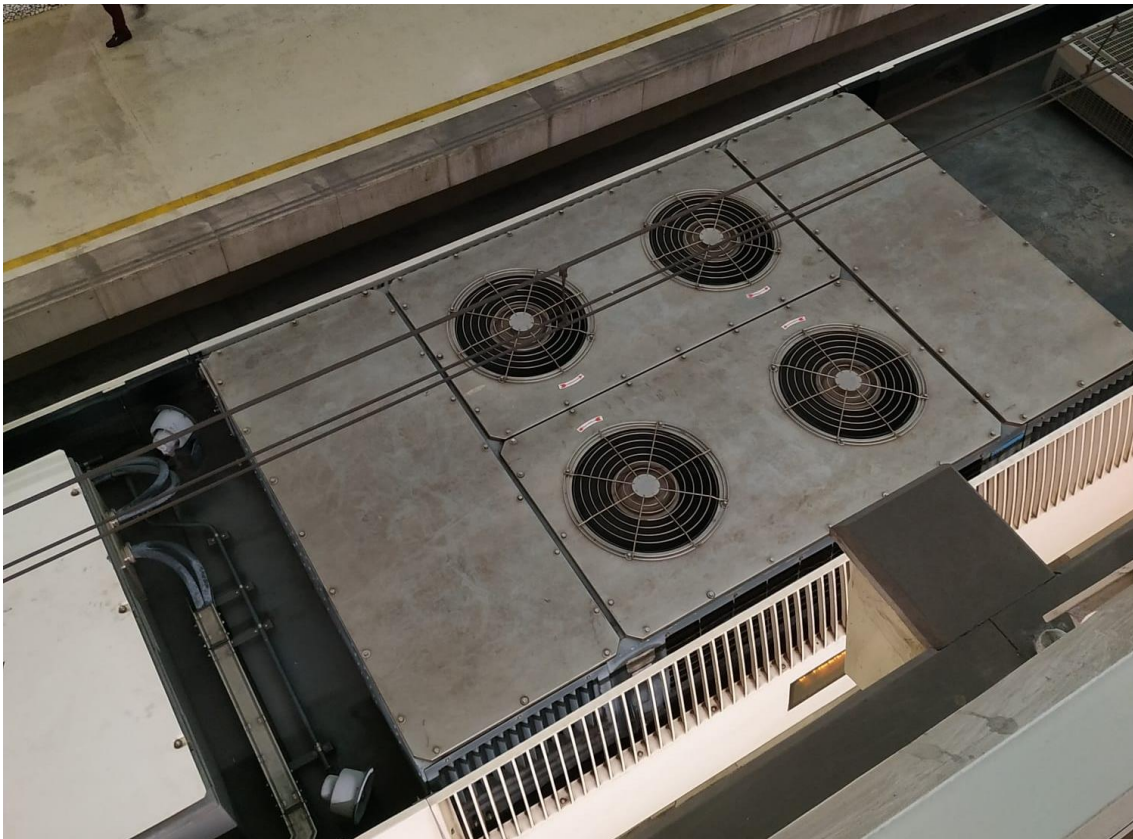


Ilustración 20 - Vista en planta aire acondicionado coche Metrovalencia. Estación de Alameda. Fuente: elaboración propia.

8.2.1 Imágenes videovigilancia

En la actualidad existen cámaras de vigilancia que velan por la seguridad y el correcto funcionamiento de los trenes o infraestructuras. Sin embargo, para obtener la información de estas se debe acudir a la zona de forma presencial y extraer dicha información. Se propone que, con el fin de reducir estos tiempos de mano de obra y digitalizar dicha información, puedan ser conectadas a un servidor. Esto nos permitiría conocer más información acerca del aforo de las estaciones o actuaciones vandálicas. Este aspecto resulta interesante ya que nos aporta información de cara al mantenimiento correctivo.



Ilustración 21 – Cámaras de videovigilancia estación y coche, respectivamente, en Metrovalencia.. Fuente: elaboración propia.

Además, en volcado de las imágenes se realiza en la actualidad de forma manual y bajo petición. Por ello se propone un volcado diario de forma automatizada mediante conexión a la

red Wifi. De esta forma se permite almacenar las imágenes sin necesidad de ser tratadas y ahorrar en desplazamientos de los trabajadores.

8.2.2 Implementación acelerómetros e inclinómetros y GPS

La instalación de estos elementos permitirá captar, registrar y volcar los datos de la infraestructura de cara al mantenimiento de la vía. Estos elementos aprovecharán el recorrido del tren en servicio y le servirá como toma de datos del estado de la vía, detección de baches, defectos de alineaciones (garrotes), etc.

Es una solución que se suele hacer con los trenes auscultadores, que suelen ser propiedad del administrador de la infraestructura (ADIF). En el caso de los fabricantes de material rodante, pueden instrumentarse trenes a demanda del cliente (el operador) para determinar si el tramo de vía por el que va a circular el tren que va a comprar presenta limitaciones de cara a la velocidad máxima.

A continuación, se muestra la herramienta SigmaQ, de SigmaRail, la cual permite la detección de deficiencias como la acumulación de balasto, desplazamiento de cable o movimiento de balizas.

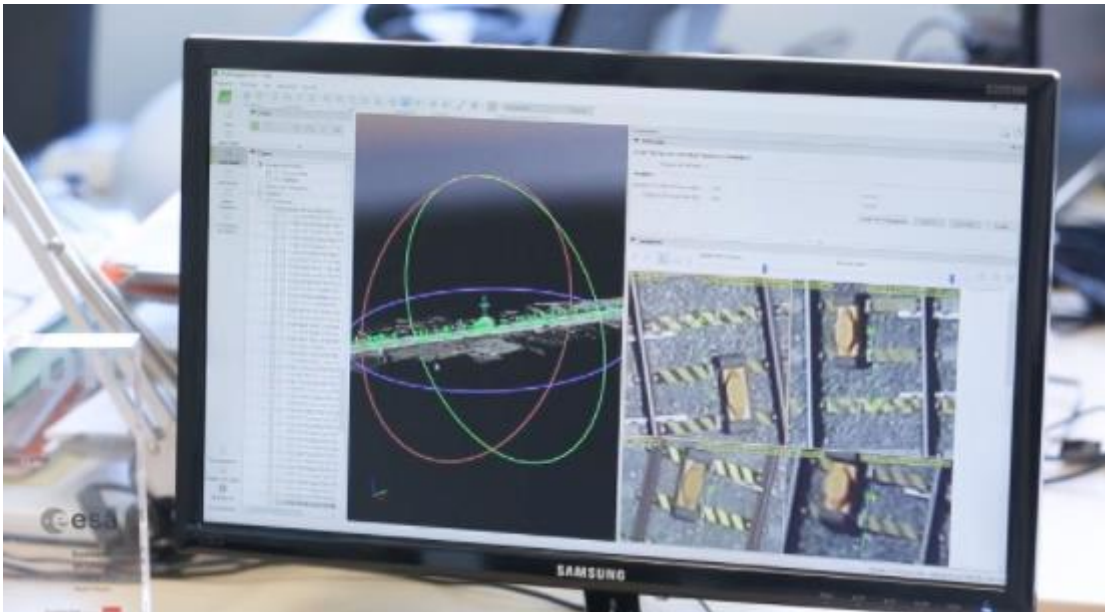


Ilustración 22 – Interfaz herramienta SigmaQ. Fuente: Web SigmaRail.

En Talgo, por ejemplo, utilizan el prototipo AVRIL que es el encargado de realizar ensayos en vía. Generalmente, para las certificaciones dinámicas o para probar tecnologías innovadoras que resulten de interés.

8.2.3 Implementación cámara en el techo de la unidad

Se propone la instalación de una cámara en el techo del vehículo móvil con el fin de grabar el comportamiento de la catenaria y pantógrafo. Esto nos permitirá disminuir los fallos graves de funcionamiento de la instalación a nivel funcional y así poder evitar posibles inmovilizaciones. Se trataría de una solución que ya está implementada en el mercado.

La solución consiste en instalar la cámara en el pantógrafo o en una zona de alrededor con buena visual y realizar una inspección del arco producido al contacto pantógrafo-catenaria (se ve un chispazo de luz). La inspección suele realizarse en tiempo real visualizando las imágenes grabadas y anotando las incidencias para luego trazarlas con el tiempo en el que se producen y el P.K. dado por el GPS.

8.2.4 Tensión del muelle del pantógrafo

Se pretende medir y vigilar la tensión que circula por el muelle del pantógrafo, ya que es importante que se encuentre a la tensión que se requiere con el fin de no perder el contacto con el hilo de la catenaria.

Mediante la aplicación de un transductor de fuerza se podría obtener la señal, que, en función de la variación del muelle, lograra obtener el esfuerzo de kilos sobre el hilo.

9. Organización operativa y administrativa

Para llevar a cabo el registro y planificación de las actividades, relacionadas con los tipos de mantenimiento anteriormente descritos, se hace uso de herramientas informáticas.

En el caso de aplicación en el Taller de València Sud las tareas de mantenimiento se registran mediante GMAO, con el fin de poder gestionar y planificar las averías. Con ello se permite optimizar los tiempos y evitar un colapso del taller. Además, sirven como bases de datos de cara al mantenimiento predictivo ya que nos permite conocer la tendencia con la que se repiten las incidencias o averías.

9.1 ECOGESTOR GMAO y Norma ISO 55001

El presente apartado pretende definir el funcionamiento de un GMAO con sus diferentes aplicaciones, limitaciones y tendencia temporal. Además, se presentará el marco normativo en el cual se desarrolla.

9.1.1 ECOGESTOR GMAO

Un GMAO es una herramienta software de Gestión de Activos físicos y Mantenimiento que nos permite gestionar los activos de una empresa de cara a un mantenimiento. Este sistema nos facilitará la identificación, registro y previsión de las diferentes posibles anomalías de los equipos, además de hacer más sencilla, transparente y eficaz la comunicación entre las personas

implicadas. Además, permitirá una puesta en común de la información obtenida, lo cual permite una toma de decisiones en común para la gestión de los activos. Otro de los aspectos importantes a destacar es que la herramienta se encuentra hiperconectado lo que nos permite acceder a los datos que se encuentran en la nube en cualquier momento y lugar para el cual se requieran.

En el siguiente esquema se muestran los principales implicados en el proceso de mantenimiento que de manera directa o indirecta tienen cierta relación con la herramienta.

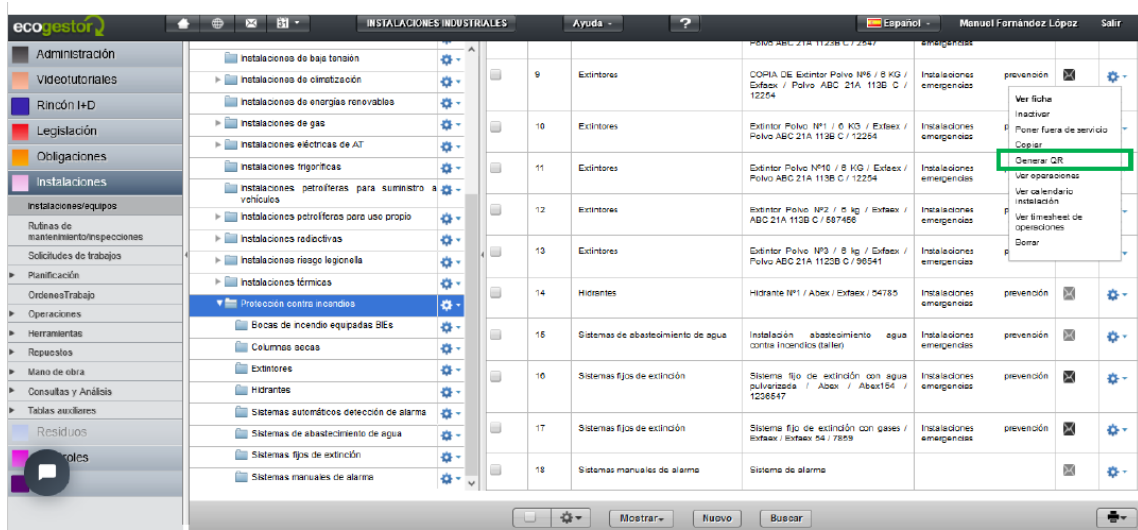
Figura 11 - Esquema implicados proceso mantenimiento



Por tanto, el GMAO nos permite recopilar la información con el fin de gestionar, priorizar, planificar e inventariar las operaciones. Una de las principales ventajas de la plataforma es que podemos acceder a la misma mediante la app o el ordenador. A continuación, con el fin de mostrar el funcionamiento y estructura de la plataforma se muestran la apariencia que tendrías las diferentes funciones:

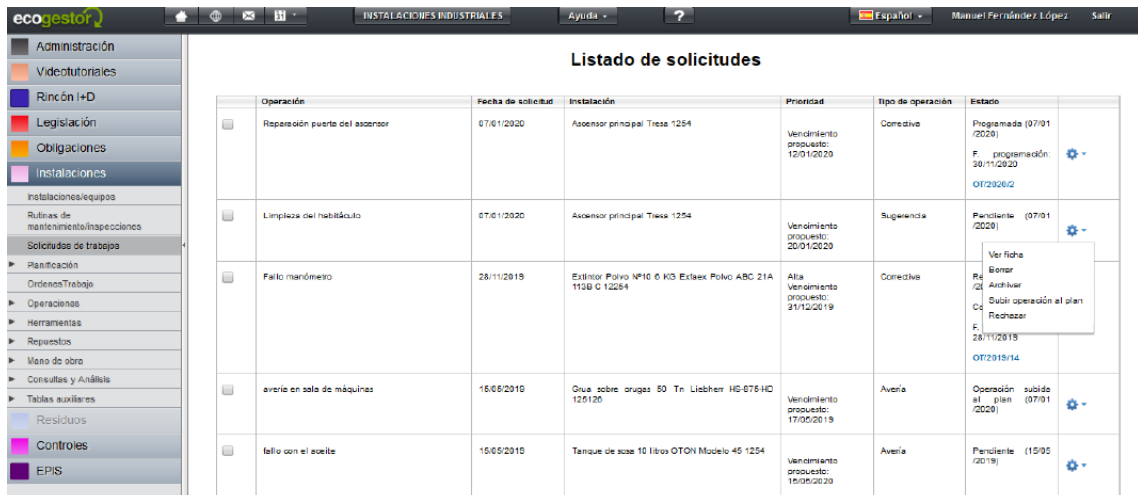
- Inventariado de equipos

Figura 12 - Interfaz inventariado de equipos. Ecogestor GMAO.



- Gestión de incidencias y averías

Figura 13 - Interfaz gestión de incidencias y averías. Ecogestor GMAO.



- Plan de mantenimiento preventivo y correctivo

Figura 14 - Interfaz plan de mantenimiento preventivo y correctivo. Ecogestor GMAO.

The screenshot displays the 'Operaciones' (Operations) configuration screen in the Ecogestor GMAO software. On the left, a sidebar menu includes 'Administración', 'Videotutoriales', 'Rincón I+D', 'Legislación', 'Obligaciones', and 'Instalaciones'. The main configuration area includes fields for 'Centro' (INSTALACIONES INDUSTRIALES), 'Tipo' (Protección contra incendios), 'Subtipo', 'Instalación', 'Componente', 'Localización', 'Tipo régimen', 'Prioridad', 'Tipo operación', and 'Vencimiento'. Below these fields are buttons for 'Tráas', 'Vencidos', and 'Fu. filtro'. The 'Operaciones' table lists maintenance tasks with columns for 'Operación', 'Instalación', 'Tipo operación', 'Fecha Vencimiento', 'Frecuencia', and 'Programación'. A 'Calendario por fechas vencimiento' (Calendar by due dates) is shown below the table, displaying a grid for the year 2020 with various maintenance tasks and their scheduled dates.

Operación	Instalación	Tipo operación	Fecha Vencimiento	Frecuencia	Programación
Limpier los extintores	Extintor Polvo Nº1 8 KG Edifax Polvo ABC 21A 1138 C 12254	Preventiva Rutina: Mantenimiento de autocontrol de extintores	13/05/2020	1 Año	OT/2019/11
INSPECCIÓN NIVEL C por Empresa Habilitada (Inspección fuera de servicio con prueba de presión) Prioridad: Alta	Extintor Polvo Nº2 6 kg Edifax ABC 21A 1138 C 587456	Preventiva Rutina: EXTINTORES de Incendios (RD 1942/1983)	26/02/2023	5 Año	Fecha Programación: 13/05/2020
Limpier los extintores	Extintor Polvo Nº6 6 kg Edifax Polvo ABC 21A 1123B C 2547	Preventiva Rutina: Mantenimiento de autocontrol de extintores	31/12/2019	1 Año	OT/2019/7
Revisar etiqueta	Extintor Polvo Nº8 8 kg Edifax Polvo ABC 21A 1123B C 2547	Preventiva Rutina: Mantenimiento de autocontrol de extintores	31/12/2019	8 Mes	Fecha Programación: 15/04/2018
REVISIÓN TRIMESTRAL por empresa mantenedora habilitada o personal de la instalación	Extintor Polvo Nº6 6 kg Edifax Polvo ABC 21A 1123B C 2547	Preventiva Rutina: EXTINTORES de Incendios (RD 1942/1983)	28/05/2018	3 Mes	OT/2019/3

- Gestión de órdenes de trabajo
- Módulo de almacén de repuestos
 - Consultar stock almacén
 - Alertas stock mínimo
 - Costes repuestos
- Módulo de gestión herramientas
 - Calendario disponibilidad
 - VALE reserva
- Módulo empresa externas y mano de obra interna
 - Disponibilidad horaria de operarios
 - Indicadores: carga de trabajo
 - Control proyectos: empresas externas
 - Control CAE accesos

Por medio de las anteriores funciones podemos llegar obtener indicadores para generar informes, consultas KPIS, gráficos o datos históricos entre otros. Todo esto nos permite llegar a una toma de decisiones inteligentes que nos permitan optimizar los recursos de nuestra empresa de cara a una mejora de los activos.

Como resumen de las principales ventajas podríamos citar las siguientes:

- Gestión y planificación sobre la actividad de mantenimiento.
- Gestión y optimización de los gastos.
- Facilidad para la consulta de datos históricos.
- Facilidad para obtención de ratios e indicadores.

9.1.2 Desventajas y limitaciones. Tendencia temporal.

No obstante, a pesar de ser una herramienta bastante útil cuenta con ciertas limitaciones ya que aún es necesario que los parámetros de los activos sean introducidos de forma manual. Por otra parte, se muestra una relación de los principales inconvenientes del GMAO:

- Alta inversión inicial para implantación.
- Burocratización del sistema.
- Veracidad de información.

Debido a estas desventajas o limitaciones es necesario realizar un análisis completo de la implementación de dicho servicio, ya que, a pesar de resultar una gran ventaja de cara a la informatización, en algunos casos excepcionales puede producir un efecto inverso ralentizando y encareciendo el mantenimiento. Esto se debe a que la función exclusiva de la herramienta es introducir datos o parámetros para poder transformarlos en información útil que nos facilite la toma de decisiones y en algunos casos llega a ser mal interpretada por las empresas como una herramienta totalmente autónoma.

No obstante, se ha determinado que el GMAO solo resulta contraproducente en entornos laborales donde se cuenta con un bajo número de activos, equipos o personal, resultando más efectivo no llevar a cabo dicha inversión y gestionando dichos datos por ella misma.

De forma cuantitativa podemos afirmar que la herramienta resulta adecuada y rentable para empresas con un número de personal de mantenimiento superior a 25 personas, siendo este el caso de aplicación del presente documento.

Por todo ello, la tendencia a futuro es poder llevar a cabo la integración de sistemas como ERP, MES, SCADAS o sensores que permitan captar dichos datos y volcarlos en la plataforma. De esta forma se lograría implementar un mantenimiento predictivo casi perfecto.

Por último, cabe destacar que todo GMAO debe ser personalizado para la actividad empresarial para la que está prevista, definiendo los objetivos y de qué manera vamos a conseguirlo.

9.1.3 Norma ISO 5501

La Norma ISO 5501 es un estándar a nivel internacional para la gestión de activos y pretende definir los diferentes requisitos de un sistema para la gestión de activos. Mediante el uso del Software GMAO se podrá cumplir con lo definido en la Norma ISO 5501, pudiendo llegar a gestionar y asignar las actividades de acuerdo con su prioridad y monitorizarlas a tiempo real. Como ventaja este software nos permite transmitir al personal de mantenimiento una visión 360° de la gestión de los activos, pudiendo acceder a registros auditables.

Por tanto, mediante el GMAO se puede garantizar el cumplimiento de la Norma ISO 55001, además de aportar valor añadido en la toma de decisiones de todos los integrantes en el proceso de mantenimiento.

A continuación, se muestra un listado con las diferentes ventajas que proporciona la utilización de un sistema GMAO, apoyando lo definido en la Norma ISO 55001:

- Planificación de los objetivos
- Comunicación interna y externa
- Información documentada
- Gestión de actividades externalizadas
- Monitorización del rendimiento de activos
- No conformidad de activos y acciones correctivas
- Acciones preventivas

La Norma ISO 55001 define un proceso estructurado, eficaz y eficiente que permitirá identificar las posibles carencias de la gestión y planificación de una empresa, corregirlas y generar valor en ejecución: gestión de costos, distribución de actividades y riesgos asociados. En definitiva, la Norma pretende aumentar el valor de los activos de una empresa, siendo los beneficios de su adopción los siguientes:

- Mejora en la gestión de oportunidades y sostenibilidad.
- Favorece retorno de inversión y valor de activos.
- Identifica fallos en procesos, procedimientos, desempeño de activos y logra reducir riesgos.
- Garantiza el crecimiento y desarrollo de la empresa mediante planes de implementación formales, colaborativos y coordinados.
- Toma de decisiones sólidas, alineadas con los objetivos organizacionales.
- Mejora la confianza de partes interesadas.

Eco GestorGMAO, en resumen, es una herramienta de software avanzada con un soporte técnico online nos permitirá tener actualizado la gestión de activos de un departamento de mantenimiento, cumpliendo así con lo definido en la Norma ISO 55001. Además, da la posibilidad de explotar la información de las órdenes de trabajo mediante indicadores, los cuales podremos consultar y nos ayudará a crear informes de mantenimiento y analizar la eficiencia del departamento.

9.1.4 Orden de Trabajo

Para llevar a cabo la identificación y registro de las incidencias a solventar en los vehículos ferroviarios, se hace uso de la “*orden de trabajo*”. Este documento informa al técnico de mantenimiento de la tarea que debe realizar. Además, en dicho documento se recogerán los datos de la intervención realizada, permitiendo así llevar un registro de las actuaciones llevadas a cabo sobre los mismos.

Su principal objetivo es controlar los recursos del departamento de mantenimiento, ya sean humanos, materiales o económicos. Dicha orden nos permite dar prioridad a las diferentes actuaciones a realizar de acuerdo con las necesidades operativas.

El aspecto que muestra mayor interés es la aplicación de sensores en determinados elementos de los vehículos, con el fin de ser más eficiente y llegar a desarrollar un mantenimiento del tipo Predictivo, evolucionando así desde un mantenimiento de tipo Preventivo al Predictivo.

A continuación, se muestra un listado con los diferentes datos que se recogen en dicho documento:

- Número de orden correlativo que la identifica de forma única
- Tipo de trabajo: preventivo, correctivo, normativo, urgencia...
- Fecha de programación y de realización
- Técnicos o empresas externas asignadas
- Prioridad de la intervención
- Duración de la intervención
- El equipo o instalación en el que se debe intervenir
- Las operaciones que se deben realizar
- Las herramientas y repuestos que se necesitarán, si se conocen
- Los riesgos del trabajo y los equipos de protección si fueran necesarios
- Firma

En resumen, un programa de gestión de mantenimiento GMAO ayudará a identificar, definir y registrar las órdenes de trabajo del departamento de mantenimiento de una empresa, gestionando y priorizando de acuerdo con la necesidad operativa. Además, mediante una previsión de los fallos de los diferentes elementos permitirá generar de forma automática el mantenimiento preventivo.

Esto permitirá estimar, bajo un ligero margen de error, la fecha fin de vida útil y poder rectificar las incidencias previo al fallo en nivel de servicio. Se recalca la necesidad de mantener dichos datos informatizados de forma que sea accesible para todo el personal implicado en las tareas de mantenimiento y permitir obtener avisos sobre posibles incidencias en los mismos.

A continuación, se muestra una plantilla ejemplo de una Orden de Trabajo:

Figura 15 - Ejemplo ficha recopilación de datos Orden de Trabajo

ORDEN DE TRABAJO				
REFERENCIA:				
TIPO:				
NOMBRE:				
DATOS ORDEN DE TRABAJO				
Solicitada por:	Fecha Programación:			
Programada por:	Fecha Realización	Fecha Inicio:	Fecha Fin:	
Prioridad:	Estado:			
Duración total OT:				
Fallo:	Causa:			
Observaciones:				
MANO DE OBRA				
Empresas Externas:				
Técnicos:				
HERRAMIENTAS				
Nombre		Unidades		
REPUESTOS				
Referencia	Nombre	Unidades	Coste Unitario	Total
COSTES				
Mano obra interna:	Coste Total:			
Mano obra externa:				
Repuestos:				
Otros costes				
EPI's / RIESGOS				
Nombre		Unidades		Riesgos
EQUIPOS / INSTALACIONES				
Nombre	Clase	Subclase	Localización	
OPERACIONES				
Operación	Equipo / Instalación	Observaciones	Conformidad	
FIRMA				
		Firmada por: _____		

9.2 Smart Motors: SAVANA

9.2.1 Introducción

Smart Motors es una empresa con más de 15 años de experiencia y nace como spin-off de Metro de Barcelona en el año 2009, debido a la falta de soluciones de Digitalización disponibles para cubrir las necesidades del sector ferroviario. Su sede se encuentra en Barcelona y ofrece servicio a nivel mundial a través de soluciones personalizadas y extensibles.



Ilustración 23 - Logo empresa Smart Motors. Fuente: Página web Smart Motors

SAVANA es una plataforma de digitalización creada y desarrollada por Smart Motors, que surge de la necesidad de centralizar todos los activos y tiene como finalidad optimizar los procesos y mejorar el mantenimiento.

9.2.2 El enfoque SAVANA

Entre las principales funciones de SAVANA, cabe destacar los siguientes aspectos:

1. La plataforma está diseñada para ser totalmente flexible, de fácil escalado, personalizable y sin restricciones. Está pensada para ser parte de un desarrollo de estrategia ágil.
2. Es inclusiva y por ello es capaz de racionalizar y absorber todas las pequeñas iniciativas de digitalización, siendo siempre colaborativo.
3. Es una herramienta respetuosa ya que integra nuevas soluciones de monitorización, plataformas específicas, hardware heredado y sistemas de terceros.

SAVANA no solo concierne a un departamento en concreto y trata de coordinar a todos ellos, para así también evitar inversiones por duplicado. Su funcionamiento está basado en un software que se apoya en inteligencia artificial, Big Data y otras herramientas que ayudan a convertir los datos en una optimización de la planificación y la gestión.

La finalidad de SAVANA es dar una solución “llave en mano” que consiste en desarrollar lo siguiente:

- Red de comunicaciones que utilizaría
- Servidor y servicio de computación en la nube
- Almacenamiento y administración de bases de datos
- Anti-hacking y ciberseguridad
- Widget y visualizaciones
- Plataforma de mantenimiento y troubleshooting

9.2.3 Problemáticas del mantenimiento

1. Falta de recursos
2. Periodos cortos de tiempo: debido a los amplios periodos de servicio del sector ferroviario y de sus horarios.
3. Inaccesibilidad y dispersión geográfica
4. Falta de conocimiento sobre la condición
5. Alcanzar los requisitos de los fabricantes
6. Distanciamiento social: reducir el tamaño de los equipos de mantenimiento

9.2.4 Propuesta de mantenimiento: Mantenimiento basado en condición

El Mantenimiento basado en condición consiste en disponer de los recursos en los activos donde el impacto sea mayor, es decir, en aquellos donde una avería o incidencia requeriría un mayor tiempo de paralización del activo para su reparación o sean puntos críticos debido a la seguridad o disponibilidad que se requiere.

Este tipo de mantenimiento pretende gestionar los recursos con el fin de que el impacto del mantenimiento sea mayor frente a la disponibilidad de la infraestructura. Para ello se analizan los puntos más débiles y se analiza donde se podría invertir para poder resolver esas carencias.

Se realiza mediante la fusión entre un GMAO y la implementación sensores o monitorización de equipos, considerándose como un “*mix*” entre el mantenimiento preventivo y predictivo.

Una de las principales ventajas de este tipo de mantenimiento es el aumento importante de la disponibilidad del activo, ya que se logra reducir de forma considerable las incidencias imprevistas. Además, resulta bastante fácil de optimizar la fuerza de trabajo requerida en dichas tareas logrando optimizar la carga de trabajo y llevando a cabo una mejor planificación que permita a los empleados realizar tareas de mayor valor. Por último, resaltar que se trata de un método totalmente flexible que es capaz de ser modificado y adaptarse a la cultura, recursos u objetivos de cualquier empresa.

Sin embargo, se debe considerar y evaluar sus riesgos ya que puede ser un método difícil de implementar debido a los posibles riesgos exportados originarios de las limitaciones establecidas por los fabricantes del material móvil en el mantenimiento.

Antes de llevar a cabo el anterior método la empresa deberá ser asesorada y evaluar algunos aspectos previos a su implementación. Se tendrá en cuenta lo siguiente:

- No es necesario supervisar todos los activos, sin embargo, tenerlos volcados todos en la misma plataforma es necesario.
- La prevención es moldeable pero inevitable, es decir, el fabricante del parque móvil será quién determine y rija los periodos que se deben seguir en el mantenimiento y a partir de ahí se podrá realizar una planificación específica a la empresa.
- Se necesita un esfuerzo significativo en el cambio cultural de la empresa y mucho coraje para implantar este método, ya que podría resultar rechazado por algunos empleados. Es importante que el personal entienda que las tareas que van a ser monitorizadas no van a suponer una pérdida si no simplemente una transformación a trabajos que aporten mayor valor a la empresa y produzcan una mayor satisfacción al operario.

Con este método de mantenimiento se pretende que el mantenimiento correctivo, preventivo, predictivo y por condición permanezcan en la misma plataforma de forma que puedan ser

planificados de forma conjunta y a su vez se prioricen de acuerdo con la importancia de los activos.

9.2.4.1 *Funcionamiento*

A continuación, se definen los pasos a seguir para llevar a cabo el mantenimiento basado en condición:

- 1- En primer lugar, se deberá volcar en la plataforma todos los datos de uso de los activos conocidos sin necesidad de ser monitorizados, tales como: ciclos de vida, tiempo de explotación, fechas últimos mantenimiento, tareas correctivas, tipos de tareas, número de trenes, datos de centros de control o RP...etc.
- 2- Obtenemos más información a través de monitorización de los equipos o de condición para posteriormente realizar una tipificación de averías o evaluar el estado real activo.
- 3- Por último, se aporta la información relativa a los recursos de la empresa tales como la formación a trabajadores, maquinaria, talleres, turnos de trabajo...

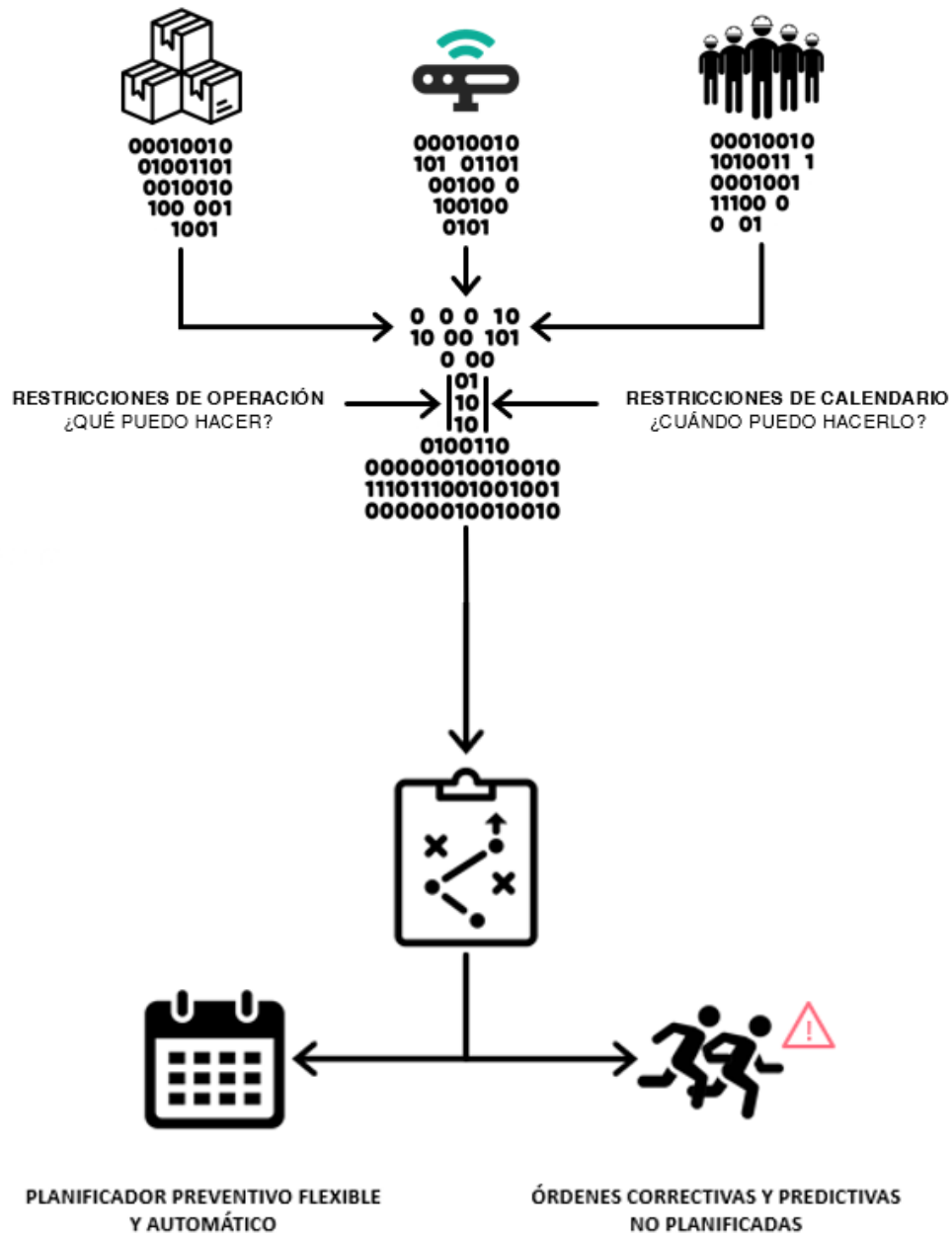
Cuanto mayor sea el número de datos introducidos más se asemejará el modelo a la condición real de los activos, permitiendo una planificación óptima de acuerdo con las necesidades.

Una vez introducidos todos los datos en la plataforma se pasarán por un filtro en el cual están definidas las restricciones operativas y de calendario, adaptando una vez más el modelo a las necesidades de la empresa ya que la planificación no podrá ser llevada a cabo si no establecemos los límites de los recursos de la empresa.

Estas restricciones nos permitirán analizar qué se puede hacer con los recursos para optimizar y mejorar los procesos. Además, se deberá introducir y tener en cuenta las restricciones de calendario para identificar cuándo puede ser el mejor momento para realizar un mantenimiento, coordinando horarios de trabajo de acuerdo con las jornadas laborales y periodos estacionales o festivos y prolongaciones de servicio que puedan afectar a la planificación prevista.

Una vez planificadas las tareas de acuerdo con las restricciones previstas se obtendrá el planificador del mantenimiento preventivo flexible y automático, y las órdenes correctivas y predictivas no planificadas. La herramienta es capaz de obtener datos que evidencien que existe un activo que está a punto de estropearse y planificarlo de forma automática en nuestro calendario.

Figura 16. Esquema conceptual funcionamiento SAVANA. Fuente: Smart Motors.



9.2.4.2 Integración de activos monitorizados y no monitorizados

Para llevar a cabo la planificación es necesario que los activos sean clasificados y jerarquizados de acuerdo con unos criterios que permitan dar prioridad a unos sobre otros. Dicha categorización se realizará de forma diferente en función de activos monitorizados y no monitorizados:

- **Activos monitorizados:**

En el caso de activos monitorizados se da una puntuación en base a cuatro (4) tipos de criterios diferentes, a continuación, descritos:

Figura 17 - Valoración activos monitorizados basada en criterios. Fuente: Smart Motors.



- **Condición:** Al realizar el mantenimiento por condición se está aplicando una ponderación mediante un cálculo matemático que determinará el estado del activo en función de dos criterios:
 - o estado que define el fabricante en su manual o ficha técnica
 - o muestra entera, solo tiene en cuenta el estado de la muestra en sí misma y no los criterios definidos por el fabricante. Se basa en los datos y en la experiencia de la empresa.
- **Modo de fallo:** se considera cuando la media del tiempo de funcionamiento se encuentra dentro de lo establecido, pero presenta una patología determinada, indicando que es similar a una avería que ya existe. Cuando sucede esto se valora con una nota inferior al resto.
- **Preventivo:** es el indicador de cuanto le falta al activo para alcanzar su máximo en la explotación dentro de unos valores asumibles.
- **MTBF:** refiere a la posibilidad de que siempre falle un activo independientemente de los criterios anteriores. Consiste en medir el tiempo entre fallas de forma que nos aporte una estadística diferente a las anteriores y que logre determinar cuándo va a fallar. Este indicador es importante porque, aunque el tiempo sin fallos sea muy largo se debe estar cautelosos de cara a averías imprevistas.

• **Activos no monitorizados:**

Consiste en dar una ponderación a los activos a pesar de que no se cuenten con unos datos obtenidos a partir de la monitorización de estos, basados únicamente en el mantenimiento preventivo y en el MTBF.

Figura 18 - Valoración activos no monitorizados basados en mantenimiento preventivo y MTBF. Fuente: Smart Motors.



9.2.4.3 Parámetros de calidad y analíticas - Criterios de mejora

Los criterios anteriores sirven para organizar un activo en base a su condición, pero presenta la limitación de no analizar a los activos en función a las condiciones y el entorno que le rodea. Es por ello por lo que cada uno presentará una serie de especificaciones de acuerdo con el medio que le rodea por lo que se deberá atender a su funcionamiento

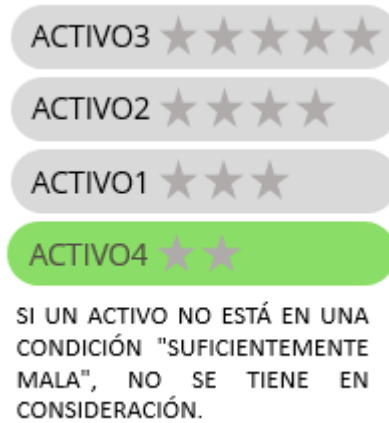
Se debe tener en cuenta que, aunque el mantenimiento se encuentre muy optimizado, la condición real nunca va a ser mejor que la condición inicial del activo. Es por ello que mediante el cálculo del radio de mejora somos capaces de comparar la condición inicial a la posibilidad de mejora.

Se comparará la condición inicial del activo previo y tras el último mantenimiento realizado, con el fin de valorar las mejoras realizadas y lograr prever la mejora del próximo mantenimiento y en función a ella se priorizará la tarea. Este procedimiento nos permite medir los incrementos de condición y establecer una predicción de su evolución. Por todo ello, no se le dará prioridad a un mantenimiento que no mejore el activo respecto a los realizados anteriormente.

Figura 19 - Cálculo del ratio de mejora de activos. Fuente: Smart Motors.



Figura 20 - Restricciones de priorización. Fuente: Smart Motors.



Por último, se clasificará el impacto aplicando restricciones de priorización. Es decir, si existe un activo que pese a contar con un buen incremento de condición no alcanza un "fresshole" determinado se procederá a sustraerlo del plan de mantenimiento.

Figura 21 - Agrupación activos. Optimización mantenimiento. Fuente: Smart Motors.

LOS ACTIVOS DEBEN AGRUPARSE PARA OPTIMIZAR EL MANTENIMIENTO:



Los activos se agruparán para optimizar el mantenimiento. De esta forma se gestionará la jornada de trabajo en función de la optimización del servicio y se ejecutará la que sea más eficiente, permitiendo saturar la jornada de trabajo y obteniendo un mayor impacto en la disponibilidad. Finalmente se colocará la planificación en el calendario en función a las tareas a realizar y evitando solapes por incompatibilidades en el servicio.

9.2.4.4 Creación automática de informes, alarmas y tareas

A continuación, como ejemplo se muestra la apariencia que tendría la herramienta para el calendario de mantenimiento automatizado, al cual tendría acceso el técnico pertinente o el personal encomendado de dichas tareas:

Figura 22 - Interfaz planificación semanal SAVANA. Fuente: Smart Motors.



La planificación cuenta con tres modos de funcionamiento siendo uno totalmente automático, otro manual y uno híbrido. En este último el planificador lo único que hace es validar las tareas de forma individualizada o diariamente.

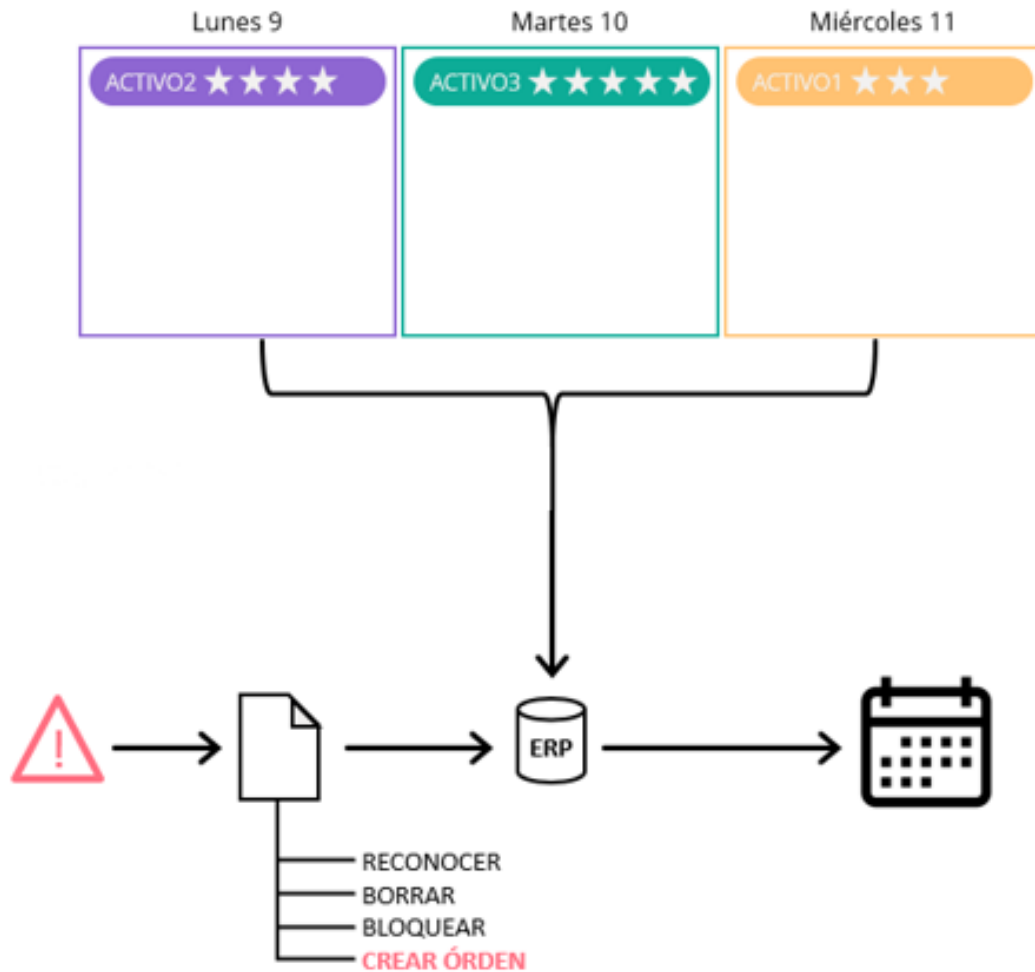
Las tareas planificadas de forma automática se crean a 40 días, de forma que si no son validadas en el periodo descrito se perdería la planificación diaria y el sistema las validaría automáticamente. Una vez que han sido validadas las tareas quedan registradas en SAP para poder llevar un registro de estas y que el servicio de mantenimiento esté constantemente actualizado de las operaciones realizadas.

No obstante, si no se realiza una validación la herramienta tiene una configuración que permite que al superar el “deadline” definido solo se lanzarán las tareas predictivas y se eliminarán preventivas, ya que se entenderá que no son actividades críticas.

9.2.4.5 Planificador de órdenes de trabajo

Además de la planificación automatizada la herramienta permite crear e introducir de forma manual órdenes de trabajo ya que algunos mantenimientos de tipo correctivo deberán ser introducidos de forma puntual y esporádica de acuerdo con la demanda.

Figura 23 – Esquema creación de órdenes de trabajos. Fuente: Smart Motors.



9.2.4.6 Planificación automatizada del mantenimiento

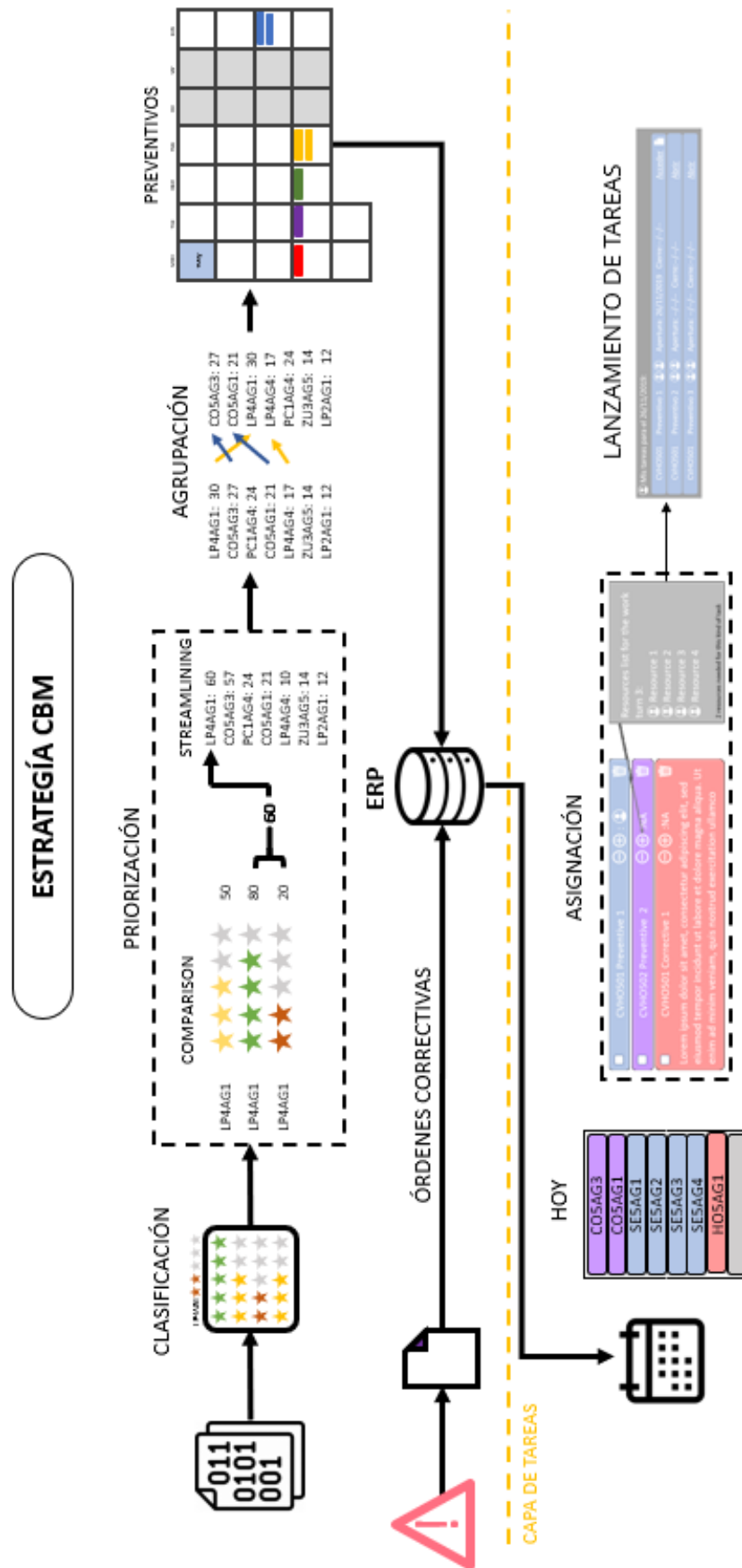
Las tareas correctivas no se clasifican a 40 días como las de carácter preventivo o predictivo, y son planificadas *As Soon As Possible* (ASSAP) ya que refieren a las más prioritarias. Además, el sistema cuenta con inteligencia artificial que genera reportes correctivos a partir de la información obtenida de los sensores instalados en los elementos, para que los gestores de mantenimiento puedan crear las tareas correctivas de forma manual.

Otra de las ventajas es que las tareas de mantenimiento pueden ser visualizadas por el operario y no tienen que ser asignadas por una persona concreta, por lo que pueden ser vistas nada más entrar a la jornada de trabajo mediante cualquier dispositivo digital, tales como un ordenador o una Tablet. Además, mediante estos dispositivos los operarios podrán hacer checklist del tipo de mantenimiento realizado y de las tareas encomendadas, así como proceder a su cierre y enviarlo a registro. Esta metodología logra que muchas de las tareas sean creadas de forma automática, por lo que no sería necesario asignarlas de forma manual y se logra ahorrar tiempos.

Cabe destacar la mejora de la gestión de procesos y registro de datos ya que no sería necesario el uso de papeles que luego deben ser subidos a SAP.

A continuación, a título de resumen, se adjunta un esquema con todos los procesos de la planificación:

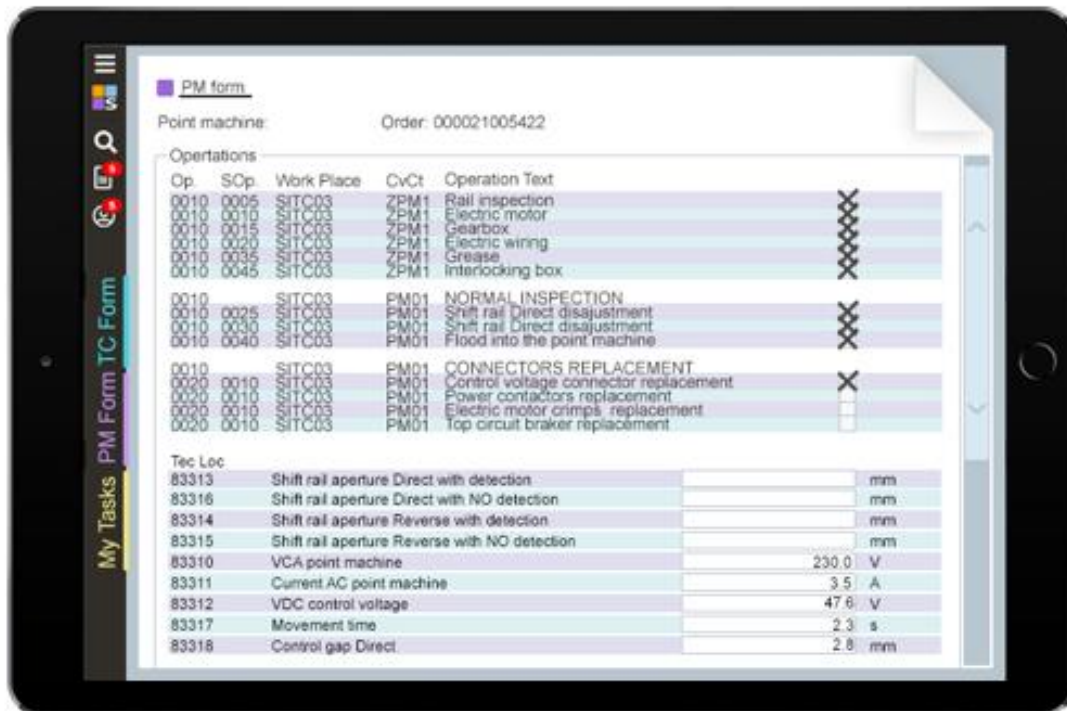
Figura 24 - Esquema estrategia CBM. Planificación automatizada del mantenimiento. Fuente: Smart Motors.



De acuerdo con el resumen anterior el primer paso para una correcta planificación del mantenimiento basado en condición sería una recopilación y volcado de datos, para posteriormente clasificarlos de “mejores activos a peores activos”. Tras esto se realizaría la categorización de acuerdo con la posibilidad de mejora del activo respecto a su condición y su correspondiente priorización y agrupación según optimización del servicio en la jornada laboral. Por último, se gestionaría la planificación a través de la ERP y se introducirían las órdenes correctivas de forma manual, con el fin de completar todos los tipos de mantenimiento. Debemos de tener en cuenta que al final de dicha planificación todas las tareas pasarán por el filtro de tareas que serán las finalmente planificadas a realizar durante la jornada laboral.

A continuación, se muestra un ejemplo de checklist de verificación que podría visualizar un operario de mantenimiento. En el mismo se observan las tareas a validar y las variables analógicas tomadas a partir de los sensores, lo que permitiría ahorrar una gran cantidad de tiempo de cara a obtener valores de forma sistemática y rutinaria haciendo referencia a las tareas sin valor de las que hablábamos anteriormente.

Figura 25 - Checklist verificación de mantenimiento. Fuente: Smart Motors.



El operario se encargará de contrastar la información obtenida de la monitorización y el registro de los datos históricos mediante una gráfica. Además, podrá apoyarse en una inspección visual o con inteligencia artificial para comprobar si los datos obtenidos son correctos y en caso contrario identificarlo y corregirlo. Es importante tener en cuenta que deberá prevalecer el criterio del operario y que la herramienta tiene la utilidad de ahorrar tiempos, seguridad y eficiencia, para ser un apoyo al mismo. Es por ello por lo que todo proceso que implique a activos que deban servir un alto grado de seguridad deberán ser validados por un operario.

Finalmente, si las tareas de mantenimiento son satisfactorias se sube a ERP (SAP) y si no existiera este recurso se quedaría registrado en SAVANA. Además, esta metodología de mantenimiento permitiría para dar feedback al sistema, ya que retroalimentaría su inteligencia

artificial, que es la encargada de determinar patología que podría tener el activo a la hora de presentar una incidencia.

9.2.4.6.1 Libro de incidencias

Los libros de avería/incidencias pueden llegar a ser integrados en SAVANA, con la finalidad de que el registre los fallos o las anomalías detectadas durante el servicio. Dichas averías serían clasificadas como correctivas, teniendo prioridad en el mantenimiento y deberán ser introducidas de forma manual en la plataforma.

No obstante, están siendo integrados poco a poco ya que existe una gran cantidad de parámetros a analizar en un tren. Es por ello por lo que la plataforma se centra en los fallos más importantes y frecuentes. También se debe tener en cuenta que los trenes tienen muchas falsas alarmas ya que dichos sistemas no son muy inteligentes o no se encuentran muy desarrollados, por lo que gran cantidad de ellas son “falsos positivos”. Todas las alarmas previamente son filtradas y se traspasadas al centro de control.

La visión del maquinista en algunas averías, como por ejemplo vandalismo, no son incluidas en la herramienta, pero sí serán incluidas en el libro de mantenimiento, ya que algunas de ellas no son monitorizables. No obstante, son aspectos que se tienen en cuenta de cara a futuras posibles mejoras, pero previamente se requiere que sean demandadas por parte de la empresa.

Con respecto a nuestro caso de aplicación, cabría destacar que en FGV aún se sigue realizando los partes y los recibís mediante formato papel.

9.3 Ventajas CBM (Condition Base Management):

Las ventajas que se obtendrían con el CBM serían las siguientes:

- Aumentar la disponibilidad de los activos
- Lograr una gestión eficiente de los recursos
- Reducir los costes
- Seguimiento de estado real de los activos

Cabe destacar que el CBM no hace ahorrar costes directamente, si no hacer que los recursos con los que cuenta la empresa sean optimizados al máximo. La reducción de los costes será una decisión tomada por la empresa.

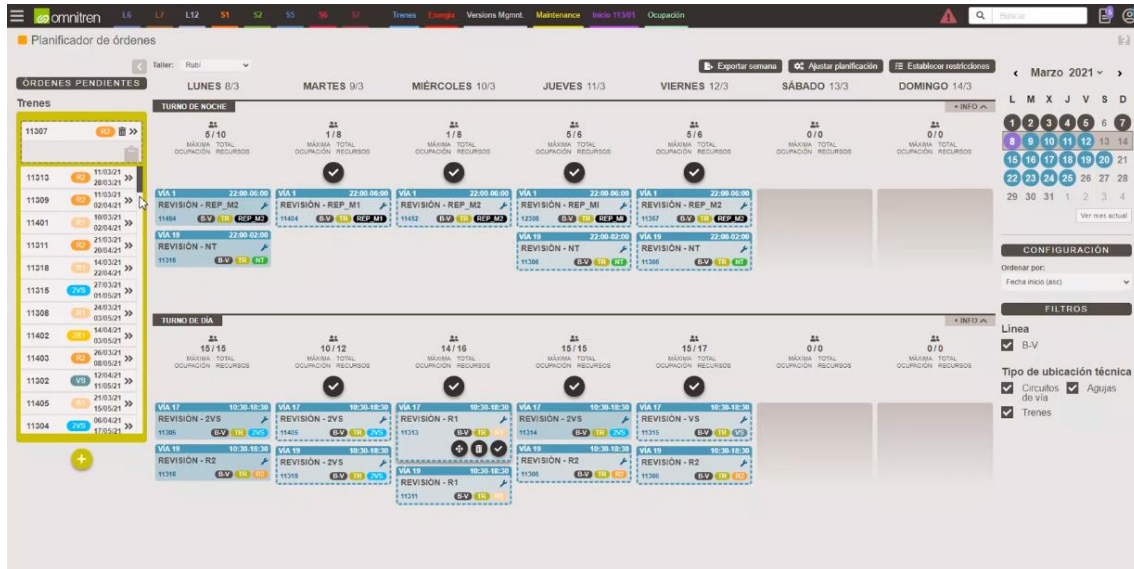
9.3.1 Gestión de recursos

La gestión consiste en optimizar los recursos de mano de obra de la empresa, tales como el número de trabajadores, turnos de trabajo, las competencias que tienen o las tareas pueden realizar. Además, también permite gestionar aspectos propios de los trenes como los talleres, la maquinaria de la que se dispone o el número vías.

Analizando la siguiente imagen, donde se vuelve a mostrar la interfaz de planificación, podemos observar que a la izquierda se muestran las órdenes de trabajo que van a saturar la jornada de trabajo y por tanto permitirán optimizarla al máximo posible. Dichas tareas son

asignadas a los turnos de trabajo e identifican al personal disponible. Una vez asignadas se va restando los recursos, teniendo en cuenta los días, la maquinaria o los repuestos disponibles...etc.

Figura 26 - Interfaz de gestión de recursos. Fuente: Smart Motors.



A continuación, se muestra un ejemplo de cómo sería una orden de trabajo generada de forma automática. En ella se puede visualizar el tren, la vía en la que se realizaría el trabajo, el tipo de mantenimiento y las fechas en las cuales está previsto ser realizado.

Figura 27 - Ejemplo orden de trabajo generada automáticamente. Fuente: Smart Motors.

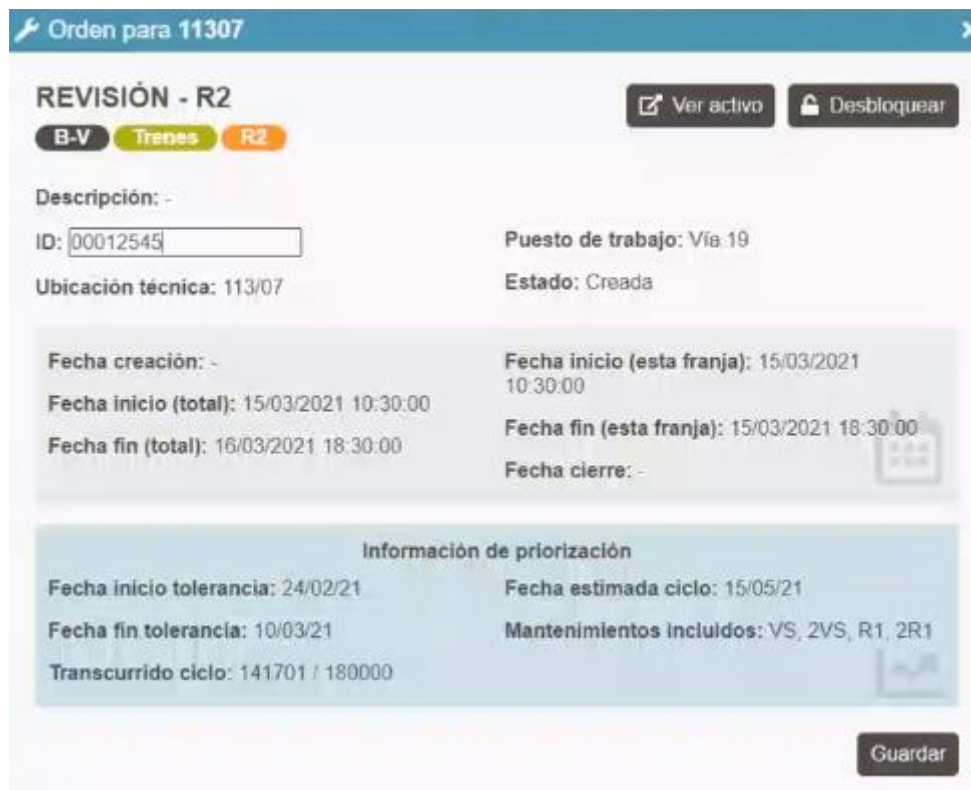


Figura 28 - Ejemplo orden de trabajo tipo correctiva generada manualmente. Fuente: Smart Motors.

Detalle tipo de mantenimiento

* Nombre: R1

* Clase de actividad: R1

* Plan: Ciclo corto

Bloqueo del puesto de trabajo

Mantenimientos paralelizables: Ninguno seleccionado

Puestos de trabajo: Via 17, Via 19

Duración (minutos)

Día 1		Día 2		Día 3	
Turno Noche	Turno Día	Turno Noche	Turno Día	Turno Noche	Turno Día
480					

Perfiles de operario (cantidad)

	Día 1		Día 2		Día 3	
	Turno Noche	Turno Día	Turno Noche	Turno Día	Turno Noche	Turno Día
Operario de mantenimiento	0	7	0	0	0	0

Ubicaciones Técnicas y Equipos

Trenes	Tren	Tren 113
Trenes	Tren	Tren 114

Como ya comentábamos anteriormente, el sistema tiene como configuración unas restricciones al pasar por el embudo, previo a la planificación. En estas restricciones se contemplan las restricciones de calendario, considerando días festivos, el número de operarios, tipo de tren.

Dichas restricciones de calendario son totalmente moldeables por el operario encargado de dicha gestión y por tanto puede ser modificado en cualquier momento, en función de las necesidades.

Figura 29 - Interfaz para reestructuración planificación debida a restricciones. Fuente: Smart Motors.

Establecer restricciones

Taller: Rubi

Semana seleccionada: 08/03/2021 - 14/03/2021

	LUN 8/3	MAR 9/3	MIE 10/3	JUE 11/3	VIE 12/3	SAB 13/3	DOM 14/3
Día festivo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
TURNO DE NOCHE							
Puestos no disponibles	+	Via 19	+	Via 15	+		
Recursos disponibles	10 Operario de mantenimiento	8 Operario de mantenimiento	8 Operario de mantenimiento	6 Operario de mantenimiento	6 Operario de mantenimiento		
TURNO DE DÍA							
Puestos no disponibles	+	Via 1	+	+	+		
Recursos disponibles	15 Operario de mantenimiento	12 Operario de mantenimiento	16 Operario de mantenimiento	15 Operario de mantenimiento	17 Operario de mantenimiento		

Por último, hay que destacar que se pueden modificar turnos de trabajo o periodos de mantenimiento sujetos a cambios a lo largo de los años.

9.3.2 Conclusión y limitaciones de implantación

Uno de los principales problemas que encuentra la herramienta son las posibles limitaciones establecidas en los planes de mantenimiento por los fabricantes. Llevar a cabo una planificación es complejo y se deberán agrupar o separar los ciclos de mantenimiento. Además, se deberá contar con el beneplácito del fabricante para así evitar riesgos importados.

No obstante, el tiempo de implantación de la plataforma es cada vez más rápido, ya que se parte de una base estándar para todos los operadores y posteriormente se va adaptando en función a la nueva operativa y se van creando nuevas restricciones o configuraciones. Esto hace que la complejidad del sistema aumente, pero debido a la experiencia previa en otros proyectos resulta fácil realizar la adaptación. Por tener un orden de magnitud, el tiempo requerido para implantarla ronda aproximadamente 6 meses, variando en función de su complejidad.

Se debe tener en consideración que la implantación de la plataforma puede ser más lenta si no se cuentan con datos de partida, por lo que se propone primero realizar una inversión en sensorizar los elementos para posteriormente poder usar la plataforma a su máximo rendimiento.

Como conclusión y a título de resumen metodología cabe destacar lo siguiente:

- No se debe elegir la mejor tecnología, pero sí elegir la mejor estrategia de CBM.
- Resolver problemas reales a corto plazo y luego escalar.
- No hacer un proyecto a partir de él, hacerlo como parte de la cultura de la empresa.

10. Inversión transformación digital y monitorización activos

10.1 Ahorro de tiempo

El presente apartado tiene como objetivo cuantificar y monetizar las tareas propuestas a monitorizar en el apartado anterior. Se pretende realizar una estimación del ahorro de horas de trabajo, así como la inversión inicial necesaria para realizar una primera fase de la transformación tecnológica.

Las tareas propuestas para monitorizar han sido seleccionadas en función de la necesidad y bajo la demanda del personal de FGV. Cabe resaltar una vez más, que la justificación de esta inversión tiene como fin eliminar gran parte de la carga de trabajo rutinaria sin suponer una barrera económica.

Respecto a la inversión inicial, como bien se comentaba anteriormente, dependerá de si ya existen elementos monitorizados o no. Además, si existen datos de otro proveedor es más barato implantar la plataforma, pero el coste es directamente proporcional al número de activos que tenga la empresa y cuantos más activos existirán más personas. En el caso del Taller de València Sud se considera la totalidad del coste de inversión, ya que actualmente ningún elemento se encuentra monitorizado.

Para realizar el estudio económico hemos partido como base de cuantificar el número de revisiones que se realizan al año, clasificándolas en función al tipo de revisión. Se considerarán únicamente las tareas de ciclo corto (P), ya que son las más rutinarias y las que menos valor aportan al empleado.

Tabla 10 - Clasificación número revisiones al año según tipo. Fuente: elaboración propia.

Tipo de revisión	Nº revisiones/año
P1	8
P2	4
P3	2
P4	1

A continuación, a partir del plan de mantenimiento anual de Metrovalencia y las órdenes de trabajo generadas en el año anterior (2019), hemos obtenido el número de trabajadores que realizan cada tarea y el tiempo empleado en realizarla.

Es importante destacar que los tiempos de cada tarea quedan a su vez divididos en tiempo fijo y tiempo variable. Los tipos fijos, denominados como tf en la tabla, son los tiempos de reparación o actuación del operario que no pueden ser reducidos. En ellos se contempla el tiempo de desplazamiento o los trabajos manuales que no pueden ser reducidos. Por otro lado, los tiempos variables o tiempos a monitorizar, denominados como tm en la tabla, corresponden a los tiempos empleados en realizar tareas rutinarias o de poco valor, tales como por ejemplo; medición de grosor, deflexiones...etc. Estos tiempos, por el contrario, si pueden ser optimizados y reducidos mediante la monitorización y cuantificarlos permitirá definir el ahorro de tiempo que se obtendría.

Tabla 11 - Relación de tiempo y coste trabajos Taller València Sud. Fuente: elaboración propia.

RELACIÓN DE TIEMPO Y COSTE DE TRABAJOS									
ID.	Elemento	Tipo de revisión	Nº operarios/tren	Tiempo trabajos (min)		Nº trenes/año	Nº revisiones/año	Tiempo total (min)	
SIN TENSIÓN									
1	Pantógrafos	P1	1	tm	20	62	8	9920	
				tf	40			19840	
		P2	1	tm	20	62	4	4960	
				tf	40			9920	
		P3	1	tm	20	62	2	2480	
				tf	40			4960	
		P4	1	tm	20	62	1	1240	
				tf	40			2480	
2	Bogies	P1	3	tm	15	62	8	7440	
				tf	45			22320	
		P2	3	tm	15	62	4	3720	
				tf	45			11160	
		P3	3	tm	15	62	2	1860	
				tf	45			5580	
		CON TENSIÓN							
		3	Areneros	P1 - izq.	1	tm	30	62	8
tf	15					7440			
P2 - izq. + dech.	4			tm	45	62	4	11160	
				tf	15			3720	
P3 - izq. + dech.	4			tm	45	62	2	5580	
				tf	15			1860	
4	Limpiaparabrisas	P1	1	tm	15	62	8	7440	
				tf	5			2480	

Una vez cuantificadas las tareas podemos obtener el tiempo en días, donde los tiempos a monitorizar suponen un ahorro de casi el 40% del tiempo total.

Tabla 12 - Relación porcentual tiempos mantenimiento Taller València Sud. Fuente: elaboración propia.

		Minutos	Horas	Días	%
Tiempo total mantenimiento	<i>tm</i>	59.520	992,00	132	39,34%
	<i>tf</i>	91.760	1.529,33	204	60,66%

10.2 Estimación económica: monitorización y Software

Realizar una reducción en los tiempos de mantenimiento implica también una reducción de costes, ya que supone eliminar horas de trabajo de la planificación. Estas tareas que previamente se realizaban por medios manuales, y que pasarían a ser monitorizadas, pueden ayudar a reubicar al personal en tareas que aporten valor, tanto al empleado como a la empresa. Por todo ello, no solo nos basamos en un ahorro económico, sino también en un aumento de la productividad.

La siguiente tabla presenta una comparativa económica entre las horas de trabajo a realizar sin y con monitorización, respectivamente. Considerando que los trabajos realizados por los trabajadores suponen un coste horario de 20 euros, llegamos a la conclusión que la monitorización produce un ahorro de 19.840,00 euros anuales.

Tabla 13 - Comparativa económica trabajos Taller València Sud. Fuente: elaboración propia.

	Comparativa y relación económica	
	Sin monitorizar	Con monitorización
Total (min)	151.280	91.760
Total (h)	2.521	1.529
Total (días)	336	203
Coste operario	50.426,67 €	30.586,67 €
Resultado monitorización	+ 19.840,00 € (AHORRO HORAS PERSONAL)	

Por otro lado, se pretende cuantificar el coste económico resultante de la monitorización. Para realizar los cálculos hemos tomado como referencia, en base a consultas de empresas sector especializadas, que el coste de monitorización por tren para implantar las propuestas es de 3.870,97 euros. Considerando que se deben monitorizar un total de 62 trenes obtendremos un coste total de monitorización de 240.000,00 euros.

Paralelamente debemos considerar la implantación de un software que nos permita gestionar todos los activos, así como realizar la configuración e instalación, para la cual se ha considerado un coste total de 250.000,00 euros.

No obstante, al contrario del coste de monitorización, que es individual, podemos considerar que el coste del software es una inversión en conjunto ya que nos servirá para toda la flota de trenes. La plataforma es un servicio que se compra mensualmente dependiendo de la cantidad y complejidad del activo y que dependerá de la monitorización de este.

Tabla 14 - Coste implantación monitorización y software en Taller València Sud. Fuente: elaboración propia.

Coste monitorización	
Coste monitorización/tren	3.870,97 €
Nº trenes Serie 4300	62
Coste total monitorización flota	240.000,00 €
Coste software flota	250.000,00 €
Total	490.000,00 €

Seguidamente, cabe establecer la relación gasto/inversión en un periodo temporal. Para ello consideramos los años de vida útil del tren, que a pesar de estar estimados en 30 años lo situaremos en 20, ya que el parque vehicular de Metrovalencia ha cumplido con el 40% del tiempo en servicio. Si fraccionamos el coste podemos suponer un gasto anual de monitorización de 24.500,00 euros, liquidando la inversión total en 20 años. No obstante, también cabe considerar el ahorro estimado en el tiempo de trabajo del personal, que equivale a 19.840,00 euros anuales.

Como resultado de la inversión obtendríamos 4.660,00 euros/año, que refiere a una inversión anual razonable y que podría resultar viable para una empresa de la magnitud de FGV. Este resultado equivale únicamente a los elementos que hemos propuesto monitorizar. No obstante, cuantos más componentes del activo se logren monitorizar más ahorro obtendremos, por lo que la amortización se producirá antes.

Tabla 15 - Amortización de la inversión Taller València Sud. Fuente: elaboración propia.

Amortización	
Años vida útil tren	20
Coste total monitorización	490.000,00 €
Gasto monitorización /año	24.500,00 €
Ahorro horas trabajo personal /año	19.840,00 €
Resultado/año	-4.660,00 €

Por último, a título de resumen se presenta la amortización lineal de los costes de inversión, para los cuales se obtiene un gasto total de **93.200,00 euros en 20 años**.

Esta inversión no debe interpretarse únicamente como un resultado en negativo, ya que logrará aumentar la productividad de la empresa, reduciendo los tiempos de inmovilizado del activo y aumentando el tiempo de explotación. Esta primera inversión puede dar paso a futuras fases de transformación, con el fin de monitorizar otros componentes.

Figura 30 - Representación gráfica amortización gastos inversión Taller València Sud. Fuente: elaboración propia

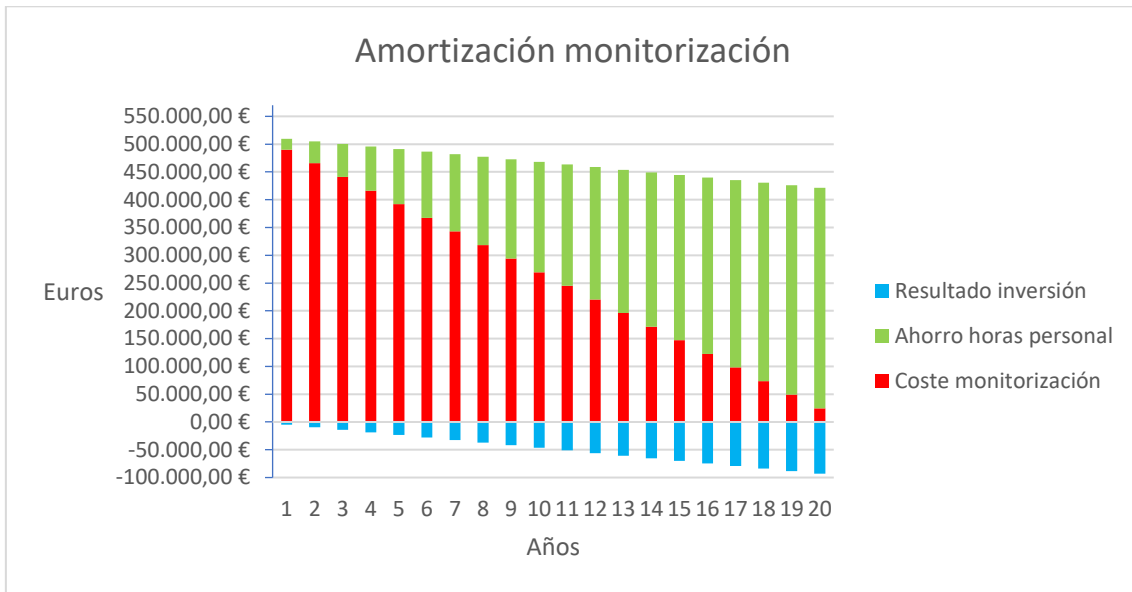


Tabla 16 - Amortización del gasto de monitorización Taller València Sud. Fuente: elaboración propia.

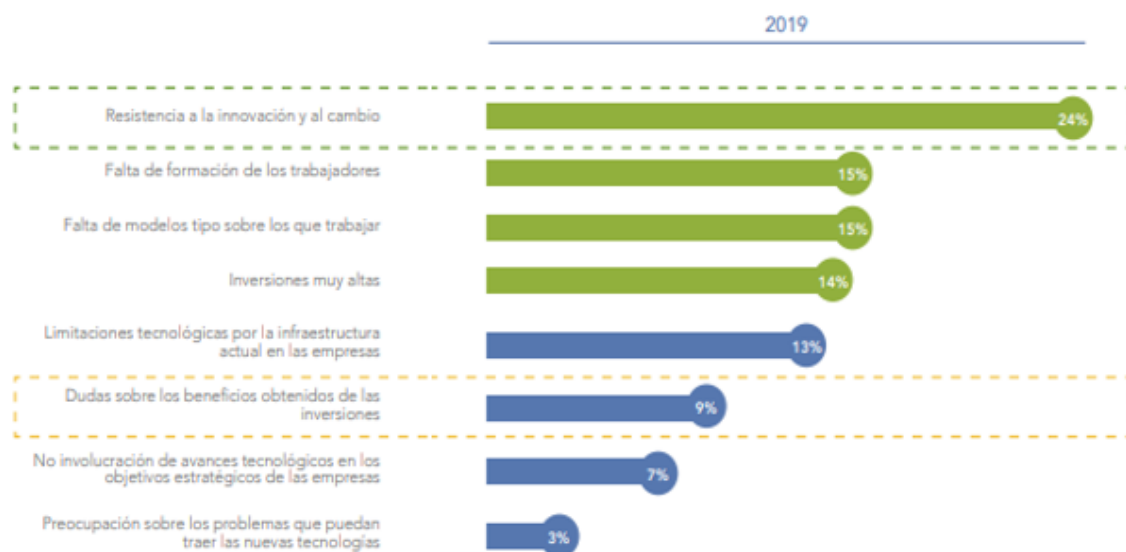
Amortización gasto monitorización			
AÑO	COSTE MONITORIZACIÓN	AHORRO HORAS PERSONAL	RESULTADO INV.
1	490.000,00 €	19.840,00 €	-4.660,00 €
2	465.500,00 €	39.680,00 €	-9.320,00 €
3	441.000,00 €	59.520,00 €	-13.980,00 €
4	416.500,00 €	79.360,00 €	-18.640,00 €
5	392.000,00 €	99.200,00 €	-23.300,00 €
6	367.500,00 €	119.040,00 €	-27.960,00 €
7	343.000,00 €	138.880,00 €	-32.620,00 €
8	318.500,00 €	158.720,00 €	-37.280,00 €
9	294.000,00 €	178.560,00 €	-41.940,00 €
10	269.500,00 €	198.400,00 €	-46.600,00 €
11	245.000,00 €	218.240,00 €	-51.260,00 €
12	220.500,00 €	238.080,00 €	-55.920,00 €
13	196.000,00 €	257.920,00 €	-60.580,00 €
14	171.500,00 €	277.760,00 €	-65.240,00 €
15	147.000,00 €	297.600,00 €	-69.900,00 €
16	122.500,00 €	317.440,00 €	-74.560,00 €
17	98.000,00 €	337.280,00 €	-79.220,00 €
18	73.500,00 €	357.120,00 €	-83.880,00 €
19	49.000,00 €	376.960,00 €	-88.540,00 €
20	24.500,00 €	396.800,00 €	-93.200,00 €

Pese a la justificación dada, el gasto en mantenimiento preventivo es un aspecto difícil de valorar, ya que al no existir incidencias en los equipos de forma imprevista se tiende a pensar que se peca en un exceso de mantenimiento. Por el contrario, con los fundamentos teóricos aportados se pretende justificar que la mayor limitación actual es la resistencia a la innovación y al cambio, quizás debida a la falta de información de los beneficios que esta genera.

10.3 Limitaciones y retos de la transformación digital

Como ya se ha adelantado, en la actualidad la mayor limitación que tienen las empresas a la hora de realizar la transformación digital es la resistencia a la innovación y al cambio, ligado a una condición cultural. Para realizar dicha afirmación nos basamos en el *II Estudio Smart Industria 4.0* realizado por Everis.

Tabla 17 - Estudio barreras transformación digital. Fuente: *II Estudio Smart Industria 4.0*



Además, existen numerosas dudas sobre los beneficios que se pueden obtener con dichas inversiones. Con la redacción del presente estudio se espera justificar, bajo fundamentos teóricos y prácticos, la necesidad de implementar la transformación en el Taller de València Sud.

No obstante, la empresa debe estar preparada para afrontar ciertos retos ajenos a la economía o a aspectos ya estudiados, tales como:

- **Falta de recursos:** el mantenimiento preventivo es mayor que el planificado.
- **Periodos cortos de tiempo:** periodos de mantenimiento cada vez más cortos debidos al alargue de las operaciones/explotación.
- **Inaccesibilidad y dispersión geográfica**
- **Falta de conocimiento sobre la condición**
- **Alcanzar los requisitos de los fabricantes:** mucha restrictividad en el mantenimiento por parte del fabricante.
- **Distanciamiento social:** reducir el tamaño de los equipos de mantenimiento debido a la crisis sanitaria de COVID-19.

11. Futuras líneas de investigación

En el presente documento se ha definido cómo Metrovalencia podría afrontar la optimización de procesos de mantenimiento ferroviario, todo ello con el fin de aumentar la productividad de la empresa y hacerla más competitiva, eficiente e integrada en el proceso de digitalización que sufren las empresas del sector.

Se pretende que el presente estudio sirva para destacar la importancia de adaptarse a la era digital y los beneficios, no solo económicos, que esta puede aportarnos. Por todo ello, se propone el presente estudio como base de desarrollo de una tesis doctoral, en la cual se podrían estudiar en profundidad, a nivel técnico, la implementación de los componentes a monitorizar en una segunda fase o posibles mejoras al software propuesto.

Cabe resaltar que la solución definida puede ser extrapolada y aplicable a cualquier Taller de Mantenimiento Ferroviario, perteneciente o no a FGV, siempre y cuando sea de la misma envergadura. Recordar que cada proceso de transformación deberá ser particularizado y conforme a las necesidades y cultura de la empresa.

12. Conclusiones

Cumpliendo con los objetivos propuestos, se ha desarrollado una primera fase de transformación digital, la cual abarca desde la monitorización del parque móvil ferroviario hasta la implantación de un sistema de gestión de datos y planificación de tareas. Todo ello ha sido definido de forma particularizada y conforme a las necesidades y cultura de Metrovalencia, basándonos a su vez en fundamentos teóricos.

Todas las propuestas definidas en el presente documento conllevan un cambio en la gestión del mantenimiento, transformándolo del preventivo al predictivo, permitiéndonos conocer el estado de los componentes de forma individual o en conjunto y siendo capaces de predecir posibles anomalías.

La monitorización de los elementos permitirá a su vez generar un registro automático de datos que, a través de un Software, permitirá estimar mediante un histórico posibles incidencias en el servicio.

Con todas las medidas propuestas, en Metrovalencia se garantizaría una mejora en la productividad, eficiencia, competitividad e integración en la era digital del mantenimiento. Por ende, al obtener una disminución en los tiempos de parada de los activos se conseguiría un incremento en la explotación de estos. De forma paralela, se consigue incrementar la satisfacción laboral de los empleados y redirigir el tiempo destinado a realizar tareas de mayor valor.

En resumen, las medidas adoptadas podrían reducir notoriamente los tiempos de mantenimiento, costes de mano de obra, material o el impacto ambiental, a cambio de incrementar la eficiencia, productividad, fiabilidad, tiempo de respuesta y capacidad de análisis. Todo ello sería posible realizando una pequeña inversión anual que nos muestre como resultado la posibilidad de gestionar, cada vez de forma más precisa, todos los activos.



13. Bibliografía

- FGV. (2021). *Qué es FGV* [en línea]. Disponible en: <https://www.fgv.es/la-empresa/que-es-fgv/>. [Consultado 29/01/2021]
- FGV. (2021). *Datos de la Red de Metrovalencia* [en línea]. Disponible en: <https://www.fgv.es/conoce-fgv/fgv-en-cifras/metrovalencia-en-cifras/datos-de-la-red-de-metrovalencia/>. [Consultado 29/01/2021]
- FGV. (2021). *Parque Móvil Metrovalencia* [en línea]. Disponible en: <https://www.fgv.es/conoce-fgv/fgv-en-cifras/metrovalencia-en-cifras/parque-movil/>. [Consultado 04/02/2021]
- FGV. (2021). *FGV en cifras*. [en línea] Disponible en: <https://www.fgv.es/conoce-fgv/fgv-en-cifras/>. [Consultado 04/02/2021]
- FGV. (23 de diciembre 2019). *Ximo Puig: “2019 ha sido un año record para Ferrocarrils de la Generalitat con 81 millones de viajeros”* [en línea] Disponible en: <https://www.fgv.es/ximo-puig-2019-ha-sido-un-ano-record-para-ferrocarrils-de-la-generalitat-con-81-millones-de-viajeros/>. [Consultado 04/02/2021]
- Cigen (2020). *Tipos de mantenimiento industrial que existen* [en línea]. Disponible en: <https://www.cigen.es/tipos-de-mantenimiento-industrial-que-existen/>. [Consultado 18/03/2021]
- Eurofins. Envira Ingenieros Asesores (2020). *Mantenimiento preventivo y correctivo: ¿en qué se diferencian?* [en línea]. Disponible en: <https://envira.es/es/mantenimiento-preventivo-y-correctivo/>. [Consultado 18/03/2021]
- García Garrido, S. (2003). *Organización y Gestión Integral de Mantenimiento* (1º ed). Madrid: Ediciones Díaz de Santos, S.A.
- Eurofins. Envira Ingenieros Asesores (2020). *El ciclo Deming: en qué consiste y cómo ayuda en la gestión y mejora de procesos* [en línea]. Disponible en: <https://envira.es/es/el-ciclo-deming-que-consiste-y-como-ayuda-gestion-procesos/>. [Consultado 01/04/2021]
- Eurofins. Envira Ingenieros Asesores (2020). *¿Cómo se utiliza el diagrama de Pareto en el ámbito industrial?* [en línea]. Disponible en: <https://envira.es/es/como-se-utiliza-diagrama-pareto-ambito-industrial/>. [Consultado 16/03/2021]
- Eurofins. Envira Ingenieros Asesores (2020). *¿En qué consiste el método de las 5S?* [en línea]. Disponible en: <https://envira.es/es/en-que-consiste-el-metodo-de-las-5/>. [Consultado 16/03/2021]
- Eurofins. Envira Ingenieros Asesores (2020). *Metodología TPM: Mantenimiento Productivo Total* [en línea]. Disponible en: <https://envira.es/es/metodologia-tpm-mantenimiento-productivo-total/>. [Consultado 04/02/2021]
- IRIM (2020). *La generalización del uso de la informática. GMAO* [en línea]. Disponible en: <http://www.renovetec.com/irim/sobre-mantenimiento/planes-de-mantenimiento/gmao>. [Consultado 20/03/2021]
- Eurofins. Envira Ingenieros Asesores (2020). *ISO 55001, el sistema de gestión de activos: todo lo que debes saber* [en línea]. Disponible en: <https://envira.es/es/iso-55001-el-sistema-de-gestion-de-activos-todo-debes-saber/>. [Consultado 13/04/2021]

- Eurofins. Envira Ingenieros Asesores (2021). *¿Qué es lean manufacturing? ¿Cómo aplicarlo a una empresa?* [en línea]. Disponible en: <https://envira.es/es/que-es-el-lean-manufacturing-como-aplicarlo-empresa/>. [Consultado 13/04/2021]
- Eurofins. Envira Ingenieros Asesores (2021). *Herramientas del método Lean Manufacturing: el Método Jidoka* [en línea]. Disponible en: <https://envira.es/es/herramientas-lean-manufacturing-metodo-jidoka/#:~:text=Finalidad%20del%20m%C3%A9todo%20Jidoka&text=Fue%20ideada%20por%20Sakichi%20Toyoda,romp%C3%ADa%20uno%20de%20sus%20hilos.> [Consultado 05/05/2021]
- Femxa, M. (2018). *Método ABC de la clasificación de productos* [en línea]. Disponible en: <https://www.cursosfemxa.es/blog/metodo-abc-clasificacion-productos>. [Consultado 05/05/2021]
- SigmaRail (2021). *Data Driven Industrial Revolution* [en línea]. Disponible en: <https://sigma-rail.com/es/inicio/> [Consultado 18/04/2021]
- Everis (2019). *II Estudio Smart Industry 4.0*. [en línea]. Disponible en: https://e17r5k-datap1.s3-eu-west-1.amazonaws.com/evercorp/s3fs-public/estudio_smart_industry_2019_2.pdf?GTDlRQKRZJ4wxrPzuK8BvpoRhvEYuAi_
[Consultado 22/04/2021]
- Camlin Rail (2021). *Pantograph Monitoring* [en línea]. Disponible en: <https://www.camlingroup.com/product/pantobot-3d/> [Consultado 22/04/2021]
- Talgo (2021). *Equipos de mantenimiento*. [en línea]. Disponible en: <https://www.talgo.com/es/equipos-de-mantenimiento> [Consultado 02/05/2021]

Anexo: Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

Anexo al Trabajo Fin de Máster

Relación del TFM “ESTUDIO DE SOLUCIONES PARA LA OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS DE MANTENIMIENTO FERROVIARIO MEDIANTE LA MONITORIZACIÓN DE ALGUNOS COMPONENTES DEL PARQUE MÓVIL EN LOS TALLERES DE METRO DE FGV (VÀLENCIA SUD)” con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030.

Grado de relación del trabajo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

Objetivos de Desarrollo Sostenibles	Alto	Medio	Bajo	No Procede
ODS 1. Fin de la pobreza.				X
ODS 2. Hambre cero.				X
ODS 3. Salud y bienestar.		X		
ODS 4. Educación de calidad.				X
ODS 5. Igualdad de género.				X
ODS 6. Agua limpia y saneamiento.				X
ODS 7. Energía asequible y no contaminante.				X
ODS 8. Trabajo decente y crecimiento económico.	X			
ODS 9. Industria, innovación e infraestructuras.	X			
ODS 10. Reducción de las desigualdades.				X
ODS 11. Ciudades y comunidades sostenibles.			X	
ODS 12. Producción y consumo responsables.				X
ODS 13. Acción por el clima.			X	
ODS 14. Vida submarina.				X
ODS 15. Vida de ecosistemas terrestres.				X
ODS 16. Paz, justicia e instituciones sólidas.				X
ODS 17. Alianzas para lograr objetivos.				X

Descripción de la alineación del TFM con los ODS con un grado de relación más alto.

ODS 3. Salud y bienestar y ODS 8. Trabajo decente y crecimiento económico.

El presente documento tiene como finalidad erradicar las tareas rutinarias y monótonas que realizan los trabajadores de Metrovalencia. Lejos de aportar valor, estas actividades están limitadas a verificar de forma manual que se cumplen en los componentes los criterios establecidos por los fabricantes.

En algunas ocasiones los trabajadores no se sienten realizados e incluso perciben que no aportan ningún valor a la empresa, llegando a sentirse fatigados en sus tareas rutinarias durante la jornada laboral. Queda demostrado y justificado, bajo fundamentos teóricos como el Método Jidoka y el Lean Manufacturing, que este tipo de tareas a veces son contraproducentes y pueden llegar a inducir errores, ya que se produce un falso nivel de confianza en el trabajador.

El objetivo es conseguir un aumento de la satisfacción laboral y una reducción de enfermedades laborales, no solo físicas, derivadas a las tareas monótonas.

Se propone la monitorización del parque móvil ferroviario, lo que permite eliminar las tareas de revisión manual para así destinar este tiempo a tareas más productivas. Esta medida viene acompañada de un plan de carrera y formación al empleado, que permita reubicar al trabajador en un puesto donde se sienta más cómodo y realizado.

De forma paralela a las ventajas en la salud y bienestar de los trabajadores, se produce un crecimiento económico en la empresa, ya que cuantas más tareas se logren monitorizar se logrará una mayor productividad y, por tanto, un ahorro económico. Cabe destacar que los componentes monitorizados tendrán un índice de error aún más bajo y lograrán predecir los tiempos de parada de los activos de forma mucho más precisa mediante una base de datos.

En resumen, esta propuesta se basa en reducir los tiempos de tareas que pueden ser monitorizadas, para invertir ese tiempo en otras tareas que aporten mayor productividad y por tanto mejoren la economía de la empresa.

ODS 9. Industria, innovación e infraestructuras.

Se pautan recomendaciones para implantar una primera fase de transformación digital dentro de Metrovalencia, ya que su nivel de digitalización actual es cero.

Para llevar a cabo todas las mejoras definidas en el estudio, se apuesta por invertir en las nuevas tecnologías que ya están siendo utilizadas por numerosos operadores ferroviarios. Se ha redactado una serie de metodologías como punto de partida a futuras propuestas y desarrollos tecnológicos.

Se justifica que una de las claves para ser más competitivos y optimizar los costes es invertir en tecnología de nueva generación que, por ejemplo; mediante visión artificial o sensores, permita transformar la información en ahorro de tiempo y dinero.

ODS 11. Ciudades y comunidades sostenibles. ODS 13. Acción por el clima

Con la implementación del mantenimiento preventivo como base y forma de la cultura de la empresa, se logrará optimizar al máximo el tiempo de uso de los activos, agotando así su vida útil en condiciones óptimas. Por otro lado, se reducirá el número de desplazamientos al taller, ya que las tareas de mantenimiento estarán mejor planificadas y optimizadas para realizarse en conjunto y no de forma individualizada.

Los artículos en stock serán estimados en función de la necesidad, por lo que no se producirá un almacenamiento excesivo de los mismos y se podrá planificar mejor su reutilización o reparación. Este último aspecto hace referencia al consumo responsable y a evitar una sobreproducción, permitiendo optimizar el espacio en los almacenes y reducir horas dedicadas a la gestión y organización de artículos.