



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería de Organización Industrial

**Remodelado de la sección de pantógrafos de
la Base de Mantenimiento Integral de Renfe**

Autor:

Bravo González, Elena

Tutor:

**Araúzo Araúzo, José Alberto
Organización de Empresas y
Comercialización e Investigación
de Mercados**

Valladolid, marzo 2022



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**



RESUMEN

El presente Trabajo de Fin de Grado pretende estudiar los métodos y tiempos empleados en la reparación de un pantógrafo en la Base de Mantenimiento Integral de Renfe ubicada en Valladolid.

La BMI de Valladolid se encuentra situada en el Páramo de San Isidro, ocupando una superficie de más 179.000 metros cuadrados. Cuenta con más de 600 trabajadores, tanto internos como externos.

En este taller se encargan de la reparación y el mantenimiento de todo el material ferroviario. Hasta él llegan vehículos de distintas series.

La sección que ocupa este documento es la encargada de reparar los pantógrafos, principalmente aquellos pertenecientes a las series 446 y 447, ambos correspondientes a trenes de servicios de cercanías con motores eléctricos.

El objetivo final es la mejora continua de la sección mencionada, reduciendo el tiempo de operación en cada pareja de pantógrafos.

Palabras clave

Pantógrafos, mejora continua, optimización, ferroviario, métodos y tiempos



ABSTRACT

This Final Degree Project aims to study the methods and times used in the repair of a pantograph in the Renfe Integral Maintenance Base located in Valladolid.

The Valladolid BMI is placed in the “*Páramo de San Isidro*”, covering an area of more than 179,000 square meters. It has more than 600 workers, both internal and external.

This workshop is responsible for the repair and maintenance of all railway material. Vehicles of different series arrive here.

The section that attend this document is in charge of repairing pantographs, mainly those belonging to the 446 and 447 series, both corresponding to commuter service trains with electric motors.

The final objective is the continuous improvement of the aforementioned section, reducing the operation time on each pair of pantographs.

Key words

Pantographs, continuous improvement, optimization, railway, methods and times



AGRADECIMIENTOS

A mis padres y a mi hermano, por motivarme a seguir cuando lo daba por perdido y felicitarme cuando lograba mis objetivos.

A mis amigas de la universidad, por caminar a mi lado en esta etapa tan bonita y ser un gran apoyo siempre.

A mis compañeros de piso, por ser una segunda familia y hacer mucho más fácil vivir fuera de casa.

A mi pareja, por todo el apoyo y cariño que me das desde la distancia y ser mi vía de escape en los momentos más difíciles.



Índice

1. Introducción	13
1.1. Justificación	13
1.2. Objetivos	13
1.3. Contenido de la memoria	14
2. La empresa: RENFE	15
2.1. La empresa	15
2.1.1. Su historia.....	15
2.1.2. Servicios	16
Renfe Viajeros	16
Renfe Mercancías	17
Renfe Fabricación y Mantenimiento	18
Renfe Alquiler de Material Ferroviario	19
3. La Base de Mantenimiento Integral de Valladolid	21
3.1. La sección y los problemas encontrados.....	22
3.1.1. Los pantógrafos	22
Definición y Componentes.....	22
Funcionamiento	26
3.1.2. La sección de reparación	28
3.1.3. Problemática	30
3.1.4. Cambios en el layout	31
4. Herramientas utilizadas	35
4.1. Estudio de métodos	35
4.2. Medición del trabajo	37
5. Métodos y tiempos	39
5.1. Cronograma ideal.....	39
5.1.1. Proceso de desmontaje.....	41
Retirar el motor de aire comprimido.....	44
Desmontar el motor de aire comprimido.....	45
5.1.2. Proceso de montaje.....	49
Montaje del motor de aire comprimido	49



Limpieza y pintura	50
Reposición de piezas	52
Montaje de todos los elementos	54
5.1.3. Proceso de verificación.....	55
Prueba de estanqueidad	56
Comprobación de presiones estáticas.....	56
Horizontalidad de los frotadores	57
5.2. Cronograma real actual	58
5.2.1. Contratiempos en fase de desmontaje	58
5.2.2. Contratiempos en fase de montaje	62
5.2.3. Cronograma real actual	66
5.2.4. Problemas encontrados y posibles soluciones	69
El problema con la pintura	70
5.3. Cronograma propuesto	71
5.3.1. Primera propuesta	71
5.3.2. Segunda propuesta.....	73
6. Estudio económico	79
6.1. Precios unitarios.....	79
6.2. Presupuesto para la organización del layout	81
6.3. Presupuesto por la realización del estudio	82
6.4. Coste por reparación y mantenimiento	84
6.4.1. Coste en el Cronograma real actual	84
6.4.2. Coste en la primera propuesta.....	85
6.4.3. Coste en la segunda propuesta	86
6.5. Coste total y amortizaciones	87
7. Conclusiones	89
8. Bibliografía	91



ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Renfe celebra 80 años de tren en España	16
Ilustración 2. Avlo, el tren "low cost" de Renfe.....	17
Ilustración 3. Vehículo de Renfe Mercancías.....	18
Ilustración 4. Nueva BMI de Renfe en Valladolid	21
Ilustración 5. Pantógrafo sobre el techo de un tren.....	23
Ilustración 6. Pantógrafo de la serie 447 después del proceso de mantenimiento	23
Ilustración 7. Partes de un pantógrafo	25
Ilustración 8. Esquema de un pantógrafo	27
Ilustración 9. Banco de pruebas de pantógrafos.....	29
Ilustración 10. Layout y diagrama de spaghetti inicial.....	30
Ilustración 11. Diagrama de spaghetti propuesto final.....	32
Ilustración 12. Zona de trabajo y útiles en la sección	33
Ilustración 13. Percha con un frotador desmontado.....	33
Ilustración 14. Pistola de impacto neumática	41
Ilustración 15. Cuadro superior sobre una percha.....	43
Ilustración 16. Biela de empuje	44
Ilustración 17. Motor de aire comprimido sobre base auxiliar	45
Ilustración 18. Útil para desmontar el cilindro y motor de aire comprimido sobre base auxiliar (de arriba abajo)	46
Ilustración 19. Pistón montado (izquierda) y fondo de cilindro (derecha) antes de ser limpiados	48
Ilustración 20. Resortes de descenso antes de extraerlos del interior del cilindro	48
Ilustración 21. Pistón montado y fondo de cilindro limpios y ensamblados ...	51
Ilustración 22. Rodamientos de los resortes (izquierda) y rodamientos y cojinete de la articulación superior (derecha).....	53
Ilustración 23. Amortiguador.....	55
Ilustración 24. Pantógrafo en el banco de pruebas	57



Ilustración 25. Diagrama de Gantt ideal	68
Ilustración 26. Diagrama de Gantt real	69
Ilustración 27. Diagrama de Gantt propuesto	72
Ilustración 28. Pantógrafo en la cabina de pintura	74
Ilustración 29. Cronograma propuesto y Diagrama de Gantt para pintura en cabina	77



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Lista de partes de un pantógrafo	25
Tabla 2. Lista de partes de un pantógrafo (continuación)	26
Tabla 3. Lista de operaciones iniciales	40
Tabla 4. Lista de operaciones "Retirar el frotador"	41
Tabla 5. Lista de operaciones "Retirar otras partes"	42
Tabla 6. Lista de operaciones "Retirar otras partes" (continuación)	43
Tabla 7. Lista de operaciones "Retirar el motor de aire comprimido"	44
Tabla 8. Lista de operaciones "Retirar el motor de aire comprimido" (continuación)	45
Tabla 9. Lista de operaciones "Desmontar el motor de aire"	47
Tabla 10. Lista de operaciones "Montar el motor de aire"	50
Tabla 11. Lista de operaciones "Limpiar y pulir" y "Pintar"	51
Tabla 12. Lista de operaciones "Reposición de piezas"	53
Tabla 13. Lista de operaciones "Colocar otras partes"	54
Tabla 14. Lista de operaciones "Colocar otras partes" (continuación)	55
Tabla 15. Lista de operaciones "Verificar estado de funcionamiento del pantógrafo"	58
Tabla 16. Lista de operaciones durante fase de desmontaje	59
Tabla 17. Lista de operaciones durante fase de desmontaje (continuación)	60
Tabla 18. Lista de operaciones durante fase de desmontaje (continuación)	61
Tabla 19. Lista de operaciones durante fase de desmontaje (continuación)	62
Tabla 20. Lista de operaciones durante fase de montaje	63
Tabla 21. Lista de operaciones durante fase de montaje (continuación)	64
Tabla 22. Lista de operaciones durante fase de montaje (continuación)	65
Tabla 23. Lista de operaciones durante fase de montaje (continuación)	66
Tabla 24. Resumen de operaciones y las duraciones reales	67
Tabla 25. Duraciones del cronograma propuesto	71
Tabla 26. Duraciones del cronograma propuesto (continuación)	72



Tabla 27. Lista de operaciones "Pintar pantógrafo"	74
Tabla 28. Lista de operaciones "Pintar pantógrafo" (continuación).....	75
Tabla 29. Minutos trabajados por tipo de operario	76
Tabla 30. Costes unitarios de la mano de obra	79
Tabla 31. Costes unitarios de la mano de obra (continuación).....	80
Tabla 32. Precios unitarios de los materiales necesarios	80
Tabla 33. Amortización de los equipos informáticos.....	81
Tabla 34. Presupuesto para la organización del layout	82
Tabla 35. Presupuesto para la realización del estudio	83
Tabla 36. Coste en el cronograma real actual.....	84
Tabla 37. Coste en el cronograma real actual (continuación).....	85
Tabla 38. Costes en la primera propuesta	85
Tabla 39. Costes en la primera propuesta (continuación).....	86
Tabla 40. Coste en la segunda propuesta	86
Tabla 41. Coste en la segunda propuesta (continuación)	87
Tabla 42. Amortización del proyecto	88



1. INTRODUCCIÓN

1.1. Justificación

El desarrollo de este trabajo viene motivado por la necesidad de realizar un estudio de mejora continua en la sección de reparación de pantógrafos en la Base de Mantenimiento Integral de Renfe en Valladolid.

El tiempo empleado en el proceso de reparación de una pareja de pantógrafos era considerablemente elevado con respecto a las estimaciones proporcionadas por la empresa.

El estudio realizado por la misma estimó una duración total de 16 horas. Sin embargo, el tiempo real ocupado por los trabajadores era hasta un 46% más elevado.

Además, la técnica de mejora continua no aborda tan sólo el tiempo empleado, sino también otros elementos que pueden influir en el proceso general de reparación.

Aspectos como la disposición de los materiales necesarios para todos los agentes en el momento de realizar los trabajos pueden afectar tanto a la duración como a la eficiencia de dicho proceso.

Con el estudio realizado en este proyecto se valoró también la posibilidad de modificar ciertos métodos empleados con el fin de aportar comodidad a los agentes implicados, así como velocidad y eficacia al conjunto.

1.2. Objetivos

El principal objetivo de este trabajo es la optimización de la sección encargada de la reparación de los pantógrafos en la BMI de Renfe de Valladolid. Para ello, durante el proceso surgen distintos subobjetivos:

- Estudio de la situación inicial mediante la recopilación de las operaciones realizadas para la reparación de los elementos, así como una estimación de los tiempos de trabajo para cada una de ellas.
- Determinación de las necesidades para reducir dichos tiempos estándar.
- Depuración y optimización de las operaciones.
- Estudio de la situación final y comprobación de la mejora realizada.



1.3. Contenido de la memoria

El presente trabajo está formado por 6 capítulos, además de un apartado bibliográfico.

El capítulo número uno muestra la introducción del proyecto, explicando una breve justificación del mismo y los objetivos que se pretenden obtener mediante el desarrollo de éste.

En el segundo capítulo se introduce la empresa a estudiar, Renfe. Se muestra un resumen de su historia, así como todos los servicios que ofrece y las instalaciones que conciernen a este trabajo, la BMI de Valladolid. Se desarrolla también la definición de pantógrafo, así como se muestra la sección que nos ocupa y los problemas de distribución encontrados en ella.

Durante el capítulo número tres se han recogido las distintas herramientas utilizadas para el desarrollo del proyecto. Estas herramientas han sido obtenidas en su totalidad del libro *“Introducción al estudio del trabajo”*, de la Organización Internacional del trabajo.

En el capítulo número cuatro se desarrollan los métodos y tiempos utilizados por los operarios durante el proceso de reparación. Comienza con la explicación del proceso y la obtención de un “cronograma ideal”. Seguidamente, se explica el cronograma real actual y los factores que nos hacen llegar hasta él. Finaliza el capítulo con un tercer cronograma, el “cronograma propuesto”, donde se pretenden solucionar los problemas encontrados a lo largo del proceso de reparación y se muestran los tiempos finales que se podrían alcanzar con la aplicación de este proyecto.

En el quinto capítulo se redacta un estudio económico del proyecto. En él se muestran, primeramente, los precios unitarios de todos los elementos necesarios para el desarrollo de este proyecto. Se procede después a calcular los diferentes presupuestos correspondientes a la modificación de la distribución en planta y a la realización del estudio. Finalmente, se muestran los ahorros conseguidos con la implementación de las diferentes propuestas, así como la amortización del proyecto en función de los pares de pantógrafos reparados.

En el capítulo número seis se recogen las conclusiones finales del proyecto.

Finalmente, se encuentra la bibliografía, donde se recogen los documentos que han sido consultados durante la elaboración de este proyecto.



2. LA EMPRESA: RENFE

2.1. La empresa

2.1.1. SU HISTORIA

En 1941 nace la Red Nacional de Ferrocarriles Españoles (Renfe) con el propósito de reconstruir y nacionalizar la industria del ferrocarril en España.

En 1946, las locomotoras a vapor dejan paso al sistema eléctrico. Con ello llegó el primer Talgo comercial, que viajaba de Madrid a Hendaya con una velocidad máxima de 120 km/h. En 1955 se introdujo el uso del diésel en las locomotoras y trenes.

Durante la siguiente década, se modernizan las infraestructuras y se renuevan las instalaciones destinadas a conservación y revisión de los vehículos.

A partir de 1980, se desarrolla una de las decisiones estratégicas más importantes, incorporando grandes núcleos de cercanías, como el de Madrid o el núcleo de Rodalíes en Cataluña. Además, se crea una red de infraestructuras de alta velocidad, la cual culmina al inaugurarse el Ave Madrid-Sevilla en 1992.

Cabe destacar que, en el año 2005, Renfe se divide en Adif (Administrador de Infraestructuras Ferroviarias) y Renfe Operadora, de acuerdo con las nuevas directivas económicas de la Unión Europea. En 2008 llega el Ave a Barcelona y, ocho años más tarde, traspasa fronteras conectando con Francia.

Con el propósito de continuar la estrategia de internacionalización, en el año 2019 se alcanzan los 1000 viajes del Ave Medina-La Meca y se construye Renfe of America.

En este año 2021, el Grupo Renfe cumple ya 80 años de servicio.



Ilustración 1. Renfe celebra 80 años de tren en España

2.1.2. SERVICIOS

El Grupo Renfe está compuesto por cuatro sociedades anónimas: Renfe Mercancías, Renfe Fabricación y Mantenimiento, Renfe Viajeros y Renfe Alquiler de Material Ferroviario, y una entidad pública empresarial: Renfe Operadora.

Esta última es quien encabeza el grupo. El capital de las cuatro sociedades anónimas mencionadas pertenece íntegramente a Renfe Operadora. El objetivo de esta disgregación no fue otro que liberar y abrirse a la competencia del sector ferroviario.

RENFE VIAJEROS

Es la parte de la empresa que se encarga de gestionar el transporte de viajeros y la comercialización de productos relacionados con los entornos metropolitanos, regionales, nacionales e internacionales.

Renfe Viajeros es la cara más visible de la compañía, en especial los trenes de Alta Velocidad. La Red de Ferrocarriles de Alta Velocidad en España alcanza ya cerca de 2.700 kilómetros de ancho estándar. Esto la convierte en la red más extensa de Europa, y la segunda del mundo.

Se calcula que hay una media de casi 100.000 viajeros diarios utilizando esta infraestructura, la cual conecta ciudades como Madrid y Barcelona, o Madrid y Málaga.

Recientemente, Renfe ha sacado a la luz Avlo (Ilustración 2), una nueva modalidad de transporte a bajo coste. Su objetivo era el de hacer más fácil la movilidad de distintos clientes provenientes de otros medios de transporte como el avión o el autobús.



Ilustración 2. Avlo, el tren "low cost" de Renfe

Cabe destacar, también, dentro de Renfe Viajeros, los servicios de Cercanías. Se implementó en 1989 para poder conectar las áreas metropolitanas con el centro de las grandes ciudades españolas. Este servicio es competencia de la Administración General del Estado, a excepción de las Rodalíes de Cataluña, competencia de su propia Generalitat. La empresa destaca que el sistema de cercanías es uno de los medios de transporte más ecológicos.

Los servicios de trenes a Media Distancia, los cuales son usados por más de 15 millones de clientes al año, conectan gran cantidad de municipios, tanto entre ellos como con las grandes capitales. Ente ellos, cabe mencionar los servicios Avant de Alta Velocidad Media Distancia. Aprovechan los beneficios de la alta velocidad para cubrir las necesidades de movilidad entre poblaciones cercanas. Están diseñados específicamente para viajes cortos y rápidos.

RENFE MERCANCÍAS

Su objetivo es el transporte de mercancías, contando con un operador logístico y aportando una gran fiabilidad en las entregas, tanto en plazos como en seguridad.

Renfe Mercancías ha diseñado un sistema de trazabilidad online que permite realizar un seguimiento de todos los elementos implicados en el proceso. Además, ha desarrollado una estrategia centrada en reforzar su posición comercial.



Ilustración 3. Vehículo de Renfe Mercancías

RENFE FABRICACIÓN Y MANTENIMIENTO

Corresponde al área industrial y de ingeniería del grupo. Su labor consiste en la reparación de todo el material ferroviario y sus componentes. También ofrece servicios de consultoría de ingeniería y de gestión de instalaciones.

El mantenimiento de los trenes se puede dividir en tres labores distintas: mantenimiento preventivo, reparaciones puntuales o grandes remodelaciones del material.

El mantenimiento preventivo es aquel que se planifica con antelación en función de un parámetro, por ejemplo, los kilómetros recorridos por el vehículo. En él se realizan exámenes relacionados con la seguridad y el confort, así como operaciones de limpieza.

Las operaciones de reparación puntuales pueden abarcar desde averías o daños provocados por accidentes hasta desperfectos provocados por vandalismo o simple desgaste del material.



Las grandes remodelaciones de material que se realizan en los talleres de Renfe suponen operaciones complejas que provocan la total paralización de los vehículos por largos periodos de tiempo. Su objetivo es prolongar la vida útil del tren, además de mantener cierto estándar de calidad y una buena prestación del servicio.

Dentro de esta área, se ofrecen cinco servicios:

- El mantenimiento de trenes bajo un riguroso Plan de Calidad.
- La reparación de componentes tanto eléctricos como mecánicos.
- Una transformación de los trenes en función de las necesidades del cliente y la evolución de tecnologías y materiales.
- Fabricación de trenes de Alta Velocidad y de Cercanías con la colaboración de otros fabricantes.
- Servicios de Consultoría.

Para el desarrollo de estas actividades, Renfe enumera hasta un total de 106 instalaciones por toda la superficie del país. Entre ellas se encuentra la Base de Mantenimiento Integral de Valladolid, correspondiente al mantenimiento pesado de los trenes de alta velocidad u otro material rodante que necesite de dichos servicios.

RENFE ALQUILER DE MATERIAL FERROVIARIO

Esta parte se encarga de la venta y alquiler de material rodante a otros operadores ferroviarios que lo necesiten. Para ello, cuenta con una gran cantidad de trenes y vagones, tanto de alta velocidad como media o larga distancia, que están disponibles para clientes nacionales e internacionales, incluyendo también su mantenimiento.

3. LA BASE DE MANTENIMIENTO INTEGRAL DE VALLADOLID

Inicialmente, los talleres de Renfe se encontraban en el paseo de Farnesio. En enero de 2008 se adjudicó la construcción de la nueva variante en el Páramo de San Isidro.

En abril 2019, se comenzó el traslado a la nueva Base de Mantenimiento Integral de Fuente Amarga (Ilustración 4), y no finalizó hasta principios del año 2020. Durante el proceso de traslado, no se cesó la actividad en los talleres. Resultó una labor complicada, ya que debía ser realizada por fases minuciosamente programadas con el fin de no detener los trabajos en el paseo de Farnesio.

El nuevo complejo ferroviario cubre una extensión de más de 986.000 metros cuadrados y cuenta con más de 600 empleados, tanto de Renfe como externos.



Ilustración 4. Nueva BMI de Renfe en Valladolid

El propósito de esta base es la reparación, mantenimiento y transformación del material ferroviario, así como fabricación de nuevas unidades, cumpliendo con



unos estándares de calidad, además de aportando rentabilidad y competitividad.

Entre las actividades que se realizan en la BMI, cabe destacar:

- Reparación de los vehículos transcurridos cierto número de kilómetros recorridos por el mismo.
- Actualización de los trenes para una optimización del transporte de viajeros.
- Ampliación del Plan de Mantenimiento, consiguiendo confort, seguridad y una mayor vida útil de la propia unidad.
- Fabricación, junto a empresas como Siemens, CAF y Alstom, de material ferroviario.
- Mejora de las prestaciones para las personas con movilidad reducida en algunas de sus series.
- Reparación de componentes, cada uno de ellos contando con su sección especializada.

El presente documento guarda relación con esta última actividad. La reparación de los pantógrafos se realiza en un área especializada para este trabajo.

3.1. La sección y los problemas encontrados

3.1.1. LOS PANTÓGRAFOS

Antes de comenzar con el estudio de la sección y su problemática, resulta preciso definir y entender qué es un pantógrafo (Ilustración 5) y cómo funciona.

DEFINICIÓN Y COMPONENTES

Según la normativa europea, un pantógrafo se define como “el aparato para la toma de corriente de uno o más hilos de contacto, formado por un dispositivo articulado que permite el desplazamiento vertical de la cabeza del pantógrafo”. Su función es, básicamente, suministrar corriente para la alimentación de los vehículos con motores eléctricos.

El tipo de pantógrafo estudiado en este trabajo es aquel correspondiente a las series de trenes 446 y 447 (Ilustración 6), ya que mantienen una gran similitud.



Ilustración 5. Pantógrafo sobre el techo de un tren



Ilustración 6. Pantógrafo de la serie 447 después del proceso de mantenimiento



Los principales componentes de estos pantógrafos son los siguientes (Ilustración 7, Tabla 1, Tabla 2):

- Un bastidor, provisto de cuatro aisladores-soporte.
- Un sistema articulado donde colocar el frotador o mesilla. Éste asegura el continuo contacto con la catenaria a una presión constante, independientemente de la altura del hilo de corriente.
- Unos resortes equilibradores cuya función es elevar el sistema articulado (13).
- Un motor de aire comprimido que regula la subida o bajada del sistema (3).
- Una caja de válvulas para controlar las velocidades de subida y bajada, amortiguando así el movimiento final a su carrera y evitar golpes. Se encuentra montada en el interior del vehículo, y no junto al propio pantógrafo.
- Un frotador o mesilla (10), encargado de mantener el contacto con la catenaria. Está soportado sobre el sistema articulado de manera elástica.
- Un amortiguador que trabaja mediante aire comprimido (12). El aire sirve para anular el esfuerzo de los resortes de descenso.

Cuando el pantógrafo está trabajando (en contacto con la catenaria), hay una presión constante dentro del motor de aire comprimido, permitiendo así que el conjunto de resortes y sistema articulado tenga completa libertad de movimiento. El objetivo del diseño de este sistema es permitir que el frotador siga libremente los desniveles de la catenaria.

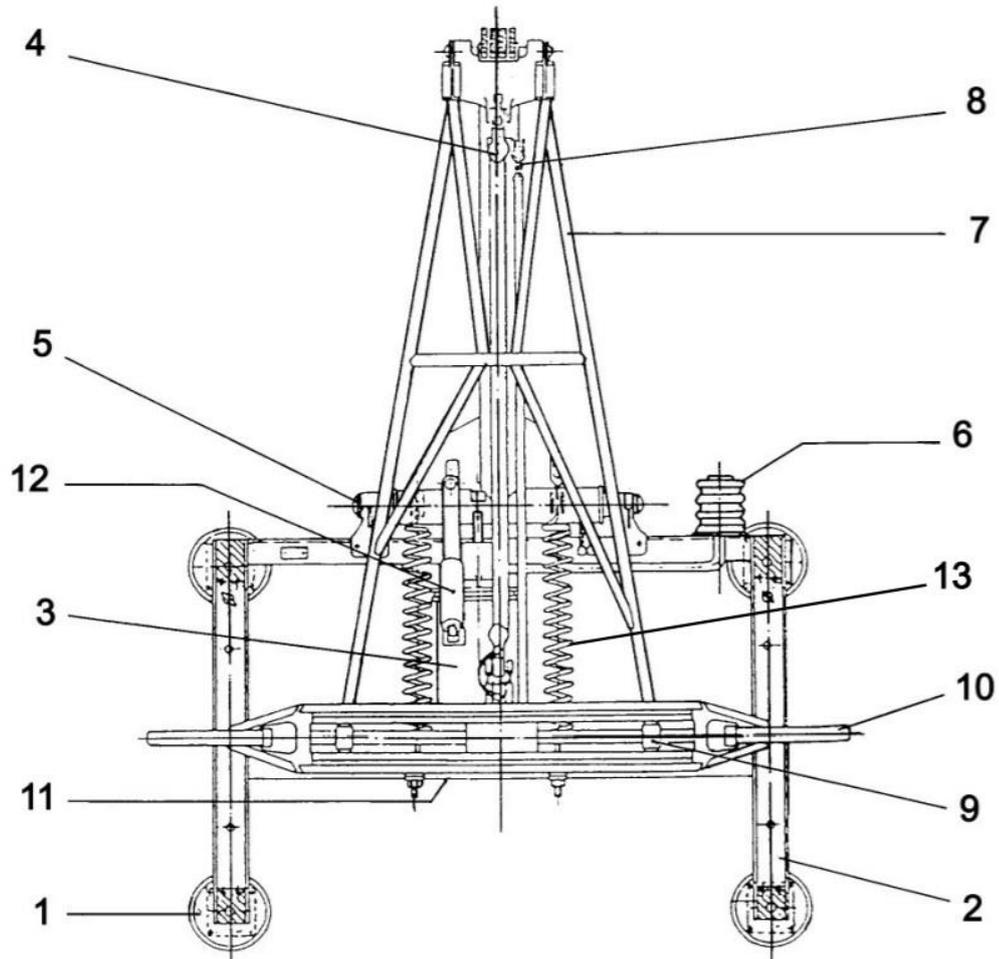


Ilustración 7. Partes de un pantógrafo

1	Aislador equipado
2	Bastidor
3	Motor de aire
4	Barra de empuje
5	Articulación intermedia y brazo inferior
6	Accesorios brazo inferior

Tabla 1. Lista de partes de un pantógrafo



7	Cuadro superior
8	Biela auxiliar
9	Articulación superior
10	Frotador
11	Palanca
12	Amortiguador
13	Resortes

Tabla 2. Lista de partes de un pantógrafo (continuación)

FUNCIONAMIENTO

El movimiento que debe realizar la parte móvil del pantógrafo se resume en dos pasos muy simples: subida y descenso. Todas las partes del pantógrafo mencionadas en este punto se pueden observar en la Ilustración 8.

Para que el sistema articulado ascienda hasta hacer contacto con la catenaria, es imperativo el uso de aire comprimido. Éste se introduce y se hace llegar hasta la caja de válvulas y los tubos de conducción hasta la cámara del cilindro o motor de aire comprimido. El pistón es empujado por el aire, y comprime el juego de muelles que se encuentran en el interior.

La biela de empuje deja de estar inmovilizada por el pistón, provocando que los resortes principales deban trabajar para tirar del sistema móvil. De esta forma, se eleva todo el mecanismo articulado hasta que el frotador toma contacto con la catenaria.

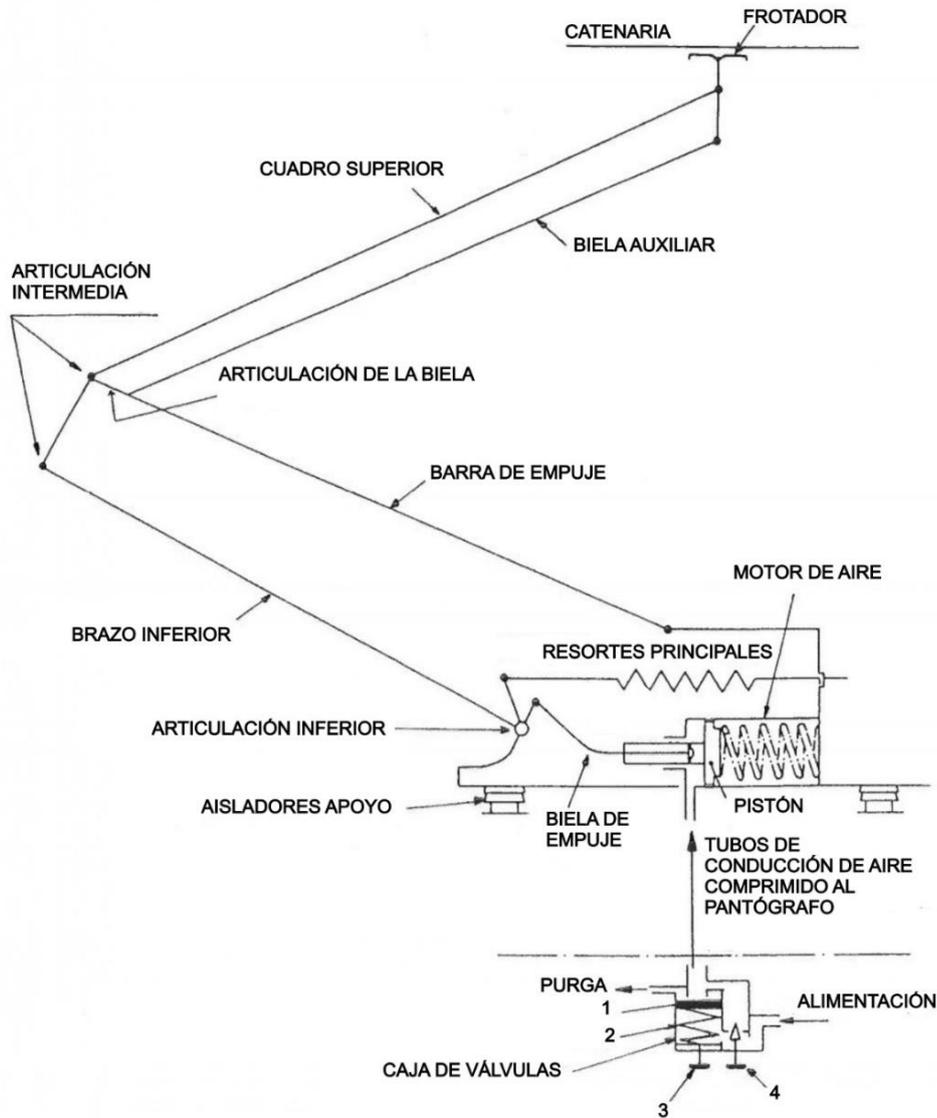


Ilustración 8. Esquema de un pantógrafo

El pistón puede continuar su recorrido hasta el tope final, lo que corresponde a llevar al sistema móvil del pantógrafo a su desarrollo más alto.

Como se ha mencionado anteriormente, el sistema está diseñado para que se encuentre siempre tocando la catenaria. Mientras la presión de aire no sea inferior a la cantidad establecida de 5kg/cm^2 , el pistón permanecerá en este punto final, de modo que todo el trabajo de movimiento del frotador será realizado por los muelles y el sistema articulado.



Cabe mencionar que, para regular la velocidad de subida del pantógrafo (y evitar golpes innecesarios del frotador contra la catenaria) se puede actuar sobre el tornillo 4, indicado en la Ilustración 8, para dosificar la cantidad de aire comprimido que entra en el sistema.

El desplazamiento descendente se consigue al purgar la tubería de aire comprimido por el lado de la alimentación.

Al reducir la presión en la tubería y en la cámara del muelle de la válvula, la presión contenida en el cilindro motor vence a la resistencia del muelle 2, y la válvula 1 se desplaza. Se consigue de esta manera una expulsión brusca del aire comprimido por la salida de “purga”.

Esta rápida eliminación de aire corresponde a un primer movimiento rápido de descenso del pantógrafo.

Al haber disminuido la presión, el muelle 2 vuelve a su posición y se cierra de nuevo la válvula 1, por lo que el paso de aire se puede realizar tan sólo por el conducto del tornillo 4, previamente regulado.

Este proceso conlleva a un descenso lento final de la parte móvil del pantógrafo. Tras este descenso, el pantógrafo alcanza la posición final de reposo, donde quedará inmóvil.

Al igual que la velocidad de subida, se puede regular la velocidad de bajada trabajando sobre el tornillo 3, lo que hace que se modifique la posición del muelle dentro de la caja de válvulas.

Según las especificaciones técnicas, lo ideal es que el punto en el que finaliza el descenso rápido se encuentre a unos 50 centímetros por encima de los topes amortiguadores sobre los que se apoya el cuadro superior del pantógrafo en su posición de reposo.

Estos elementos son regulados durante la fabricación del pantógrafo para una presión de aire y un esfuerzo estático sobre la catenaria establecidos. Sin embargo, una vez instalado en el vehículo, es posible que hayan variado ciertas condiciones del circuito neumático.

Es por ello que resulta necesario realizar un nuevo reglaje una vez haya sido dispuesto el pantógrafo en el techo del tren.

3.1.2. LA SECCIÓN DE REPARACIÓN

Como ya se ha mencionado anteriormente, el objetivo de este trabajo es el estudio de la optimización de esta sección.

A ella llega una pareja de pantógrafos por cada tren que llega a la Base de Mantenimiento Integral. La función de los dos agentes es la de reparar ambos en un tiempo determinado y coordinado con la reparación del resto de elementos del mismo vehículo.

Esta sección se encuentra dividida en diferentes zonas, cada una con sus funciones.

Una zona de almacenaje donde llegan los pantógrafos. Una vez el pantógrafo es desmontado del techo del tren, un operario se encarga de transportarlo hasta la sección de reparación. En esta zona es depositado a la espera de que los agentes trabajen sobre él.

Las zonas de trabajo son, como su propio nombre indica, donde se reparan los pantógrafos. En ellas podemos encontrar los bancos de trabajo, fabricados a medida para poder situar y anclar sobre ellos los pantógrafos a la hora de realizar el proceso de reparación.

El banco de pruebas (Ilustración 9) es una zona vallada por la seguridad de los trabajadores. En ella se sitúa el pantógrafo una vez reparado para realizar las pruebas necesarias según el manual de mantenimiento, las cuales explicaremos más adelante.



Ilustración 9. Banco de pruebas de pantógrafos

Próximo al banco de pruebas se encuentra el armario con el ordenador conectado a dicho banco, donde quedan registrados los resultados obtenidos en las pruebas mediante un software diseñado para este mismo cometido.

En la sección también se pueden encontrar diferentes almacenajes verticales o estanterías, comúnmente denominados “pinos”. Allí se reservan todas las piezas que deben ser cambiadas durante el proceso de reparación: tornillos, arandelas, tuercas...

La zona de seguridad es toda aquella porción de la sección destinada a la propia seguridad de los trabajadores durante el trabajo, así como del resto de operarios que trabajen en secciones colindantes.

3.1.3. PROBLEMÁTICA

Uno de los aspectos importantes para la mejora continua de esta sección es la remodelación de su layout o distribución en planta.

Para ello, es necesario realizar un layout inicial y, sobre él, un flujograma inicial, diagrama de hilo o “diagrama de spaghetti”. Gracias a este trabajo se puede observar los movimientos que los agentes deben realizar durante todo el proceso de reparación a lo largo de toda la sección.

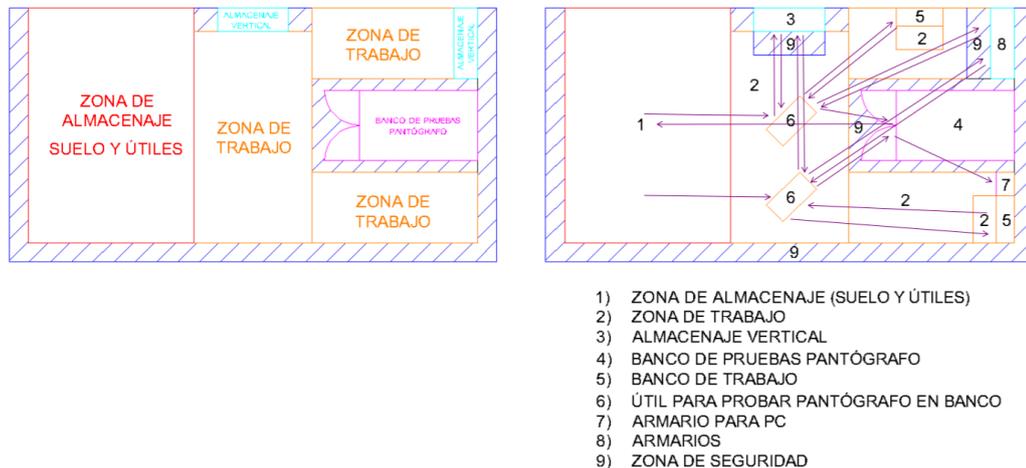


Ilustración 10. Layout y diagrama de spaghetti inicial

Como se puede observar en la Ilustración 10, el flujo tanto de agentes como de materiales por la sección es bastante caótico.



Las estanterías con las piezas utilizadas se encuentran relativamente lejos de una de las zonas de trabajo.

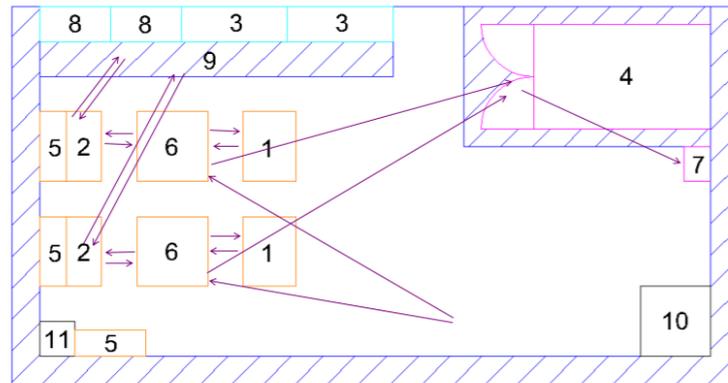
Un punto importante es la separación entre los bancos de trabajo (5) y el útil donde se apoya el pantógrafo durante todo el proceso de reparación (6). Esto es bastante incoherente ya que los agentes deben estar en continuo movimiento entre estos dos puntos.

También cabe mencionar la separación de los dos bancos de trabajo, los cuales corresponden cada uno a un agente. Durante el proceso de reparación, como se verá más avanzado este trabajo, es necesario que ambos agentes colaboren y trabajen sobre un mismo pantógrafo a la vez, durante un tiempo determinado. Por lo tanto, es recomendable situar ambas zonas de trabajo más cerca para facilitar esta colaboración a los agentes.

3.1.4. CAMBIOS EN EL LAYOUT

Como solución a los problemas encontrados con el layout inicial de la sección, se considera oportuno realizar una redistribución de la planta, de forma que el flujograma final sea óptimo.

La nueva distribución en planta, la cual se puede observar en la Ilustración 11, permite a los agentes acceder más fácilmente a todos los materiales almacenados en las estanterías, ya que se encuentran a escasos pasos de su puesto de trabajo.



- 1) PERCHAS
- 2) ZONA DE TRABAJO
- 3) ALMACENAJE VERTICAL
- 4) BANCO DE PRUEBAS PANTÓGRAFO
- 5) BANCO DE TRABAJO
- 6) ÚTIL PARA PROBAR PANTÓGRAFO EN BANCO
- 7) ARMARIO PARA PC
- 8) ARMARIOS
- 9) ZONA DE SEGURIDAD
- 10) ZONA LAVADO
- 11) ZONA CARGA/DESCARGA

Ilustración 11. Diagrama de spaghetti propuesto final

Además, ahora se encuentran más cerca los bancos de trabajo y los útiles donde se apoyan los pantógrafos, de forma que el tiempo empleado en este recorrido tan utilizado sea mínimo.

También se soluciona el pequeño inconveniente de la separación entre ambos agentes durante todo el proceso. Ahora pueden colaborar en el trabajo del otro compañero fácilmente, ya que se encuentran a escasos dos metros de distancia.

Se añadirá, también, un tercer banco de trabajo por la posible necesidad de integrar un tercer agente en determinados momentos a la sección.



Ilustración 12. Zona de trabajo y útiles en la sección

Las denominadas “perchas” (1) son útiles creados para poder depositar ciertas piezas de gran tamaño cuando son desmontadas del pantógrafo, como se puede observar en la Ilustración 12 y la Ilustración 13.



Ilustración 13. Percha con un frotador desmontado



4. HERRAMIENTAS UTILIZADAS

Para una correcta mejora del proceso de reparación tratado en este documento, es necesario utilizar una de las herramientas más eficaces: el estudio del trabajo.

“El estudio del trabajo es el examen sistemático de los métodos para realizar actividades con el fin de mejorar la utilización eficaz de los recursos y de establecer normas de rendimiento con respecto a las actividades que se están realizando” (Kanawaty, 1996).

Es decir, el estudio del trabajo pretende ver cómo se ejecuta una tarea y cambiar esta forma de actuar para disminuir todo trabajo que sea innecesario, evitar desperdicio de recursos y establecer el tiempo que debe ser empleado.

Según la Organización Internacional del Trabajo, gracias al estudio del trabajo se consigue aumentar la productividad dentro de cualquier sistema debido a la nueva forma de organizar el trabajo, y supone un gasto de capital escaso o nulo.

Con él se crean unas normas de rendimiento que rigen una planificación y un control eficaz de la producción. Los resultados son inmediatos y durarán tanto como la propia aplicación del método.

El estudio del trabajo se puede dividir en dos técnicas fundamentales: el estudio de métodos y la medición del trabajo.

Ambas técnicas están ligadas entre sí. Mientras el estudio de métodos trata de simplificar las tareas y determinar métodos más económicos y/o eficientes, la medición del trabajo delimita el tiempo que debería emplearse en dichas tareas.

Cada estudio se compone simultáneamente de diferentes técnicas que deben ser llevadas a cabo con el fin de lograr un objetivo común: una mayor productividad.

4.1. Estudio de métodos

“El estudio de métodos es el registro y examen crítico sistemáticos de los modos de realizar actividades, con el fin de efectuar mejoras”. (Kanawaty, 1996)



Según la Organización Internacional del Trabajo en su libro *“Introducción al estudio del trabajo”*, para realizar el estudio de métodos de un proceso se deben seguir ocho pasos:

1. **Seleccionar** el trabajo que se va a estudiar.
2. **Registrar** mediante la observación los hechos más relevantes de dicho trabajo.
3. **Examinar** de forma crítica cómo se realiza el trabajo, dónde, en qué orden y los métodos utilizados.
4. **Establecer** el método más práctico, económico y eficaz.
5. **Evaluar** diferentes opciones hasta elegir un nuevo método.
6. **Definir** el nuevo método de forma clara.
7. **Implantar** el nuevo método, formando a las personas que vayan a ejecutarlo.
8. **Controlar** la aplicación de este nuevo método.

Dentro del estudio de métodos, un punto importante a estudiar es el desplazamiento de los trabajadores y el material por la zona de trabajo. Para ello, existe una técnica eficaz denominada “diagrama de hilos” (“diagrama de spaghetti” mencionado anteriormente).

“El diagrama de hilos es un plano o modelo a escala en que se sigue y mide con un hilo el trayecto de los trabajadores, de los materiales o del equipo durante una sucesión determinada de hechos”. (Kanawaty, 1996)

El diagrama de hilos se puede utilizar para seguir los desplazamientos de los agentes y sus herramientas, pudiendo así estudiar las distancias recorridas por los mismos a lo largo de la superficie.

Con la ayuda de esta técnica, es posible examinar y crear un nuevo *layout* o distribución en planta de la sección donde se realiza el trabajo que se está estudiando.

El objetivo de esta modificación de la distribución en planta es encontrar aquella que minimice el recorrido realizado por el trabajador durante todo el proceso.

Además, en la distribución de los elementos que se encuentran en el lugar de trabajo, cada uno de ellos debe tener un sitio definido para una mayor facilidad a la hora de encontrarlos el trabajador.

Asimismo, deben estar lo más cerca posible del trabajador para eliminar desplazamientos innecesarios que aumenten el tiempo total de ejecución de la operación.



Esta herramienta ha sido utilizada en lo explicado en los apartados “Problemática” y “Cambios en el layout”.

Para ello, se tomó como referencia la distribución en planta inicial y se trazó líneas o “hilos” que unían aquellos dos puntos de inicio y fin de todo desplazamiento que realizaban los agentes.

Son importantes los movimientos entre los lugares de almacenamiento de materiales y el punto donde se realizaban la mayor parte de los trabajos.

De esta manera, se consiguió una representación visual del recorrido y permitió redistribuir la superficie eliminando los desplazamientos más conflictivos y aportando, además, una mayor comodidad a los agentes.

4.2. Medición del trabajo

“La medición del trabajo es la aplicación de técnicas para determinar el tiempo que invierte un trabajador cualificado en llevar a cabo una tarea definida efectuándola según la norma de ejecución preestablecida” (Kanawaty, 1996).

Los objetivos de esta técnica son, principalmente, dos. El primero de ellos es medir el tiempo que se tarda en llevar a cabo una operación de forma que sea posible diferenciar el tiempo improductivo del productivo. Una vez diferenciado esto, se usa la misma técnica para establecer unos tiempos tipo que deberían ser empleados en el proceso.

Para el desarrollo de la medición del trabajo, es necesario atravesar seis etapas según la OIT:

1. **Seleccionar** el trabajo que se va a estudiar.
2. **Registrar** los datos relativos al trabajo y los métodos utilizados.
3. **Examinar** los datos registrados de forma crítica y separar los elementos improductivos de los productivos.
4. **Medir** la cantidad de trabajo de cada operación, expresada en tiempo.
5. **Compilar** el tiempo del proceso, pronosticando momentos de descanso del trabajador.
6. **Definir** la lista de actividades, así como el método a realizar y el tiempo estimado en cada una de ellas.

Como se ha explicado anteriormente, la técnica de medición del trabajo se divide a su vez en otras técnicas. Una de ellas es el estudio de tiempos.

“El estudio de tiempos es una técnica de medición del trabajo empleada para registrar los tiempos y ritmos de trabajo correspondientes a los elementos de una tarea definida, efectuada en condiciones determinadas, y para analizar los



datos a fin de averiguar el tiempo requerido para efectuar la tarea según una norma de ejecución preestablecida” (Kanawaty, 1996).

Las etapas a ejecutar para el estudio de tiempo son ocho:

1. Examinar toda la información relativa a la tarea, el operario y las condiciones que puedan afectar al desarrollo del trabajo.
2. Anotar una descripción del método dividido en “elementos”.
3. Estudiar el desglose para encontrar mejoras en cuanto a métodos o movimientos utilizados.
4. Medir el tiempo llevado a cabo en cada elemento de la operación.
5. Determinar la velocidad de trabajo efectiva.
6. Convertir los tiempos observados en “tiempos básicos”.
7. Determinar adiciones que deberán ser añadidas al tiempo básico.
8. Determinar el “tiempo tipo” de la operación.

La técnica de estudio de tiempos ha sido empleada en lo relativo al apartado “Métodos y tiempos”, principalmente para la obtención de los tiempos recogidos en el punto “Cronograma ideal” y en “Cronograma real actual”.

Siguiendo los pasos descritos por la OTI, lo primero es examinar todo el proceso de reparación. Para ello fue necesario observar el trabajo de los dos agentes durante dos ciclos completos.

Durante la observación, se extrajo la lista de operaciones a realizar durante el proceso de reparación y se estimó la duración de cada una de ellas.

Para la estimación de estos tiempos, fue necesario apoyarse tanto en el tiempo real observado como en los inconvenientes que surgían durante el trabajo. Así mismo, fue importante tener en cuenta las experiencias y comentarios de los propios agentes, quienes conocen el proceso en mayor medida.

Uniando todos estos factores, fue posible establecer unos tiempos de trabajo a cada una de las operaciones que componen las distintas fases de reparación.

Para la elaboración del “Cronograma ideal” se apartaron, principalmente, los inconvenientes más habituales del proceso. Es decir, se supuso una reparación casi sin impedimentos.

Sin embargo, para la creación del “Cronograma real actual”, se tuvieron en cuenta todos aquellos contratiempos que provocaban un aumento de la duración: tornillos agarrotados, falta de materiales, operaciones tediosas...



5. MÉTODOS Y TIEMPOS

Para realizar este estudio es preciso observar el trabajo de los agentes durante todo el proceso de reparación y mantenimiento de un pantógrafo de la serie 447. Debido a su similitud con la serie 446, los resultados obtenidos al final de este trabajo pueden ser aplicados también a esta última mencionada.

En el curso de este proceso se pueden analizar los métodos utilizados y estimar el tiempo que se tarda en ejecutar cada operación. A la vez, se analizan todos los problemas que surgen, las causas que los provocan, e incluso las consecuencias que podrán ocasionar.

El principal objetivo de este estudio es conseguir reducir este tiempo utilizado. Según los datos proporcionados por la empresa, los agentes deben reparar ambos pantógrafos en un tiempo máximo de 16 horas.

Como se verá más adelante, los agentes consiguen terminar el trabajo en casi 29 horas. Esto es debido a un cúmulo de impedimentos, como falta de material o útiles, falta de tomas de aire comprimido o los métodos empleados en el trabajo.

Una vez obtenida la lista completa de operaciones a realizar y los tiempos estimados que se empleaban en cada operación, se puede comenzar a desarrollar una propuesta de mejora para el proceso.

5.1. Cronograma ideal

Las tareas que se ejecutan se pueden dividir en tres partes o fases:

- Una primera fase de desmontaje y reparación. Los agentes, a la vez que desmontan el pantógrafo, van reparando la mayor parte de los elementos que así lo requieran.
- Después, la fase de montaje. Los agentes unen de nuevo las piezas ya reparadas o cambiadas. Antes de ello, se limpian y pintan de nuevo si es necesario.
- La última fase corresponde a la verificación del estado de funcionamiento del pantógrafo. Son una serie de pruebas que se realizan en el banco de pruebas que se puede ver en la Ilustración 9.

Antes de comenzar a explicar el proceso de desmontaje, cabe mencionar que el pantógrafo llega limpio a la sección, y separado de la caja de válvulas.



Además, ha sido previamente atado mediante una brida para evitar que se despliegue durante su manipulación.

Es depositado en el suelo de la sección y los agentes pueden comenzar su cometido. Secan el pantógrafo y lo sitúan mediante la ayuda de un puente grúa sobre uno de los útiles de los que disponen. Una vez allí, deben anclarlo con seguridad para evitar cualquier tipo de accidente durante todo el proceso de mantenimiento.

Se verifica el estado del pantógrafo con la introducción de aire comprimido con el fin de encontrar posibles fugas de aire que terminarían por ocasionar un mal funcionamiento del mismo. Con este paso, los agentes pueden determinar si es necesario cambiar ciertas piezas o no.

Es importante, tras este punto, destensar los resortes principales para que resulte más cómodo a los agentes poder abrir el pantógrafo durante el proceso de mantenimiento.

Hasta este momento, ha transcurrido un tiempo estimado de **40 minutos** en el que el agente ha estado trabajando sobre el pantógrafo (Tabla 3).

OPERACIÓN	DURACIÓN
<i>Operaciones iniciales</i>	40
Retirar el capot	10
Verificar el estado de funcionamiento del pantógrafo	15
Destensar resortes	15

Tabla 3. Lista de operaciones iniciales



Ilustración 14. Pistola de impacto neumática

5.1.1. PROCESO DE DESMONTAJE

El primer paso en el proceso de desmontaje es retirar el frotador. Para ello, se realizan una serie de subtareas:

- Desmontar los pasadores que lo sujetan a la articulación superior.
- Desenganchar los “shunt” o trencillas, encargadas de transmitir la corriente obtenida desde la catenaria.
- Retirar por completo el frotador del pantógrafo (Ilustración 13).
- Verificación visual del estado de las bandas de contacto. Importante estudiar con cuidado si es necesario su recambio.

El tiempo estimado utilizado para retirar el frotador es de **20 minutos** (Tabla 4).

OPERACIÓN	DURACIÓN
<i>Retirar el frotador</i>	20
Desmontar pasadores	5
Desenganchar shunt	5
Retirar frotador	5
Verificar estado de las bandas de contacto	5

Tabla 4. Lista de operaciones "Retirar el frotador"



Una vez retirado el frotador o mesilla, se procede a desmontar el resto de componentes del pantógrafo en el siguiente orden:

- Desenganchar la biela auxiliar.
- Desenganchar la articulación intermedia del brazo inferior.
- Desenganchar, retirar y limpiar todos los “shunt” del pantógrafo. La limpieza debe realizarse con un líquido específico, y utilizando guantes y gafas de seguridad.
- Desenganchar y retirar el cuadro superior (Ilustración 15).
- Retirar la barra de empuje y la biela auxiliar, la cual había quedado desenganchada previamente.
- Desenganchar y retirar el amortiguador (Ilustración 23). Este elemento se cambia automáticamente, no se verifica su estado de funcionamiento.
- Desmontar los rodamientos de los resortes.
- Desmontar los rodamientos de tipo rótula que se encuentran en el brazo inferior.

Durante todo este proceso, aquellos elementos que así lo requieran deben ser reparados como, por ejemplo, enderezar barras que habrían sufrido algún golpe.

Todas estas tareas realizadas requieren de, aproximadamente, unos **125 minutos** (Tabla 5, Tabla 6).

OPERACIÓN	DURACIÓN
<i>Retirar otras partes</i>	125
Desenganchar biela auxiliar	10
Desenganchar articulación intermedia del brazo inferior	15
Retirar shunts	10
Limpiar shunts	15
Retirar cuadro superior	15
Retirar barra de empuje y biela auxiliar	15

Tabla 5. Lista de operaciones "Retirar otras partes"

OPERACIÓN	DURACIÓN
Retirar amortiguador	15
Desmontar rodamientos de los resortes	15
Desmontar rodamientos tipo rótula del brazo inferior	15

Tabla 6. Lista de operaciones "Retirar otras partes" (continuación)

Llegados a este punto, todos los elementos anteriormente mencionados han sido retirados y nos encontramos con el bastidor del pantógrafo y el motor de aire comprimido.



Ilustración 15. Cuadro superior sobre una percha

RETIRAR EL MOTOR DE AIRE COMPRIMIDO

Para retirar el motor, es necesario introducir aire comprimido en el sistema, de forma que los resortes dejan de trabajar y sea posible destensarlos para, posteriormente, retirarlos. Una vez hecho esto, se puede detener la introducción de aire.

Se retira la biela de empuje (Ilustración 16) y se desengancha la conexión del motor con los tubos de conducción de aire comprimido.



Ilustración 16. Biela de empuje

Ahora que el motor ya no se encuentra anclado de ninguna forma al bastidor del pantógrafo, se retira con la ayuda de un puente grúa y se sitúa sobre una base auxiliar (Ilustración 17).

El proceso de separar el motor de aire comprimido del pantógrafo puede tardar hasta **60 minutos** (Tabla 7, Tabla 8).

OPERACIÓN	DURACIÓN
<i>Retirar el motor de aire comprimido</i>	60
Comenzar introducción de aire comprimido	5
Destensar resortes	10
Parar la introducción de aire comprimido	5

Tabla 7. Lista de operaciones "Retirar el motor de aire comprimido"

OPERACIÓN	DURACIÓN
Retirar biela de empuje	10
Desenganchar conexión tubos de conducción	10
Retirar motor de aire con puente grúa	15
Situar motor sobre base auxiliar	5

Tabla 8. Lista de operaciones "Retirar el motor de aire comprimido" (continuación)



Ilustración 17. Motor de aire comprimido sobre base auxiliar

DESMONTAR EL MOTOR DE AIRE COMPRIMIDO

Gracias al uso de este útil es posible desmontar el motor de aire y realizar el cambio de todas las piezas que así lo requieren. El proceso de desmontaje consta, también, de varias subtarefas:

- Retirar tres de los seis tornillos hexagonales que sujetan el fondo del cilindro.

- Introducir el útil para desarmar el cilindro (Ilustración 18) por los tres orificios que han dejado los tornillos anteriormente mencionados.
- Descomprimir los resortes interiores del motor con la ayuda del útil.
- Retirar los tres tornillos hexagonales restantes y el útil para desarmar el cilindro.
- Retirar el fondo de cilindro montador y sacar el pistón montado (Ilustración 19).
- Retirar todas las junas “u” y la junta tórica, las cuales deben ser desechadas y cambiadas por unas nuevas.
- Retirar un resorte de descenso, la guía de resorte central y el último resorte de descenso (Ilustración 20).



Ilustración 18. Útil para desmontar el cilindro y motor de aire comprimido sobre base auxiliar (de arriba abajo)



Una vez están todas las piezas fuera del motor deben ser limpiadas. Los agentes inspeccionan visualmente el estado de la guía de descenso central, pistón montado y el interior del cilindro montado.

Es importante esta inspección ya que ninguna de estas piezas debe presentar fisuras o rayas, especialmente longitudinales, ya que esto podría afectar al funcionamiento del motor de aire y, por consiguiente, al funcionamiento del pantógrafo completo.

En este trabajo se ha estimado que la duración del proceso de desmontar el motor de aire comprimido es de unos **85 minutos** (Tabla 9).

OPERACIÓN	DURACIÓN
<i>Desmontar el motor de aire</i>	85
Retirar tres tornillos hexagonales	5
Introducir útil para desarmar cilindro	10
Descomprimir resortes	5
Retirar tres tornillos hexagonales	5
Retirar útil para desarmar cilindro	10
Retirar fondo de cilindro montado	3
Retirar pistón montado	3
Retirar juntas “u” y junta tórica	3
Retirar resorte de descenso	2
Retirar guía de resorte central	2
Retirar resorte de descenso	2
Limpiar partes	30
Inspeccionar partes	5

Tabla 9. Lista de operaciones "Desmontar el motor de aire"



Ilustración 19. Pistón montado (izquierda) y fondo de cilindro (derecha) antes de ser limpiados



Ilustración 20. Resortes de descenso antes de extraerlos del interior del cilindro



5.1.2. PROCESO DE MONTAJE

El proceso de montaje comienza continuando con el mantenimiento del motor de aire. Después, se procede a la limpieza, reposición de piezas y montaje del resto de elementos del pantógrafo.

MONTAJE DEL MOTOR DE AIRE COMPRIMIDO

Ya se han limpiado todas las piezas y ahora deben ser engrasadas de nuevo: los resortes, la guía de descenso central, el pistón montado y el fondo de cilindro montado.

Se colocan las nuevas juntas en forma de “u” y la junta tórica del pistón montado y fondo de cilindro. Es una tarea que requiere de precisión ya que deben quedar correctamente colocadas para evitar pérdidas de aire durante el uso del pantógrafo.

Se ensambla el pistón y el fondo de cilindro, obteniendo lo que se puede observar en la Ilustración 21.

Con las piezas engrasadas, los elementos necesarios cambiados y ciertas piezas ensambladas, se puede empezar a montar el motor de aire introduciendo cada parte en el siguiente orden:

- El primer resorte de descenso
- La guía de descenso central
- El segundo resorte de descenso
- El pistón y el fondo de cilindro previamente ensamblados

Se introduce entonces el útil para armar el cilindro, utilizado anteriormente para desarmarlo (Ilustración 18). Con la ayuda de la pistola de impacto se comprimen los resortes de descenso hasta cerrar el cilindro por completo.

Se introducen tres tornillos hexagonales en los orificios libres y se aprietan hasta quedar el fondo de cilindro bien sujeto al resto del cilindro para poder retirar el útil.

Una vez retirado el útil para armar el cilindro, quedan tres orificios libres para colocar los tres tornillos hexagonales restantes.

Todos estos tornillos deben ser repuestos por unos nuevos.

Como paso final para el montaje del motor de aire, se aprietan todos los tornillos completamente y se verifican pérdidas de aire antes de continuar con el proceso.



Se ha estimado un tiempo total de **60 minutos** para montar por completo el motor de aire comprimido (Tabla 10).

OPERACIÓN	DURACIÓN
Montar el motor de aire	60
Engrasar partes	4
Introducir resorte de descenso	2
Introducir guía de resorte central	3
Introducir resorte de descenso	2
Colocar nuevas juntas “u” y tórica	5
Ensamblar pistón y fondo de cilindro montado	5
Introducir pistón y fondo de cilindro montado	3
Introducir útil para desarmar cilindro	5
Comprimir resortes	5
Colocar tres tornillos hexagonales	3
Retirar útil para desarmar cilindro	5
Colocar tres tornillos hexagonales	3
Apretar tornillos	5
Verificar pérdidas de aire	10

Tabla 10. Lista de operaciones "Montar el motor de aire"

LIMPIEZA Y PINTURA

Antes de comenzar a montar el pantógrafo, se deben limpiar y pulir todos los elementos que así lo requieran. El pantógrafo es una parte del tren que trabaja a la intemperie y tiene una alta probabilidad de recibir impactos. Además, su

superficie queda deteriorada por el efecto de las condiciones climatológicas que hubiere durante los trayectos del vehículo.

El proceso de limpiar y pulir las partes necesarias del pantógrafo no ocupa más de **30 minutos** (Tabla 11).

Sin embargo, la tarea de pintar todo el pantógrafo, así como esperar a su secado para poder continuar con las operaciones de montaje, se estima que tiene una duración de **180 minutos** (Tabla 11).

OPERACIÓN	DURACIÓN
<i>Limpiar y pulir</i>	30
<i>Pintar</i>	180

Tabla 11. Lista de operaciones "Limpiar y pulir" y "Pintar"



Ilustración 21. Pistón montado y fondo de cilindro limpios y ensamblados



REPOSICIÓN DE PIEZAS

Hay ciertas piezas que deben ser cambiadas sistemáticamente. Hay otras que, si su estado es correcto, sólo son limpiadas y pueden continuar trabajando en el pantógrafo. Estos elementos que deben ser revisados y repuestos son:

- Los resortes y arandelas aislantes que se encuentran el interior de la unión del frotador con la articulación superior.
- Todos los rodamientos y rodamientos de tipo rótula que unen el brazo inferior con los resortes, los cuales son seis en total (Ilustración 22).
- Los topes que evitan el golpe brusco del cuadro superior con todos los elementos situados sobre el bastidor en el proceso de descenso del pantógrafo.
- Los rodamientos tipo rótula situados en los extremos de la barra de empuje.
- Los rodamientos y el cojinete del eje superior de la articulación superior (Ilustración 22).
- Todas las trencillas instaladas en el pantógrafo.
- Los elementos del aislador.
- Las siguientes partes del frotador: bandas de contacto, el refuerzo del separador, los cuernos, las bandas extremas, la armadura y sus trencillas.

Se ha estimado un tiempo medio de **220 minutos** para este proceso de reparación (Tabla 12).



Ilustración 22. Rodamientos de los resortes (izquierda) y rodamientos y cojinete de la articulación superior (derecha)

OPERACIÓN	DURACIÓN
Reposición de piezas	220
Resorte y arandela aislante	15
Rodamientos y rodamientos tipo rótula resortes	30
Topes	30
Rodamientos tipo rótula barra de empuje	30
Rodamientos y cojinete articulación superior	30
Frotador	40
Trencillas	30
Elementos del aislador	15

Tabla 12. Lista de operaciones "Reposición de piezas"



MONTAJE DE TODOS LOS ELEMENTOS

Se comienza colocando el motor de aire en su lugar con la ayuda del puente grúa, al igual que se hizo en su desmontaje.

Es importante engrasar todas las partes del pantógrafo que lo necesiten para un correcto funcionamiento.

El resto de elementos del pantógrafo deben ser instalados siguiendo el siguiente orden:

- Colocar los resortes principales
- Introducir la biela de empuje en el orificio del motor de aire comprimido
- Colocar el capot que protege la entrada al motor de aire
- Colocar la barra de empuje y la biela auxiliar
- Colocar el cuadro superior
- Ajustar el cuadro superior para que quede centrado y tocando ambos topes
- Colocar el frotador
- Colocar el amortiguador

Con estos pasos realizados, nos encontramos con el pantógrafo montado por completo. Para estas últimas operaciones se ha calculado un tiempo aproximado de **115 minutos** (Tabla 13, Tabla 14).

OPERACIÓN	DURACIÓN
Colocar otras partes	115
Colocar motor de aire con puente grúa	15
Engrasar piezas	15
Colocar resortes	5
Introducir biela de empuje	5
Colocar capot	15
Colocar barra de empuje y biela auxiliar	10
Colocar cuadro superior	10

Tabla 13. Lista de operaciones "Colocar otras partes"

OPERACIÓN	DURACIÓN
Colocar articulación superior	10
Ajustar cuadro superior	10
Colocar frotador	10
Colocar amortiguador	10

Tabla 14. Lista de operaciones "Colocar otras partes" (continuación)



Ilustración 23. Amortiguador

5.1.3. PROCESO DE VERIFICACIÓN

Antes de dar por finalizado el proceso de mantenimiento del pantógrafo, es necesario realizar unas pruebas de verificación del estado de funcionamiento del mismo.

Si no salen resultados positivos, será imperativo estudiar el origen de los problemas y modificar todo aquello que sea necesario para la correcta actividad del pantógrafo.



Las pruebas a realizar son tres: prueba de estanqueidad, comprobación de presiones estáticas y horizontalidad de los frotadores.

El pantógrafo es llevado al banco de pruebas (Ilustración 9) y se conecta a una fuente de aire comprimido. El banco simula el funcionamiento del pantógrafo al entrar en contacto con la catenaria (Ilustración 24).

Mediante un software, se miden los valores necesarios para cada una de las pruebas a realizar en este proceso de verificación.

El tiempo total empleado en realizar las pruebas de verificación es de **35 minutos**. Éste se podría ver aumentado si las operaciones de rectificación se llegasen a complicar demasiado, aunque no es un caso común (Tabla 15).

PRUEBA DE ESTANQUEIDAD

La finalidad de esta prueba es detectar posibles fugas de aire a lo largo de todo el circuito del pantógrafo introduciendo aire comprimido en el mismo.

Conociendo el volumen total de aire en el interior y calculando la presión ejercida del pantógrafo sobre la catenaria al inicio de la prueba y al final, transcurridos **10 minutos**, es posible detectar dichas fugas.

Existe un límite establecido: un valor de 0,75 de diferencia entre estas presiones inicial y final.

Si el valor obtenido estuviese fuera del límite, es necesario encontrar las fugas de aire y solucionarlas.

COMPROBACIÓN DE PRESIONES ESTÁTICAS

De la misma manera que se ejecuta la prueba anteriormente explicada, se verifica el valor de la fuerza estática del frotador del pantógrafo contra el hilo de contacto de la catenaria.

Se estudia la constancia de la presión a lo largo del desarrollo del pantógrafo para diferentes alturas del hilo de contacto. Dicha fuerza debe tener un valor nominal de $10 \pm 0,5$ kg.

Si se obtuviese un valor por encima o por debajo del establecido, se procederá a ajustar los topes de reglaje para obtener el equilibrio deseado en el sistema articulado a todas sus alturas. Una vez conseguido, se sitúan los frenos correspondientes.

HORIZONTALIDAD DE LOS FROTADORES

Consiste en verificar la correcta horizontalidad del frotador bajo la catenaria. Basculando el frotador, se debe comprobar que existen 15° de libertad en ambos sentidos.

También es posible obtener este resultado con el uso del banco de pruebas y el software asociado, el cual nos dará una desviación en milímetros de esta medida al comparar un lado con otro.

En caso de resultados negativos, se maniobrará sobre la tuerca y contratuerca de la biela auxiliar hasta conseguir la correcta horizontalidad.



Ilustración 24. Pantógrafo en el banco de pruebas



OPERACIÓN	DURACIÓN
<i>Verificar estado de funcionamiento del pantógrafo</i>	25
Prueba de estanqueidad	10
Comprobación de presiones estáticas	10
Horizontalidad frotadores	5
<i>Colocar freno de tornillo de reglaje</i>	5
<i>Colocar tuerca brazo inferior y articulación intermedia</i>	5

Tabla 15. Lista de operaciones "Verificar estado de funcionamiento del pantógrafo"

5.2. Cronograma real actual

Los datos de tiempos dados en el apartado anterior han sido estimados en función de lo observado durante el mantenimiento de dos pantógrafos.

Sin embargo, el tiempo real obtenido es mucho mayor. Esto se debe a todos los problemas encontrados a lo largo del trabajo efectuado, los cuales serán explicados a continuación, además de estudiar cómo afectan a la duración de ejecución de las operaciones en cada fase del proceso.

5.2.1. CONTRATIEMPOS EN FASE DE DESMONTAJE

El primer problema encontrado es la necesidad de una segunda toma de aire comprimido para poder ejecutar la verificación del estado de ambos pantógrafos a la vez, cada una llevada a cabo por un agente distinto. Por ejemplo, durante los 15 minutos empleados por un agente en verificar un pantógrafo, nos encontramos con un segundo agente ocioso.

También hallamos el inconveniente de disponer de una sola pistola de impacto (Ilustración 14), la cual es utilizada para destensar los resortes principales. Este problema aparece varias veces a lo largo de todo el proceso de mantenimiento, ya que es un útil frecuentemente empleado.

Durante la operación de "Retirar el motor de aire comprimido: retirar motor de aire con la ayuda del puente grúa", además del problema de disponer de una



sola pistola de impacto, se añade también el contratiempo de la existencia de un solo puente grúa a compartir entre varias secciones.

En las tablas siguientes (Tabla 16, Tabla 17, Tabla 18, Tabla 19) se reúnen las duraciones reales de cada una de las operaciones del proceso de desmontaje del pantógrafo. Como se ha explicado, algunas de ellas serán el doble de su duración ideal debido a los inconvenientes encontrados.

OPERACIÓN	DURACIÓN IDEAL (min)	N.º AGENTES	USO DEL ÚTIL	DURACIÓN REAL (min)
Operaciones iniciales				
Retirar el capot	10	1	Sí	20
Verificar el estado de funcionamiento del pantógrafo	15	1	Sí	30
Destensar resortes	15	1	Sí	30
Retirar el frotador				
Desmontar pasadores	5	1	No	5
Desenganchar shunt	5	1	Sí	10
Retirar frotador	5	1	Sí	10
Verificar estado de las bandas de contacto	5	1	No	5
Retirar otras partes				
Desenganchar biela auxiliar	10	1	Sí	20
Desenganchar articulación intermedia del brazo inferior	15	1	Sí	30

Tabla 16. Lista de operaciones durante fase de desmontaje



OPERACIÓN	DURACIÓN IDEAL (min)	N.º AGENTES	USO DEL ÚTIL	DURACIÓN REAL (min)
Retirar shunts	10	1	Sí	20
Limpiar shunts	15	1	Sí	30
Retirar cuadro superior	15	2	Sí	30
Retirar barra de empuje y biela auxiliar	15	2	Sí	30
Retirar amortiguador	15	2	Sí	30
Desmontar rodamientos de los resortes	15	2	Sí	30
Desmontar rodamientos tipo rótula del brazo inferior	15	2	Sí	30
<i>Retirar el motor de aire comprimido</i>				
Comenzar introducción de aire comprimido	5	1	Sí	10
Destensar resortes	10	2	Sí	20
Parar la introducción de aire comprimido	5	1	Sí	10
Retirar biela de empuje	10	2	Sí	20
Desenganchar conexión tubos de conducción	10	1	No	10

Tabla 17. Lista de operaciones durante fase de desmontaje (continuación)

OPERACIÓN	DURACIÓN IDEAL (min)	N.º AGENTES	USO DEL ÚTIL	DURACIÓN REAL (min)
Retirar motor de aire con puente grúa	15	2	SÍ	30
Situar motor sobre base auxiliar	5	2	SÍ	10
<i>Desmontar el motor de aire</i>				
Retirar tres tornillos hexagonales	5	2	SÍ	10
Introducir útil para desarmar cilindro	10	2	SÍ	20
Descomprimir resortes	5	2	SÍ	10
Retirar tres tornillos hexagonales	5	2	SÍ	10
Retirar útil para desarmar cilindro	10	2	SÍ	20
Retirar fondo de cilindro montado	3	1	SÍ	6
Retirar pistón montado	3	1	SÍ	6
Retirar juntas “u” y junta tórica	3	1	SÍ	6
Retirar resorte de descenso	2	1	SÍ	4
Retirar guía de descenso central	2	1	SÍ	4

Tabla 18. Lista de operaciones durante fase de desmontaje (continuación)



OPERACIÓN	DURACIÓN IDEAL (min)	N.º AGENTES	USO DEL ÚTIL	DURACIÓN REAL (min)
Retirar resorte de descenso	2	1	Sí	4
Limpiar partes	30	1	Sí	60
Inspeccionar partes	5	1	No	5

Tabla 19. Lista de operaciones durante fase de desmontaje (continuación)

5.2.2. CONTRATIEMPOS EN FASE DE MONTAJE

El primer problema aparece en la operación de “Pintar” el pantógrafo. Dado que el objetivo final de este proceso es el mantenimiento de los pantógrafos para un correcto funcionamiento sobre el tren, se considera relevante estudiar más a fondo la posibilidad de una modificación del método empleado para la pintura de forma que ocupe una menor cantidad de tiempo.

En el apartado “Cronograma propuesto” se explica con mayor detalle este problema y el método propuesto para su solución (Segunda propuesta).

A lo largo de las operaciones de “Reposición de piezas” se pueden encontrar, principalmente, dos inconvenientes.

El primero de ellos es la falta de recambios en los pinos o estanterías de la sección. Este es un proceso que debería realizarse sistemáticamente, ya que existe personal cuya función es encargarse de la disponibilidad de estos elementos en el momento adecuado.

El segundo inconveniente no se puede controlar con la misma facilidad. Como se ha explicado anteriormente, el pantógrafo va situado en el techo del tren y trabaja a la intemperie. Esto significa que todos sus elementos están expuestos a la variación de la climatología, así como posibles golpes con agentes externos.

Debido a esto, es fácil encontrar tornillos agarrotados o rodamientos obstruidos. Lo que podría tratarse de una fácil reposición de piezas se convierte en una ardua tarea hasta retirar el elemento defectuoso.



De la misma manera que durante el proceso de desmontaje, continúa el problema de disponer de una sola pistola de impacto para los dos agentes, así como el de la toma de aire comprimido en sus mesas de trabajo.

En las tablas siguientes (Tabla 20, Tabla 21, Tabla 22, Tabla 23) se recoge la duración ideal de las operaciones, los dos inconvenientes que hacen aumentar este tiempo y la duración real actual durante los procesos de montaje y verificación final del estado de funcionamiento del pantógrafo.

Resulta necesario aclarar que en las tres pruebas realizadas durante la operación “Verificar estado de funcionamiento del pantógrafo”, la pistola de impacto no es necesaria; sin embargo, coinciden en el uso del banco de pruebas, por lo que también se duplica la duración ideal.

OPERACIÓN	DURACIÓN IDEAL (min)	N.º AGENTES	USO DEL ÚTIL	DURACIÓN REAL (min)
Montar el motor de aire				
Engrasar partes	4	2	No	8
Introducir resorte de descenso	2	2	No	4
Introducir guía de resorte central	3	2	No	6
Introducir resorte de descenso	2	2	No	4
Colocar nuevas juntas “u” y tórica	5	2	No	10
Ensamblar pistón y fondo de cilindro montado	5	2	No	10
Introducir pistón y fondo de cilindro montado	3	2	No	6

Tabla 20. Lista de operaciones durante fase de montaje



OPERACIÓN	DURACIÓN IDEAL (min)	N.º AGENTES	USO DEL ÚTIL	DURACIÓN REAL (min)
Introducir útil para desarmar cilindro	5	2	Sí	10
Comprimir resortes	5	2	Sí	10
Colocar tres tornillos hexagonales	3	2	Sí	6
Retirar útil para desarmar cilindro	5	2	Sí	10
Colocar tres tornillos hexagonales	3	2	Sí	6
Apretar tornillos	5	2	Sí	10
Verificar pérdidas de aire	10	2	Sí	20
Limpiar y pulir	30	2	No	60
Pintar	180	1	No	180
Reposición de piezas				
Resorte y arandela aislante	15	1	Sí	30
Rodamientos y rodamientos tipo rótula resortes	30	2	Sí	60
Topes	30	2	No	60
Rodamientos tipo rótula barra de empuje	30	2	Sí	60

Tabla 21. Lista de operaciones durante fase de montaje (continuación)



OPERACIÓN	DURACIÓN IDEAL (min)	N.º AGENTES	USO DEL ÚTIL	DURACIÓN REAL (min)
Rodamientos y cojinete articulación superior	30	2	Sí	60
Frotador	40	1	Sí	80
Trencillas	30	1	Sí	60
Elementos aislador	15	1	Sí	30
Colocar otras partes				
Colocar motor de aire con puente grúa	15	2	Sí	30
Engrasar piezas	15	1	No	15
Colocar resortes	5	2	Sí	10
Introducir biela de empuje	5	2	Sí	10
Colocar capot	15	1	Sí	30
Colocar barra de empuje y biela auxiliar	10	2	Sí	20
Colocar cuadro superior	10	2	Sí	20
Colocar articulación superior	10	2	Sí	20
Ajustar cuadro superior	10	2	No	20

Tabla 22. Lista de operaciones durante fase de montaje (continuación)



OPERACIÓN	DURACIÓN IDEAL (min)	N.º AGENTES	USO DEL ÚTIL	DURACIÓN REAL (min)
Colocar frotador	10	2	Sí	20
Colocar amortiguador	10	2	Sí	20
<i>Verificar estado de funcionamiento del pantógrafo</i>				
Prueba de estanqueidad	10	2	Sí	20
Comprobación de presiones estáticas	10	2	Sí	20
Horizontalidad frotadores	5	2	Sí	10
<i>Colocar freno de tornillo de reglaje</i>	5	1	Sí	10
<i>Colocar tuerca brazo inferior y articulación intermedia</i>	5	1	Sí	10

Tabla 23. Lista de operaciones durante fase de montaje (continuación)

5.2.3. CRONOGRAMA REAL ACTUAL

Una vez recopilados todos los datos de las duraciones reales de las operaciones a lo largo de todo el proceso de reparación, se muestra a continuación una condensación de los mismos por grupos (Tabla 24).

En ella se puede observar el problema que predomina en cada grupo de operaciones: la necesidad de dos agentes trabajando o la coincidencia en el uso de la pistola de impacto.



OPERACIÓN	DURACIÓN IDEAL (min)	N.º AGENTES	USO DEL ÚTIL	DURACIÓN REAL (min)
PROCESO DE DESMONTAJE				
Operaciones iniciales	40	1	Sí	80
Retirar el frotador	20	1	Sí	30
Retirar otras partes	125	2	Sí	250
Retirar el motor de aire	60	2	Sí	110
Desmontar el motor de aire	85	2	Sí	165
PROCESO DE MONTAJE				
Montar el motor de aire	60	2	Sí	120
Limpiar y pulir	30	2	No	60
Pintar	180	1	No	180
Reposición de piezas	220	2	Sí	440
Colocar otras partes	115	2	Sí	220
PROCESO DE VERIFICACIÓN				
Verificación del estado de funcionamiento	35	2	Sí	70
TOTAL IDEAL	970	TOTAL REAL ACTUAL		1.725

Tabla 24. Resumen de operaciones y las duraciones reales

Como se puede calcular en la Tabla 24, la duración ideal total es de 970 minutos, es decir, 16,17 horas o 2,24 días.

A continuación, se muestra el Diagrama de Gantt (Ilustración 25) obtenido a partir del cronograma ideal. Destacar que las líneas divisorias del diagrama se encuentran situadas a 433 minutos ya que son los correspondientes a una jornada diaria laboral en la empresa: 7 horas y 13 minutos. De esta manera, resulta sencillo ver la duración de las operaciones en días.

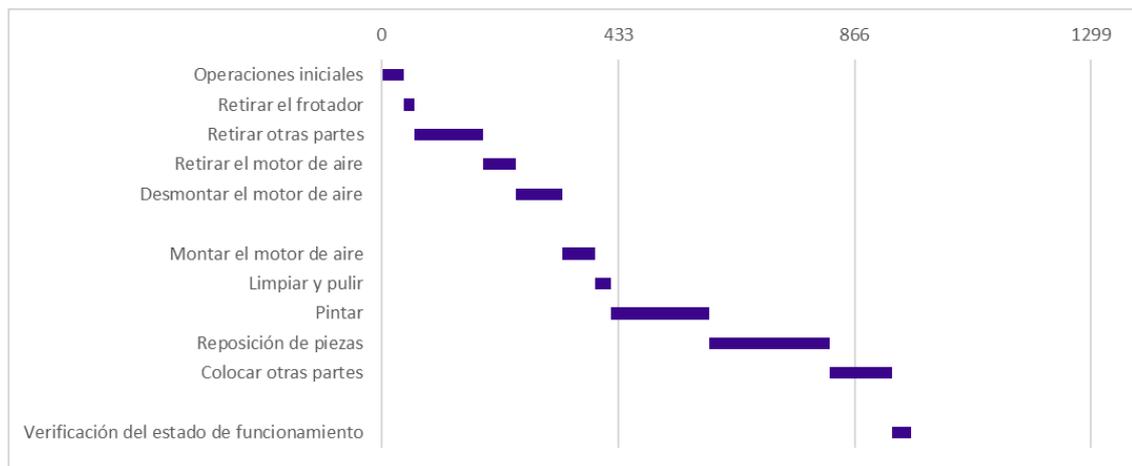


Ilustración 25. Diagrama de Gantt ideal

Como se ha mencionado anteriormente, según los datos proporcionados por la empresa, los agentes debían reparar la pareja de pantógrafos en un máximo de 16 horas.

Según el estudio realizado, el tiempo ideal se aproxima bastante a lo exigido. Sin embargo, el tiempo real asciende a 1.725 minutos. Esto suma 28,75 horas (4 días), cifra la cual casi duplica la demanda de la empresa.

De la misma manera que antes, se ha representado mediante un Diagrama de Gantt la duración de las actividades en el cronograma real actual en la Ilustración 26.

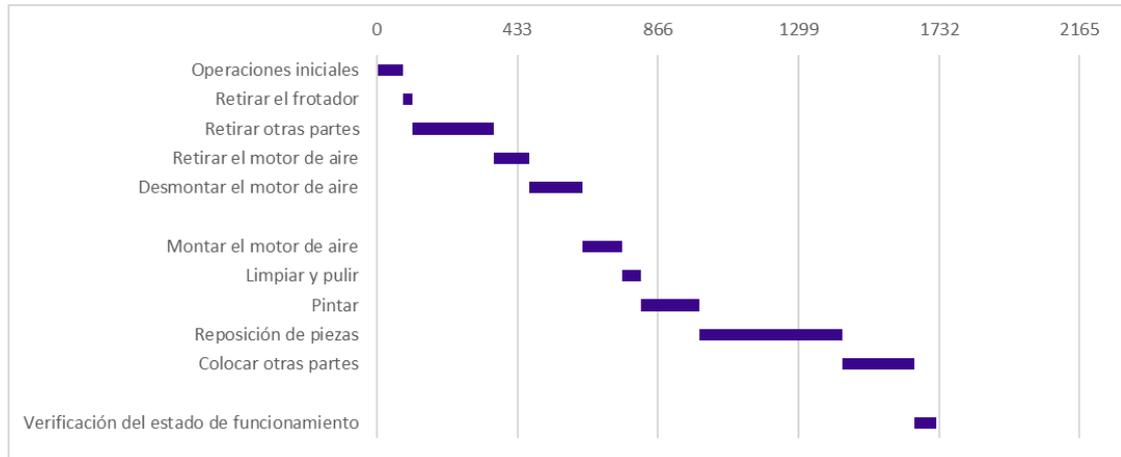


Ilustración 26. Diagrama de Gantt real

5.2.4. PROBLEMAS ENCONTRADOS Y POSIBLES SOLUCIONES

En este apartado se va a explicar con mayor detalle todos los problemas encontrados a lo largo del proceso de mantenimiento. Esto nos va a llevar al siguiente punto, Cronograma propuesto, donde se intentarán solucionar dichos inconvenientes.

El primero de los inconvenientes es el relativo a la pistola de impacto neumática. Como ya se ha explicado, sólo se dispone de una unidad en la sección y debe ser compartida por ambos agentes para realizar su trabajo.

Unido a este problema se encuentra el hecho de tener una sola toma de aire comprimido en cada mesa de trabajo. El contratiempo que esto genera es que, en determinadas operaciones, es necesario mantener el pantógrafo en su altura máxima mediante la introducción de aire en su sistema. A la vez, los agentes requieren de la herramienta para trabajar sobre el pantógrafo, la cual es alimentada también con aire comprimido.

La solución propuesta para corregir ambos problemas resulta evidente, conectar una nueva toma de aire comprimido en cada mesa de trabajo y añadir una nueva pistola de impacto neumática en la sección.

El segundo de los principales problemas encontrados es el referente a la necesidad de cooperar ambos agentes en determinadas operaciones.

La solución propuesta consiste en organizar el cronograma de forma que ambos agentes estén coordinados para trabajar sobre ambos pantógrafos, y obtener el menor tiempo ocioso posible en el transcurso de todo el proceso de



mantenimiento. Esta solución se podrá observar en el siguiente punto, Cronograma propuesto.

Un tercer problema importante descubierto es la falta de recambios de todo tipo de piezas. Como se ha mencionado, hay partes del pantógrafo, como el amortiguador, que debe ser cambiado sistemáticamente, sin revisar si se encuentra en buen estado de funcionamiento o no.

Donde más se puede apreciar esta insuficiencia de recursos es en pequeñas piezas como tornillos, arandelas, rodamientos y trencillas (shunts). Esta carencia provoca una pérdida de tiempo por parte de los trabajadores al tener que desplazarse hasta el almacén para obtener estos elementos.

La solución encontrada consiste en poner en conocimiento al departamento correspondiente de este problema para que aumenten el control sobre la disponibilidad de piezas en los pinos de la sección.

EL PROBLEMA CON LA PINTURA

El último problema llevado a estudio para corregirlo es el tiempo utilizado en pintar el pantógrafo. Esta operación, como se ha mostrado en el apartado Limpieza y pintura, se lleva a cabo en un tiempo de 180 minutos aproximadamente.

Los agentes deben pintar cada pieza del pantógrafo antes de ser montado mediante brocha. Esta tarea podría ser finalizada en menos tiempo si el pantógrafo no muestra demasiados desperfectos. Sin embargo, debido a las condiciones en las que ya se ha mencionado que trabaja esta parte del tren, lo más probable es que todas las piezas en su totalidad deban ser cubiertas de pintura.

A este tiempo de pintura debemos sumarle el tiempo de secado. En determinadas condiciones de temperatura y humedad dentro de la nave, es posible que esta duración se extendiese hasta horas.

Esta espera impide a los agentes poder continuar con su trabajo, lo que los convierte en trabajadores ociosos.

Si esta operación se realiza en las últimas horas de la jornada diaria, es probable que esté el pantógrafo disponible al día siguiente para continuar con el trabajo, sin necesidad de “perder tiempo”.

Sin embargo, no es lo más común. Si esta tarea sucede en las primeras horas, nos encontramos con agentes ociosos durante casi toda una jornada.

La propuesta de mejora para este problema se explica en el apartado “Segunda propuesta” con mayor detalle.



5.3. Cronograma propuesto

Tras estudiar el cronograma real y todos los problemas encontrados, se puede comenzar a desarrollar una propuesta de mejora con su cronograma propuesto correspondiente.

5.3.1. PRIMERA PROPUESTA

Para elaborar la primera propuesta se suponen resueltos los problemas de la pistola de impacto y la toma de aire comprimido.

Partiendo de las duraciones ideales estimadas al principio del proyecto, se duplicarán solo aquellas pertenecientes a las operaciones que requieran del trabajo de ambos agentes a la vez. De esta manera se obtienen los tiempos de trabajo propuestos, mostrados a continuación (Tabla 25, Tabla 26):

OPERACIÓN	DURACIÓN (min)
<i>PROCESO DE DESMONTAJE</i>	
Operaciones iniciales	40
Retirar el frotador	20
Retirar otras partes	200
Retirar el motor de aire	100
Desmontar el motor de aire	120
<i>PROCESO DE MONTAJE</i>	
Montar el motor de aire	120
Limpiar y pulir	60
Pintar	180
Reposición de piezas	340
Colocar otras partes	200

Tabla 25. Duraciones del cronograma propuesto

OPERACIÓN	DURACIÓN (min)
<i>PROCESO DE VERIFICACIÓN</i>	
Verificación del estado de funcionamiento	70
TOTAL PROPUESTA 1	1.450

Tabla 26. Duraciones del cronograma propuesto (continuación)

La suma total de las duraciones de las operaciones en este plan propuesto es de 1.450 minutos, es decir, 24,17 horas (3,35 días).

En el Diagrama de Gantt propuesto (Ilustración 27) se representa visualmente la duración de cada uno de los grupos de operaciones, así como el total de tiempo transcurrido en el proceso.

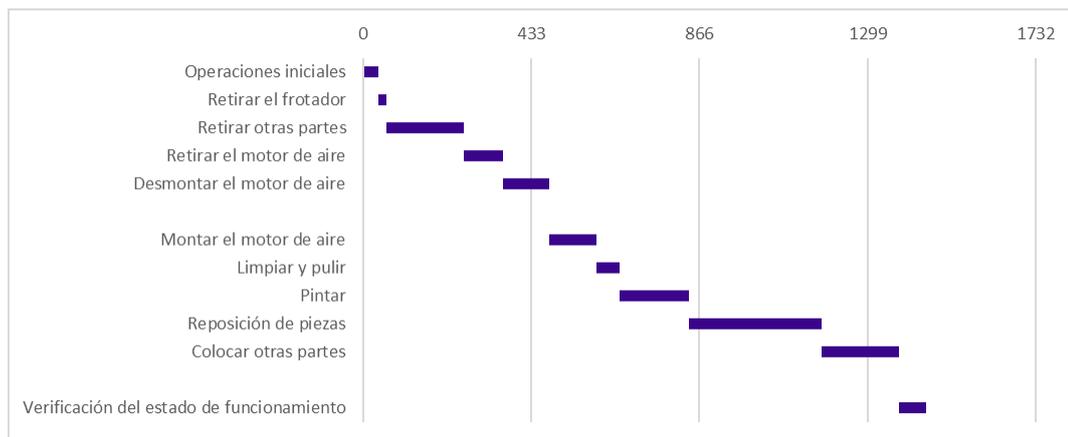


Ilustración 27. Diagrama de Gantt propuesto

Con esta propuesta de mejora se ha conseguido reducir el tiempo de mantenimiento de un pantógrafo de 28,75 horas hasta 24,17 horas.

Se trata de un plan fácil de ejecutar, ya que sólo supone la introducción de una pistola de impacto y la activación de dos tomas de aire comprimido (una en cada banco de trabajo).

Sin embargo, es una duración que aún se aleja bastante de la exigida por la empresa.



5.3.2. SEGUNDA PROPUESTA

Para dar un paso más, se expone en este apartado una segunda propuesta que trata de corregir el problema de la pintura. Para ello, se estudia llevar los pantógrafos a una cabina de pintura que ya existe en las instalaciones y que tiene horas disponibles para poder utilizarse. Allí, el método empleado para pintar el pantógrafo es mediante una pistola de pulverización, el cual es más rápido e igual de efectivo que la pintura a mano.

Llevar la operación de pintura a cabo mediante este método, supone añadir el trabajo de dos nuevos operarios ya contratados y que se encuentran trabajando en la BMI. Se trata de un operario de pintura y un operario de transporte, los cuales disponen de horas para este nuevo cometido.

Por parte de los dos agentes de la sección, es necesario preparar el pantógrafo antes de ser llevado a la cabina.

La primera operación que se debe realizar sigue siendo verificar el estado de funcionamiento del pantógrafo, al igual que se procedía en el resto de cronogramas.

El siguiente paso será retirar el frotador por completo y todas las trencillas del pantógrafo, ya que son elementos que no deben ser pintados.

Para continuar, los agentes de la sección deben preparar el pantógrafo sobre un palé para que el operario de transporte se responsabiliza del desplazamiento hasta la cabina de pintura.

Una vez allí, el operario de pintura se encarga de trabajar sobre el pantógrafo. Primero es necesario enmascarar todas aquellas partes que no deban ser pintadas: placas de contacto eléctrico del bastidor, los resortes principales y orificios donde no debe entrar la pintura.

Tras la operación de pintura, se deja secar en la cabina, la cual está preparada para un secado más rápido que a temperatura ambiente. Sin embargo, esta duración ya no resulta crítica, ya que se construye un nuevo cronograma donde no encontraremos agentes ociosos durante el secado de la pintura sobre un pantógrafo.

Finalmente, el pantógrafo es desenmascarado y transportado de nuevo hasta la sección para continuar con su proceso de mantenimiento.

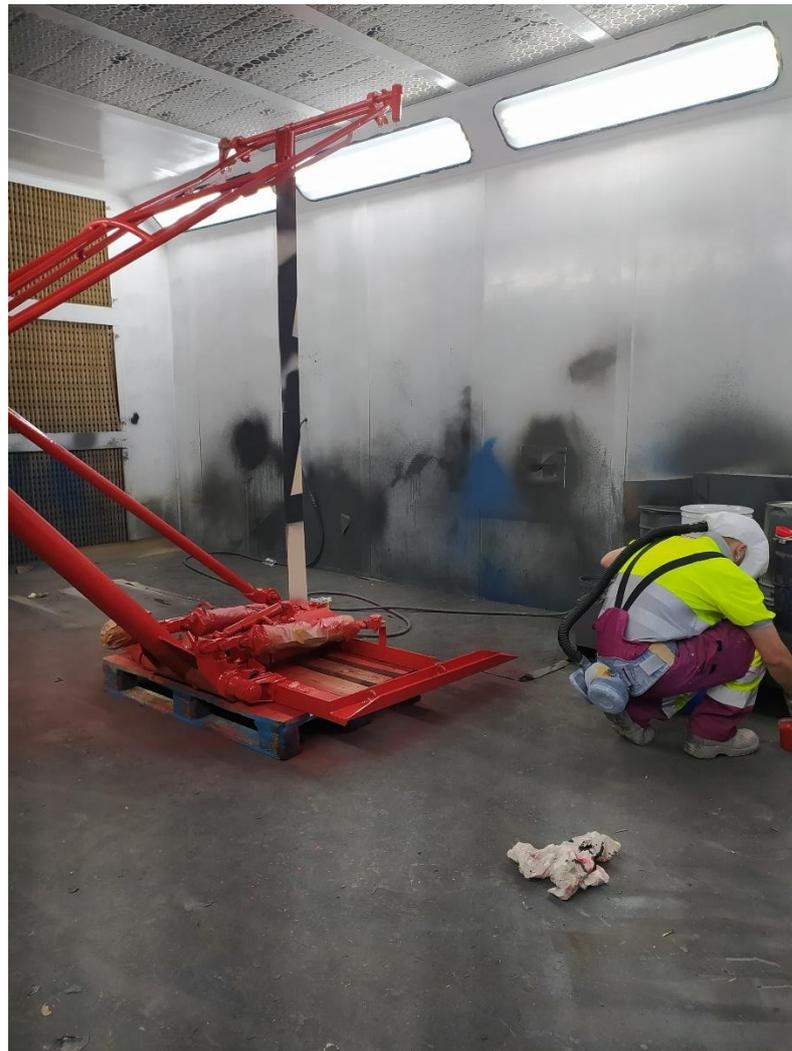


Ilustración 28. Pantógrafo en la cabina de pintura

Las duraciones de todas tareas llevadas a cabo por los agentes de pintura y de transporte se estimaron durante la observación de una prueba completa de este proceso (Tabla 27, Tabla 28).

OPERACIÓN	DURACIÓN (min)
<i>Pintar pantógrafo</i>	90
Transportar hasta la cabina	10

Tabla 27. Lista de operaciones "Pintar pantógrafo"



OPERACIÓN	DURACIÓN (min)
Enmascarar	40
Pintar	20
Desenmascarar	10
Transportar hasta la sección	10

Tabla 28. Lista de operaciones "Pintar pantógrafo" (continuación)

Los tiempos correspondientes a cada operario por pantógrafo son:

- Operario de transporte: 20 minutos
- Operario de pintura: 70 minutos

Para incorporar este método en el proceso, es necesario reestructurar la secuencia del resto de operaciones. El objetivo es no tener en ningún momento agentes ociosos, así como tampoco un pantógrafo sobre el que no se esté trabajando.

Como se ha visto anteriormente, hay operaciones que son realizadas individualmente y otras es necesario que se realicen en conjunto. Por ello, se dividirán a partir de ahora en estos dos grupos. Además, se diferencia entre pantógrafo 1 y pantógrafo 2, así como Agente A y Agente B.

Mediante el siguiente cronograma y Diagrama de Gantt (Ilustración 29) se pretende mostrar la propuesta de trabajo realizada contando con pintar los pantógrafos en la cabina.

Suponemos que el comienzo del mantenimiento de dos pantógrafos coincide con el comienzo del día 1.

El primer pantógrafo en llegar a la sección sería el "Pantógrafo 2", indicado en color verde. El Agente B comienza con las operaciones de mantenimiento las cuales puede realizar sin la cooperación del segundo agente: "Operaciones iniciales", "Retirar el frotador", "Desenganchar articulación intermedia del brazo inferior" y "Retirar shunt".

Durante estos 85 minutos, el "Pantógrafo 1", indicado en azul, llega a la sección (aproximadamente hay una diferencia de 30 minutos entre las llegadas de cada pantógrafo). El "Agente A" se encarga de realizar las primeras tareas



de “Verificar estado, retirar trencillas y frotador” durante 45 minutos, y prepara el pantógrafo para ser llevado a la cabina de pintura sobre un palé.

Cuando el pantógrafo 1 se transporta a la cabina de pintura, comienzan las operaciones conjuntas sobre el pantógrafo 2. Éstas tienen la suficiente duración como para mantener a los dos agentes trabajando a lo largo del día 1 y el comienzo del día 2.

Durante este tiempo, el pantógrafo 2 ha sido desmontado, reparado y montado de nuevo.

Una vez finalizadas estas tareas, preparado el pantógrafo 2 y llevado a la cabina de pintura, el pantógrafo 1 puede volver a la sección para ser reparado de la misma manera por ambos agentes.

De nuevo, estas operaciones se prologan a lo largo del resto del día 2 y gran parte del día 3.

Al llegar al final del día 3, el pantógrafo 2 ya tiene seca la pintura y puede ser devuelto a la sección. Ambos pantógrafos están reparados y listos para verificar sus estados de funcionamiento en el banco de pruebas.

Con este cronograma propuesto se obtiene una duración total de 1.310 minutos, lo que corresponde a 21,83 horas (3 días).

Como se ha mencionado anteriormente, y para su uso en el cálculo del presupuesto en el punto “Estudio económico”, las horas empleadas en la reparación de dos pantógrafos mediante esta propuesta se dividen de la siguiente forma:

TIPO DE OPERARIO	NÚMERO DE OPERARIOS	MINUTOS TRABAJADOS
Mantenimiento	2	1.130
Transporte	1	40
Pintura	1	140

Tabla 29. Minutos trabajados por tipo de operario



PROCESO DE MANTENIMIENTO	
Verificar estado, retirar trencillas y frotador pantógrafo	45
Preparar pantógrafo 1 para pintar	10
Pintar pantógrafo 1	90
Desmontar individual pantógrafo 2	85
Desmontar conjunto pantógrafo 2	80
Motor de aire comprimido pantógrafo 2	170
Reponer piezas pantógrafo 2	170
Montar partes pantógrafo 2	115
Preparar pantógrafo 2 para pintar	10
Pintar pantógrafo 2	90
Limpiar trencillas pantógrafo 1	30
Limpiar trencillas pantógrafo 2	30
Colocar pantógrafo 1 en la mesa de trabajo	20
Desmontar pantógrafo 1	120
Motor de aire comprimido pantógrafo 1	170
Reponer piezas pantógrafo 1	170
Montar partes pantógrafo 1	115
Verificar funcionamiento pantógrafos	70

PROCESO DE MANTENIMIENTO: RESUMEN	
Pintar pantógrafo 1	145
Reparar pantógrafo 2	650
Pintar pantógrafo 2	100
Reparar pantógrafo 1	625
Verificaciones de funcionamiento	70

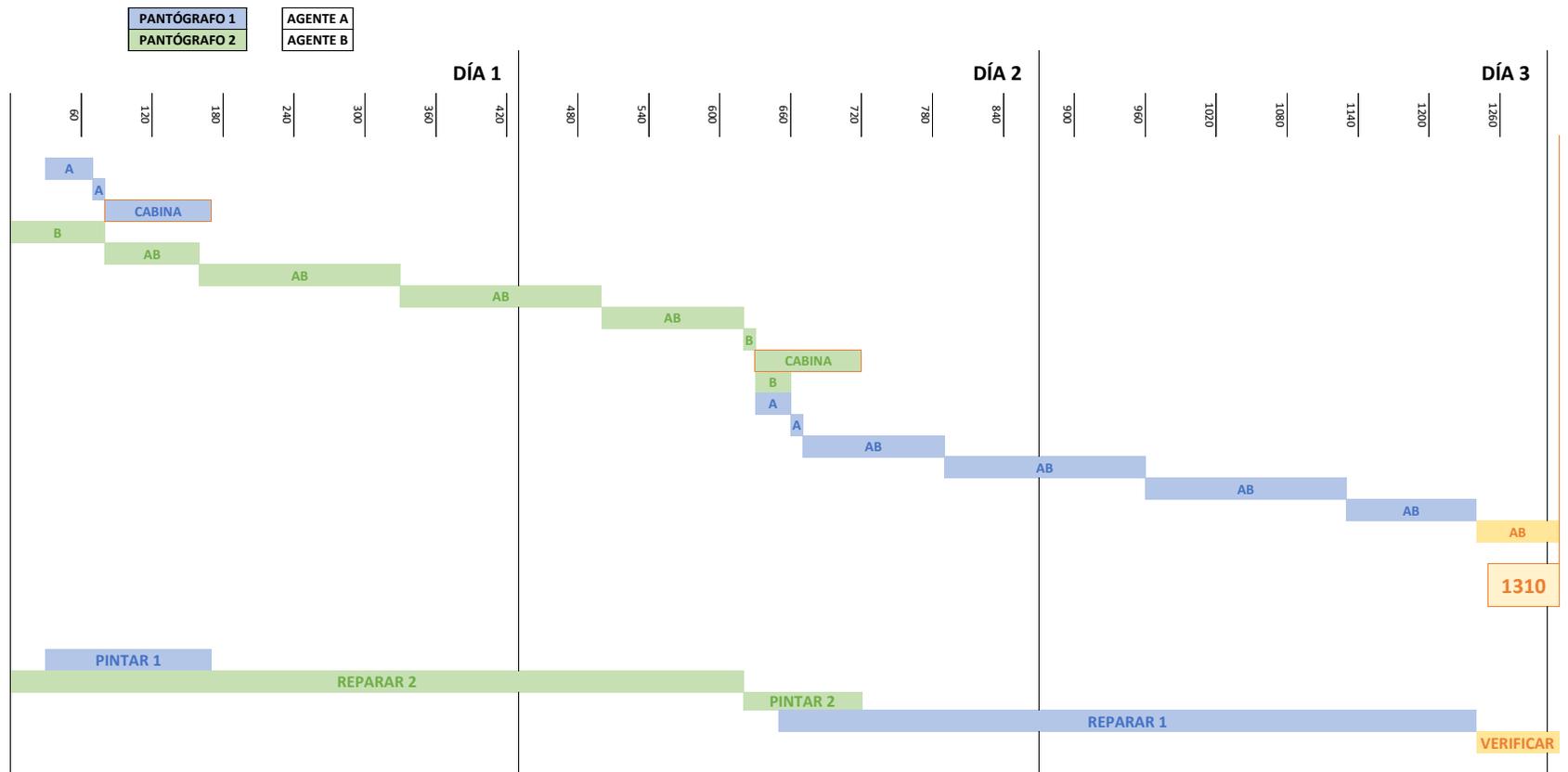


Ilustración 29. Cronograma propuesto y Diagrama de Gantt para pintura en cabina



En la Ilustración 29 se puede ver la lista de operaciones a realizar con el nuevo orden propuesto. Las tareas están organizadas de tal manera que los agentes estén siempre trabajando sobre un pantógrafo u otro.

En la parte inferior de la imagen se muestra un cronograma y diagrama de Gantt resumen, agrupando todas las operaciones en “Pintar”, “Reparar” y “Verificar”.

Como se puede observar, con este plan propuesto se consigue reducir el tiempo de mantenimiento de 2 pantógrafos a 21,83 horas. Es un valor que sigue estando lejos de la petición de la empresa. Sin embargo, se pretende también demostrar que el trabajo de los operarios es suficientemente eficiente.



6. ESTUDIO ECONÓMICO

Mediante este estudio económico se pretende estudiar la viabilidad del presente proyecto.

Para ello se han calculado los precios unitarios tanto de los materiales necesarios como de la mano de obra requerida.

Se muestra también la amortización de los equipos informáticos y las licencias de software que han sido utilizadas durante la realización de este estudio.

Posteriormente, se calcula un presupuesto para la modificación de la distribución en planta de la sección y un segundo presupuesto correspondiente al estudio realizado para la elaboración de este proyecto.

6.1. Precios unitarios

Para la mano de obra se tienen en cuenta dos convenios diferentes (Tabla 30, Tabla 31):

- El convenio correspondiente a ingeniería y oficinas de estudios técnicos para el cálculo del trabajo realizado en este estudio.
- El convenio del colectivo de RENFE para los operarios necesarios en las operaciones de mantenimiento.

MANO DE OBRA						
COD.	Titulación	Sueldo bruto/anual	Coste Seg. Soc.	Coste/anual	Horas trabajadas año	Coste €/h.
CONVENIO INGENIERÍA Y OFICINAS DE ESTUDIOS TÉCNICOS						
MO1	Ingeniero Técnico	20.424,25 €	30%	26.551,53 €	1.792 h.	14,82 €/h
CONVENIO COLECTIVO RENFE						
MO2	Operador especializado en mantenimiento y fabricación	24.921,00 €	30%	32.397,30 €	1.792 h.	18,08 €/h

Tabla 30. Costes unitarios de la mano de obra

MANO DE OBRA						
COD.	Titulación	Sueldo bruto/anual	Coste Seg. Soc.	Coste/anual	Horas trabajad as año	Coste €/h.
CONVENIO COLECTIVO RENFE						
M03	Operador de entrada en mantenimiento y fabricación	20.721,60 €	30%	26.938,08 €	1.792 h.	15,03 €/h

Tabla 31. Costes unitarios de la mano de obra (continuación)

MATERIALES		
COD.	Designación	Precio
MA1	Ud. Manguera neumática para aire comprimido de 15 Bar. para compresor con acoples rápidos 3 mm de espesor y de 10m. de longitud	17,95 €
MA2	Ud. Distribuidor neumático de 2 vías para conector rápido.	19,00 €
MA3	Ud. Pistola de impacto neumática de 1/2", velocidad de giro 7.500 rpm y 6,2 Bar. de Presión de trabajo.	101,95 €
MA4	PA. Parte proporcional de material de oficina, fotocopias, encuadernación, luz, internet, etc....	95,00 €

Tabla 32. Precios unitarios de los materiales necesarios

Encontramos en las tablas Tabla 30 y Tabla 31 las tres titulaciones diferentes necesarias en la elaboración y ejecución de este proyecto, con sus salarios correspondientes y el coste en euros por hora que suponen cada uno de ellos.

En la Tabla 32 se muestran los precios de los materiales necesarios para la realización de este proyecto, tanto para su estudio como para su implementación en la sección.

A continuación, en la Tabla 33, se muestra la amortización de los equipos informáticos cada año. Las horas trabajadas por cada uno de ellos serán iguales a las horas trabajadas por el ingeniero técnico encargado de la

realización de este estudio. De esta forma, se obtiene el coste en euros por hora de cada uno de los equipos.

AMORTIZACION EQUIPOS INFORMATICOS						
COD.	Designación	Coste compra	Plazo amortiz. (años)	Coste/año	Horas trabajadas año	Coste €/h.
AM1	Equipo informático	2.000,00 €	4	500,00 €	1.792 h.	0,28 €/h
AM2	Fotocopiadora/Impresora/escáner	450,00 €	6	75,00 €	1.792 h.	0,04 €/h
AM3	Licencia Microsoft 365 empresa Estándar (Suscripción anual)	126,00 €	1	126,00 €	1.792 h.	0,07 €/h
AM4	Licencia Project Profesional 2021	1.659,00 €	6	276,50 €	1.792 h.	0,15 €/h
AM5	Licencia Autocad 2022 (Suscripción 3 años)	6.323,00 €	3	2.107,67 €	1.792 h.	1,18 €/h

Tabla 33. Amortización de los equipos informáticos

6.2. Presupuesto para la organización del layout

En el capítulo “Cambios en el layout” se explican las modificaciones realizadas en la distribución en planta de la sección.

Para la ejecución de este trabajo será necesaria la participación de dos operadores encargados de mover el mobiliario de acuerdo a la nueva proposición de layout.

Además, como se muestra en el capítulo “Problemas encontrados y posibles soluciones”, se implementará en la sección una nueva toma de aire para cada mesa de trabajo, y se añadirá una pistola de impacto a la sección.

En lugar de crear una nueva toma de aire comprimido en cada mesa, con su correspondiente obra, se ha decidido adquirir dos distribuidores neumáticos de 2 vías para conector rápido. De esta forma, cada agente tendrá de forma rápida de dos conectores a su disposición.

Será necesario también obtener dos mangueras neumáticas para aire comprimido.



En la siguiente tabla se muestra el presupuesto para la organización del layout (Tabla 34):

PRESUPUESTO ORGANIZACIÓN DEL LAYOUT							
COD.	UD.	Descripción	Uds.	Horas	Total	Precio	Importe
MA1	Ud.	Manguera neumática para aire comprimido de 15 Bar. para compresor con acoples rápidos 3 mm de espesor y de 10m. de longitud	2	-	2	17,95 €	35,90 €
MA2	Ud.	Distribuidor neumático de 2 vías para conector rápido.	2	-	2	19,00 €	38,00 €
MA3	Ud.	Pistola de impacto neumática de 1/2", velocidad de giro 7.500 rpm y 6,2 Bar. de Presión de trabajo.	1	-	1	95,00 €	95,00 €
MO3	H.	Operador de entrada en mantenimiento y fabricación	2	12	24	15,03 €	360,72 €
TOTAL PRESUPUESTO							529,62 €

Tabla 34. Presupuesto para la organización del layout

6.3. Presupuesto por la realización del estudio

De la misma manera que en el apartado anterior, se ha desarrollado un presupuesto correspondiente a la realización del estudio de este proyecto.

Para ello ha sido necesaria la participación de un ingeniero técnico y el uso de los equipos informáticos con sus correspondientes licencias de software.

Todos los datos se recogen en la siguiente tabla (Tabla 35):



PRESUPUESTO PARA LA REALIZACIÓN DEL ESTUDIO							
COD.	UD.	Descripción	Uds.	Horas	Total	Precio	Importe
MO1	H.	Ingeniero Técnico	1	120	120	18,08 €	2.169,60 €
MA4	PA.	PA. Parte proporcional de material de oficina, fotocopias, encuadernación, luz, internet, etc....	1	-	1	95,00 €	95,00 €
AM1	H.	Equipo informático	1	120	120	0,28 €	33,60 €
AM2	H.	Fotocopiadora/Impresora/escáner	1	120	120	0,04 €	4,80 €
AM3	H.	Licencia Microsoft 365 empresa Estándar (Suscripción anual)	1	120	120	0,07 €	8,40 €
AM4	H.	Licencia Project Profesional 2021	1	120	120	0,15 €	18,00 €
AM5	H.	Licencia Autocad 2022 (Suscripción 3 años)	1	120	120	1,18 €	141,60 €
TOTAL PRESUPUESTO							2.471,00 €

Tabla 35. Presupuesto para la realización del estudio

Las horas empleadas en la realización de este estudio suman un total de 120. Las horas de uso del equipo informático y las licencias serán las mismas que las trabajadas por el ingeniero técnico.



6.4. Coste por reparación y mantenimiento

En las siguientes tablas se recogen los datos relativos a los costes del trabajo de los dos operarios de mantenimiento (COD. MO2, Operador especializado en mantenimiento y fabricación), el operario de transporte (COD. MO3, Operador de entrada en mantenimiento y fabricación) y el operario de pintura (COD. MO3, Operador de entrada en mantenimiento y fabricación).

Con estos datos se pueden comparar los costes en las diferentes propuestas del proyecto, así como ver el ahorro conseguido con las mismas.

Tanto en el cronograma real actual como durante la segunda propuesta, se requiere tan sólo de los dos operarios de mantenimiento (COD. MO2, Operador especializado en mantenimiento y fabricación). Es por ello que el ahorro conseguido durante la primera propuesta será el debido a la reducción en el tiempo de trabajo durante la reparación de dos pantógrafos.

Sin embargo, para la segunda propuesta, se introducen las figuras de un operario de transporte (COD. MO3, Operador de entrada en mantenimiento y fabricación) y un operario de pintura (COD. MO3, Operador de entrada en mantenimiento y fabricación).

La variación de coste en esta última propuesta vendrá dada tanto por la disminución del tiempo de trabajo, como por el aumento en coste de salarios debido a los dos nuevos integrantes.

6.4.1. COSTE EN EL CRONOGRAMA REAL ACTUAL

En primer lugar, en las Tabla 36 y Tabla 37, se recoge el coste debido al trabajo de los dos operarios de mantenimiento durante el cronograma real actual.

CRONOGRAMA REAL ACTUAL				
COD.	Designación	Coste €/h	Tiempo reparación	Coste
MO2	Operador especializado en mantenimiento y fabricación	18,08 €	28,75 h.	519,80 €

Tabla 36. Coste en el cronograma real actual

CRONOGRAMA REAL ACTUAL				
COD.	Designación	Coste €/h	Tiempo reparación	Coste
MO3	Operador de entrada en mantenimiento y fabricación	15,03 €	0,00 h.	0,00 €
TOTAL			28,75 h.	519,80 €

Tabla 37. Coste en el cronograma real actual (continuación)

El coste del trabajo de los dos operarios de mantenimiento, ambos especializados y con un coste por hora de 18,08€ suma un total de 519,80€.

6.4.2. COSTE EN LA PRIMERA PROPUESTA

En la primera propuesta se ha obtenido un ahorro en cuanto al tiempo total de trabajo de mantenimiento. Como se expresa en el apartado Primera propuesta, la duración se reduce de 28,75 horas a 24,17 horas. El coste, por tanto, de este trabajo se recoge en las tablas Tabla 38 y Tabla 39:

PRIMERA PROPUESTA						
COD.	Designación	Coste €/h	Tiempo reparación	Coste	Ahorro	%
MO2	Operador especializado en mantenimiento y fabricación	18,08 €	24,17 h.	436,99 €	82,81 €	15,93%

Tabla 38. Costes en la primera propuesta



PRIMERA PROPUESTA						
COD.	Designación	Coste €/h	Tiempo reparación	Coste	Ahorro	%
M03	Operador de entrada en mantenimiento y fabricación	15,03 €	0,00 h.	0,00 €	0,00 €	0,00%
TOTAL			24,17 h.	436,99 €	82,81 €	15,93%

Tabla 39. Costes en la primera propuesta (continuación)

Como se puede observar, con esta propuesta se consigue un ahorro de 82,81€, lo que corresponde a un 15,93% con respecto al coste total en la Tabla 36. De esta manera, se pasa a obtener un coste total para la reparación de dos pantógrafos de 436,99€.

6.4.3. COSTE EN LA SEGUNDA PROPUESTA

SEGUNDA PROPUESTA						
COD.	Designación	Coste €/h	Tiempo reparación	Coste	Ahorro	%
M02	Operador especializado en mantenimiento y fabricación	18,08 €	20,33 h.	367,57 €	152,23 €	29,29%

Tabla 40. Coste en la segunda propuesta

SEGUNDA PROPUESTA						
COD	Designación	Coste €/h	Tiempo reparación	Coste	Ahorro	%
MO3	Operador de entrada en mantenimiento y fabricación	15,03 €	1,50 h.	22,55 €	-22,55 €	0,00%
TOTAL			21,83 h.	390,12 €	129,68 €	24,95%

Tabla 41. Coste en la segunda propuesta (continuación)

Para la segunda propuesta se han introducido las figuras de operario de transporte y operario de pintura, ambos son operarios de entrada por lo que su coste por hora es de 15,03€.

Como se indica en el apartado “Segunda propuesta”, los tiempos trabajados por estos dos operarios son de 20 y 70 minutos, respectivamente. Es por ello que la suma total de las horas trabajadas a 15,03€ es de 1,5h.

Con esta propuesta se consigue un ahorro de 152,23€ en cuanto a coste por horas trabajadas por operarios especializados, y un incremento en el coste de 22,55€ debido a las horas trabajadas por los operarios de entrada.

En total, se obtiene un ahorro de 129,68€, lo que corresponde a un 24,95% con respecto al coste total obtenido en el cronograma real actual, en la Tabla 36.

6.5. Coste total y amortizaciones

El coste total del proyecto será la suma del coste presupuestado por la nueva organización del layout y el coste por la realización del estudio.

Ambos datos, calculados en los apartados “Presupuesto para la organización del layout” y “Presupuesto por la realización del estudio”, suman un total de 3.000,62€.

Se muestra en la Tabla 42 el cálculo de los pares de pantógrafos (un tren) que deben ser reparados para conseguir amortizar este proyecto.



	COSTE TOTAL PROYECTO	AMORTIZACIÓN 1º PROPUESTA	AMORTIZACIÓN 2º PROPUESTA
Cálculo por 2 uds. de pantógrafo 447	3.000,62 €	36,23	19,71

Tabla 42. Amortización del proyecto

Como se puede observar, se necesitaría reparar 36,23 pares de pantógrafos para la amortización del proyecto si se ejecuta la primera propuesta, y 19,71 pares de pantógrafos si se lleva a cabo la propuesta número dos.



7. CONCLUSIONES

El propósito final de este proyecto es la mejora continua de la sección de mantenimiento y reparación de los pantógrafos en la Base Integral de Mantenimiento ubicada en Valladolid.

Para realizar este estudio ha sido necesario aplicar, principalmente, las herramientas pertenecientes al estudio del trabajo.

El estudio del trabajo se compone de dos técnicas fundamentales: el estudio de métodos y la medición del trabajo.

Mientras uno determina los métodos más económicos y eficientes para la realización de un trabajo, el segundo estudia el tiempo que debería emplearse en dichas tareas.

Una vez comprendidos estos conceptos y entendidas las herramientas que nos ofrecen, es posible comenzar con el estudio del proyecto que nos ocupa.

El estudio de métodos ha sido una herramienta clave para el estudio de la distribución en planta de la sección. Gracias a esta técnica ha sido posible la redistribución del *layout*, obteniendo una configuración de la superficie mucho más eficiente y segura para los trabajadores.

La medición del trabajo, a su vez, se puede dividir en diferentes técnicas. Una de ellas, el estudio de tiempos, ha sido la principal herramienta para la obtención de varios cronogramas de este proyecto: el Cronograma ideal y el Cronograma real actual.

Mediante la observación del ciclo completo de reparación de dos pantógrafos se han podido determinar los tiempos ideales y reales necesarios para llevar a cabo dicha tarea.

Durante este proceso se han podido notar también todos los problemas asociados a la metodología empleada por los agentes.

Con la unión de todos estos datos ha sido posible elaborar una propuesta de mejora. El resultado ha sido el Cronograma propuesto.

En dicho cronograma se pueden observar dos propuestas diferentes. La primera de ellas soluciona los problemas relativos a la pistola de impacto y la toma de aire comprimido. Eran problemas de fácil solución y cuyo estudio económico ha demostrado un ahorro de un 15,93% con respecto al coste total del cronograma real actual.



La segunda propuesta supone cambiar el método de pintado de los pantógrafos. Se trataba de un proceso que ocupaba gran parte del tiempo total de reparación de un pantógrafo y era necesario estudiar una alternativa.

La solución encontrada fue llevar los pantógrafos hasta una cabina de pintura, donde serían pintados mediante pulverización.

Esta propuesta supone la introducción de dos nuevos trabajadores en el proceso de reparación. Sin embargo, se consigue una reducción del tiempo empleado en la tarea de "pintura" de 180 minutos a 90 minutos.

En cuanto al estudio económico, se ha podido calcular que el ahorro asciende hasta un 24,95%.



8. BIBLIOGRAFÍA

Adif. (2013). Modelos de Catenaria de Adif.

Cruelles, J. A. (2012). *Mejora de métodos y tiempos de fabricación*. MARCOMBO, S.A., INDUSER, ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL, S.L.

Giménez, Í. Á. (2013). Sistema de inspección de pantógrafos de trenes mediante visión artificial.

Julián Pérez Porto, M. M. (2020). *Definición.de*. Obtenido de <https://definicion.de/pantografo/>

Kanawaty, G. (1996). *Introducción al Estudio del Trabajo*. Ginebra. Oficina Internacional del Trabajo.

Lostau, J. (2018). Renfe no aclara aún a Puente la fecha del traslado al millonario taller de San Isidro. *Diario de Valladolid (El Mundo)*.

Museo del ferrocarril. (2021). Obtenido de Renfe, 75 años, palabras, documentos: <https://www.museodelferrocarril.org/75renfe/>

Renfe. (2019). *Precios de prestación de servicios de mantenimiento material rodante ferroviario (Fabricación y Mantenimiento)*.

Villar, J. J. (2018). Estudio del comportamiento dinámico de la interacción pantógrafo-catenaria rígida frente a la variación de cota de la instalación. Madrid.