



Universidad de Valladolid

MEJORA DE LA
OPERATIVIDAD Y DEL
DISEÑO DEL CARRO DE UT
DE AUSCULTACIÓN DE VÍA
DE REDALSA SA SME



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería de Organización Industrial

**MEJORA DE LA OPERATIVIDAD Y
DEL DISEÑO DEL CARRO DE UT DE
AUSCULTACIÓN DE VÍA DE
REDALSA SA**

Autor:

Hernández Bellido, Luis

Tutores:

**Gento Municio, Ángel Manuel
Departamento de Organización
de Empresas**

**del Río Callejo, Adrián
Jefatura adjunta I+D REDALSA**

Valladolid, julio de 2025



Universidad de Valladolid

**MEJORA DE LA
OPERATIVIDAD Y DEL
DISEÑO DEL CARRO DE UT
DE AUSCULTACIÓN DE VÍA
DE REDALSA SA SME**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

Agradecimientos

Deseo expresar mi gratitud a mi tutor académico, el profesor Ángel Gento, por su ayuda y orientación a lo largo de la elaboración de este Trabajo Fin de Grado. Su dedicación y apoyo han sido fundamentales para el desarrollo de este proyecto.

Asimismo, quiero agradecer a mi tutor en la empresa REDALSA, Adrián del Río, por la confianza depositada en mí y por brindarme la oportunidad de colaborar en este proyecto. Su experiencia y respaldo han beneficiado significativamente mi experiencia profesional y formativa.



Resumen

Una de las herramientas utilizadas por REDALSA para asegurar la calidad y un correcto mantenimiento de los carriles de las vías ferroviarias es el carro de ultrasonidos. Este carro está compuesto resumidamente por una estructura de acero que sostiene dos ruedas con palpadores (sensores) de ultrasonidos en distintas direcciones de onda, GPS, y láseres, entre otros dispositivos. Este aparato es remolcado por un vehículo convencional, siendo en este caso una pickup Toyota Hilux. Todo el sistema es bastante pesado y complejo de operar por los dos trabajadores que son necesarios. Por lo tanto, el propósito principal es mejorar esa operatividad de la máquina y hacer más sencillo y eficiente el uso del carro por los operarios en vía. También hay metas añadidas como desarrollar un sistema que eleve el dispositivo y solucionar ciertos problemas del diseño original.

Palabras clave

REDALSA, ultrasonidos, auscultación, mantenimiento, ferroviario, operatividad

Abstract

One of the tools used by REDALSA to ensure quality and proper maintenance of railway tracks is the ultrasonic cart. This cart consists, in summary, of a steel structure that holds two wheels with ultrasonic probes (sensors) oriented in different wave directions, GPS, lasers, and other devices. This apparatus is towed by a conventional vehicle, in this case a Toyota Hilux pickup truck. The entire system is quite heavy and complex to operate, requiring two workers. Therefore, the main purpose is to improve the operability of the machine and make the use of the cart simpler and more efficient for the operators on the track. There are also additional goals, such as developing a system to lift the device and solving certain problems with the original design.

Key words

REDALSA, ultrasounds, auscultation, maintenance, railway, operability



Universidad de Valladolid

MEJORA DE LA
OPERATIVIDAD Y DEL
DISEÑO DEL CARRO DE UT
DE AUSCULTACIÓN DE VÍA
DE REDALSA SA SME



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

Índice de contenidos

Capítulo 1: Introducción y objetivos.....	1
1.1.-Introducción	1
1.2.-Objetivos	2
1.3.-Estructura del proyecto	3
Capítulo 2: Sobre REDALSA SA S.M.E.....	5
2.1.- Introducción	5
2.2.- Historia	7
2.3.-Productos y procesos	10
2.3.1.-Raíles.....	11
2.3.2.-Clips elásticos	20
2.4.-Proyectos de I+D+i y servicios.....	26
2.5.- Economía	31
Capítulo 3: Mantenimiento y auscultación.....	35
3.1.- Definiciones y conceptos UNE sobre mantenimiento.....	35
3.2.- Evolución del mantenimiento ferroviario	39
3.2.1.-Mundo	40
3.2.2.-Europa	42
3.2.3.-España	43
3.3.- Evolución de la auscultación	45
Capítulo 4: Carro de auscultación ultrasónico	49
4.1.-Origen	49
4.2.-Primer diseño del carro de ultrasonidos	50
4.3.-Primeras adaptaciones	52
4.4.-Diseño actual.....	55
4.5-Oportunidades de mejora	56
Capítulo 5: soluciones propuestas	61
Capítulo 6: Estudio económico	83
Capítulo 7: conclusiones	87
Capítulo 8: bibliografía	91



Universidad de Valladolid

**MEJORA DE LA
OPERATIVIDAD Y DEL
DISEÑO DEL CARRO DE UT
DE AUSCULTACIÓN DE VÍA
DE REDALSA SA SME**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

Índice de tablas



Universidad de Valladolid

**MEJORA DE LA
OPERATIVIDAD Y DEL
DISEÑO DEL CARRO DE UT
DE AUSCULTACIÓN DE VÍA
DE REDALSA SA SME**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

Abreviaturas y símbolos



Universidad de Valladolid

**MEJORA DE LA
OPERATIVIDAD Y DEL
DISEÑO DEL CARRO DE UT
DE AUSCULTACIÓN DE VÍA
DE REDALSA SA SME**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

Índice de figuras



Capítulo 1: Introducción y objetivos

1.1.-Introducción

ADIF, el Administrador de Infraestructuras Ferroviarias, es una entidad pública empresarial española dependiente del Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible. Su función principal es la gestión, construcción, mantenimiento y modernización de la red ferroviaria de interés general en España. ADIF es responsable de garantizar que la infraestructura ferroviaria esté disponible, sea segura y eficiente, permitiendo así la circulación de trenes de pasajeros y mercancías operados por diferentes compañías ferroviarias.

Para lograr ese estado óptimo de la infraestructura, el Gobierno autoriza licitar por 660 millones de euros el mantenimiento de 11.500 km de la red ferroviaria convencional y ancho métrico de 2025 a 2030, un 15,14% más que en la anterior licitación de 2020 a 2025 (573,2M€), siendo cada licitación mayor que la anterior siempre. Algo similar ocurre con las líneas de alta velocidad. (Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible, 2025 y 2020)

Todo esto viene en relación con que aumenta el número usuarios del transporte ferroviario cada año, con la excepción de la época de la pandemia del COVID-19. Como el número de usuarios crece, crece a su vez el número de trenes empleados y de viajes realizados, lo que implica un uso cada vez mayor de la infraestructura.

Para reducir ese gasto creciente, hay que optimizar el mantenimiento en las vías. Uno de los objetivos clave en dicho mantenimiento es encontrar dónde se encuentra el defecto en vía. Para ello se emplean numerosas formas y herramientas de auscultar, es decir, explorar el carril por dentro y/o por fuera mediante distintos métodos y buscar el defecto para conocer el estado real de la línea.

Como es inviable realizar el mantenimiento a cada kilómetro de red ferroviaria tanto económica como logísticamente hay que elegir bien dónde realizarlo, y para ello se utilizan los datos obtenidos por los sistemas auscultadores. Estos datos señalan el punto kilométrico en el que han detectado anomalías y defectos potenciales. De esta forma se pueden organizar los operativos de mantenimiento sin ser enviados a lugares que no lo necesiten y poder establecer un plan anual de qué zonas necesitan revisión.

El método en el que se va a profundizar es en el de la auscultación por ultrasonidos. Este proceso consiste en un dispositivo emisor y receptor de ultrasonidos compuesto por palpadores que recorren el perfil del carril en el eje vertical con distintos ángulos de inclinación para saber el estado del carril en su interior. Estos ultrasonidos emitidos recorren el perfil, rebotan al llegar al final del material y vuelven al palpador con cierta intensidad. Si encuentran algo por el camino, como por ejemplo un agujero o una grieta, parte o la totalidad de los



ultrasonidos emitidos rebotan y vuelven con otra intensidad menor que la esperada. Esta intensidad recibida se traduce en un gráfico que el operario ve en directo en una pantalla con la que puede interpretar dónde está el defecto en el perfil y el punto kilométrico en el que está.

REDALSA SA S.M.E. es una empresa filial de ADIF que realiza este servicio. Por ello dispone de la certificación como Entidad Encargada de Mantenimiento que concede la Agencia Estatal de Seguridad Ferroviaria (AESF) para las funciones F1, F2, F3 y F4. Para realizar este servicio de auscultación REDALSA dispone de varias herramientas.

Una de ellas es el carrito manual llamado SoniQ Rail Explorer, de la empresa alemana Vossloh. Para operarlo, un trabajador lo lleva en el maletero de un vehículo convencional al lugar que requiera ser auscultado. Allí, el operario despliega el carrito, le coloca la Tablet, llena el depósito de agua y lleva el aparato a uno de los carriles de la vía, donde lo activa y ajusta para que esté bien sujeto al carril y el palpador esté bien calibrado y conectado al carril. Una vez esté todo listo, el operario avanza caminando con el carro a velocidad constante mientras interpreta los datos que recoge la Tablet, señalando los defectos que detecte.

Mediante ingeniería inversa REDALSA ha desarrollado una alternativa más eficiente que dicho carro manual. Consiste en un sistema que incorpora los dispositivos de ultrasonidos del carrito a ambos lados de un nuevo carro, pudiendo así analizar ambos carriles a la vez y consiguiendo mayor estabilidad y, por tanto, precisión. Este carro a su vez es remolcado por un vehículo motorizado convencional, originalmente un quad Polaris y actualmente una pickup Toyota Hilux, que permite una mayor velocidad de inspección y comodidad durante la misma. Sin embargo, por peso y por su dificultosa maniobrabilidad y operatividad, se necesitan dos trabajadores para su uso, siendo además uno de ellos el que tiene que conducir el vehículo mientras el otro revisa las pantallas que muestran los datos.

1.2.-Objetivos

Para mejorar el dispositivo descrito anteriormente, hay que alcanzar los siguientes objetivos:

- Análisis del carro de UT actual: revisar la máquina y su forma de ser empleada por los operarios para encontrar problemas y desarrollar hipótesis de mejora.
- Mejorar/cambiar el diseño del carro de UT para hacerlo más eficiente y fácil de manejar: solucionar los problemas de operatividad encontrados en el análisis implementando las hipótesis de mejora que resulten eficientes.
- Implementar un sistema de izado en el vehículo Bi-vial que permita levantar y bajar el carro sin necesidad de esfuerzo manual: con él se reduciría gran parte del trabajo manual y se automatizaría en gran medida el proceso.



- Realización de pruebas y ajustes: comprobar que las soluciones implementadas son útiles y eficientes y realizar ajustes a las mismas si es necesario.
- Económica y técnicamente viable: los cambios realizados deben ser viables de realizar desde el punto de vista económico y deben cumplir los requisitos técnicos necesarios.
- Documentación del proceso y capacitación: estandarizar el proceso y el nuevo modelo del sistema auscultador ultrasónico.

1.3.-Estructura del proyecto

Para distinguir y distribuir los diferentes aspectos que atañen al proyecto a describir, se ha dividido el documento en varios capítulos:

El documento comienza con un resumen en el que se delimita brevemente el contenido y el contexto general del trabajo, destacando las ideas clave que serán tratadas a lo largo del mismo. Posteriormente, en la introducción, se expone el entorno en el que se desarrolla el proyecto, definiendo el problema principal que se pretende abordar y estableciendo los objetivos que se buscan alcanzar para resolverlo, además de explicar cómo se estructura el documento para guiar al lector a través de las distintas etapas del análisis. A continuación, se profundiza en la empresa REDALSA, entidad vinculada estrechamente con el proyecto, presentando una síntesis de su historia, su situación actual en el sector y una visión general de los numerosos proyectos en los que ha participado, lo que permite comprender su relevancia y experiencia en el ámbito ferroviario.

El trabajo prosigue con una revisión sobre el mantenimiento en vía, abordando conceptos fundamentales relacionados con el tema central del proyecto y ofreciendo una perspectiva histórica sobre la evolución de la infraestructura ferroviaria y las técnicas empleadas para su conservación, hasta llegar a la situación actual y los desafíos contemporáneos. Seguidamente, se analiza en profundidad el carro de ultrasonidos, tanto desde el punto de vista técnico como histórico, describiendo su funcionamiento, aplicaciones y las razones que motivan la necesidad de introducir cambios y mejoras en su diseño. En la sección dedicada a las soluciones propuestas, se presentan los diferentes diseños desarrollados, ilustrados mediante planos e imágenes, explicando las mejoras incorporadas y justificando cada una de las modificaciones realizadas. Asimismo, se analizan las debilidades detectadas en los nuevos diseños hasta llegar a la opción más eficiente.

Una vez expuestas las soluciones, se examinan sus implicaciones desde los puntos de vista físico, económico, operativo y mecánico, lo que permite comparar objetivamente las distintas alternativas y demostrar cuáles son las más adecuadas para el caso concreto que se estudia. Finalmente, el documento concluye con una reflexión general sobre el conjunto del proyecto y los resultados obtenidos, sintetizando las principales conclusiones y aportando una visión global de los avances logrados a lo largo del trabajo.



Universidad de Valladolid

**MEJORA DE LA
OPERATIVIDAD Y DEL
DISEÑO DEL CARRO DE UT
DE AUSCULTACIÓN DE VÍA
DE REDALSA SA SME**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**



Capítulo 2: Sobre REDALSA SA S.M.E.

2.1.- Introducción

Antes de profundizar en el proyecto en sí, es fundamental comprender el contexto en el que se desarrolla, especialmente porque REDALSA es una empresa no tan conocida fuera del sector ferroviario español. Por ello, resulta necesario ofrecer un recorrido histórico y una visión actualizada de la organización, lo que permitirá entender mejor su naturaleza, sus áreas de especialización y su relevancia dentro del panorama ferroviario nacional. Este contexto es clave para dar sentido y profundidad al proyecto que se presenta a continuación.

REDALSA SA (figura 1), filial industrial de ADIF —la entidad pública española dependiente del Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible—, es una compañía cuya actividad principal se centra en la construcción, gestión y mantenimiento de infraestructuras ferroviarias en España. Fundada en 1974, REDALSA surgió con el objetivo de especializarse en la tecnología de vía y en la prestación de servicios estratégicos tanto para la obra nueva como para el mantenimiento de la red ferroviaria, así como en la operación de vehículos ferroviarios auxiliares.



Figura 1 Logo de REDALSA. Fuente: web oficial de REDALSA

Desde sus inicios, REDALSA ha desempeñado un papel esencial en la modernización y expansión del ferrocarril español. Ubicada en Valladolid, en el Polígono de Argales (figura 2), la empresa ha sido responsable de la soldadura de raíles para toda la red nacional, incluyendo las líneas de alta velocidad, una labor de gran importancia técnica y estratégica. Su fábrica, que se extiende a lo largo de más de un kilómetro, está diseñada para manipular y soldar raíles de hasta 288 metros de longitud, lo que la convierte en la única instalación de este tipo de prestaciones en España.

A lo largo de su historia, REDALSA ha evolucionado para adaptarse a los retos tecnológicos del sector, incorporando innovaciones en soldadura, auscultación ultrasónica de carriles, montaje de aparatos de vía y mantenimiento de trenes. La empresa no fabrica los raíles a partir del acero, sino que los adquiere ya elaborados, principalmente de ArcelorMittal, empresa que es accionaria de REDALSA (figura 3), para después soldarlos y prepararlos para su distribución y montaje en las diferentes líneas ferroviarias del país. Además, REDALSA



desarrolla y suministra componentes clave, como los clips elásticos que sujetan los raíles a las traviesas, un elemento fundamental para la seguridad y estabilidad de las vías.



Figura 2 Imagen aérea de las instalaciones de REDALSA en Argales. Fuente: Web oficial de REDALSA

La misión de REDALSA es ofrecer el mejor servicio posible, garantizando el máximo control de calidad en todos sus productos y procesos, lo que constituye una de las bases fundamentales del proyecto actual. La visión de la empresa es consolidarse como un referente en el sector ferroviario, destacando por su alto nivel de desempeño, rigor en la gestión y compromiso con la sociedad y el desarrollo sostenible. Para ello, REDALSA cuenta con certificaciones de calidad según las normas ISO 9001 e ISO 14001, que avalan su apuesta por la excelencia y el respeto al medio ambiente.

En la actualidad, REDALSA ha superado el medio siglo de experiencia, cuenta con más de 95 trabajadores altamente cualificados y ha completado más de 476 proyectos para más de 50 clientes, siendo ADIF su principal cliente y administrador (figura 3). La empresa se sitúa entre las principales del sector ferroviario en España, tanto por volumen de facturación como por su capacidad técnica y de innovación.



Universidad de Valladolid

MEJORA DE LA
OPERATIVIDAD Y DEL
DISEÑO DEL CARRO DE UT
DE AUSCULTACIÓN DE VÍA
DE REDALSA SA SME



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

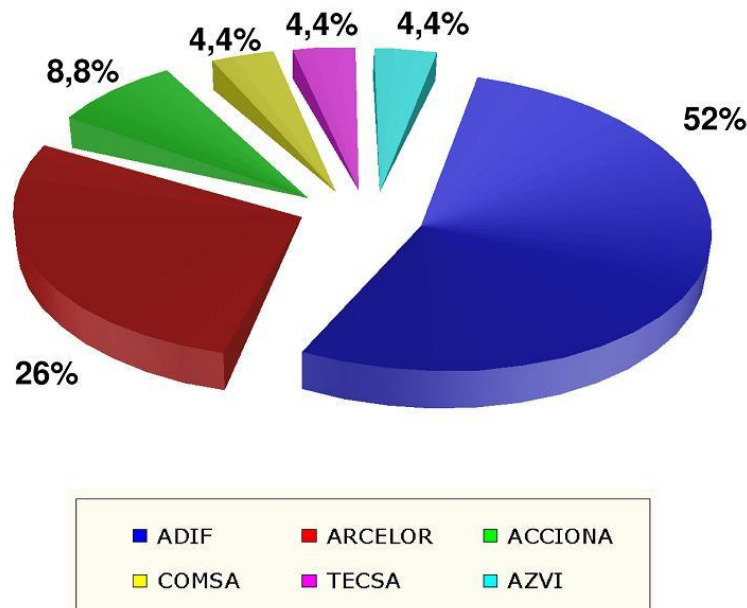


Figura 3 Gráfico de distribución del accionariado de REDALSA. Fuente: Web oficial de REDALSA

La actividad de REDALSA no se limita únicamente al ámbito nacional. En los últimos años, ha ampliado su presencia internacional, participando en proyectos en Portugal, México y Arabia, lo que demuestra su capacidad para competir en mercados exigentes y su vocación de liderazgo tecnológico.

Además de su actividad industrial, REDALSA ha sido reconocida como centro de formación ferroviaria homologado por la Agencia Española de Seguridad Ferroviaria (AESF), lo que le permite formar a personal especializado y contribuir a la mejora continua de la seguridad y la calidad en el sector. También ha sido certificada como entidad encargada de mantenimiento, reforzando su posición como socio estratégico para la gestión integral de infraestructuras ferroviarias.

La apuesta por la innovación es otro de los pilares de REDALSA. A través de su departamento de I+D+i, la empresa desarrolla soluciones avanzadas relacionadas con la tecnología de vía y la seguridad de la explotación ferroviaria.

2.2.- Historia

La historia de REDALSA es un reflejo del desarrollo industrial y tecnológico del sector ferroviario español en los últimos cincuenta años. Fundada en 1974 en el Polígono de Argales de Valladolid, REDALSA surge en un contexto en el que la modernización de la red ferroviaria nacional era una prioridad estratégica para el Estado. En aquellos años, RENFE gestionaba la totalidad de la red ferroviaria y existía una necesidad acuciante de mejorar la fiabilidad, la seguridad y la eficiencia



de las infraestructuras. La elección de Valladolid como sede de la nueva factoría no fue casual: su posición geográfica, su vinculación histórica con el ferrocarril y la disponibilidad de suelo industrial la convertían en un enclave ideal para una instalación de tal envergadura. Así, REDALSA inicia su andadura como empresa especializada en la soldadura de raíles, una actividad que, aunque hoy parece rutinaria, supuso en su momento un salto cualitativo para el mantenimiento y la expansión del ferrocarril en España.

Durante la década de los setenta, REDALSA se consolida como el principal proveedor de raíles soldados para la red convencional, estableciendo una estrecha colaboración con RENFE. Los primeros años estuvieron marcados por el reto logístico y técnico de manipular y soldar raíles de gran longitud, una tarea que requería tanto maquinaria especializada como mano de obra cualificada. La factoría, con más de un kilómetro de longitud y unos cincuenta metros de ancho, fue diseñada para permitir el movimiento y la manipulación de tramos de acero de hasta 90 metros, que llegaban directamente desde las acerías de Asturias, principalmente de ArcelorMittal. Desde el principio, REDALSA no fabricaba el acero, sino que lo recibía ya conformado en forma de raíles, que posteriormente eran soldados, tratados y adaptados a las necesidades de cada proyecto ferroviario. El proceso de soldadura, basado en la técnica de chisporroteo a tope, permitía unir los raíles de manera continua, eliminando las tradicionales juntas que generaban el característico “tac-tac” al paso de los trenes y que suponían un punto débil tanto para la seguridad como para el confort de los viajeros.

La década de los ochenta y principios de los noventa supuso un punto de inflexión para REDALSA y para el ferrocarril español. El inicio de los grandes proyectos de alta velocidad, con la línea Madrid-Sevilla como buque insignia, obligó a la empresa a adaptarse a nuevas exigencias técnicas y de calidad. Los raíles para alta velocidad debían ser más largos, más resistentes y estar soldados con una precisión aún mayor. REDALSA respondió a este reto modernizando sus instalaciones, incorporando maquinaria de última generación y perfeccionando sus procesos de control de calidad. La factoría de Valladolid se convirtió en una de las más importantes de Europa en el tratamiento y soldadura de carriles, suministrando material no solo para la red convencional, sino también para las nuevas líneas de alta velocidad que, en las décadas siguientes, convertirían a España en uno de los países con mayor kilometraje de AVE del mundo. La empresa no solo soldaba raíles, sino que también se encargaba de la regeneración de material usado, permitiendo la reutilización de carriles en líneas secundarias y contribuyendo así a la sostenibilidad y a la optimización de recursos en el sector ferroviario.

A medida que avanzaba la expansión de la alta velocidad, REDALSA fue ampliando su cartera de productos y servicios. A finales de los años ochenta y principios de los noventa, la empresa comenzó a desarrollar y fabricar los clips elásticos, conocidos como “grapas”, que sirven para fijar el raíl a la traviesa. Este componente, aparentemente sencillo, es fundamental para garantizar la



Universidad de Valladolid

**MEJORA DE LA
OPERATIVIDAD Y DEL
DISEÑO DEL CARRO DE UT
DE AUSCULTACIÓN DE VÍA
DE REDALSA SA SME**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

estabilidad y la seguridad de la vía, especialmente en líneas de alta velocidad donde las exigencias técnicas son máximas. La innovación en el diseño y la fabricación de estos clips permitió a REDALSA posicionarse como proveedor de referencia para los principales fabricantes de traviesas y para ADIF, el gestor de infraestructuras ferroviarias que sucedió a RENFE tras la reestructuración del sector en 2005.

El cambio de siglo trajo consigo nuevos retos y oportunidades para REDALSA. La reestructuración del sector ferroviario español y la creación de ADIF como entidad pública encargada de la gestión de la infraestructura supusieron un impulso para la especialización y la profesionalización de la empresa. REDALSA pasó a ser una filial industrial de ADIF, lo que reforzó su papel estratégico en la construcción y el mantenimiento de la red nacional.

Durante los años 2000 y 2010, REDALSA fue adjudicataria de los principales contratos para el suministro de raíles soldados en las nuevas líneas de alta velocidad, incluyendo los grandes corredores Madrid-Barcelona, Madrid-Valencia, Madrid-Galicia y Madrid-Valladolid. Jugó un papel clave en la expansión de la red de alta velocidad, colaborando estrechamente con ADIF y con las principales constructoras del sector. Además, REDALSA participó en proyectos internacionales, como la adjudicación de servicios de auscultación de vía en Portugal y la colaboración en la construcción de la red de alta velocidad en Arabia Saudí, donde varios de sus trabajadores fueron enviados para formar y asesorar en la implantación de procesos productivos similares a los de la factoría vallisoletana. Estos proyectos internacionales no solo pusieron de manifiesto la capacidad técnica y organizativa de la empresa, sino que también contribuyeron a su proyección exterior y a la transferencia de conocimiento en el ámbito ferroviario.

En paralelo a su actividad industrial, REDALSA apostó decididamente por la innovación tecnológica. Desarrolló sistemas avanzados de auscultación ultrasónica y óptica de carril, análisis dinámico de vía y confort bajo las normas UNE-EN 12299 y UNE-EN 14363, así como soluciones de auscultación geométrica de vía. Estos sistemas, basados en tecnologías de vanguardia, permitieron a REDALSA ofrecer servicios de diagnóstico y mantenimiento predictivo, anticipándose a posibles incidencias y mejorando la seguridad y la disponibilidad de la infraestructura. La creación de un laboratorio propio y la inversión en formación y capacitación del personal fueron factores clave para consolidar esta apuesta por la I+D+i.

En los últimos años, REDALSA ha seguido ampliando su campo de actuación. La empresa ha sido autorizada por la Agencia Estatal de Seguridad Ferroviaria como centro de formación homologado y ha obtenido la certificación inicial como entidad encargada de mantenimiento, lo que le permite formar y certificar a personal ferroviario en toda España. Además, REDALSA ha sido adjudicataria de importantes contratos para la auscultación de la red de Cercanías de Madrid y de



Universidad de Valladolid

MEJORA DE LA OPERATIVIDAD Y DEL DISEÑO DEL CARRO DE UT DE AUSCULTACIÓN DE VÍA DE REDALSA SA SME



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

la red ferroviaria portuguesa, consolidando su posición como referente en tecnología de vía y mantenimiento ferroviario. La empresa ha sabido adaptarse a los cambios regulatorios y tecnológicos, manteniendo siempre su compromiso con la calidad, la seguridad y la innovación.

2.3.-Productos y procesos

Actualmente, el recinto industrial de REDALSA SA constituye un complejo altamente especializado en la fabricación, mantenimiento y desarrollo de componentes ferroviarios, con una marcada orientación hacia la innovación, la calidad y la sostenibilidad. El recinto está estructurado en dos áreas de producción principales, un área de oficinas y administración, y dos zonas de almacenaje o estacadas donde se gestionan tanto los materiales en bruto como los productos terminados (figura 4). Esta organización permite optimizar los flujos de trabajo, la logística interna y la eficiencia de los procesos industriales.

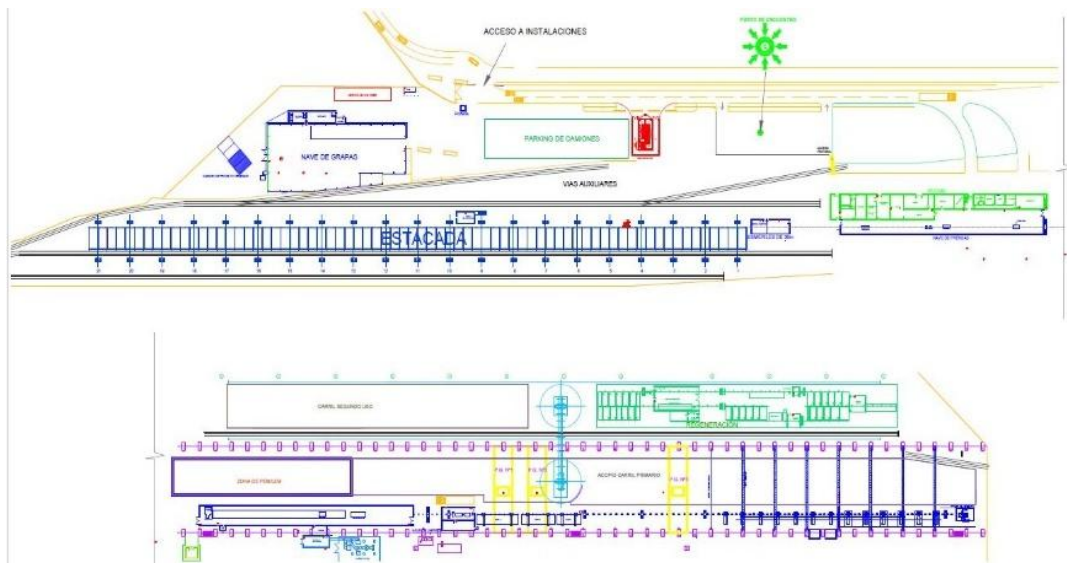


Figura 4 Plano de las instalaciones de REDALSA. Fuente: Departamento de RRHH de REDALSA

La producción industrial de REDALSA se centra en dos grandes productos fundamentales para la infraestructura ferroviaria: los raíles de acero soldados y los clips elásticos de fijación, conocidos también como “grapas”. Ambos son esenciales para la construcción y el mantenimiento de la vía férrea, ya que de su calidad y fiabilidad depende en gran medida la seguridad, la durabilidad y el rendimiento de la infraestructura.



2.3.1.-Raíles

Los raíles de acero soldados por REDALSA proceden de ArcelorMittal (figura 5), la mayor compañía siderúrgica del mundo, con presencia en más de 60 países y una plantilla de aproximadamente 260.000 empleados. ArcelorMittal, fundada en 2006 tras la fusión entre Mittal Steel y Arcelor, tiene su sede principal en Luxemburgo y es líder mundial tanto en la producción de acero como en actividades mineras, siendo uno de los principales productores mundiales de mineral de hierro y carbón metalúrgico. La relación entre REDALSA y ArcelorMittal es estratégica, ya que garantiza el suministro de acero de alta calidad, producido bajo los más exigentes estándares internacionales de sostenibilidad y eficiencia.



Figura 5 Tren carrilero de ArcelorMittal con los carriles de 90 metros. Fuente: Propia

En España, la compañía opera 11 plantas industriales repartidas en varias comunidades autónomas, principalmente en Asturias (con dos grandes factorías en Avilés y Gijón), pero también en Navarra, País Vasco, Aragón, Valencia y Madrid. Las instalaciones de Asturias son clave para el proceso integral de fabricación de acero, donde se producen tanto productos planos como productos largos, incluyendo los carriles ferroviarios que posteriormente son soldados por REDALSA. En 2024, la producción total de ArcelorMittal en España fue de 5,1 millones de toneladas, lo que representa el 43,1% de la producción nacional de acero, consolidando su posición como proveedor clave para el sector ferroviario español.

El proceso industrial de soldadura en REDALSA comienza con la llegada de los carriles de acero, que llegan en trenes de mercancías (carrileros) en longitudes estándar de 90 metros. Pueden ser de dos tipos: de 60 kilogramos por metro de longitud para vías de alta velocidad y de 54 kg/m para vías convencionales. Estos



Universidad de Valladolid

MEJORA DE LA
OPERATIVIDAD Y DEL
DISEÑO DEL CARRO DE UT
DE AUSCULTACIÓN DE VÍA
DE REDALSA SA SME



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

carriles son descargados mediante grúas puente y almacenados en una zona al aire libre, donde se clasifican y preparan para su procesamiento (figura 6).



Figura 6 Almacén de los carriles procedentes de Arcelor y la grúa puente magnética. Fuente: Propia

La primera fase del procedimiento consiste en la limpieza y preparación de los extremos de los carriles, que son lijados y despojados de cualquier impureza, óxido o defecto superficial (figura 7). Este paso es fundamental para asegurar la calidad de la soldadura posterior, ya que cualquier imperfección puede comprometer la integridad de la unión y, por ende, la seguridad de la vía.



Figura 7 Zona de colocación de carriles en la línea (sup. izq.). Máquina con rodillos metálicos para preparación de extremos de carril (sup. dcha.). Instalación donde se encuentra la máquina anterior (inf.) Fuente: Propia



En el caso de las vías de alta velocidad, los carriles deben alcanzar una longitud de 270 metros, lo que implica soldar tres tramos de 90 metros en una máquina de soldadura de adquisición relativamente reciente (figura 8). Para las vías convencionales, la longitud requerida es de 180 metros, por lo que se ensamblan dos tramos de 90 metros utilizando una máquina de soldadura con varias décadas de funcionamiento, pero que sigue siendo plenamente operativa y fiable gracias a un riguroso mantenimiento preventivo y a la experiencia de los operarios (figura 9). Ambas máquinas son de la empresa suiza Schlatter. La soldadura de los carriles es un proceso altamente especializado, que requiere una combinación de precisión mecánica, control térmico y experiencia operativa. El objetivo es obtener una unión homogénea, sin discontinuidades ni zonas de debilidad, capaz de soportar las elevadas cargas dinámicas generadas por el paso de los trenes a alta velocidad.

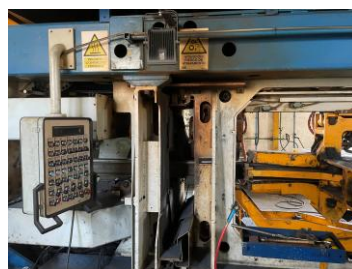


Figura 8 Máquina de soldadura de carril de 60kg/m. Fuente: Propia



Figura 9 Máquina de soldadura de carril de 54kg/m. Fuente: Propia

El proceso de soldadura pasa por 3 fases. En primer lugar, se produce una fase de preparación en la que la máquina ejerce una intensidad de corriente oscilante con la que se precalienta y termina de limpiar los extremos (cabeza y cola) que se unen. Acto seguido, se pasa a una presión e intensidad oscilante con la que se empieza a alcanzar la temperatura de soldadura y las superficies empiezan a conectar. Finalmente, la intensidad y presión comienzan a crecer constantemente hasta un punto donde se produce un repunte, en el que se da un salto drástico de crecimiento de intensidad y presión ejercida, con el que fusionan los dos carriles definitivamente (figuras 10 y 11).

Una vez realizada la soldadura, los carriles pasan por una zona de esmerilado, en la que se lija la parte inferior de la soldadura para dejar lisa la superficie. Si la soldadura ha sido correcta, tras una medición de la curva que hay entre inicio y fin del metro de carril donde se encuentra la soldadura con una regla específica, se marca con pintura la cola del carril el día de soldadura del carril y el número de soldadura realizado en ese día (figura 12).



Universidad de Valladolid

MEJORA DE LA OPERATIVIDAD Y DEL DISEÑO DEL CARRO DE UT DE AUSCULTACIÓN DE VÍA DE REDALSA SA SME



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

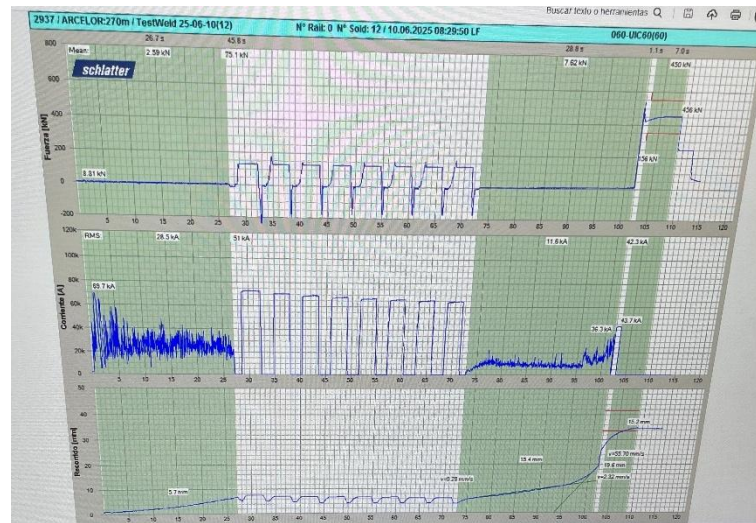


Figura 10 Gráfico de medición de indicadores de la soldadura. Fuente: Propia

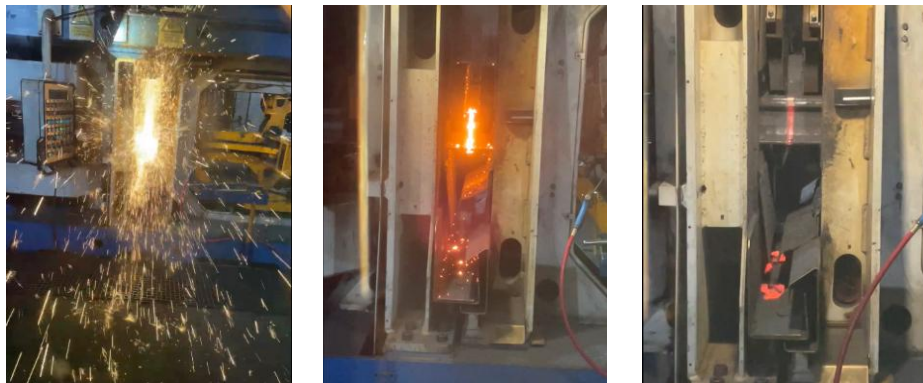


Figura 11 Fases de un proceso de soldadura. Fuente: Propia



Figura 12 Carril marcado tras una soldadura exitosa. Fuente: Propia

Más adelante los carriles pasan a otra nave donde las uniones reciben agua fría desde grifos situados estratégicamente en las soldaduras para refrigerar el material y evitar deformaciones térmicas (figura 13). A continuación, los carriles se someten a una prensa equipada con un medidor de precisión, que verifica si la soldadura ha provocado curvaturas indeseadas, conocidas como combeo o alabeo (figura 14). Si la curva no está en los límites establecidos la prensa actúa en la dirección necesaria para nivelar la curva hasta llegar a valores deseados.

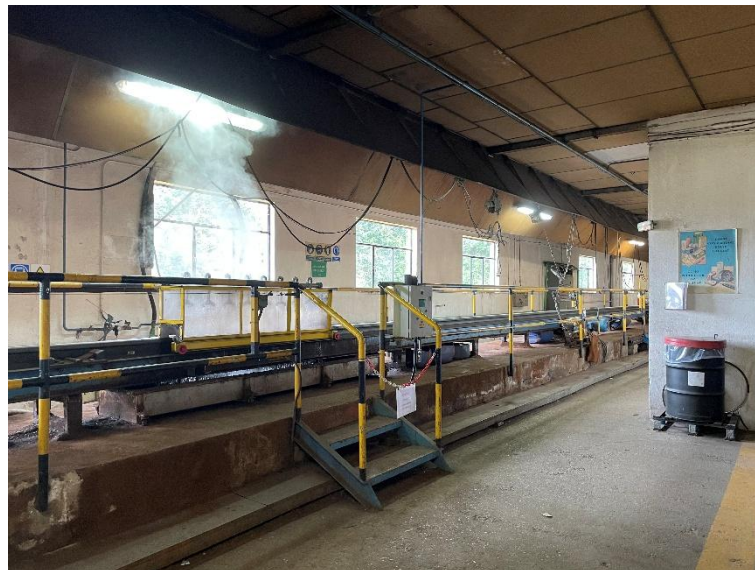


Figura 13 Grifos de refrigeración de soldadura. Fuente: Propia



Figura 14 Prensa de ajuste del combeo de la soldadura. Fuente: Propia

El siguiente paso en la línea de producción es el esmerilado de las soldaduras, donde los puntos de unión son cuidadosamente lijados para eliminar rebabas, material sobrante o cualquier irregularidad superficial. Es especialmente crítico que la cabeza del carril, especialmente la cara interior, que es la parte sobre la que se deslizan las ruedas de los trenes, quede en condiciones óptimas, ya que cualquier imperfección puede provocar vibraciones, ruidos o incluso daños en el material rodante. El esmerilado se realiza con herramientas de alta precisión y bajo estrictos controles de calidad, garantizando una superficie lisa y uniforme que minimiza el desgaste y maximiza la vida útil del carril. Los criterios de esmerilado exigen que el desnivel generado por la curva en la soldadura no puede superar los 0,3 milímetros positivos (figura 15).



Figura 15 Carril durante el esmerilado y resultado final. Fuente: Propia

Finalmente, los carriles terminados son desplazados mediante un puente grúa a la zona de almacenaje llamada estacada de productos terminados (figura 16). Una vez listos los pedidos se cargan en carrileros para su distribución a los diferentes puntos de la red ferroviaria nacional. Este proceso se realiza con otras grúas que agarran los carriles con una serie de ganchos de palanca presionada por operarios (figura 17).



Figura 16 Estacada de producto terminado. Fuente: Propia

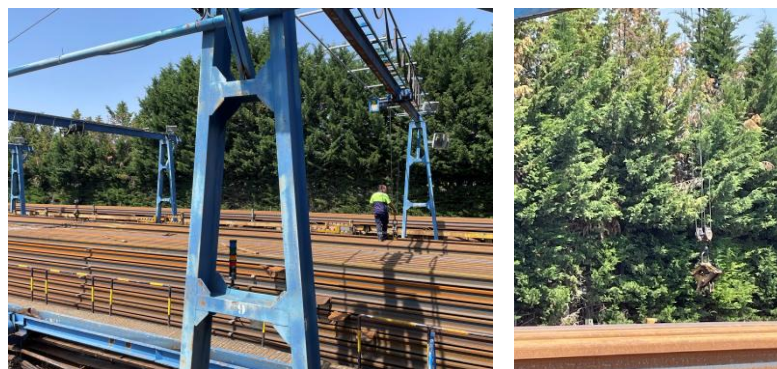


Figura 17 Proceso de carga de carriles terminados a carrilero y gancho de palanca. Fuente: Propia

Uno de los aspectos más innovadores y sostenibles de la actividad de REDALSA es la existencia de una zona específica para la recuperación y reutilización de carriles desgastados (figura 18). Estos carriles, que ya han cumplido su vida útil en líneas principales, son reperfilados y adaptados para su uso en vías convencionales, lo que representa una apuesta decidida por la economía circular y la optimización de recursos en el sector ferroviario. REDALSA es, de hecho, la única instalación en España capaz de reperfilear carriles usados de 45, 54 y 60

kilogramos por metro, lo que le otorga una ventaja competitiva y un valor añadido en el mercado. Este proceso de recuperación implica una inspección exhaustiva del material, el corte de las zonas dañadas, el reperfilado de la cabeza del carril, que puede ser de una reducción de 2,4,6 u 8 milímetros (H2, H4, H6, H8) (figura 19). Sin embargo, estos carriles no pueden ser utilizados en vías convencionales ni de alta velocidad, sino que se colocan en cocheras o en otro tipo de instalaciones. Las partes de carril que no puede ser regenerado ni utilizado se descarta como chatarra y se corta en trozos de escasos metros (cuponar) para ser transportados por camiones.

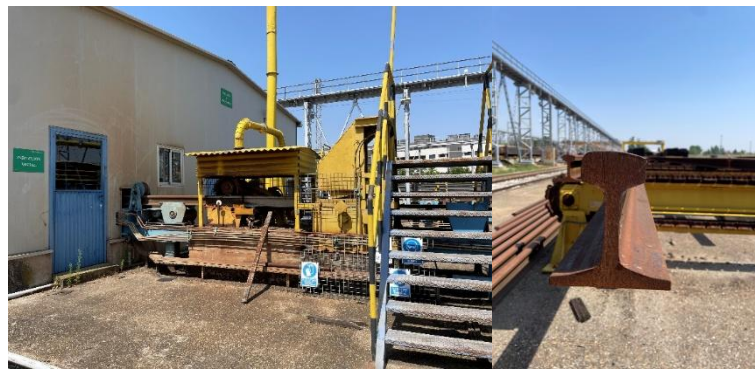


Figura 18 Nave de regeneración de carril y carril con el lateral desgastado previo al proceso. Fuente: Propia



Figura 19 Interior de la nave de regeneración de carril y máquina de reperfilado. Fuente: Propia

El control de calidad es un pilar fundamental en la filosofía de REDALSA. Se realizan pruebas destructivas a una muestra aleatoria de los lotes de carriles recibidos, evaluando la dureza, la resistencia a fuerzas axiales y la integridad interna del material mediante ensayos de tracción, flexión y ultrasonidos (figura 20). Estas pruebas garantizan que solo los carriles que cumplen con los requisitos



Universidad de Valladolid

MEJORA DE LA OPERATIVIDAD Y DEL DISEÑO DEL CARRO DE UT DE AUSCULTACIÓN DE VÍA DE REDALSA SA SME



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

técnicos más exigentes sean utilizados en la infraestructura ferroviaria, minimizando riesgos y asegurando la fiabilidad a largo plazo.

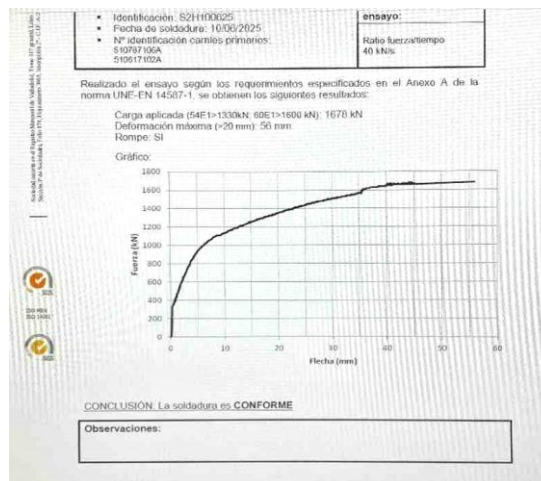


Figura 20 Dispositivos de control de calidad de carril e informe de resultado. Fuente: Propia

2.3.2.-Clips elásticos

En paralelo a la fabricación de carriles, REDALSA produce distintos tipos clips elásticos de fijación, conocidos también como “grapas”. Estos elementos, fabricados a partir de rollos de barra de acero de aleación como el 38Si7 o el 40Si7, son esenciales para la fijación de los carriles a las traviesas y para mantener sujetos los tornillos de unión (figuras 21 y 22).

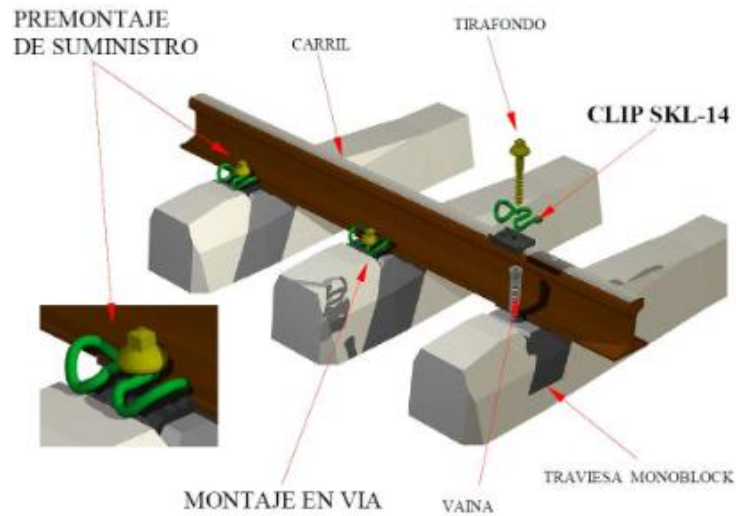


Figura 21 Simulación del proceso de fijación de clips SKL-14. Fuente: REDALSA



Figura 22 Rollos de acero y producto final. Fuente: Propia

El proceso de fabricación comienza con la recepción de los lotes de varillas, que se cortan a la longitud requerida y se someten a un proceso de estampación en prensas hidráulicas de alta capacidad (figuras 23 y 24). Durante este proceso, las varillas adquieren la forma curva característica del tipo de clip elástico que se desea producir, diseñada para absorber las vibraciones y las cargas dinámicas generadas por el paso de los trenes.

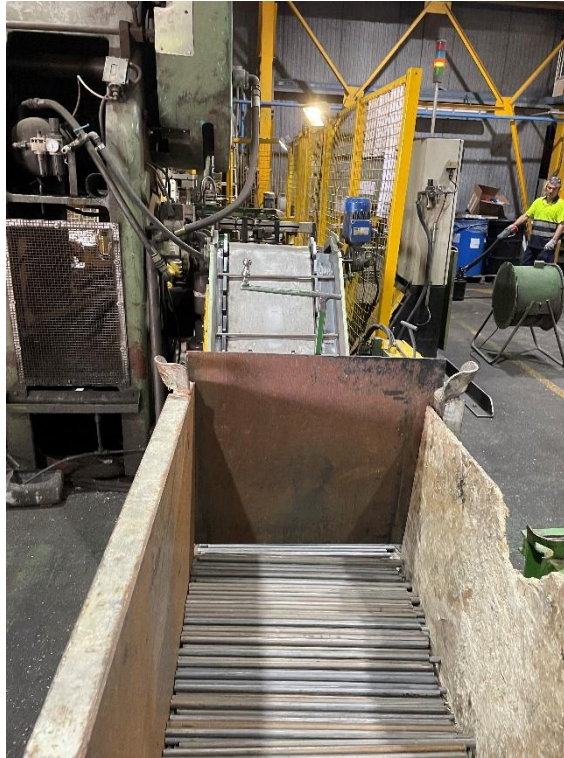


Figura 23 Varillas de acero procedentes de los rollos. Fuente: Propia

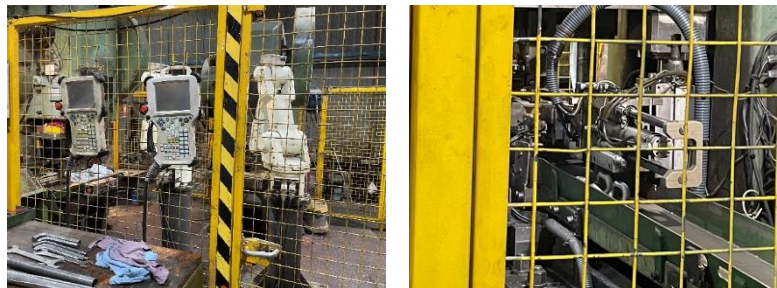


Figura 24 Robots de prensa de las varillas para dar la forma específica del tipo de clip producido.
Fuente: Propia

Una vez conformados, los clips se someten a un tratamiento térmico de temple y revenido en hornos especiales, lo que les confiere las propiedades de elasticidad y resistencia necesarias para soportar las condiciones extremas de la vía férrea. El temple consiste en calentar el acero a una temperatura elevada (890°C) y enfriarlo bruscamente en agua, mientras que el revenido implica un calentamiento posterior a menor temperatura (420°C) para aliviar tensiones internas y mejorar la tenacidad del material (figuras 25 y 26).



Universidad de Valladolid

MEJORA DE LA
OPERATIVIDAD Y DEL
DISEÑO DEL CARRO DE UT
DE AUSCULTACIÓN DE VÍA
DE REDALSA SA SME



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES



Figura 25 Horno de temple y revenido de los clips de reciente incorporación. Fuente: Propia



Figura 26 Horno de temple y revenido antiguo aún en funcionamiento. Fuente: Propia

Posteriormente, los clips pasan por una granalladora que elimina recubrimientos o prepara la superficie para otros tratamientos mediante partículas abrasivas, en este caso granalla de acero, proyectadas a alta velocidad sobre los clips (figura 27). Tras el tratamiento térmico, los clips son inspeccionados para verificar sus dimensiones, dureza y propiedades mecánicas (figura 28), asegurando el cumplimiento de los requisitos técnicos antes de ser pintados y almacenados o enviados a los clientes. Finalmente, se pintan con pintura anticorrosiva de un color verde característico (figura 29) y se prosigue con su almacenaje y distribución en camiones.



Universidad de Valladolid

MEJORA DE LA
OPERATIVIDAD Y DEL
DISEÑO DEL CARRO DE UT
DE AUSCULTACIÓN DE VÍA
DE REDALSA SA SME



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

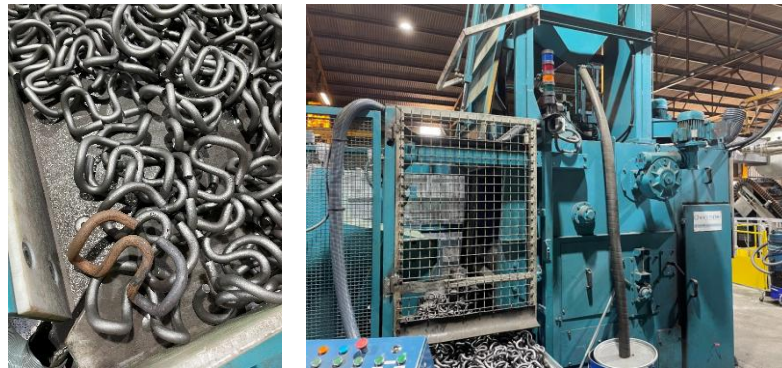


Figura 27 Clips antes y después del granallado y máquina de granallado. Fuente: Propia



Figura 28 Máquinas de control de calidad de clips. Fuente: Propia

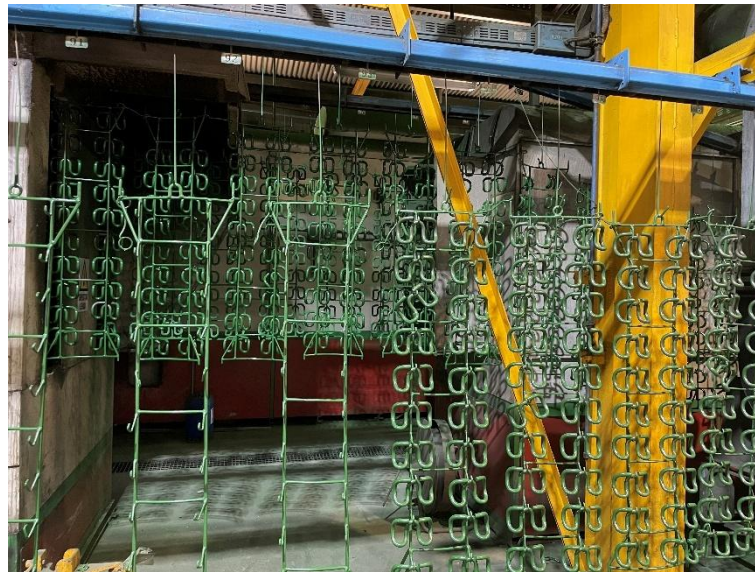


Figura 29 Carrusel de clips para pintado y secado. Fuente: Propia

2.4.-Proyectos de I+D+i y servicios

La apuesta de REDALSA por la investigación, el desarrollo y la innovación (I+D+i) se traduce en una amplia cartera de proyectos orientados a la mejora de la seguridad, la eficiencia y la sostenibilidad de la infraestructura ferroviaria. Uno de los desarrollos más avanzados es el sistema embarcado de ultrasonidos, instalado en vagones tipo JJ2 y en vehículos convencionales. Los ultrasonidos son una técnica de ensayo no destructivo que utiliza ondas acústicas de alta frecuencia para detectar discontinuidades internas o superficiales en los materiales, como grietas, inclusiones o corrosión. Esta tecnología permite inspeccionar la vía sin necesidad de desmontarla, facilitando la detección temprana de defectos y, por tanto, la prevención de accidentes y la optimización del mantenimiento.

REDALSA ha desarrollado también procedimientos específicos para la auscultación de desvíos y soldaduras aluminotérmicas, incorporando tecnologías de última generación como los sistemas EMAT (Electromagnetic Acoustic Transducer). Los sistemas EMAT generan ondas ultrasónicas mediante campos electromagnéticos, lo que elimina la necesidad de contacto físico directo o de acoplantes líquidos, permitiendo inspecciones más rápidas y precisas, especialmente útiles en componentes como ruedas o carriles donde el acceso puede ser complicado. Esta innovación ha sido reconocida por la Agencia Estatal de Seguridad Ferroviaria (AESF) y por ADIF, que han homologado los procedimientos y equipos desarrollados por REDALSA para su uso en la red ferroviaria nacional.

En el campo del análisis de datos y la digitalización, REDALSA ha desarrollado el sistema RT4 de auscultación (figura 30), que permite la monitorización tanto de trenes como de la vía, integrando el análisis masivo de datos (big data). Este sistema se complementa con otros desarrollos como el RT y el RST2, orientados a la detección de defectos superficiales en la vía. La auscultación dinámica, por su parte, consiste en registrar y analizar el comportamiento dinámico del tren en movimiento, utilizando acelerómetros, velocímetros y GPS instalados en el material rodante. Estos sensores capturan datos sobre vibraciones, aceleraciones y otros parámetros relevantes, que posteriormente se procesan para evaluar el confort de marcha, la calidad de la vía y la seguridad, conforme a normativas como la UNE-EN 12299 y la UNE-EN 14363.

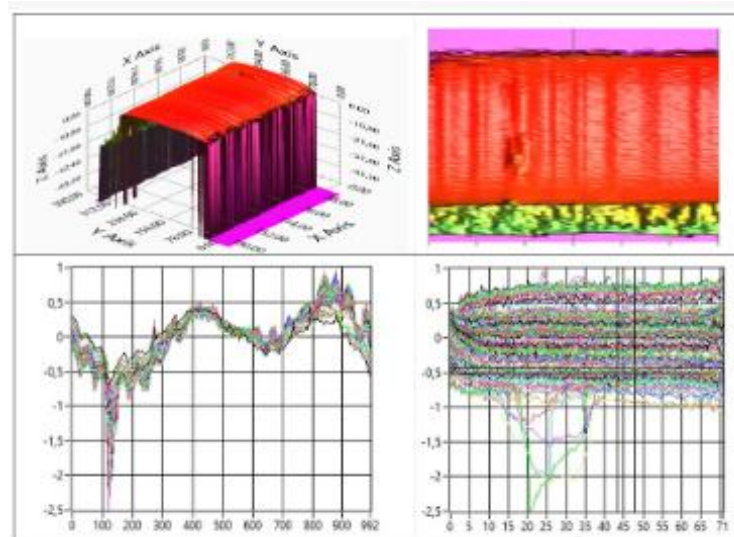


Figura 30 Informe de auscultación RT4 de un defecto superficial en un carril. Fuente: Sección de I+D de la web oficial de REDALSA

La norma UNE-EN 12299 es una regulación europea que establece los métodos para medir y evaluar la comodidad de viaje para los pasajeros en aplicaciones ferroviarias. Su objetivo principal es definir cómo se cuantifica el confort durante el trayecto en tren, centrándose especialmente en el análisis de las aceleraciones que experimentan los pasajeros dentro de los vehículos ferroviarios. Para ello, la norma especifica dónde deben colocarse los sensores (acelerómetros) en el interior de los coches de pasajeros, normalmente bajo los asientos en el centro y en los extremos del vagón, ya que las vibraciones y aceleraciones pueden variar en función de la ubicación dentro del tren. Los datos recogidos permiten calcular índices de confort, facilitando la comparación objetiva entre diferentes vehículos o infraestructuras y sirviendo de referencia para mejorar el diseño y la explotación ferroviaria desde la perspectiva del usuario. Además, la norma contempla tanto la aceleración vertical como la lateral y longitudinal, ya que todas ellas influyen en la percepción de confort del pasajero.



Por su parte, la norma UNE-EN 14363 regula los ensayos para la aceptación del comportamiento dinámico de los vehículos ferroviarios, tanto en pruebas en línea como en parada. Esta norma establece los procedimientos y criterios para evaluar la seguridad y la calidad de marcha de los trenes, es decir, cómo interactúan dinámicamente los vehículos con la vía durante la circulación. Incluye la medición de aceleraciones, fuerzas y otros parámetros relevantes para determinar la estabilidad, el riesgo de descarrilamiento y la aptitud de los vehículos para operar en una determinada infraestructura. El cumplimiento de esta norma es esencial para garantizar que los trenes puedan circular de manera segura y confortable, y es un requisito previo para la homologación y puesta en servicio de nuevos vehículos ferroviarios o de nuevas líneas. Además, la norma UNE-EN 14363 contempla la realización de ensayos instrumentados en condiciones reales de circulación, simulando diferentes escenarios operativos para garantizar que los vehículos respondan adecuadamente ante posibles incidencias.

Un aspecto especialmente innovador es el desarrollo de software basado en machine learning para la detección y análisis de defectos en los carriles. Este software analiza los datos recogidos por los sistemas de auscultación y es capaz de identificar y clasificar defectos superficiales, medir el desgaste del carril y generar alertas para la prevención de accidentes. El uso de algoritmos de aprendizaje automático permite mejorar continuamente la precisión de las detecciones, adaptándose a nuevas tipologías de defectos y optimizando la planificación del mantenimiento. Todo este proceso se integra con sistemas de representación GPS, lo que facilita la localización exacta de los defectos y la toma de decisiones en tiempo real. Además, la integración de diferentes tipos de auscultación e inspección en un solo vehículo de trabajo permite optimizar los recursos y reducir los costes operativos, eliminando la necesidad de vagones o vehículos acoplantes y asegurando la calidad de la inspección incluso en zonas donde los ultrasonidos tradicionales no son efectivos.

En el ámbito de los sistemas mecánicos, REDALSA ha diseñado y fabricado un vagón especializado para el fresado de soldaduras defectuosas en explotación, lo que permite corregir in situ los defectos detectados y garantizar la durabilidad de las uniones en la vía. Asimismo, ha rediseñado y manufacturado clips elásticos como los SKL 12 RE y SKL 14 RE (figura 31), esenciales para la fijación de los carriles, utilizando troqueles desarrollados internamente. Otro desarrollo relevante es el sistema de fijación para tres carriles, denominado RD-3C, que responde a necesidades específicas de la infraestructura y contribuye a mejorar la estabilidad y seguridad de la vía.



Universidad de Valladolid

MEJORA DE LA
OPERATIVIDAD Y DEL
DISEÑO DEL CARRO DE UT
DE AUSCULTACIÓN DE VÍA
DE REDALSA SA SME



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES



Figura 31 Clip SKL12-RE (sup.) y clip SKL14-RE (inf.). Fuente: Propia

REDALSA no solo destaca por su capacidad industrial y tecnológica, sino también por su compromiso con la sostenibilidad y la responsabilidad social. La empresa está certificada según las normas ISO 9001 (gestión de calidad) e ISO 14001 (gestión ambiental), y aplica un sistema propio de gestión del mantenimiento y de la seguridad ferroviaria, que prioriza la prevención, la mejora continua y el cumplimiento de la normativa vigente. Además, REDALSA reporta anualmente indicadores ambientales como emisiones de CO₂, consumo energético y gestión de residuos, y ha implementado políticas de reducción, reutilización y reciclaje que contribuyen a la minimización del impacto ambiental de su actividad.

La formación y el desarrollo del talento humano son otro de los pilares de la estrategia de REDALSA. La empresa cuenta con un programa de formación continua para sus empleados, que abarca desde la capacitación técnica en procesos industriales y tecnologías avanzadas hasta el desarrollo de competencias en gestión de proyectos, seguridad laboral y sostenibilidad. REDALSA colabora con universidades (figura 32), centros tecnológicos y organismos de investigación para fomentar la transferencia de conocimiento y la innovación abierta, participando en proyectos colaborativos a nivel nacional e internacional.



Universidad de Valladolid

**MEJORA DE LA
OPERATIVIDAD Y DEL
DISEÑO DEL CARRO DE UT
DE AUSCULTACIÓN DE VÍA
DE REDALSA SA SME**



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES



Figura 32 Noticias de convenios de REDALSA. Fuente: Web de REDALSA

Además, REDALSA forma parte activa de la Plataforma Tecnológica Ferroviaria Española (PTFE), una entidad que desde 2005 coordina y promueve la I+D+i en el sector ferroviario nacional. La PTFE actúa como un foro de encuentro para empresas, centros tecnológicos, universidades y administraciones públicas, con el objetivo de alinear estrategias, evitar duplicidades y potenciar la competitividad del ferrocarril español en el ámbito europeo e internacional. A través de esta plataforma, REDALSA participa en la organización de jornadas, foros y grupos de trabajo que abordan temas clave como la sostenibilidad, la digitalización, la interoperabilidad y la seguridad ferroviaria. La PTFE también gestiona proyectos financiados por programas europeos como Horizonte 2020 y Shift2Rail, en los que REDALSA ha colaborado aportando su experiencia y tecnología.

En el terreno de la investigación aplicada, REDALSA ha participado en proyectos de gran envergadura que combinan la innovación tecnológica con la mejora operativa y ambiental. Proyectos como ELOBSTER, que busca la integración eficiente de almacenamiento y electrónica de potencia para optimizar la sinergia entre ferrocarriles y redes eléctricas, o TER4RAIL, orientado a la investigación transversal para el ferrocarril, han contado con la implicación de REDALSA en tareas de desarrollo y validación. Asimismo, la empresa ha contribuido a iniciativas como SAFER-LC, que mejora la seguridad en pasos a nivel mediante la integración y optimización del diseño de infraestructuras carretera-ferrocarril. Estas colaboraciones no solo fortalecen la posición tecnológica de REDALSA, sino que también le permiten anticipar tendencias y adaptar sus productos y servicios a las demandas futuras del mercado.

En el ámbito internacional, REDALSA ha iniciado en los últimos años un proceso de internacionalización, participando en proyectos de exportación de tecnología y know-how a otros países, especialmente en Portugal, Latinoamérica y Europa del Este. La empresa ha firmado acuerdos de colaboración con operadores ferroviarios, empresas constructoras y centros de investigación para compartir su experiencia en soldadura de carriles, auscultación avanzada y gestión de la infraestructura ferroviaria. Estos proyectos internacionales no solo contribuyen a



la diversificación de la actividad de REDALSA, sino que refuerzan su posicionamiento como referente en innovación y tecnología ferroviaria.

2.5.- Economía

De forma similar al apartado anterior, se desarrolla un análisis del contexto económico de REDALSA, complementando la cronología histórica con datos financieros clave que permiten comprender su evolución y desempeño económico a lo largo del tiempo. Como fuente principal de datos se ha utilizado la base de datos SABI (Sistema de Análisis de Balances Ibéricos).

A partir de los años 70, España experimentó una transformación económica significativa, desde la transición postfranquista hasta la integración en la Comunidad Económica Europea (CEE) en 1986. La modernización de las infraestructuras, incluido el ferrocarril, fue una prioridad. Aunque no se dispone de datos financieros detallados de estos primeros años, se puede decir que la empresa se benefició del impulso modernizador del sector ferroviario. Su actividad principal, la soldadura de raíles, era esencial para la expansión y mejora de la red.

Más tarde, durante la década de 1990 y principios de los 2000 tuvo lugar un período de fuerte crecimiento económico en España, impulsado en parte por la construcción de infraestructuras y la llegada de la alta velocidad. Los ingresos de explotación muestran una evolución positiva, aunque con fluctuaciones (figura 33). En el año 2001, alcanzan los 9,84 millones de euros, reflejando la fuerte inversión en infraestructuras ferroviarias. La rentabilidad económica y financiera es notable en algunos años, con un pico en 2001, donde la rentabilidad financiera alcanza el 57,21%. El número de empleados se mantiene relativamente estable, con un aumento significativo a finales de este periodo (figura 34).

La crisis económica de 2008 y la posterior recuperación marcaron su actividad en los siguientes años. La inversión en infraestructuras se vio afectada, y las empresas del sector tuvieron que adaptarse a un entorno más competitivo. Los ingresos de explotación muestran una mayor variabilidad, con un descenso importante en algunos años (figura 33). La rentabilidad económica y financiera se ve afectada por la crisis, con incluso resultados negativos en algunos ejercicios. La empresa mantiene una estructura financiera sólida, con un endeudamiento controlado y una buena liquidez general que le permite continuar su actividad y desarrollar ciertos proyectos (figura 34).

Tras la pandemia y crisis causada por el COVID-19, se produce una recuperación económica y un nuevo impulso a la inversión en infraestructuras, con especial atención a la sostenibilidad y la digitalización.



En 2023, último año con datos económicos oficiales, los ingresos de explotación alcanzan los 10.57 millones de euros, superando los niveles precrisis (figura 33). La rentabilidad económica y financiera muestra una recuperación notable, con un resultado del ejercicio de 2.28 millones de euros. El número de empleados se mantiene en niveles similares a los de años anteriores, pero se puede ver un ligero crecimiento constante (figura 34). A continuación, se describen los indicadores clave de 2023:

Ingresos de Explotación: Muestran una tendencia general al alza, con fluctuaciones puntuales debido a factores macroeconómicos y a la propia dinámica del sector.



Figura 33 Gráfico de ingresos anuales de Redalsa desde 1990. Fuente: Base de datos Sabi

Rentabilidad: La rentabilidad económica y financiera ha variado a lo largo del tiempo, con un buen desempeño en los años de expansión de la alta velocidad y una mayor dificultad en los períodos de crisis. Sin embargo, se observa una recuperación en los últimos años.



**MEJORA DE LA
OPERATIVIDAD Y DEL
DISEÑO DEL CARRO DE UT
DE AUSCULTACIÓN DE VÍA
DE REDALSA SA SME**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

Universidad de Valladolid

Endeudamiento: El nivel de endeudamiento se ha mantenido relativamente bajo, lo que indica una gestión financiera prudente y una buena capacidad para afrontar los retos económicos.

Empleo: El número de empleados ha fluctuado en función de la actividad de la empresa, pero se ha mantenido en niveles similares a lo largo del tiempo.

Perfil financiero & empleados							
Cuentas No Consolidadas							
	31/12/2023 EUR	31/12/2022 EUR	31/12/2021 EUR	31/12/2020 EUR	31/12/2019 EUR	31/12/2018 EUR	
	12 meses Aprobado Normal PGC 2007	12 meses Aprobado Normal PGC 2007	12 meses Aprobado Normal PGC 2007	12 meses Aprobado Normal PGC 2007	12 meses Aprobado Normal PGC 2007	12 meses Aprobado Normal PGC 2007	
Ingresos de explotación	10.569.266	7.887.178	6.300.665	6.804.808	7.672.240	8.560.590	
Result. ordinarios antes Impuestos	2.866.774	1.929.016	606.530	-505.146	149.643	703.179	
Resultado del Ejercicio	2.279.717	1.443.988	605.907	-505.892	132.941	464.554	
Total Activo	17.268.147	14.647.848	12.706.974	12.057.420	12.670.043	12.716.847	
Fondos propios	15.409.080	13.129.363	11.685.375	11.079.468	11.585.360	11.452.419	
Rentabilidad económica (%)	16,60	13,17	4,77	-4,19	1,18	5,53	
Rentabilidad financiera (%)	18,60	14,69	5,19	-4,56	1,29	6,14	
Liquidez general	9,14	9,73	11,98	9,94	9,03	6,29	
Endeudamiento (%)	10,77	10,37	8,04	8,11	8,56	9,94	
Número empleados	67	63	67	72	73	71	
Cuentas No Consolidadas							
	31/12/2017 EUR	31/12/2016 EUR	31/12/2015 EUR	31/12/2014 EUR	31/12/2013 EUR	31/12/2012 EUR	
	12 meses Aprobado Normal PGC 2007	12 meses Aprobado Normal PGC 2007	12 meses Aprobado Normal PGC 2007	12 meses Aprobado Normal PGC 2007	12 meses Aprobado Normal PGC 2007	12 meses Aprobado Normal PGC 2007	
Ingresos de explotación	6.275.630	3.925.741	6.841.063	5.880.235	2.980.536	3.324.156	
Result. ordinarios antes Impuestos	757.905	-616.748	1.230.944	966.220	-634.502	-531.169	
Resultado del Ejercicio	733.577	-619.947	998.332	1.019.203	-634.502	-556.614	
Total Activo	12.571.763	11.011.653	11.841.302	11.120.001	9.512.105	10.301.423	
Fondos propios	10.987.865	10.254.288	10.874.235	9.875.903	8.856.700	9.491.202	
Rentabilidad económica (%)	6,03	-5,60	10,40	8,69	-6,67	-5,16	
Rentabilidad financiera (%)	6,90	-6,01	11,32	9,78	-7,16	-5,60	
Liquidez general	6,57	11,57	13,12	11,52	29,99	18,01	
Endeudamiento (%)	12,60	6,88	8,17	11,19	6,89	7,87	
Número empleados	63	62	70	63	68	68	
Cuentas No Consolidadas							
	31/12/2011 EUR	31/12/2010 EUR	31/12/2009 EUR	31/12/2008 EUR	31/12/2007 EUR	31/12/2006 EUR	
	12 meses Aprobado Normal PGC 2007	12 meses Aprobado Normal PGC 2007	12 meses Aprobado Normal PGC 2007	12 meses Aprobado Normal PGC 2007	12 meses Aprobado Normal PGC 2007	12 meses Aprobado Normal PGC 2007	
Ingresos de explotación	4.915.902	8.060.166	11.011.072	11.358.681	8.295.047	7.220.128	
Result. ordinarios antes Impuestos	105.264	1.814.955	2.865.083	2.285.747	1.028.423	322.422	
Resultado del Ejercicio	61.284	1.253.866	2.009.731	1.600.023	692.291	219.635	
Total Activo	10.772.768	11.113.346	10.369.312	9.187.595	7.718.022	6.875.181	
Fondos propios	10.047.816	9.986.532	8.732.666	6.722.935	5.122.912	4.430.621	
Rentabilidad económica (%)	0,98	16,33	27,63	24,88	13,32	4,69	
Rentabilidad financiera (%)	1,05	18,17	32,81	34,00	20,07	7,28	
Liquidez general	22,03	11,51	6,70	3,60	2,49	2,14	
Endeudamiento (%)	6,73	10,14	15,78	26,83	33,62	35,56	
Número empleados	70	76	90	93	83	80	
Cuentas No Consolidadas							
	31/12/2005 EUR	31/12/2004 EUR	31/12/2003 EUR	31/12/2002 EUR	31/12/2001 EUR	31/12/2000 EUR	
	12 meses Aprobado Normal	12 meses Aprobado Normal	12 meses Aprobado Normal	12 meses Aprobado Normal	12 meses Aprobado Normal	12 meses Aprobado Normal	
Ingresos de explotación	7.219.620	6.013.459	6.101.681	7.347.561	9.844.585	5.455.760	
Result. ordinarios antes Impuestos	113.071	371.395	407.655	1.378.341	2.043.939	269.510	
Resultado del Ejercicio	88.587	272.269	315.421	936.894	1.440.137	167.900	
Total Activo	7.203.990	6.163.545	7.732.247	5.294.373	5.955.761	5.594.670	
Fondos propios	4.210.986	4.122.399	3.850.130	3.909.469	3.572.576	2.132.430	
Rentabilidad económica (%)	1,57	6,03	5,27	26,03	34,32	4,82	
Rentabilidad financiera (%)	2,69	9,01	10,59	35,26	57,21	12,64	
Liquidez general	1,72	1,83	1,26	3,52	2,47	1,43	
Endeudamiento (%)	41,55	33,12	50,21	26,16	40,01	61,88	
Número empleados	75	80	78	96	106	74	

Figura 34 Balance de explotación anual de REDALSA desde 1999. Fuente: Base de datos Sabi



Universidad de Valladolid

**MEJORA DE LA
OPERATIVIDAD Y DEL
DISEÑO DEL CARRO DE UT
DE AUSCULTACIÓN DE VÍA
DE REDALSA SA SME**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**



Capítulo 3: Mantenimiento y auscultación

3.1.- Definiciones y conceptos UNE sobre mantenimiento

Para conocer los conceptos relacionados sobre el mantenimiento y la auscultación se ha recurrido a las normas UNE de Aenor. Sin embargo, al existir varias normativas sobre mantenimiento en general se ha buscado centrarse en el sector ferroviario. De esta forma se evita salirse del entorno del proyecto y se puede profundizar más en sus conceptos.

Según la norma UNE-EN 17023:2019 "Aplicaciones ferroviarias. Mantenimiento del material rodante. Creación y modificación del plan de mantenimiento", que establece los estándares para el mantenimiento del material rodante ferroviario, y complementada por la UNE-EN 15313:2025 "Aplicaciones ferroviarias. Requisitos de explotación de los ejes montados en servicio. Mantenimiento de los ejes montados en servicio y fuera del vehículo" para elementos específicos como ejes montados, se definen claramente los tipos de mantenimiento aplicables tanto a la infraestructura como al material rodante en el sector ferroviario.

La norma UNE-EN 17023:2019 constituye el marco normativo principal para la creación y modificación de los planes de mantenimiento del material rodante ferroviario, estableciendo los criterios técnicos que deben seguir las entidades encargadas de mantenimiento. Esta norma europea, adoptada como estándar UNE en España, define específicamente tres tipos fundamentales de mantenimiento que deben aplicarse de manera coordinada para garantizar la seguridad, disponibilidad y eficiencia operativa del sistema ferroviario.

El mantenimiento preventivo se define en estas normas UNE como el conjunto de operaciones programadas y sistemáticas que se realizan a intervalos regulares predeterminados, basándose en criterios temporales, kilométricos o de ciclos de funcionamiento. Este tipo de mantenimiento busca prevenir la aparición de fallos mediante inspecciones periódicas, verificaciones, limpiezas, ajustes, lubricaciones y sustituciones preventivas de componentes que han alcanzado su vida útil estimada. La norma UNE-EN 17023:2019 establece que este mantenimiento debe planificarse considerando las condiciones específicas de operación del material rodante y las recomendaciones del fabricante.

El mantenimiento correctivo, según la normativa UNE aplicable al sector ferroviario, comprende todas las acciones de reparación que se ejecutan después de que se ha producido un fallo o avería en el equipo o infraestructura. Este mantenimiento se caracteriza por ser reactivo y no planificado, aunque la norma UNE-EN 17023:2019 establece que debe existir un procedimiento documentado para su gestión eficiente. El mantenimiento correctivo se subdivide en dos niveles



según las normas UNE: el de primer nivel, que consiste en reparaciones inmediatas realizadas directamente sobre el vehículo para restaurar su disponibilidad operativa, y el de segundo nivel, que involucra la reparación en taller de componentes retirados del servicio.

El mantenimiento predictivo, también denominado mantenimiento según el estado o basado en condición, se fundamenta en la monitorización continua de parámetros operativos y el análisis de datos para predecir cuándo será necesario intervenir antes de que ocurra una avería. Las normas UNE del sector ferroviario reconocen este tipo de mantenimiento como una evolución tecnológica que permite optimizar los recursos de mantenimiento mediante el uso de sensores, sistemas de diagnóstico y técnicas de análisis avanzadas para determinar el momento óptimo de intervención. Este enfoque se basa en la evaluación del estado real de los componentes en lugar de intervalos fijos, permitiendo una gestión más eficiente de los recursos de mantenimiento.

La normativa UNE establece que estos tres tipos de mantenimiento deben aplicarse de manera integrada y complementaria en el sector ferroviario para cumplir con los requisitos de seguridad establecidos por la Agencia Estatal de Seguridad Ferroviaria y garantizar la disponibilidad operativa de los activos. La norma UNE-EN 17023:2019 especifica que los planes de mantenimiento deben documentar claramente qué tipo de mantenimiento se aplica a cada componente o sistema, estableciendo frecuencias, procedimientos y criterios de evaluación apropiados para cada caso. Esta clasificación normativa permite a las entidades ferroviarias estructurar sus actividades de mantenimiento de manera sistemática, asegurando el cumplimiento de los estándares técnicos y de seguridad requeridos para la operación ferroviaria segura y eficiente.

A continuación, se desarrolla una lista de términos fundamentales que permiten comprender adecuadamente el proyecto que se ha realizado. Estos términos se han definido siguiendo los criterios de la norma UNE-EN 13306:2018.

- **Mantenimiento:** "Combinación de todas las acciones técnicas, administrativas y de gestión realizadas durante el ciclo de vida de un elemento, destinadas a conservarlo o a devolverlo a un estado en el que pueda desempeñar la función requerida."
- **Gestión del mantenimiento:** "Todas las actividades de la gestión que determinan los requisitos, los objetivos, las estrategias y las responsabilidades del mantenimiento y la implantación de dichas actividades por medios tales como la planificación del mantenimiento, el control de este y la mejora de las actividades de mantenimiento y las cuestiones económicas."
- **Objetivos del mantenimiento:** "Metas asignadas y aceptadas para las actividades de mantenimiento."
- **Estrategia de mantenimiento:** "Método de gestión utilizado para lograr los objetivos del mantenimiento."



- Plan de mantenimiento: "Conjunto estructurado y documentado de tareas que incluyen las actividades, los procedimientos, los recursos y la duración necesaria para realizar el mantenimiento."
- Función requerida: "Función, combinación de funciones, o una combinación total de funciones de un elemento que se consideran necesarias para satisfacer un requisito dado."
- Seguridad de funcionamiento: "Capacidad de funcionar cómo y cuándo se requiera."
- Desempeño del soporte del mantenimiento; sostenibilidad del mantenimiento: "Capacidad de una organización de mantenimiento de disponer de instalaciones de mantenimiento apropiadas en el lugar necesario, para desempeñar la actividad de mantenimiento requerida en el momento en que sea necesario."
- Operación: "Combinación de todas las acciones técnicas, administrativas y de gestión, distintas de las acciones de mantenimiento que se realizan sobre el elemento en uso."
- Elemento: "Parte, componente, dispositivo, subsistema, unidad funcional, equipo o sistema que puede describirse y considerarse de forma individual."
- Mantenimiento preventivo: "Mantenimiento llevado a cabo para evaluar y/o mitigar la degradación y reducir la probabilidad de fallo de un elemento."
- Mantenimiento correctivo: "Mantenimiento que se realiza después del reconocimiento de una avería y que está destinado a poner a un elemento en un estado en que pueda realizar una función requerida."
- Fiabilidad: "Aptitud de un elemento de realizar una función requerida bajo unas condiciones determinadas durante un intervalo de tiempo dado."
- Mantenibilidad: "Capacidad de un elemento bajo condiciones de utilización dadas, de ser preservado, o ser devuelto a un estado en el que pueda realizar una función requerida, cuando el mantenimiento se ejecuta bajo condiciones dadas y utilizando procedimientos y recursos establecidos."
- Disponibilidad: "Capacidad de un elemento de estar en un estado en el que puede cumplir una función de la manera y en el momento requeridos en las condiciones dadas, asumiendo que se proporcionan los recursos externos necesarios."
- Durabilidad: "Capacidad de un elemento de realizar una función requerida bajo condiciones dadas de utilización y de mantenimiento, hasta el final de la vida útil."
- Vida útil: "Intervalo de tiempo que comienza a partir del primer uso hasta el instante en el que se alcanza el estado límite."
- Ciclo de vida: "Serie de estados por los que pasa un elemento desde su concepción hasta su eliminación."
- Fallo: "Cese de la aptitud de un elemento para realizar una función requerida."
- Avería: "Estado de un elemento caracterizado por la inaptitud para realizar una función requerida, excluyendo la inaptitud durante el mantenimiento"



preventivo o por otras acciones planificadas, o debido a la falta de recursos externos."

Existe otra norma importante que está relacionada con el mantenimiento, la norma UNE-EN 15341:2020. En ella, se recogen algunos conceptos claves a considerar en la gestión del mantenimiento.

Uno de los primeros elementos que define es la función de mantenimiento, la cual "afecta a varias plantas industriales, instalaciones, infraestructuras, actuando en diferentes marcos y contextos con diferentes tamaños, estructuras, objetivos, restricciones específicas y factores de influencia."

"La función de mantenimiento mantiene los activos físicos para que puedan realizar las funciones requeridas y, en consecuencia, la gestión debe actuar en un marco que involucre a:

- la empresa;
- los recursos disponibles;
- la aplicación de las TIC y tecnologías de apoyo (por ejemplo, industria 4.0)."

Según la norma existen unos procesos en el mantenimiento que son "las diversas acciones utilizadas por cada subfunción para implementar las actividades para lograr la mejor competitividad y resultados adecuados de acuerdo con el objetivo declarado de la organización, véase la Norma EN 17007."

Un concepto muy importante es la gestión del mantenimiento, que es "una combinación de los recursos, disciplinas, conocimientos, competencias y herramientas para definir un plan a mediano plazo en línea con el plan de la empresa industrial." A su vez, esta gestión consiste "en coordinar y controlar las actividades implementadas para los activos físicos con el fin de lograr los objetivos establecidos dentro de los límites de las restricciones y el marco existente."

Para realizar una correcta gestión, la norma establece que hay que aplicar "teorías, aplicaciones y prácticas de gestión, así como recursos internos y externos disponibles para coordinar las actividades de mantenimiento con el fin de lograr los resultados de mantenimiento más adecuados. Los activos físicos se utilizan dentro del marco existente, de acuerdo con la visión, misión, valores, políticas y objetivos establecidos de la organización."

Todo esto forma parte de la rama de la ingeniería especializada en el mantenimiento. Ésta también está explicada y definida por esta norma, la cual dice que "la ingeniería de mantenimiento es la disciplina y los procesos que aplican las competencias, las aptitudes, los métodos, las herramientas y las técnicas para desarrollar y respaldar las actividades de mantenimiento a fin de garantizar que



un elemento pueda realizar sus funciones requeridas de manera segura, sostenible y rentable a lo largo del ciclo de vida. La ingeniería de mantenimiento incluye la preparación de información sistematizada sobre los activos físicos y sus componentes para proporcionar Información suficiente y relevante.”

Una vez definidos estos conceptos hay que desarrollar el proceso de mantenimiento y los pasos que se tienen que realizar. “El proceso de mantenimiento es un motor que proporciona un alto nivel de prestaciones (seguridad, disponibilidad, medio ambiente, rentabilidad, calidad, etc.) a un activo físico. Este motor debe ajustarse periódicamente para evaluar y lograr el mejor equilibrio entre todos los diferentes criterios, a veces, antagónicos.

- 1) identificar los objetivos, metas, debilidades, fortalezas, etc. para seleccionar los KPI de referencia y los valores de referencia definidos por umbrales decididos, acciones de evaluación comparativa (benchmarking actions) y su evolución;
- 2) medir los valores reales de los KPI utilizando fórmulas o métodos y modelos de evaluación cualitativa, como los cuestionarios de gestión;
- 3) comparar los valores reales de KPI con referencias para identificar las diferencias (gaps) y analizarlas;
- 4) definir e implementar acciones de mejora continua en el estado existente para lograr mejores valores.”

Con toda esta recopilación de conceptos y definiciones del sector del mantenimiento ferroviario se espera hacer más fácil de comprender el proyecto, así como el contexto de la evolución de la auscultación y mantenimiento en el mundo del ferrocarril.

3.2.- Evolución del mantenimiento ferroviario

La evolución histórica de los sistemas de mantenimiento ferroviario es un reflejo de la transformación tecnológica, organizativa y social de la industria ferroviaria. Desde la aparición del ferrocarril en el siglo XIX hasta la actualidad, el mantenimiento ha pasado de ser una actividad eminentemente manual y reactiva a convertirse en un proceso altamente tecnificado, digitalizado y estratégico, que utiliza inteligencia artificial, big data e Internet de las Cosas (IoT) para anticipar fallos y optimizar recursos. Esta evolución ha ido de la mano de los grandes hitos de la industria ferroviaria, acompañando y, en muchos casos, posibilitando los avances en velocidad, seguridad, capacidad y sostenibilidad del transporte ferroviario.



3.2.1.-Mundo

En los inicios del ferrocarril, durante la primera mitad del siglo XIX, los sistemas de mantenimiento eran rudimentarios y estaban basados en la observación directa y la intervención manual. Las primeras líneas, como la de Stockton a Darlington (1825) en Inglaterra, se construyeron con rieles de hierro fundido y locomotoras de vapor, lo que exigía un mantenimiento constante debido al rápido desgaste de los materiales y la falta de estándares técnicos. El personal de mantenimiento era abundante pero poco especializado, y las reparaciones se realizaban tras la aparición de fallos o accidentes, en un enfoque puramente reactivo. En este contexto, la expansión del ferrocarril en Europa y América impulsó la creación de talleres ferroviarios y la profesionalización progresiva del sector, aunque la planificación seguía siendo limitada y la seguridad dependía en gran medida de la pericia de los operarios.

A medida que el ferrocarril se consolidaba como motor de la revolución industrial y se extendía por todo el mundo, la industria ferroviaria experimentó una primera gran transformación. La introducción de rieles de acero, más resistentes y duraderos que los de hierro, y la aparición de locomotoras más potentes y fiables, permitieron aumentar la velocidad y la capacidad de transporte, pero también exigieron nuevas estrategias de mantenimiento. En esta etapa, se empezaron a establecer protocolos de revisión periódica y se crearon los primeros departamentos de ingeniería de mantenimiento, sentando las bases del mantenimiento preventivo. Este modelo, que se generalizó a finales del siglo XIX y principios del XX, consistía en realizar revisiones y sustituciones programadas de componentes antes de que se produjeran fallos, basándose en la experiencia acumulada y en la observación sistemática del desgaste de los materiales.

El desarrollo de la industria ferroviaria, con la electrificación de líneas y la estandarización de piezas, permitió una mayor especialización y eficiencia en las tareas de mantenimiento, reduciendo los accidentes y mejorando la disponibilidad de la red. La llegada de la electrificación y la modernización del material rodante, especialmente a partir de la segunda mitad del siglo XX, supuso un salto cualitativo tanto para la industria ferroviaria como para los sistemas de mantenimiento. Las locomotoras diésel y eléctricas, más limpias, rápidas y eficientes que las de vapor, requerían menos intervenciones y permitían una mayor regularidad en los servicios. Al mismo tiempo, la automatización de los sistemas de control y señalización, con la introducción de tecnologías electrónicas e informáticas, facilitó la gestión centralizada del tráfico y la supervisión remota de la infraestructura, optimizando la planificación y la ejecución de las tareas de mantenimiento.

El periodo comprendido entre los años 60 y 80 del siglo XX estuvo marcado por la consolidación del mantenimiento preventivo y la aparición de los primeros sistemas de mantenimiento predictivo. La experiencia de la Segunda Guerra Mundial y la necesidad de maximizar la disponibilidad de los activos industriales



motivaron el desarrollo de revisiones periódicas y la sustitución programada de piezas, en función de su ciclo de vida estimado. Sin embargo, este enfoque tenía limitaciones, ya que muchas veces se sustituían componentes que aún podían seguir funcionando, lo que suponía un gasto innecesario de recursos. Como respuesta, surgió el mantenimiento predictivo, basado en la utilización de instrumentos de medición y en la monitorización de parámetros clave para anticipar la aparición de fallos. Esta evolución fue posible gracias a la incorporación de tecnologías de análisis de vibraciones, ultrasonidos y termografía, que permitieron intervenir solo cuando era realmente necesario, optimizando los costes y mejorando la fiabilidad del sistema.

La revolución digital de finales del siglo XX y principios del XXI ha transformado radicalmente tanto la industria ferroviaria como los sistemas de mantenimiento. La introducción de trenes de alta velocidad, como el Shinkansen japonés (1964), el TGV francés (1981) o el AVE español (1992), ha supuesto una exigencia mucho mayor en términos de precisión, seguridad y disponibilidad, lo que ha impulsado el desarrollo de sistemas de mantenimiento cada vez más avanzados. Actualmente, el mantenimiento ferroviario se basa en la integración de sensores, sistemas de telemetría y plataformas digitales que permiten monitorizar en tiempo real el estado de la infraestructura y del material rodante. El uso de big data, inteligencia artificial y algoritmos de análisis predictivo permite anticipar fallos, planificar intervenciones y optimizar la gestión de los recursos, reduciendo los costes y mejorando la sostenibilidad del sistema.

En la actualidad, los sistemas de mantenimiento ferroviario más avanzados utilizan el denominado “mantenimiento 4.0”, que combina la monitorización continua de activos mediante sensores IoT, el análisis automático de datos y la gestión centralizada de la información. El mantenimiento basado en la condición (CBM, Condition-Based Maintenance) y en la confiabilidad (RCM, Reliability-Centered Maintenance) permite intervenir solo cuando los datos así lo indican, aumentando la eficiencia y prolongando la vida útil de los activos ferroviarios. En los trenes de alta velocidad, por ejemplo, cada unidad puede llevar más de 2.000 sensores que transmiten información en tiempo real, permitiendo detectar cualquier anomalía antes de que se convierta en un problema grave.

La digitalización y la automatización han supuesto también una transformación organizativa en la industria ferroviaria. La externalización de servicios, la aparición de empresas especializadas en mantenimiento y la descentralización de la gestión han cambiado el papel tradicional de las operadoras ferroviarias, que ahora actúan más como gestoras de activos que como ejecutoras directas de las tareas de mantenimiento. La integración de plataformas digitales permite centralizar la información, mejorar la trazabilidad de las intervenciones y facilitar la auditoría y el cumplimiento de los estándares de seguridad y calidad.

El futuro del mantenimiento ferroviario está marcado por la integración de tecnologías emergentes como el gemelo digital, la inteligencia artificial avanzada

y la robótica. El gemelo digital permite crear una réplica virtual de cada activo ferroviario, simulando su comportamiento en tiempo real y anticipando posibles fallos o necesidades de intervención. La inteligencia artificial, por su parte, permite analizar grandes volúmenes de datos y detectar patrones que escapen al análisis humano, optimizando la planificación y la ejecución de las tareas de mantenimiento. La robótica, finalmente, permite realizar intervenciones en entornos de difícil acceso o peligrosos, mejorando la seguridad del personal y reduciendo los tiempos de parada (figura 35).



Figura 35 Robot de reparación de catenarias japonés. Fuente: 20 Minutos (2022)

3.2.2.-Europa

La evolución de los sistemas de mantenimiento ferroviario en Europa está profundamente vinculada a la propia historia y transformación de la industria ferroviaria del continente. Europa fue pionera en el desarrollo del ferrocarril moderno, y a lo largo de los siglos XIX, XX y XXI, sus países han liderado la innovación tanto en la tecnología ferroviaria como en la gestión y mantenimiento de infraestructuras y material rodante. Sin embargo, la evolución no ha sido uniforme: cada país ha desarrollado sus propios estándares, modelos de gestión y estrategias de mantenimiento, lo que ha generado una gran diversidad de enfoques y ha planteado retos de interoperabilidad y eficiencia a nivel continental.

La electrificación fue especialmente relevante en países como Suecia, que inauguró la primera línea electrificada en 1904, y Austria, que utilizó corriente alterna por primera vez en ese mismo año. La guerra y la necesidad de eficiencia energética impulsaron la adopción de motores diésel y eléctricos, lo que redujo los costes y la complejidad del mantenimiento respecto a las locomotoras de vapor. Sin embargo, la diversidad de soluciones técnicas y la falta de estándares comunes dieron lugar a una fragmentación de los sistemas ferroviarios europeos, con diferencias significativas en señalización, control, tensiones y frecuencias de funcionamiento entre países.



Durante la segunda mitad del siglo XX, la industria ferroviaria europea vivió una profunda transformación. La reconstrucción tras la Segunda Guerra Mundial, la modernización de infraestructuras y la introducción de trenes más rápidos y ligeros impulsaron la adopción de nuevas tecnologías de mantenimiento.

Un aspecto clave en la evolución del mantenimiento ferroviario en Europa ha sido la creciente integración y armonización normativa impulsada por la Unión Europea. Hasta la década de 1990, los sistemas ferroviarios europeos eran nacionales, gestionados en régimen de monopolio estatal y con escasa interoperabilidad. La Comisión Europea, ante los problemas económicos y la pérdida de competitividad del sector, impulsó una política de liberalización y apertura del mercado, que culminó con la Directiva 91/440, obligando a la separación contable y organizativa entre la gestión de infraestructuras y la explotación de servicios ferroviarios. Esta separación permitió la entrada de nuevos operadores y la especialización de empresas en mantenimiento, pero también planteó retos en términos de coordinación, calidad del empleo y control de la seguridad.

La armonización técnica ha sido otro de los grandes retos. La creación del Sistema Europeo de Gestión del Tráfico Ferroviario (ERTMS) y del Sistema de Control Ferroviario Europeo (ETCS) ha permitido avanzar hacia un estándar común de señalización y control, facilitando la interoperabilidad y la eficiencia en la gestión y el mantenimiento de la red.

La normativa europea más reciente, como la Directiva (UE) 2016/798, regula el sistema de mantenimiento en cuatro funciones diferenciadas, estableciendo exigencias de homologación y control para garantizar la seguridad y la calidad de las intervenciones. Esta regulación ha favorecido la competencia y la especialización, pero también ha generado una descentralización de la negociación colectiva y una cierta precarización de las relaciones laborales en el sector, al fragmentar la cadena productiva y transferir parte de las responsabilidades a empresas subcontratistas.

En cuanto a la financiación, la Unión Europea ha destinado importantes fondos a la modernización y el mantenimiento de la infraestructura ferroviaria, especialmente en los países del Este y del Sur, como Polonia, España y la República Checa, que han sido grandes beneficiarios de los fondos europeos para el desarrollo ferroviario.

3.2.3.-España

Los primeros pasos del ferrocarril en España se remontan a la primera mitad del siglo XIX, con la construcción de las primeras líneas que conectaban ciudades importantes como Barcelona y Mataró (1848) o Madrid y Aranjuez (1851). En esta etapa inicial, el mantenimiento era una actividad rudimentaria y reactiva, basada en la inspección visual y la reparación manual de vías, locomotoras y material



rodante. La diversidad de empresas ferroviarias privadas, cada una con sus propios estándares y procedimientos, dificultaba la estandarización del mantenimiento y la coordinación de las tareas. El parque móvil y la infraestructura eran limitados y estaban en constante desgaste, lo que exigía una atención continua para garantizar la operatividad y seguridad del servicio.

Tras la Guerra Civil española (1936-1939), el ferrocarril quedó gravemente dañado, con miles de kilómetros de vías inutilizables y un parque móvil destruido o en mal estado. La creación de RENFE en 1941 supuso un punto de inflexión para la industria ferroviaria y el mantenimiento en España. RENFE asumió la gestión unificada de la red ferroviaria, que entonces contaba con más de 12.000 kilómetros de vía, y enfrentó el reto de reconstruir y modernizar una infraestructura deteriorada. En los primeros años, el mantenimiento se centró en la reparación urgente de daños y en la sustitución de material obsoleto, con recursos limitados y una organización todavía incipiente.

Durante la década de 1940 y hasta finales de los años 50, el mantenimiento ferroviario en España experimentó una modernización importante gracias al Plan Guadalhorce (1949), que impulsó la electrificación de líneas, la adquisición de nuevo material rodante y la instalación de centros de tráfico centralizado. Este plan incluyó la compra masiva de locomotoras, vagones y coches de viajeros, así como la introducción de los trenes Talgo, que se convirtieron en un símbolo de la modernización ferroviaria española. La automatización de la regulación del tráfico y la centralización de los sistemas de señalización mejoraron la eficiencia y la seguridad, pero el mantenimiento seguía siendo una tarea intensiva en mano de obra y con una organización aún en desarrollo.

En los años 60, la política ferroviaria española cambió de rumbo tras un informe del Banco Mundial en 1962 que recomendaba detener la construcción de nuevas líneas y centrarse en la consolidación y mantenimiento de la red existente. Este cambio provocó la paralización de importantes proyectos y el cierre progresivo de líneas deficitarias, lo que afectó también a la planificación y ejecución del mantenimiento. A pesar de estas dificultades, se continuaron modernizando las líneas principales y se mejoraron los talleres ferroviarios, que comenzaron a incorporar técnicas más avanzadas y a especializar al personal en mantenimiento preventivo.

La década de los 70 y 80 estuvo marcada por una crisis profunda en RENFE y en la red ferroviaria española. Los déficits crecientes, la competencia del transporte por carretera y la falta de inversiones afectaron la calidad del servicio y la capacidad de mantenimiento. Sin embargo, en este periodo se sentaron las bases para la renovación del sistema. Se introdujeron nuevos trenes, como los Talgo pendulares y material rodante moderno, y se desarrollaron los servicios de Cercanías en grandes áreas metropolitanas como Madrid, Barcelona y Valencia, que se convirtieron en uno de los pilares del ferrocarril español. El mantenimiento



se fue profesionalizando, con una mayor planificación y la incorporación de técnicas preventivas y correctivas más sistemáticas.

Un hito fundamental en la evolución del mantenimiento ferroviario en España fue la creación en 1991 del área de Mantenimiento de Infraestructura de RENFE (MIN), que asumió la responsabilidad de mantener la primera línea de alta velocidad del país, la Madrid-Sevilla, inaugurada en 1992. Esta infraestructura, diseñada para trenes que circulan a velocidades de hasta 300 km/h, exigió un cambio radical en los sistemas de mantenimiento, con la adopción de tecnologías avanzadas, métodos de gestión innovadores y una organización especializada. El MIN también se encargó del mantenimiento del corredor mediterráneo desde su apertura en 1997, una línea de alta velocidad que conecta Valencia, Barcelona y Alicante, con trenes que circulan a 220 km/h.

Durante los años 90 y la primera década del siglo XXI, el mantenimiento ferroviario en España se benefició de una fuerte inversión pública y de la incorporación progresiva de tecnologías digitales y sistemas de monitorización. La liberalización del sector, la creación de ADIF en 2005 como gestor de infraestructuras y la separación de RENFE en dos entidades especializadas permitieron una mayor eficiencia y especialización en las tareas de mantenimiento.

En la actualidad, España cuenta con una de las redes de alta velocidad más extensas y modernas del mundo, con costes de mantenimiento por kilómetro inferiores a la media europea, gracias a la eficiencia de sus sistemas y a la integración de tecnologías avanzadas. El mantenimiento no solo se aplica a la alta velocidad, sino también a la red convencional, que sigue siendo fundamental para el transporte regional y de mercancías.

Un ejemplo destacado de esta innovación es la tecnología “InterActive Pads”, desarrollada en colaboración entre la Universidad de Granada y ADIF. Este sistema consiste en placas sensorizadas que se colocan sobre las traviesas y que permiten registrar en tiempo real el estado de la vía y la interacción dinámica entre el tren y la infraestructura. La información recogida se transmite instantáneamente a un centro de control, donde se analiza para detectar anomalías, degradaciones o posibles roturas. Este modelo de auscultación continua permite anticipar intervenciones, reducir costes operativos, mejorar la seguridad y prolongar la vida útil de la infraestructura.

3.3.- Evolución de la auscultación

En el contexto ferroviario, el término auscultación se refiere al procedimiento mediante el cual se evalúa el estado y las condiciones de la infraestructura ferroviaria —como las vías, la catenaria, los puentes o los túneles— mientras está en uso, y sin interferir significativamente en la circulación normal de los trenes. Es una técnica fundamental para el mantenimiento moderno, ya que permite detectar



de forma temprana defectos, desgastes o irregularidades que podrían afectar la seguridad y la calidad del servicio.

La auscultación se realiza de manera periódica, especialmente en líneas de alta velocidad o en aquellas donde se ha detectado algún problema. Para ello, se utilizan trenes o vehículos auscultadores equipados con tecnología avanzada, capaces de medir parámetros como aceleraciones verticales y horizontales, pendiente, alineación, desgaste del carril, tensión y altura de la catenaria, entre otros. Estos vehículos recorren la vía a velocidad comercial o incluso superior, recogiendo datos precisos y en tiempo real sobre el estado de la infraestructura.

Entre los métodos de auscultación más habituales se encuentran la auscultación dinámica, que mide las perturbaciones que sufre el tren al estar en contacto con la vía, y la auscultación geométrica, que analiza la alineación, nivelación y perfil del carril. Los sistemas de auscultación pueden incluir sensores de aceleración, cámaras de alta resolución, ultrasonidos, escáneres láser y sistemas de procesamiento digital de imágenes, lo que permite detectar tanto defectos visibles como problemas internos o incipientes.

El objetivo principal de la auscultación es identificar los puntos kilométricos donde la vía o la infraestructura presentan desviaciones respecto a los parámetros normales, para así programar intervenciones de mantenimiento correctivo o preventivo solo donde realmente es necesario. Esto optimiza los recursos, reduce costes y mejora la gestión, seguridad y fiabilidad de la red ferroviaria.

La evolución de los sistemas auscultadores en el mantenimiento ferroviario refleja la transición global de métodos manuales y reactivos hacia tecnologías avanzadas, digitalizadas y predictivas. Este proceso ha seguido ritmos y características propias en el mundo, Europa y España, adaptándose a los retos técnicos, de seguridad y eficiencia de cada contexto.

A nivel mundial, los primeros sistemas de auscultación ferroviaria eran esencialmente visuales y manuales. Los operarios recorrían las vías a pie o en pequeños vehículos, inspeccionando a simple vista el estado de los raíles, traviesas y otros elementos críticos. Con el aumento del tráfico y la velocidad de los trenes, especialmente tras la expansión de las redes ferroviarias en el siglo XIX y principios del XX, surgió la necesidad de métodos más sistemáticos y precisos. Así, aparecieron los primeros vehículos auscultadores, equipados con instrumentos mecánicos y eléctricos capaces de medir la geometría de la vía, el desgaste del carril y las irregularidades superficiales. En la segunda mitad del siglo XX, la introducción de sensores electrónicos, sistemas de registro y análisis de vibraciones permitió una auscultación más detallada y frecuente, sentando las bases del mantenimiento preventivo y predictivo.

En Europa, la evolución de los sistemas auscultadores ha estado marcada por la diversidad de redes y la búsqueda de interoperabilidad. Países como Alemania,



Francia, Italia y Reino Unido desarrollaron desde mediados del siglo XX trenes laboratorio y vehículos auscultadores equipados con tecnología de medición láser, ultrasonidos y sistemas de registro digital. La electrificación generalizada de las líneas y la aparición de la alta velocidad impulsaron la necesidad de auscultar no solo la geometría de la vía, sino también parámetros como la catenaria, la interacción dinámica tren-vía y el desgaste de componentes bajo condiciones extremas. En las últimas décadas, la integración de tecnologías digitales, big data y análisis en tiempo real ha permitido a los operadores europeos pasar de un mantenimiento correctivo o preventivo a uno predictivo, optimizando recursos y mejorando la seguridad. La armonización normativa impulsada por la Unión Europea ha favorecido la estandarización de procedimientos y la interoperabilidad de los sistemas auscultadores entre diferentes países y operadores.

En España, la evolución de los sistemas auscultadores ha seguido la tendencia europea, aunque con particularidades propias. En las primeras décadas, el mantenimiento se basaba en inspecciones visuales y revisiones manuales, con escasa instrumentación. Con la modernización de la red y la llegada de la alta velocidad, ADIF y sus predecesoras incorporaron vehículos auscultadores cada vez más sofisticados, capaces de medir la geometría de la vía, el estado del balasto, la catenaria y otros parámetros críticos. Actualmente, España cuenta con trenes auscultadores dotados de sensores de última generación, sistemas de registro dinámico y plataformas digitales que permiten monitorizar en tiempo real el estado de la infraestructura. La información recogida se utiliza para programar intervenciones selectivas, anticipar fallos y optimizar el uso de los recursos, situando a España a la vanguardia del mantenimiento predictivo en el ámbito ferroviario.



Universidad de Valladolid

**MEJORA DE LA
OPERATIVIDAD Y DEL
DISEÑO DEL CARRO DE UT
DE AUSCULTACIÓN DE VÍA
DE REDALSA SA SME**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

Capítulo 4: Carro de auscultación ultrasónico

4.1.-Origen

Inicialmente, para auscultar por ultrasonidos los carriles de las vías se empleaba un carro monovial de la empresa alemana Vossloh llamado SoniQ Rail Explorer. Esta herramienta está compuesta por dos ruedas que se desplazan por el carril, unas guías que fijan la máquina al carril para evitar tambaleos y descarrilamientos que alteren los datos recibidos, una rueda central con un dispositivo ultrasonidos que emite ondas con tres ángulos distintos (uno central de 0 grados, 1 de 40 hacia delante y otro hacia atrás, 3 de 70 hacia delante y otros 3 hacia atrás)(figura 36). Todo esto está unido por una estructura de partes metálicas y plásticas y se completa con una tablet portátil con software integrado en la que se leen los datos en directo, un sistema de agua que limpia y sirve de contacto entre rueda de ultrasonidos y la vía, y un manillar para desplazar la máquina.

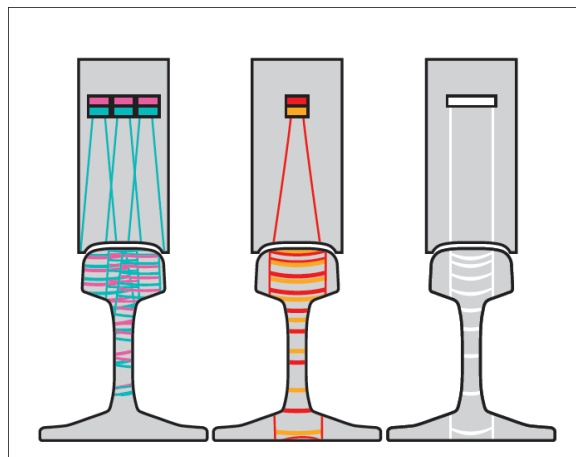


Figura 36 Esquema de los tipos de ángulos de emisión de ultrasonidos. Fuente: Adrián del Río

El proceso de auscultar era simple: un operario se desplazaba hasta la zona requerida de revisión, desplegaba el carro en un carril, se desplazaba con él a una velocidad uniforme en un sentido y cuando acababa de auscultar el carril se hacía lo mismo por el otro(figura 37).



Figura 37 Ejemplo de uso del carro manual de ultrasonidos. Fuente: Adrián del Río

Esto generaba varios problemas. Por un lado, la longitud del carril que se puede auscultar no debe ser muy grande debido a que es un proceso a pie y de doble tardanza por solo poder revisar uno de los dos carriles por vez. Por el otro lado, al ser un proceso manual se pueden generar tambaleos, vibraciones o cambios en la velocidad de desplazamiento, debidos al propio terreno irregular y complicado del entorno de las vías, que alteren el funcionamiento del carro y hagan que los datos puedan ser imprecisos.

Por lo tanto, hacía falta un cambio drástico en el diseño del sistema que mejorara la funcionalidad del proceso. Este nuevo diseño tendría que lograr que se auscultaran al mismo tiempo ambos carriles de la vía, evitar los problemas de movimiento que alteran la toma de datos, y permitir que aumente la distancia de vía que se puede revisar.

4.2.-Primer diseño del carro de ultrasonidos

De esta forma surgió el carro bivial de ultrasonidos de REDALSA. Este carro incorporaba un nuevo sistema de ultrasonidos que simplificaba el del SoniQ Rail Explorer. Se resume en una estructura de acero que sujeta dos ruedas como las de tren, pero de tamaño pequeño que actúan como guías en la vía, y la rueda de ultrasonidos entre ellas (figura 38). El carro tiene un sistema como este en sus dos extremos.



Figura 38 Imagen desde arriba de la rueda de ultrasonidos sobre la vía. Fuente: Propia

Para mantener los sistemas de ruedas unidos y evitar que se desnivelen el carro es una estructura de acero compuesto por tuberías cuadradas huecas soldadas entre sí. Toda esta estructura es remolcada por un vehículo Polaris SP Ranger (figura 39 y figura 40). De esta forma la velocidad de desplazamiento máxima aumenta y es más uniforme y aumenta la longitud de vía máxima que se puede auscultar.



Figura 39 Primer vehículo convencional auscultador con ultrasonidos. Fuente: Adrián del Río

El proceso de auscultación es bastante simple. Una vez colocado el carro sobre la vía y enganchado correctamente al vehículo, un operario se encarga de conducir a velocidad constante mientras el otro operario revisa los datos y gráficas que muestran las tablets en el asiento del copiloto. Si se detecta un problema, se

señala el punto kilométrico y una estimación aproximada de la naturaleza del defecto para que más tarde se organicen los procesos de mantenimiento correspondientes. Para este propósito el sistema cuenta con un dispositivo GPS que geolocaliza el carro y puede marcar el punto kilométrico en el que recoge cada dato, a excepción de los túneles y vías subterráneas como el metro. Para solucionar esto, se incorpora al sistema de las ruedas un acelerómetro que calcula la distancia a la que se ha desplazado el carro y así poder localizar los puntos kilométricos fácilmente.

Sin embargo, este carro y vehículo solo pueden ser usados en el ancho de vía métrico, por lo que generan nuevos problemas a solucionar. Hace falta adaptar el carro para que pueda variar su ancho a los tres tipos de vía que hay en España y que quepa en el maletero del vehículo. También hace falta un vehículo que sus ruedas puedan traccionar en el ancho ibérico y convencional.

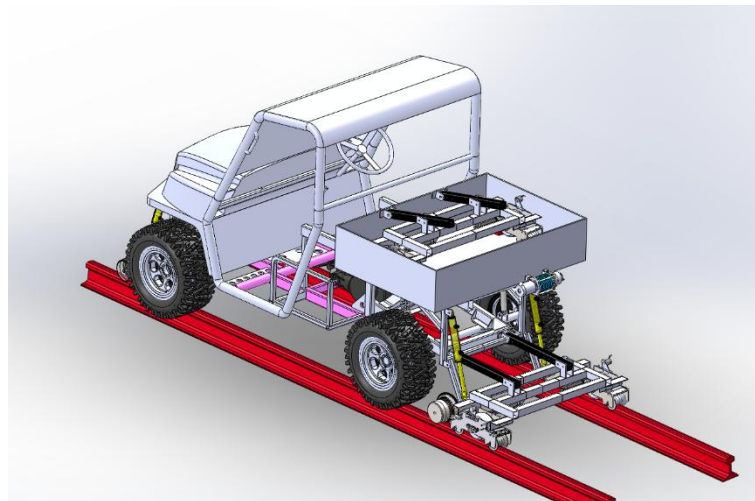


Figura 40 Representación en CAD 3D del prototipo del carro auscultador. Fuente: Adrián del Río

Este tipo de carros con sistemas de ultrasonidos ya existen en el sector ferroviario, pero están solamente orientados a instalarse en vagones de trenes auscultadores o convencionales. Por ejemplo, una empresa suiza llamada Geismar dispone de un carro similar, pero va en un vagón especializado en auscultación, el Vigilis 400US, el cual se desplaza únicamente por las vías y mide más datos que solo defectos en el perfil del carril. Estos otros defectos pueden ser de geometría como el alabeo o la distancia entre carriles. En España, ADIF tiene a su disposición una dresina auscultadora similar, pero solo sirve para el ancho ibérico.

4.3.-Primeras adaptaciones

El carro se modificó para que pudiera variar su ancho de una manera simple. La estructura ahora es de dos partes, una por sistema de ruedas. Para unir las y mantenerlas niveladas y a un ancho determinado, se unen por dos barras



tubulares cuadrados de hierro que se introducen en las dos estructuras por sus extremos. El ancho se puede variar a cualquier tamaño que alcancen ambas barras y para fijarlo hay unos taladros en las estructuras y tubos que marcan los tres anchos de vía necesarios para que puedan ser fijados con tornillos (figura 41).

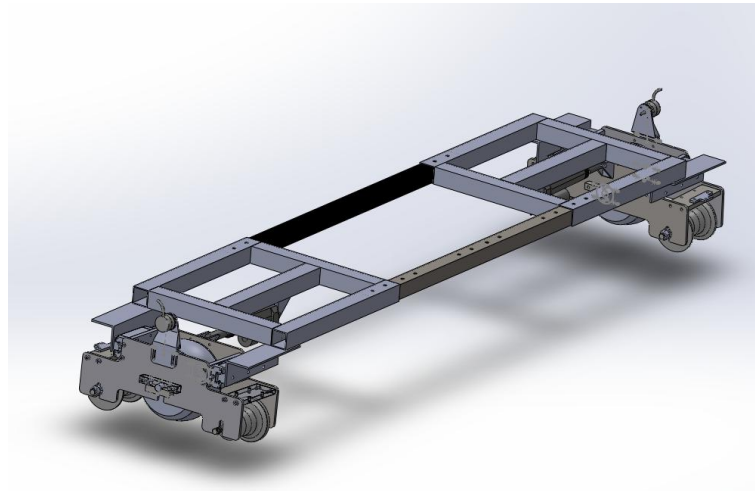


Figura 41 Primer diseño final en SolidWorks del carro de ultrasonidos de ancho variable.

Fuente: Adrián del Río

A su vez, también se recibió en 2023 otro tipo de vehículo remolcador. Una pickup todoterreno 4x4 Toyota Hilux que podía desplazarse en los anchos de vía internacional e ibérico, siendo sus propias ruedas las que generen toda la tracción siendo guiadas por un sistema diplotis en sus dos ejes para mantenerla en la vía (figura 42). Al ser más estable y disponer de mayor espacio en el maletero, el cual es cubierto, se podía almacenar más accesorios y herramientas para la auscultación y disponer de mayor autonomía y velocidad media para auscultar (figura 43).



Universidad de Valladolid

MEJORA DE LA
OPERATIVIDAD Y DEL
DISEÑO DEL CARRO DE UT
DE AUSCULTACIÓN DE VÍA
DE REDALSA SA SME



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES



Figura 42 Sistema diploris trasero en el Toyota Hilux. Fuente: Adrián del Río

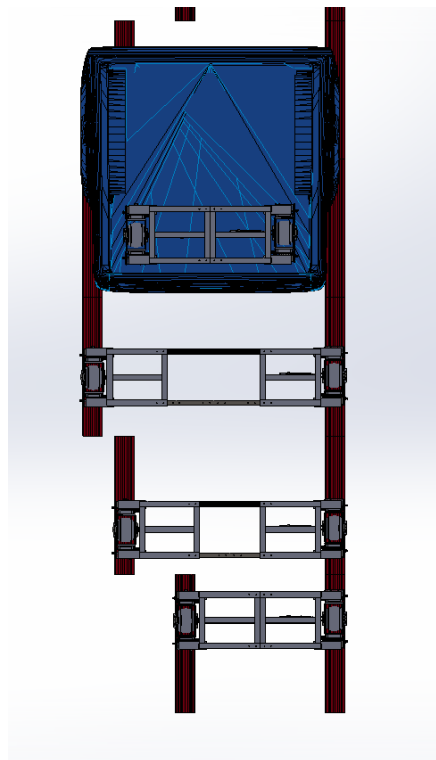


Figura 43 Representación en SolidWorks del maletero de la Hilux y los anchos de vía.

Fuente: Adrián del Río

Este vehículo está mejor preparado para situaciones climáticas adversas como el frío, el calor y la lluvia. Además, España es un país con una infraestructura ferroviaria bastante particular por sus tres anchos de vía (métrico, internacional e ibérico). Por lo tanto, es común que en varios tramos de vía entre ciudades estén

vías de distintos anchos juntas o cercanas. Así que para poder auscultar el tramo completamente es más eficiente enviar un vehículo motorizado con el carro que una dresina vaya por una vía y tenga que pasar después por la otra, teniendo que hacer un recorrido mucho más largo.

Otra ventaja es su velocidad de colocación en el lugar a auscultar. Esto sirve en líneas de cercanías o metro ya que en la mayoría de las ocasiones la ventana de tiempo concedida para realizar la auscultación es demasiado estrecha para la escasa maniobrabilidad de un tren laboratorio. También hay que tener en cuenta el consumo energético. El coche consume unos 7,5 u 8 litros por cada 100km, mientras que un vagón auscultador consume unos 15 litros de media.

4.4.-Diseño actual

El diseño actual es el original con las adaptaciones que se mencionaron en el apartado anterior (figura 44). Sin embargo, se añadieron nuevos accesorios. Uno de ellos es un sistema de medición láser, instalado en el vehículo Hilux, que medía la geometría en la superficie y unos milímetros del interior de la cabeza del carril en busca de defectos en la vía, algo que el sistema de ultrasonidos no era preciso midiendo.



Figura 44 Vehículo Hilux auscultando con el carro de ultrasonidos. Fuente: Adrián del Río

También han sido añadidos dos cilindros eléctricos, uno por lado, que ensanchan o estrechan el carro unos milímetros para poder ajustar de una manera más precisa la rueda de ultrasonidos al carril, ya que hay casos en los que la vía no está exactamente separada como se espera y esté entre unas holguras permitidas. Para facilitar el trabajo a los cilindros y evitar que reciban fuerzas axiales excesivas se colocaron unas guías que aumentan la resistencia de las ruedas y el cilindro a esas fuerzas y hace el movimiento de empuje del cilindro más fácil.

Las cuatro ruedas guía que mantienen el carro en la vía funcionan mejor si se hacen unilaterales, es decir, que solo tengan una pared de contacto con el lateral

de la vía en vez de dos, concretamente la cara interior que es a la que se tiene que ajustar el carro (figura 45).



Figura 45 Vista trasera del sistema de remolcado del carro. Fuente: Adrián del Río

Además, también se ha adecuado un espacio en las estructuras que rodean a las ruedas para incorporar unas cámaras con las que se puede realizar fotos a la vía. Estas fotos pueden servir para marcar más concretamente el lugar donde se ha detectado un defecto, además de su naturaleza, y si es el caso de uno superficial se pueda ver antes de preparar las labores de mantenimiento.

Aparte del dispositivo de ultrasonidos el Toyota también posee otros elementos de auscultación. El más destacado es el sistema láser que escanea la superficie superior y las laterales de la cabeza del carril, elemento que los ultrasonidos no son capaces de analizar. Por lo tanto, este dispositivo es complementario. Este sistema se llama RT4 y ha sido desarrollado por REDALSA. Son necesarias otras 2 pantallas en el interior del vehículo, una por láser, para ir interpretando los datos recogidos en directo.

Los datos que se recogen por ultrasonidos y por láser pasan por un software que selecciona los aquellos que hayan detectado defectos de la vía. Estos datos son enviados automáticamente y en remoto al laboratorio de REDALSA. Allí es donde se analizan detalladamente y se informa a las empresas clientes, como ADIF, para que se encarguen de gestionar el mantenimiento adecuadamente.

4.5-Oportunidades de mejora

Pese a haber resuelto los problemas que se iban detectando en el diseño y funcionamiento del carro de ultrasonidos y adaptándolo a las características de la infraestructura ferroviaria española siguen existiendo riesgos que hay que mitigar y fallas de diseño en cuanto a operatividad.

Como primera situación que podría mejorar es el peso. El carro tiene que ser descargado del maletero del vehículo por los dos operarios y colocado sobre la vía. Este carro pesa unos 45 kilos y mide 1,25 metros aproximadamente de ancho en la posición más cerrada para que quepa en el maletero. Para aligerar el peso del sistema hay dos formas de idearlo. Una es reducir el material usado para la estructura sin comprometer su robustez. La otra sería cambiar el material usado por uno más ligero. Actualmente todos los componentes estructurales son de



acero y bastantes de ellos se podrían sustituir por unos de aluminio, que además puede ser más barato (figura 46).



Figura 46 Carro de ultrasonidos sobre la vía. Fuente: Adrián del Río

Se ha mencionado antes la operación de carga y descarga del carro del maletero a la vía. Las vías generalmente están construidas sobre un terreno irregular de piedras a modo de “cama” llamado balasto. Al colocar el vehículo sobre los carriles los operarios se tienen que poner a los extremos del carro y sacarlo del maletero y caminar por ese terreno. Al haber mucha pendiente en los laterales del balasto aumenta significativamente el riesgo de caída o tropiezo. Esto puede dañar a los trabajadores y al dispositivo auscultador. Además, hay componentes del carro como la rueda de ultrasonidos que si se rompen no se dispone de repuestos en el vehículo. Por lo tanto, un daño grave sobre los trabajadores o el carro de ultrasonidos paralizaría la auscultación y obligaría a volver a las instalaciones de REDALSA.

Uno de los problemas que suceden con cierta frecuencia es que el carro descarrile en cambios de vía y desvíos. Esto se debe a que en un desvío o cambio de vía hay un punto en el que hay 4 carriles en la misma vía. En el momento de coger el desvío los extremos de la vía escogida golpean con las ruedas para colocarlas en la vía correcta. Sin embargo, al ser las del carro más pequeñas que las de los trenes para los que se ha diseñado esos desvíos y cambios de vía suceden problemas de descarrilar. El eje de las ruedas es una barra que sobresale y se fija con tuercas. Este saliente con tuercas puede rozar o incluso chocar con las vías que no son escogidas durante el desvío, tanto por el interior como por el exterior, provocando que el carro se separe de los carriles y sufra un descarrilamiento con daños que podrían ser graves para el dispositivo. Otra de las causas es el armazón que protege y fija las ruedas guía y el aparato de ultrasonidos, cuyo borde inferior sufre los mismos problemas de rozar o chocar con los carriles por los que no se desliza el carro (figura 47).



Figura 47 Contacto entre la rueda y la vía junto a su estructura. Fuente: Propia

Otra causa de los descarrilamientos es que la fijación de las ruedas deslizantes falle o se rompa y haga que las ruedas se salgan de la vía. Esto sucede cuando el carro sufre golpes de forma continua durante la auscultación, provocando que los circlips que fijan las ruedas se salgan o rompan (figura 48). Por lo tanto, hace falta un nuevo sistema de fijación de las ruedas que sea más robusto ante esos golpes.



Figura 48 Modelo 3D de un circlip DIN 472

La operación de variar el ancho del aparato es posiblemente la más mejorable en términos de operatividad. Los perfiles de hierro usados para cambiar abrir la estructura no han sido diseñados para ese uso telescópico. Al abrir el carro se atasca la estructura de acero con los perfiles y se necesita lubricante para desatascarlo y continuar con el proceso. Además, esos tubos van libres cuando no están fijados y suelen estar descentrados en el momento de colocar el carro en la vía, añadiendo más trabajo innecesario a la operación de variar el ancho (figura 49).



Universidad de Valladolid

MEJORA DE LA
OPERATIVIDAD Y DEL
DISEÑO DEL CARRO DE UT
DE AUSCULTACIÓN DE VÍA
DE REDALSA SA SME



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

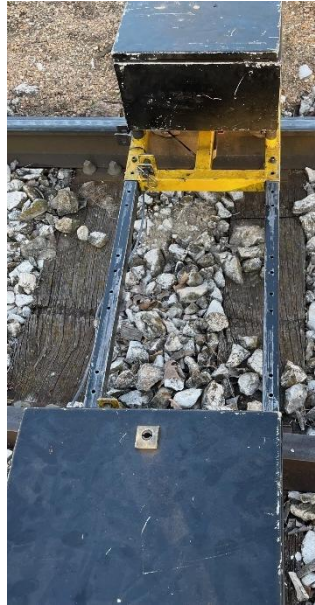


Figura 49 Imagen del carro de ultrasonidos en ancho ibérico usando los perfiles de hierro.

Fuente: Propia

Si se consigue mejorar el proceso anterior y hacer un sistema que varíe el ancho y se pueda fijar en cualquier punto, en vez de que solo se pueda fijar en tres posiciones determinadas, se podría prescindir de los cilindros con las guías complementarias. Éstos se encargan de variar el ancho unos milímetros como holgura de las posiciones fijas, ya que suele haber situaciones en las que los carriles no estén separados exactamente en los anchos establecidos por milímetros. Esto permitiría aligerar peso de componentes, aumentar el espacio disponible de las cajas y no haría falta los dispositivos electrónicos ni la energía que hacen funcionar los cilindros (figura 50).



Figura 50 Vista lateral del carro de ultrasonidos con las cajas de componentes encima.

Fuente: Adrián del Río

Existe otro tipo de situación que hace que el carro pueda sufrir daños. El enganche entre vehículo y estructura no está preparado para maniobras del coche como la marcha atrás. Al dar marcha atrás, las barras que hacen de unión fallan y pueden hacer que el coche pase por encima del carro o que éste descarrile y se caiga fuera de las vías. También sucede algo parecido cuando se quiere cambiar de vía, ya que las ruedas del carro con similares a las de los trenes y no pueden girar y tienen un saliente que les impide salirse del carril. Si durante la auscultación ha surgido la necesidad de retroceder por alguna razón, los operarios tienen que bajarse del coche, desenganchar el carro del vehículo, cargarlo al maletero del coche, retroceder el coche, volver a colocarlo todo y continuar. Todo esto genera mucha carga de trabajo innecesaria y alarga el tiempo de auscultar. Hay que encontrar la manera de conseguir que se puedan realizar esas maniobras sin tener que salir del vehículo, o por lo menos sin tener que cargar el carro y descargarlo antes y después de maniobrar.



Capítulo 5: soluciones propuestas

Usando el software tipo CAD para modelado en 2D y 3D llamado SolidWorks 2025, propiedad de Dassault Systèmes, se han desarrollado distintos diseños de la estructura que compone el carro y las ruedas deslizantes a partir del actual (figura 51). Estos diseños buscan solucionar los problemas mencionados en el capítulo anterior con distintas propuestas sin comprometer las prestaciones actuales, ya que el rendimiento del dispositivo actual es bastante satisfactorio.

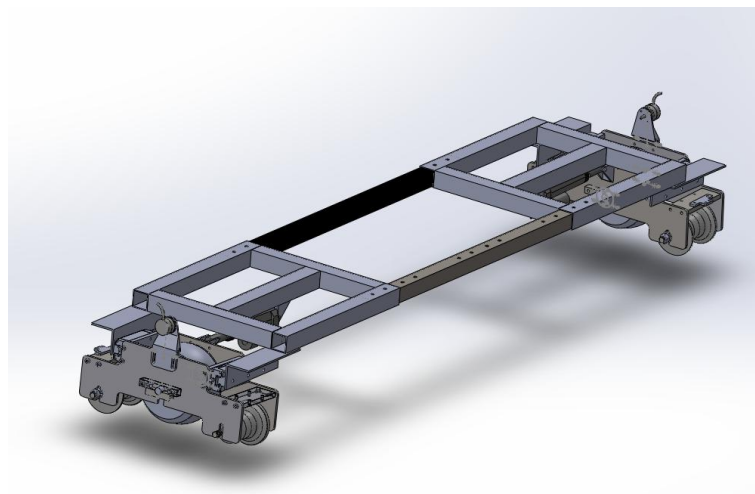


Figura 51 Diseño en SolidWorks del que se parte. Fuente: Adrián del Río

Como primera propuesta, se ha buscado alterar lo mínimo posible el diseño actual y solucionar el máximo de los problemas posibles. Para evitar que los perfiles de hierro se descentren y sobresalgan de la estructura más por un extremo que por el otro se ha incorporado a la estructura de acero unos topes en los extremos que impiden eso. Otra solución sería hacer los perfiles de acero que pasan en su interior los de hierro unos 15 o 20mm más largos y taparlos soldando chapa o con alguna tapa de plástico diseñada en impresión 3D que sirva. Para mejorar la operación de carga y descarga del carro del maletero se han añadido unas barras huecas que pueden ser de hierro o acero de 20mm de grosor que funcionen como asas. Éstas se soldarían de forma que el carro sea más fácil de agarrar y levantar y además se haga de cara a él, en vez de lateralmente. Esto permitiría a los operarios cargar y descargar el carro pisando y moviéndose por un terreno más plano y estable (figura 52).

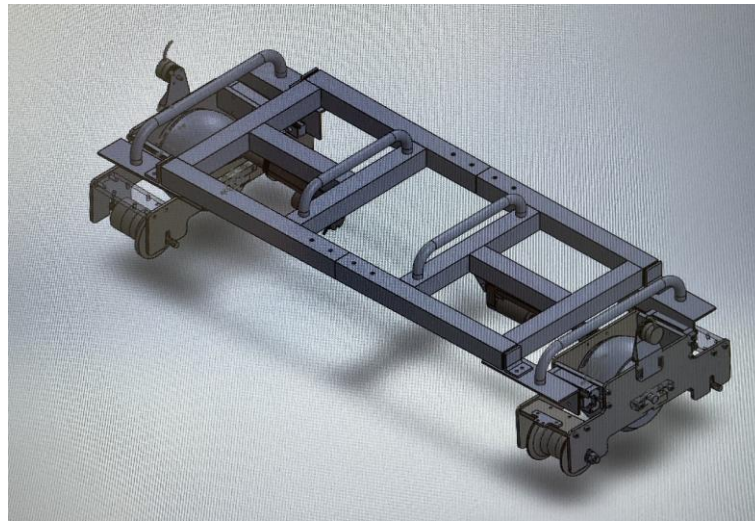


Figura 52 Adaptaciones simples del diseño original. Fuente: Propia

En cuanto a los problemas de descarrilar causados por el diseño de la estructura de las ruedas, se ha diseñado una propuesta que intenta eliminar ese riesgo. Este diseño elimina todo tipo de saliente como los ejes de las ruedas y las tuercas de fijación. Para evitar que el borde inferior de la placa de acero roce con vías adyacentes se ha buscado recortarla 10mm. Además de esto se ha elevado ese borde otros 10mm cambiando las ruedas deslizantes de 50mm de diámetro mayor por unas de 60mm de diámetro mayor. Para no necesitar tuercas de fijación exteriores ha sido necesario diseñar una pieza que fije el eje de las ruedas a la estructura que utilice tornillos de cabeza perdida para que no sobresalgan. Para lograr esto hay que modificar el mecanizado de la placa de acero lateral y añadirle unos huecos para esos tornillos. Además, hay que hacerles un hueco vertical a esos taladros para que el eje de la rueda pueda bajar y subir para ajustar la presión de la rueda de ultrasonidos sobre la vía y que así funcione con la mayor precisión posible (figuras 53 y 54).

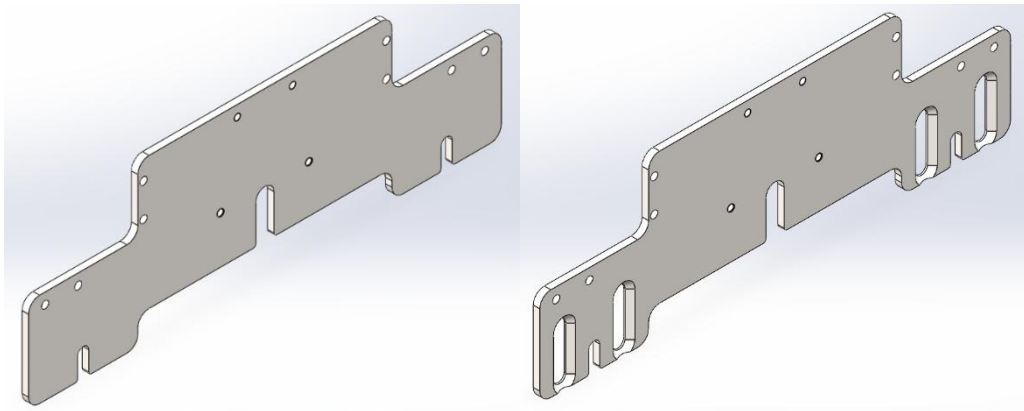


Figura 53 Placa de acero estructural de las ruedas original y diseño propuesto

Continuando con la mejora de los sistemas que componen las ruedas, también se ha buscado una nueva forma de fijación que sea más segura que los circlips. Este diseño incorpora tuercas autoblocantes de 12mm de diámetro interior y casquillos de 13mm de diámetro exterior que hacen el contacto con los rodamientos de bolas 2RHS de las ruedas. También se ha aprovechado el diseño de la pieza de fijación propuesta anteriormente para que sirva también como tope con los rodamientos, generando un sistema de fijación tuerca-tope más seguro que los circlips anteriores (figura 55).

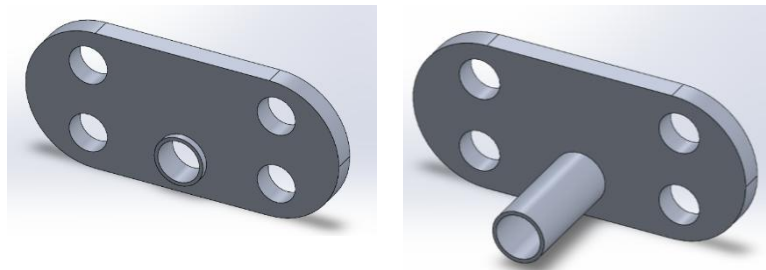


Figura 54 Piezas para la fijación propuesta para reforzar la fijación de los ejes. Fuente: Propia

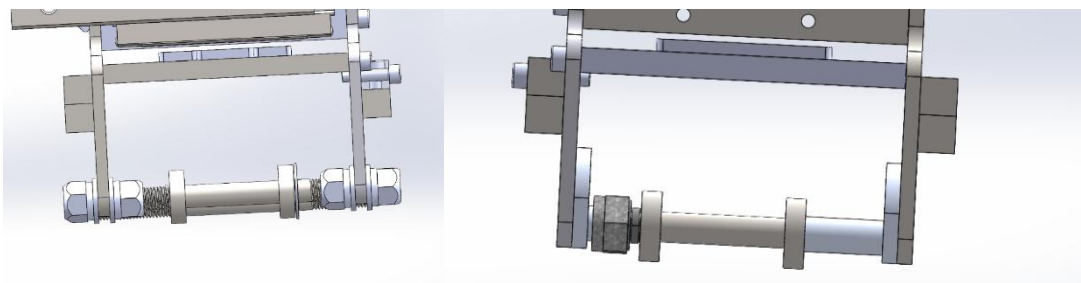


Figura 55 Eje de las ruedas original y propuesto. Fuente: Propia

Con el objetivo de mejorar el proceso de variar el ancho del carro para que funcione en los tres anchos de vía que hay en España se han diseñado varias

propuestas. Las primeras han girado en torno a la incorporación de carriles guía y carros que eliminen los perfiles de hierro. Estos carriles y carros de hierro harían mucho más fácil la operación de cambiar el ancho de la estructura (figura 56). Además, se podrían fijar con el uso de topes que se colocan en los puntos donde se desee fijar el ancho. Esto permitiría no necesitar el cilindro y los otros carriles en las ruedas, eliminando sus componentes y consumo de energía también. Se ha valorado también la posibilidad de introducir en el diseño cilindros que automaticen ese proceso de abrir y cerrar la estructura. Sin embargo, esto añadiría demasiado peso al carro y ya sería suficiente con facilitar la operación y no automatizarla.

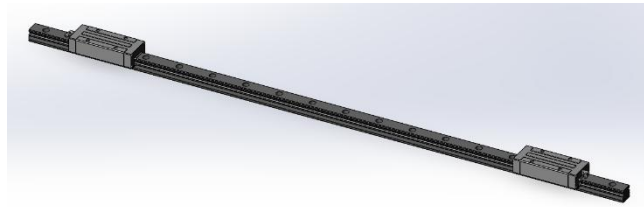


Figura 56 Carril con dos carros guiados. Fuente: Propia

El primer diseño se basa en una estructura central fija que sería la que iría enganchada al coche y si fuera necesario tendría los cilindros eléctricos para automatizar la apertura. También se basa en una estructura en cada extremo que soporte a los sistemas de las ruedas y se una con los carros a las guías que estarían fijadas en la estructura central. Al prescindir de los cilindros de las ruedas y sus guías pequeñas la forma de unir la estructura a las ruedas puede modificarse por algo más simple a la hora de mecanizar o de necesitar material (figura 57).

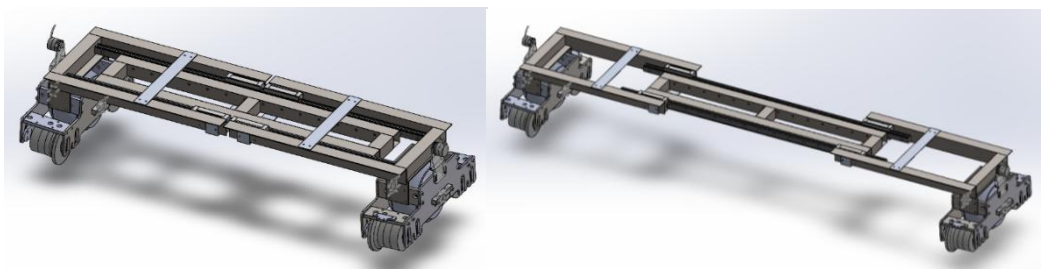


Figura 57 Diseño A del carro de ultrasonidos en posición métrica e ibérica. Fuente: Propia

Sin embargo, este diseño sería de un peso algo superior a la versión original. Posiblemente este aumento se debe a que las guías de los carros pesan bastante (3,5kg/m). Esto supone no cumplir el objetivo de aligerar la estructura y habría que valorar si merece la pena ese incremento de peso a cambio de mejorar la apertura.

Por lo tanto, el siguiente diseño tiene que enfocarse en ser más ligero, pero manteniendo la idea de usar las guías y los carros. Lo que nos lleva a un sistema en el que la estructura fija sería la que sostenga una de las ruedas. Lo móvil sería



la estructura de la otra rueda. El proceso de cambiar el ancho sería colocar la rueda fija en el carril y tirar de la otra hasta ajustarla. De esta forma se elimina parte del peso innecesario que tenía la estructura central del diseño anterior y se eliminaría el peso de dos de los carros que se usaban en la anterior propuesta. El diseño completo sería unos kilos más ligero que la versión original. Sin embargo, habría que analizar si la estructura es lo suficientemente robusta en las posiciones más abiertas (figura 58).

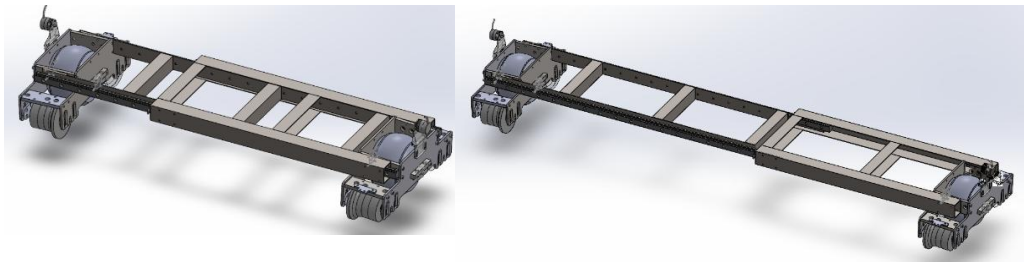


Figura 58 Diseño B del carro de ultrasonidos en posición métrica e ibérica. Fuente: Propia

Una vez desarrollados estos dos diseños, hay que pasar a la idea de un cambio de material en busca de ligereza y nuevas oportunidades. Esto lleva a diseños alejados de la versión original. Uno de los materiales más utilizados en la industria para perfiles estructurales ligeros es el aluminio. Además, los perfiles de aluminio comerciales están diseñados para formar estructuras entre ellos y disponen de complementos y accesorios comerciales ya diseñados para facilitar las uniones y buscar nuevas líneas de mejora que puede aportar este tipo de propuestas. Los siguientes diseños emplean perfiles estructurales de aluminio cuadrados de 40x40mm (figura 59).



Figura 59 Modelo 3D de un perfil estructural de aluminio. Fuente: Propia

Como primer diseño que incorpora este nuevo material se ha puesto el foco en que sea robusta la nueva estructura. Por lo tanto, se ha vuelto a la idea de la

estructura central fija y a las móviles que soportan las ruedas. Se ha aprovechado los accesorios y componentes comerciales para añadirlos en la estructura como refuerzos y uniones. Además, hay un accesorio móvil, llamado carro EcoSlide, que permitiría el proceso de apertura del carro y fijarlo en el ancho deseado mediante una palanca de apriete, simplificando en gran medida la operación añadiendo un peso algo insignificante (figura 60). Sin embargo, la estructura fija, al colocarla debajo de las móviles, no disponía del suficiente espacio entre las ruedas sin tener que ampliar la anchura del carro en la posición más cerrada. Pero al ser la puerta del maletero de la Hilux bastante estrecha no se podía ampliar más el sistema. Por lo tanto, se ha tenido que diseñar un perfil personalizado, que podría ser de aluminio o acero, que sirviera para cerrar la estructura fija siendo la mitad de ancho (20mm) que los perfiles comerciales usados. De esta forma sí que dejaría de haber problemas de espacio (figura 61).

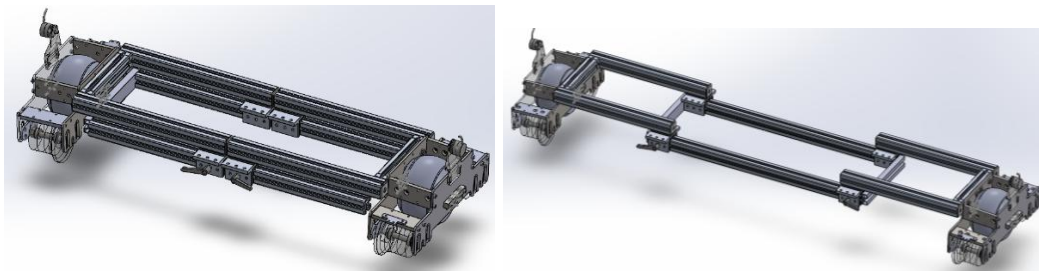


Figura 60 Diseño C del carro de ultrasonidos en la posición métrica e ibérica. Fuente: Propia

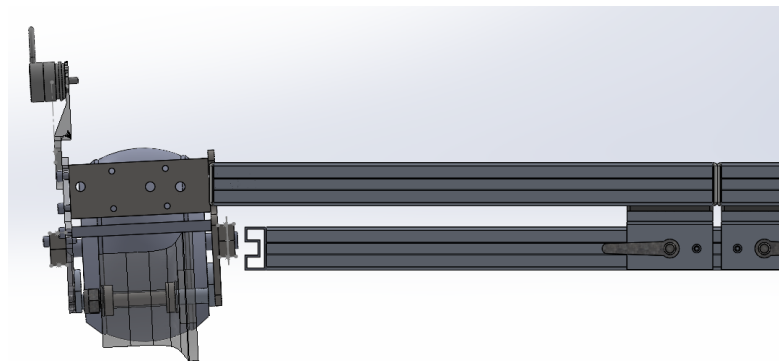


Figura 61 Detalle del problema del espacio y el perfil personalizado. Fuente: Propia



Universidad de Valladolid

MEJORA DE LA
OPERATIVIDAD Y DEL
DISEÑO DEL CARRO DE UT
DE AUSCULTACIÓN DE VÍA
DE REDALSA SA SME



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

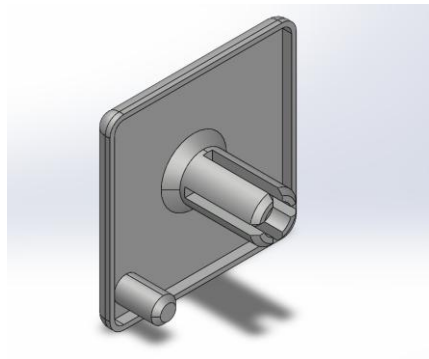


Figura 62 Modelo 3D de la tapa de los perfiles de aluminio. Fuente: Propia

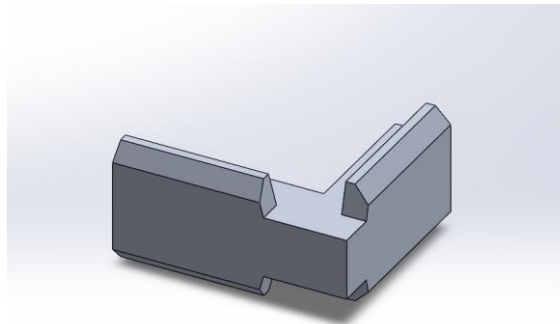


Figura 63 Modelo 3D de la escuadra interior para reforzar uniones en esquina entre perfiles. Fuente: Propia



Figura 64 Modelo 3D del empalme que une los perfiles de la estructura con la de la rueda. Fuente: propia

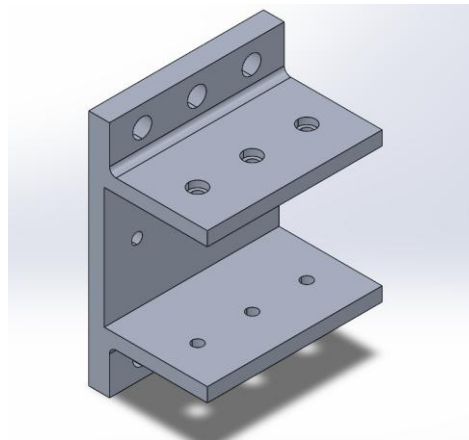


Figura 65 Modelo 3D del carro EcoSlide de Bosch Rexroth. Fuente: propia

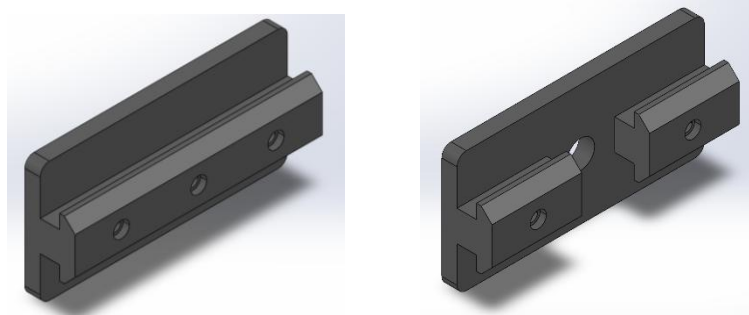


Figura 66 modelo 3D de las juntas deslizantes de plástico entre carro y perfil. Fuente: Propia

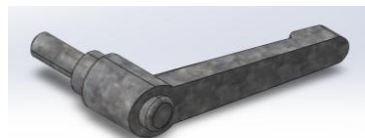


Figura 67 Manillar de apriete para el carro EcoSlide. Fuente: Propia



Figura 68 Arandela plana para reforzar la unión entre carro EcoSlide y las juntas deslizantes. Fuente: Propia



Como lo que se buscaba al usar perfiles comerciales era reducir al mínimo posible la necesidad de mecanizar piezas del sistema, se ha buscado otra forma de colocar las estructuras que lo componen. Esto llevó a un diseño en el que las partes que soportaban las ruedas y se abrían se colocarían debajo de la estructura fija. De esta forma no habría problemas de espacio, ya que la parte central estaría por encima de las ruedas, evitando que sean un obstáculo (figura 69).

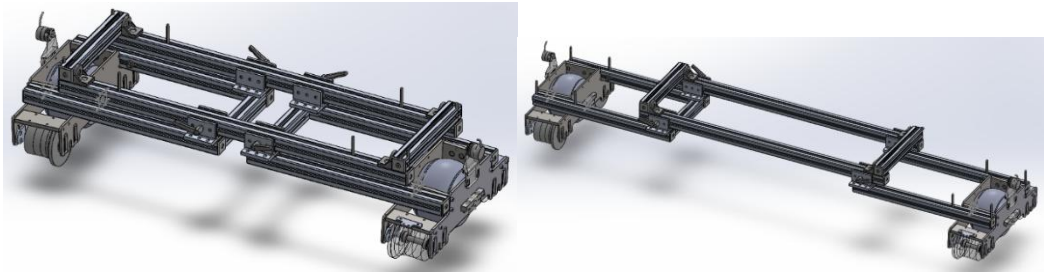


Figura 69 Diseño D del carro de ultrasonidos en posición métrica e ibérica. Fuente: Propia

Hay que tener en cuenta que los accesorios electrónicos que dispone el carro, como el GPS, las cámaras o los acelerómetros, tienen que estar conectados a otros dispositivos y a una fuente de energía. Por esto hay dos cajas colocadas con SilentBlocks sobre el carro con estos dispositivos y conexiones en su interior. En los diseños de acero simplemente habría que mecanizar unos taladros para esos tornillos, pero ahora con estos perfiles hay que usar tornillos cabeza de martillo a los que incorporar SilentBlocks (figura 70). Esto permite que cuando haya que retirar el carro sea fácil sacar las cajas y así aprovechar mejor el espacio del maletero.



Figura 70 Tornillo con cabeza de martillo específico para los perfiles de aluminio. Fuente: Bosch Rexroth

Una vez desarrolladas estas propuestas se pudo empezar a idear un sistema de izado del carro para habilitar la posibilidad de que la Hilux pueda realizar



maniobras sin tener que retirar el carro. Se aprovechó el enganche de remolque que se utilizaba para conectar el sistema con el coche mediante barras de acero con rótulas a los extremos. Este enganche universal estaba fijado al coche en la bola de remolque trasera (figura 71). Además, estaba diseñada para poder tener encima un cabrestante eléctrico. Con ese cabrestante se podría diseñar una estructura nueva que sustituyera las barras con rótulas y que aprovechara para poder ser elevable (figura 72). De esta manera, al activar el cabrestante se izaría el carro, despegándolo de los carriles de la vía, y así el coche podría realizar maniobras como la marcha atrás sin tener que perder tiempo en retirar el carro y volverlo a ajustar. Se diseñaron dos propuestas de estructuras de izado posibles, una utilizando los perfiles de aluminio comerciales y otra utilizando perfiles de acero convencionales. En ambas se añadirían en sus extremos rodamientos de 12mm de diámetro interior, para la barra del eje del enganche del remolque, y articulaciones que permitieran mantener el carro en posición horizontal siempre.

Al levantar el carro con el cabestrante, éste se queda colgando y según va cogiendo altura va tumbándose hasta quedar vertical. Esto puede impedir que al bajarlo volviera a ponerse en horizontal y volcara o sufriera daños. Para evitarlo hay que conseguir que el propio sistema de izado mantenga en todo momento el carro en posición horizontal. Por lo tanto, se ha añadido al diseño un saliente de acero, que iría mecanizado porque tiene que formar un ángulo de 126° con respecto a la perpendicular al suelo y poder atornillarse o soldarse a la estructura de izado (figura 73). Hay que tener en cuenta que el carro quedaría apoyado sobre ese tope sin estar fijado del todo. Si hay algún bote o golpe el carro golpearía el tope provocando daños entre ellos. Algo parecido ocurre en el proceso de bajarlo y subirlo, ya que rozarían entre ambos. Por lo tanto, hay que colocar en esa zona de contacto algo que amortigüe. Existen varias posibilidades. Una es atornillar las piezas de goma que suelen emplearse para el extremo de las patas de las mesas al tope, pudiendo usar las de diámetros de 80mm o las de 30mm (figura 74). La otra sería colocar los soportes Silentblocks de 30mm de diámetro y 10mm de grosor, que son unos tornillos con una pieza de goma en su cabeza que impide que se propaguen golpes y vibraciones (figura 75). Esta última opción es la más eficiente (figura 76).

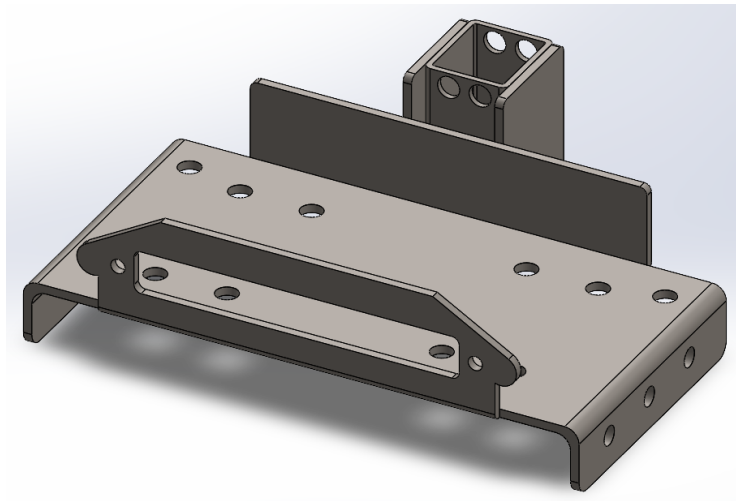


Figura 71 Modelo 3D del enganche universal del remolque de la Hilux. Fuente: Propia

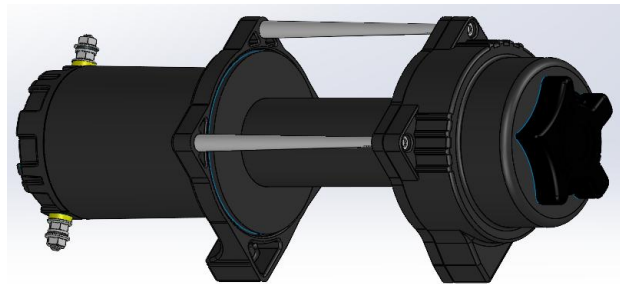


Figura 72 Modelo 3D de un cabrestante eléctrico convencional de 4500W de potencia. Fuente: Propia

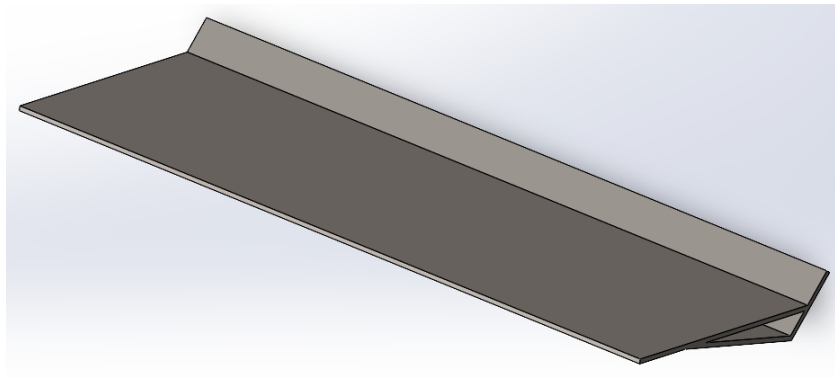


Figura 73 Diseño de la estructura del tope del sistema de izado. Fuente: Propia



Figura 74 Modelo 3D del tope de goma de 30mm propio de patas. Fuente: Propia

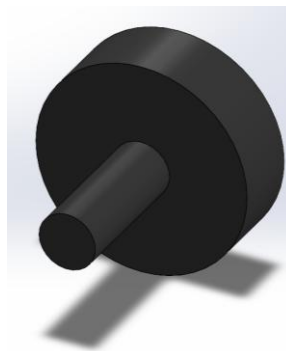


Figura 75 Modelo 3D del tornillo con sistema SilentBlock. Fuente: Propia

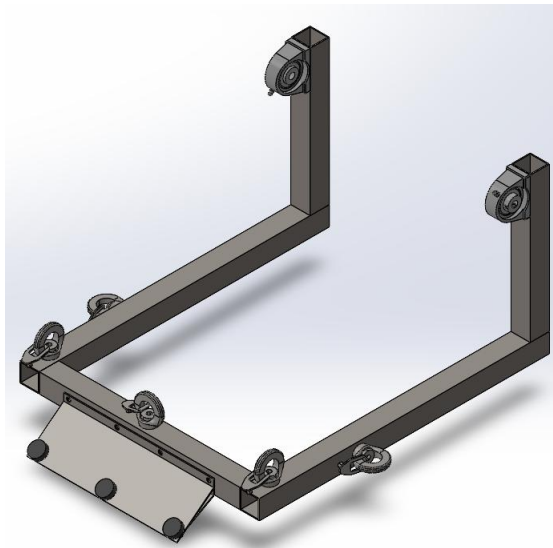


Figura 76 Diseño de la estructura de izado del carro de ultrasonidos. Fuente: Propia

Sin embargo, el hueco del enganche por el que pasaría el cable de acero del cabrestante generaría un rozamiento que debilitaría el cable o el enganche con el tiempo. Por lo tanto, se buscó la forma de incorporar una polea que estuviera unida a ese enganche de remolque a través de una estructura retirable. Además, esa polea añadiría altura al cable del cabrestante, lo cual ayudaría a elevar el carro

mejor y más alto. Para esta nueva estructura se diseñaron cuatro propuestas. Éstas se diferenciarían en la forma engancharse a la unión universal del remolque. Para elegir una simplemente habría que valorar cuál es la que menos mecanizados y material necesita, pero con la suficiente robustez para aguantar el peso del carro al elevarlo (figura 77).

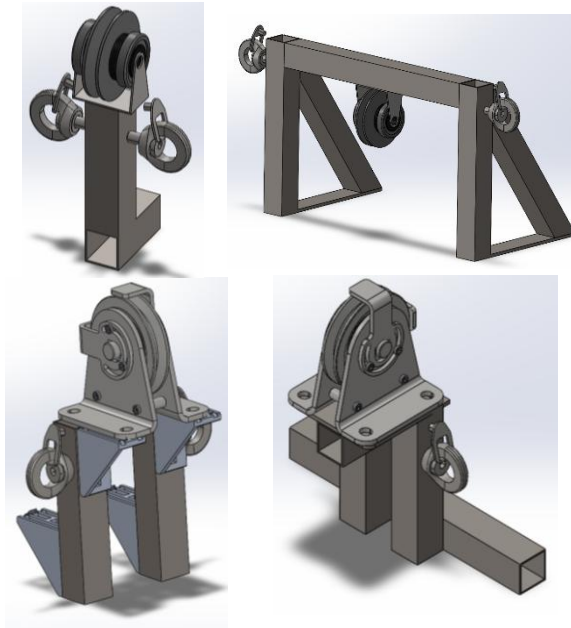


Figura 77 Propuestas de estructuras para la polea. Fuente: Propia

Una vez está izado el carro, hay que buscar la forma de asegurarlo y fijarlo para que el cable del cabestrante no soporte toda la tensión generada por el peso del dispositivo. Para ello, se ha incorporado al diseño tornillos con cáncamo tanto en el carro como la estructura de izado y la polea (figura 78). La idea es enganchar unas cadenas de acero que aguanten el peso del carro entre esos cáncamos cuando se eleva el carro y así liberar el cabrestante. Las otras dos cadenas que unen el sistema de izado con uno de los perfiles fijos del carro están para evitar que éste salte, por un golpe o bache exagerado e improbable, y vuelque sobre la estructura de izado quedando dado la vuelta. Estas cadenas serían como un sistema de seguridad a mayores.



Figura 78 Tornillo con cáncamo. Fuente: Bosch Rexroth



Una vez modelados en SolidWorks2025 los diseños anteriores y la bola de remolque del Toyota Hilux se puede simular un ensamblaje global de todas las estructuras y probar el funcionamiento del sistema de izado (figuras 79, 80 y 81).

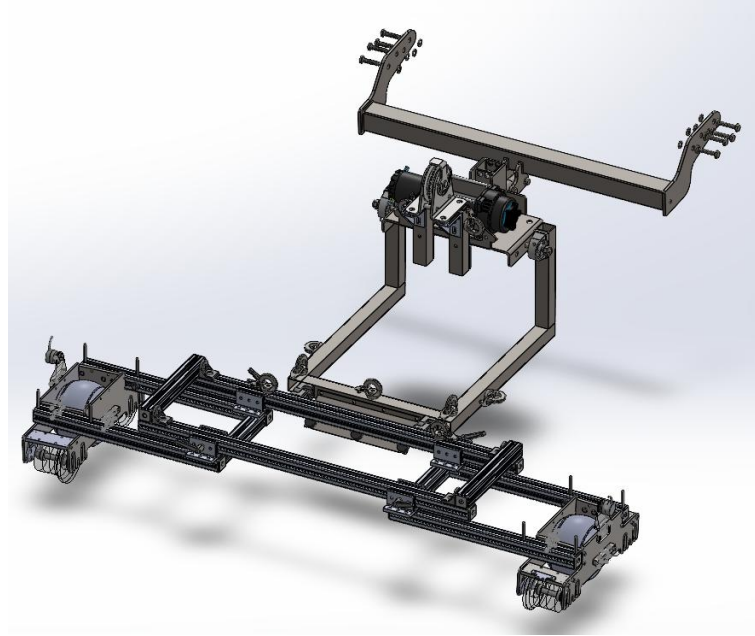


Figura 79 Diseño D del carro de ultrasonidos con el sistema de izado y remolque. Fuente: Propia

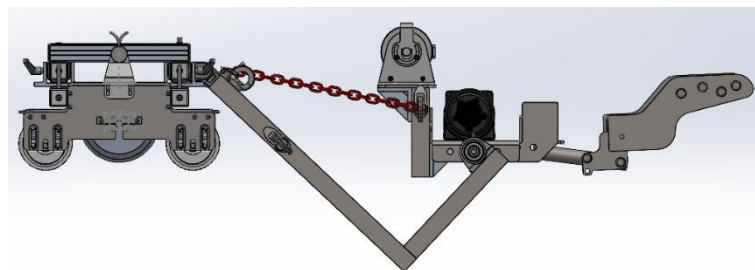


Figura 80 Diseño D del carro de ultrasonidos tras simular izado. Fuente: Propia

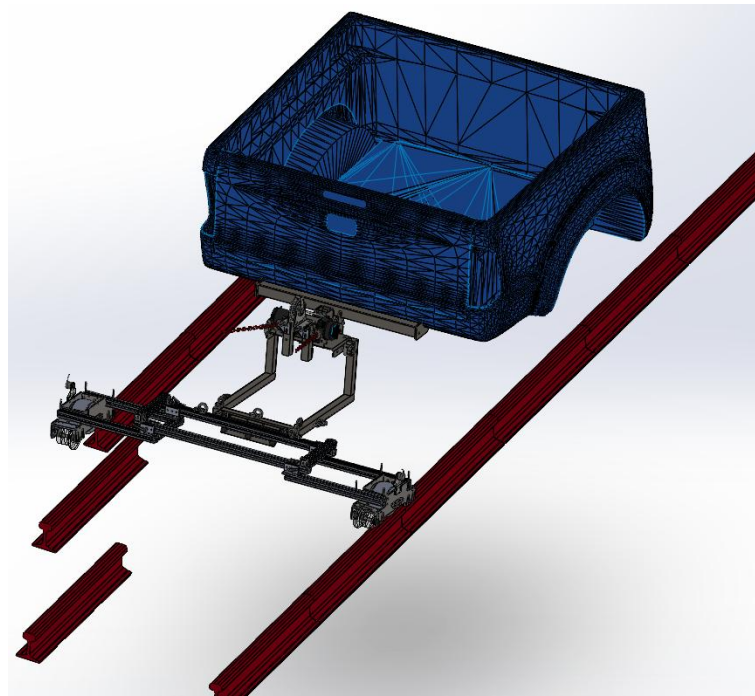


Figura 81 Diseño 3D de el ensamblaje con el maletero del vehículo. Fuente: Propia

Con los diseños ya desarrollados hay que comentar sus puntos fuertes y débiles para compararlos con el carro original. De este modo se comprueba si verdaderamente mejoran lo que hay o no merecen la pena. Una vez hecho esto también hay que compararlos entre ellos y así estudiar cuál es el más viable técnica y económicamente. Este proceso se ha llevado a cabo mediante unas tablas realizadas en Excel de las especificaciones de los diseños y las propiedades calculadas por el propio software de SolidWorks2025 (tablas 1 a 6).

Lo que se busca es conocer a fondo las prestaciones de cada propuesta de carro y así poder compararlos mejor. De esta forma se elegirá fácilmente aquel que sea el más útil para los objetivos marcados. Existe la posibilidad de que las mejoras que otorgan estos diseños con respecto al original no sean tan significativas como para merecer la pena producirlas. Esto se analizará más adelante..



**MEJORA DE LA
OPERATIVIDAD Y DEL
DISEÑO DEL CARRO DE UT
DE AUSCULTACIÓN DE VÍA
DE REDALSA SA SME**



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

Universidad de Valladolid

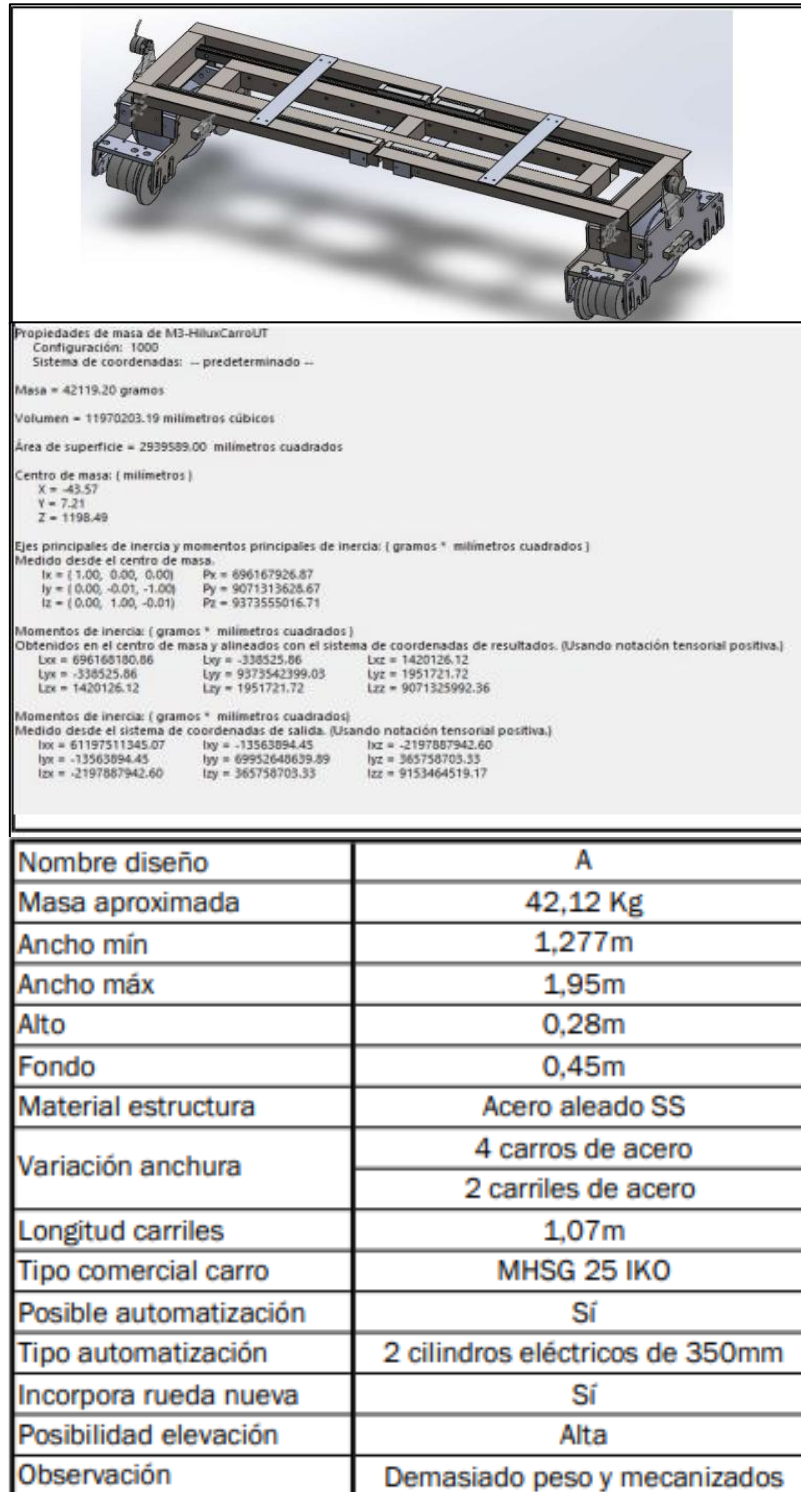


Figura 82 Especificaciones del diseño A. Fuente: Propia



Universidad de Valladolid

MEJORA DE LA OPERATIVIDAD Y DEL DISEÑO DEL CARRO DE UT DE AUSCULTACIÓN DE VÍA DE REDALSA SA SME



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

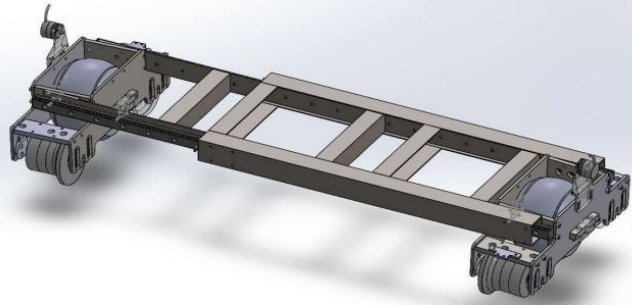
	
Propiedades de masa de M4-HiluxCarroUT Configuración: 1000 Sistema de coordenadas: -- predeterminado -- Masa = 39996.49 gramos Volumen = 11629795.81 milímetros cúbicos Área de superficie = 2461295.91 milímetros cuadrados Centro de masa: (milímetros) X = 155.09 Y = 14.02 Z = 1142.46 Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: (gramos * milímetros cuadrados) Medido desde el centro de masa. Ix = (1.00, 0.00, 0.00) Px = 686136874.46 Iy = (0.00, 0.00, -1.00) Py = 8251854516.62 Iz = (0.00, 1.00, 0.00) Pz = 8793809031.90 Momentos de inercia: (gramos * milímetros cuadrados) Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas de resultados. (Usando notación tensorial positiva.) Ixx = 686139602.76 Ixy = -4433484.64 Ixz = 1516432.31 Iyx = -4433484.64 Iyy = 8793806605.87 Iyz = -31094.13 Izx = 1516432.31 Izy = -31094.13 Izz = 8251854214.36 Momentos de inercia: (gramos * milímetros cuadrados) Medido desde el sistema de coordenadas de salida. (Usando notación tensorial positiva.) Ixx = 52898738922.89 Ixy = 87475601.52 Ixz = 7088183430.48 Iyx = 87475601.52 Iyy = 61959639965.12 Iyz = 677015711.37 Izx = 7088183430.48 Izy = 677015711.37 Izz = 9222649095.15	
Nombre diseño	B
Masa aproximada	40Kg
Ancho mín	1,281m
Ancho máx	1,95m
Alto	0,28m
Fondo	0,45m
Material estructura	Acero aleado SS
Variación anchura	2 carros de acero
	2 carriles de acero
Longitud carriles	1,20m
Tipo comercial carro	MHSG 25 IKO
Posible automatización	Sí
Tipo automatización	1 cilindro eléctrico 700mm
Incorpora rueda nueva	Sí
Posibilidad elevación	Baja
Observación	Peso justo y riesgo de endeble

Figura 83 Especificaciones del diseño B. Fuente: Propia



**MEJORA DE LA
OPERATIVIDAD Y DEL
DISEÑO DEL CARRO DE UT
DE AUSCULTACIÓN DE VÍA
DE REDALSA SA SME**



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

Universidad de Valladolid

	
Propiedades de masa de MS-HiluxCarroUT Configuración: 1000 Sistema de coordenadas: -- predeterminado -- Masa = 31326.91 gramos Volumen = 12687789.61 milímetros cúbicos Área de superficie = 3793574.81 milímetros cuadrados Centro de masa: (milímetros) X = 412.83 Y = -18.60 Z = 1229.20 Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: (gramos * milímetros cuadrados) Medido desde el centro de masa. Ix = (1.00, 0.00, 0.00) Px = 525761427.87 Iy = (0.00, 0.00, -1.00) Py = 7142223083.79 Iz = (0.00, 1.00, 0.00) Pz = 7558163791.11 Momentos de inercia: (gramos * milímetros cuadrados) Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas de resultados. (Usando notación tensorial positiva.) Ixx = 525761807.92 Ixy = 438438.81 Ixz = 1527633.48 Iyx = 438438.81 Iyy = 7558163763.77 Iyz = 337.08 Izx = 1527633.48 Izy = 337.08 Izz = 7142222731.08 Momentos de inercia: (gramos * milímetros cuadrados) Medido desde el sistema de coordenadas de salida. (Usando notación tensorial positiva.) Ixx = 47869331612.78 Ixy = -240135373.07 Ixz = 15898225049.97 Iyx = -240135373.07 Iyy = 60229781357.89 Iyz = -716312620.01 Izx = 15898225049.97 Izy = -716312620.01 Izz = 12491971267.48	
Nombre diseño	C
Masa aproximada	31,3Kg
Ancho mín	1,282
Ancho máx	1,95m
Alto	0,28m
Fondo	0,45m
Material estructura	Aluminio anodizado
Variación anchura	4 EcoSlide de aluminio Propia estructura
Longitud carriles	x
Tipo comercial carro	EcoSlide 45x45x80
Posible automatización	No
Tipo automatización	x
Incorpora rueda nueva	Sí
Posibilidad elevación	Media
Observación	Problema espacio y mecanizado

Figura 84 Especificaciones del diseño C. Fuente: Propia



Universidad de Valladolid

MEJORA DE LA OPERATIVIDAD Y DEL DISEÑO DEL CARRO DE UT DE AUSCULTACIÓN DE VÍA DE REDALSA SA SME



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

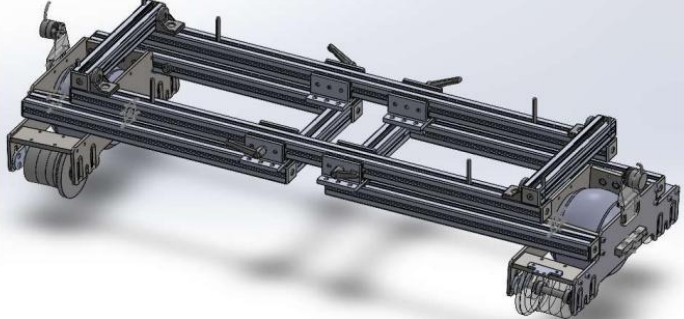
	
Propiedades de masa de M6-HiluxCarroUT Configuración: 1000 Sistema de coordenadas: -- predeterminado -- Masa = 35935.28 gramos Volumen = 13881267.61 milímetros cúbicos Área de superficie = 4930556.42 milímetros cuadrados Centro de masa: (milímetros) X = 254.13 Y = 80.58 Z = 1229.20 Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: (gramos * milímetros cuadrados) Medido desde el centro de masa. Ix = (1.00, 0.00, 0.00) Px = 683475785.36 Iy = (0.00, 0.00, -1.00) Py = 8234312941.02 Iz = (0.00, 1.00, 0.00) Pz = 8635800770.77 Momentos de inercia: (gramos * milímetros cuadrados) Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas de resultados. (Usando notación tensorial positiva.) Ixx = 683476103.05 Iyy = 46544.91 Izz = 1548150.28 Ixy = 46544.91 Iyz = 8635800770.50 Iyz = 0.13 Lxx = 1548150.28 Lyy = 0.13 Lzz = 8234312623.61 Momentos de inercia: (gramos * milímetros cuadrados) Medido desde el sistema de coordenadas de salida. (Usando notación tensorial positiva.) Ixx = 55212492065.21 Ixy = 735884874.64 Ixz = 11226742429.29 Iyx = 735884874.64 Iyy = 65252219361.40 Iyz = 3559213049.65 Izx = 11226742429.29 Izy = 3559213049.65 Izz = 10788345106.66	
Nombre diseño	D
Masa aproximada	35Kg
Ancho mín	1,203m
Ancho máx	1,946m
Alto	0,28m
Fondo	0,45m
Material estructura	Aluminio anodizado
Variación anchura	4 EcoSlide de aluminio
	Propia estructura
Longitud carriles	x
Tipo comercial carro	EcoSlide 45x45x80
Posible automatización	No
Tipo automatización	x
Incorpora rueda nueva	Sí
Posibilidad elevación	Alta
Observación	Pesa más que C por mayor detalle

Figura 85 Especificaciones del diseño D. Fuente: Propia



**MEJORA DE LA
OPERATIVIDAD Y DEL
DISEÑO DEL CARRO DE UT
DE AUSCULTACIÓN DE VÍA
DE REDALSA SA SME**



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

Universidad de Valladolid

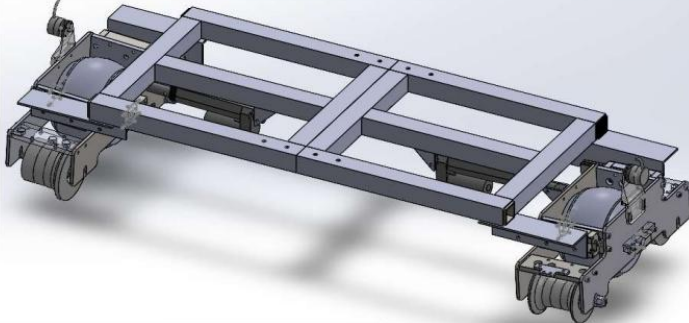
	
Propiedades de masa de HiluxSoporteUT-Trivalente-tubos40-35 Configuración: 1000 Sistema de coordenadas: -- predeterminado -- Masa = 42019.02 gramos Volumen = 12160982.93 milímetros cúbicos Área de superficie = 3229623.46 milímetros cuadrados Centro de masa: (milímetros) X = 0.00 Y = -71.52 Z = 3.99 Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: (gramos * milímetros cuadrados) Medido desde el centro de masa. Ix = (1.00, 0.00, -0.01) Px = 877943346.97 Iy = (-0.01, -0.03, -1.00) Py = 9490381446.72 Iz = (0.00, 1.00, -0.03) Pz = 10072255112.28 Momentos de inercia: (gramos * milímetros cuadrados) Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas de resultados. (Usando notación tensorial positiva.) Lxx = 878574716.77 Lxy = 0.00 Lxz = -73739763.59 Lyx = 0.00 Lyy = 10071717357.15 Lyz = 17681567.65 Lzx = -73739763.59 Lzy = 17681567.65 Lzz = 9490287832.05 Momentos de inercia: (gramos * milímetros cuadrados) Medido desde el sistema de coordenadas de salida. (Usando notación tensorial positiva.) Ixx = 1094206000.18 Ixy = 0.00 Ixz = -73739763.59 Iyx = 0.00 Iyy = 10072387929.12 Iyz = 5675459.73 Izx = -73739763.59 Izy = 5675459.73 Izz = 9705248543.48	
Nombre diseño	Original
Masa aproximada	42Kg
Ancho mín	1,255m
Ancho máx	1,923m
Alto	0,28m
Fondo	0,45m
Material estructura	Acero aleado SS
Variación anchura	2 Perfiles Hierro 35x35x2 Propia estructura
Longitud hueco	438mmx2
Tipo comercial carro	x
Posible automatización	No
Tipo automatización	x
Incorpora rueda nueva	No
Posibilidad elevación	Baja
Observación	Problemas de operatividad

Figura 86 Especificaciones del diseño original. Fuente: Propia



Universidad de Valladolid

MEJORA DE LA
OPERATIVIDAD Y DEL
DISEÑO DEL CARRO DE UT
DE AUSCULTACIÓN DE VÍA
DE REDALSA SA SME



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

Diseño	Original	A	B	C	D
Peso	42	Mayor	Similar	Menor	Menor
Ancho mín	1,255	Algo mayor	Mayor	Mayor	Menor
Material estructura	Acero aleado	Acero aleado	Acero aleado	Aluminio anodizado	Aluminio anodizado
Grado mecanizado	Media	Alta	Muy alta	Media	Baja
Variación anchura	Perfiles hierro	Carriles acero	Carriles acero	EcoSlide aluminio	EcoSlide aluminio
Operatividad	Muy compleja	Simple	Compleja	Simple	Simple
Posible automatización*	No	Sí	No	No	No
Posibilidad elevación	Baja	Alta	Baja	Media	Alta
Cuello de botella	Peso y operatividad	Peso carril, peso global	Mecanizado, resistencia	Espacio, mecanizado	Complejidad izado
*Automatización sería si el diseño está preparado para incorporar cilindros eléctricos que varíen el ancho.					

Figura 87 Comparación de los diseños ABCD con el original. Fuente: Propia

Como queda reflejado en las figuras anteriores, cada diseño tiene sus propias peculiaridades, con sus ventajas y desventajas. Sin embargo, estas especificaciones de las propuestas son aproximadas, ya que habría que realizar prototipos y pruebas con los materiales utilizados y los ensamblajes.



Universidad de Valladolid

**MEJORA DE LA
OPERATIVIDAD Y DEL
DISEÑO DEL CARRO DE UT
DE AUSCULTACIÓN DE VÍA
DE REDALSA SA SME**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**



Capítulo 6: Estudio económico

En este apartado se va a profundizar en un estudio económico de la realización de este proyecto. Para ello, se relacionará el coste de cada etapa del mismo desde el inicio del proyecto hasta el diseño final. El objetivo es analizar su influencia según su proporción al coste total. Se ha dividido en tres bloques: las horas empleadas, la amortización del material y los costes generales del proyecto.

Lo primero de todo es calcular las horas efectivas que han sido necesarias (tabla 1).

Concepto	Días/horas
Duración del proyecto	60
Formación previa al inicio del proyecto	5
Total estimado de días efectivos:	65
Total de horas efectivas (8 horas/día):	520

Tabla 1 Cálculo de horas efectivas. Elaboración propia

El material empleado para este proyecto consiste principalmente en equipos informáticos. Como coste se va a asumir una amortización lineal en 5 años. (tabla 2)

Equipo	Coste	Cantidad	Total
Ordenador de sobremesa, i7	1325 €	1	1325 €
Software de desarrollo:	Microsoft Windows 11	1	145 €
	Microsoft Word (v.2506)	1	135 €
	SolidWorks 2025	1	1038
	Microsof Excel (v.2506)	1	135 €



Total a amortizar:			2778 €
	Tipo	Número	Amortización
	Diaria	7,61	1,52€
	Semanal	53,27	10,65€
	Horaria	0,95	0,2 €

Tabla 2 Costes de amortización. Elaboración propia

En cuanto a los costes generales, se analizan los relacionados con la electricidad, acceso a internet, calefacción, etc. (tabla 3)

Concepto	Coste
Salario total durante el proyecto	750 €
Red Wifi	100 €
Electricidad para ordenador	10 €
Electricidad para aire acondicionado	80 €
Otros (transporte, ropa de seguridad, ...)	200 €
Coste total:	390 €

Tabla 3 Costes generales. Elaboración propia

Estos costes se distribuyen a lo largo de la duración del proyecto. Se han distinguido las distintas fases que han tenido lugar y los trabajadores que han sido necesarios. Gracias a esto, se ha podido desglosar mejor los tiempos y costes por persona y fase. (Tabla 4)



Fase	Jefe de proyecto (20€/h aprox)	Ingeniero Industrial (14€/h aprox)	Administrativo (11€/h aprox)
Formación y adquisición de datos	24h	64h	0h
Modelizaciones en 3D y primeros diseños de acero	8h	160h	0h
Diseños de aluminio	16h	160h	0h
Sistema de izado	16h	40h	0h
Documentación e informe	4h	8h	160h
Coste total:	1360€	6048€	1760€

Tabla 4 Tiempos y costes por persona involucrada y fase. Elaboración propia.

Para mostrar de una manera más gráfica la duración total de cada fase y, por tanto, del proyecto, se ha realizado un diagrama de Gantt (figura). Se consideran jornadas diarias de 8 horas.

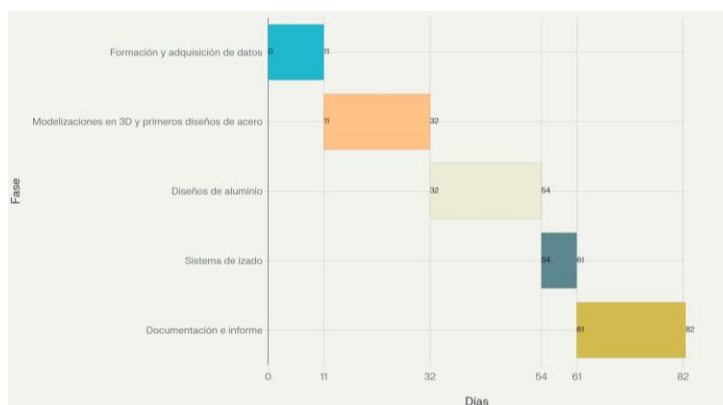


Figura 88 Diagrama de Gantt de las fases del proyecto. Elaboración propia.



Universidad de Valladolid

**MEJORA DE LA
OPERATIVIDAD Y DEL
DISEÑO DEL CARRO DE UT
DE AUSCULTACIÓN DE VÍA
DE REDALSA SA SME**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**



Capítulo 7: conclusiones

A lo largo del proyecto se ha argumentado la importancia que tiene el mantenimiento de la infraestructura ferroviaria en España. La detección temprana de defectos en vía y su correcta gestión hace que la red ferroviaria obtenga mejoras en confort, seguridad y velocidad media, lo que disminuye tiempos de trayecto. Esta importancia va en aumento según las tendencias actuales de aumento de población, de pasajeros y de número de viajes. Además, estas tendencias no parecen que vayan a cambiar en un futuro próximo.

Por ello hace falta desarrollar y mejorar los sistemas actuales disponibles de auscultación para hacer más eficiente la detección de defectos en vía. Cuantas más imperfecciones se puedan detectar en el menor tiempo posible se aprovecharían mejor los recursos disponibles y se podría desarrollar mejor las líneas existentes o crear unas nuevas.

Se ha mencionado a la empresa llamada REDALSA, que entre sus servicios destaca la de auscultar la infraestructura ferroviaria, especialmente la española, administrada por ADIF. Desde que ha empezado a realizar esa actividad las labores de mantenimiento de ADIF se han agilizado y esto ha permitido una mejora en su gestión del mantenimiento, liberando su carga de trabajo.

Uno de los dispositivos que utiliza REDALSA para auscultar es el carro ultrasónico bivial remolcado por un vehículo convencional. Sobre dicho aparato se ha realizado un análisis en el que se ha reconocido su gran importancia para ayudar en las labores de auscultación y, por tanto, de mantenimiento de las vías. Sin embargo, también se han encontrado posibles puntos mejorables que harían el uso del carro mucho más simple y ágil, reduciendo tiempos de no valor añadido como la carga y descarga, o retirarlo para hacer ciertas maniobras, o ajustarlo en la vía.

Ha quedado claro que el carro es eficiente y los clientes de REDALSA están muy satisfechos con los resultados obtenidos por él. Pero esto no debe cegar la búsqueda de la mejora continua en sus prestaciones. En este proyecto se ha puesto el foco en crear un diseño de la estructura que conforma el carro que aporte soluciones y mejoras para su operatividad. Si se reduce el tiempo inefectivo se conseguirá auscultar en menos tiempo el mismo tramo, lo cual acortará el tiempo global de realizar los trabajos de auscultación anuales. Esto permitiría aumentar el número de tramos de líneas ferroviarias analizadas anuales y adelantar los trabajos de mantenimiento de los tramos con defectos detectados.

En busca de ese diseño que cumpla con los objetivos marcados se han realizado cuatro propuestas, cada una con una serie de características y puntos fuertes y débiles como se han presentado en su momento. Tras una comparación entre los



diseños se ha podido probar que el diseño D es el más adecuado teniendo en cuenta los factores deseados de peso, mecanizados y simplicidad.

Todos los diseños tienen incorporado los nuevos diseños de los sistemas de las ruedas, que solucionan unos problemas de descarrilamiento que tenían los originales. En este aspecto las cuatro propuestas cumplen con esas especificaciones.

El primero tiene una desventaja según esos criterios ya que el peso es bastante elevado. Es incluso mayor que el original por lo que en ese factor sería una propuesta peor. Hay que tener en cuenta que muchas de las operaciones, como la carga y descarga del sistema, la colocación en vía, y las operaciones de desmontarlo y realizar mantenimiento al carro se hacen entre dos operarios. Sin embargo, si se encontrara la forma de eliminar procesos manuales y un sistema que ayude a la carga y descarga este diseño sería óptimo. Es muy resistente y los componentes más débiles como las ruedas están protegidos.

El diseño B ha sido enfocado en aligerar el material de acero. Por lo tanto, tiene un peso aproximadamente similar al original. Además, la estructura requiere que la mayoría de los perfiles de hierro empleados necesiten mecanizados. En cuanto a la rigidez, al usar perfiles mecanizados que no son cuadrados sino placas o esquinas, no se puede asegurar que la estructura aguante los esfuerzos generados en las labores de auscultación. Para poder comprobarlo habría que fabricar un prototipo y realizar las pruebas pertinentes. Tras esas comprobaciones modificar los mecanizados o el diseño si hace falta.

Como el peso es un factor que puede cambiar según el material empleado, los diseños C y D han sido ideados para que utilicen perfiles estructurales de aluminio, lo que aligera considerablemente el peso y permite centrarse en la rigidez y otros objetivos.

La propuesta C, pese a ser ligera y cumplir con los objetivos marcados, su anchura es algo justa para el maletero del vehículo remolcador, por lo que sería mejor cambiar en un futuro el vehículo por uno con mayor ancho de maletero, teniendo en cuenta que solo se cambiaría si tiene mejores prestaciones para auscultar. Otro de los factores que han afectado en el análisis de la propuesta es el tener que mecanizar unos perfiles estructurales para la estructura fija del sistema. Puede resultar ilógico fabricar piezas si el resto de la estructura es de perfiles comerciales comprados a una empresa. Sin embargo, habría que comprobar si un enganche mecanizado pro la propia empresa ería de un coste similar que uno comercial que funcionara de la misma forma.

El diseño D se basa en las características del diseño original y cumple con los objetivos marcados. Utiliza perfilera de aluminio, por lo que es más ligero y barato que el original. No necesita mecanizado de piezas salvo si se realiza la estructura de izado, con lo que se cumplirían más objetivos mecanizando solo el tope y los



Universidad de Valladolid

**MEJORA DE LA
OPERATIVIDAD Y DEL
DISEÑO DEL CARRO DE UT
DE AUSCULTACIÓN DE VÍA
DE REDALSA SA SME**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

rodamientos de los perfiles junto con su unión. Esta propuesta es incluso más estrecha que la original, por lo que se aprovecharía mejor el espacio del maletero. Es, por tanto, que este diseño es viable tanto técnica como económicamente para las condiciones y criterios actuales por lo que merece la pena desarrollarlo para realizarle las pruebas y ajustes necesarios antes de que pueda trabajar en vía.

Esta propuesta también es mejorable en el futuro. Por lo tanto, habría que coger este último diseño y continuar trabajando en otro que sea completamente nuevo. Hay que idear una estructura que esté completamente diseñada para ser izada, no añadir otra estructura aparte que necesite mecanizados y no se pueda saber si funciona o no. Esta nueva propuesta tiene que estar mejor adaptada para el espacio del maletero, cosa que la original no estaba. Además, debe tener en cuenta los procesos manuales que requiere y estar mejor adaptada para la interacción humana. Otra posible meta sería la de que la propuesta permita que el vehículo pueda circular a mayor velocidad sobre las vías. Quizás en un futuro se cambie de vehículo remolcador por otro con otras características. Pero todo esto queda como indicaciones para ese posible futuro proyecto.

Otros proyectos que podrían tener lugar en este sistema es la de modificar la forma de utilizar los ultrasonidos por una que no requiera de agua. Esto aumentaría el espacio disponible del maletero, reduciría los componentes y accesorios necesarios, y el peso global disminuiría. Otro ejemplo sería el cambiar de vehículo remolcador por uno que mejore la operatividad. Este vehículo tendría que disponer de un ancho de puerta y espacio de maletero mayor y mayor espacio para el operario que se sienta en los asientos de detrás con las pantallas. También se debería buscar una forma de aumentar la velocidad media de auscultación.



Universidad de Valladolid

**MEJORA DE LA
OPERATIVIDAD Y DEL
DISEÑO DEL CARRO DE UT
DE AUSCULTACIÓN DE VÍA
DE REDALSA SA SME**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**



Capítulo 8: bibliografía

ABB. (s.f.). Historia de la electrificación [Archivo PDF]. https://library.e.abb.com/public/61ba2b0812a0432d80a4952caa28d4da/16-23%204m6035_ES_72dpi.pdf (Página visitada por última vez el 8/07/2025)

Adif-Alta Velocidad. (2021). LAV Madrid-Sevilla – Historia. <https://www.adifaltavelocidad.es/-/lav-madrid-sevilla-historia> (Página visitada por última vez el 8/07/2025)

Adif. (2006). En Wikipedia, la enciclopedia libre. <https://es.wikipedia.org/wiki/Adif> (Página visitada por última vez el 8/07/2025)

ADIF. (2021). Publicaciones técnicas y divulgativas. <https://www.adif.es/> (Página visitada por última vez el 8/07/2025)

Administrador de Infraestructuras Ferroviarias (ADIF). (s.f.). ADIF licita el arrendamiento de espacios e instalaciones en la nueva terminal logística de Valladolid. <https://www.adif.es/w/adif-licita-arrendamiento-espacios-instalaciones-nueva-terminal-logistica-valladolid?pageFromPlid=203> (Página visitada por última vez el 8/07/2025)

Agencia Estatal de Seguridad Ferroviaria. (s.f.). Redalsa SA SME. <https://www.seguridadferroviaria.es/redalsa-sa-sme> (Página visitada por última vez el 8/07/2025)

Ajuntament de Barcelona. (2023, 28 de octubre). Se cumplen 175 años de la línea de tren Barcelona-Mataró. Eixample. <https://ajuntament.barcelona.cat/eixample/es/noticia/se-cumplen-175-anos-de-la-linea-de-tren-barcelona-mataro-1333677> (Página visitada por última vez el 8/07/2025)

Amigos del Ferrocarril de Villalba. (2021, 11 de agosto). Historia RENFE 3. <https://www.amigos-ferrocarril-villalba.es/secciones/historia/historia-renfe-3/> (Página visitada por última vez el 8/07/2025)

ArcelorMittal España. (s.f.). Página principal. <https://spain.arcelormittal.com/> (Página visitada por última vez el 8/07/2025)

Asociación Española de Normalización (UNE). (2018). UNE-EN 13306:2018. Mantenimiento. Terminología de mantenimiento.

Asociación Española de Normalización (UNE). (2019). UNE-EN 17023:2019. Mantenimiento. Documentación para el mantenimiento.

Asociación Española de Normalización (UNE). (2020). UNE-EN 15341:2020. Mantenimiento. Indicadores clave de rendimiento para el mantenimiento.

Asociación Española de Normalización (UNE). (2020). UNE-EN 17007. Mantenimiento. Planificación del mantenimiento.



Asociación Española de Normalización (UNE). (2025). UNE-EN 15313:2025. Mantenimiento ferroviario.

Britannica. (1998). Stockton & Darlington Railway. Encyclopedia Britannica. <https://www.britannica.com/topic/Stockton-and-Darlington-Railway> (Página visitada por última vez el 8/07/2025)

Bureau van Dijk. (s.f.). Base de datos SABI.

CEDEX. (2018). Laboratorio de Interoperabilidad Ferroviaria (LIF). <https://www.cedex.es/laboratorio-de-interoperabilidad-ferroviaria-lif> (Página visitada por última vez el 8/07/2025)

Compañía del Camino de Hierro de Barcelona a Mataró. (2009). En Wikipedia. https://es.wikipedia.org/wiki/Compa%C3%B1%C3%ADa_del_Camino_de_Hierro_de_Barcelona_a_Matar%C3%B3 (Página visitada por última vez el 8/07/2025)

Consejo de las Comunidades Europeas. (1991). Directiva 91/440/CEE del Consejo, de 29 de julio de 1991, sobre el desarrollo de los ferrocarriles comunitarios.

COPE. (2025, 8 de junio). Sensores inteligentes en las vías: Llega la revolución al mantenimiento ferroviario. https://www.cope.es/emisoras/andalucia/granada-provincia/granada/noticias/sensores-inteligentes-vias-llega-revolucion-mantenimiento-ferroviario-202025608_3165112.html (Página visitada por última vez el 8/07/2025)

Dassault Systèmes. (s.f.). SOLIDWORKS. <https://www.solidworks.com/> (Página visitada por última vez el 8/07/2025)

Docutren. (s.f.). Boletín IIIE 1375. <https://docutren.com.es/pdf/Boletin/IIIE%201375.pdf> (Página visitada por última vez el 8/07/2025)

Docutren. (s.f.). Índice IIIB 1403 [PDF]. <https://www.docutren.com/pdf/boletin/Indice%20IIIB%201403.pdf> (Página visitada por última vez el 8/07/2025)

Díez, J. (2023, 28 de octubre). Barcelona-Mataró, el tren pionero que tropezó con las mercancías. La Vanguardia. <https://www.lavanguardia.com/historiayvida/historia-contemporanea/20231028/9328404/barcelona-mataro-primera-linea-ferrocarril-espana.html> (Página visitada por última vez el 8/07/2025)

El Debate. (2024, 4 de julio). Japón contrata a un robot humanoide para el mantenimiento de sus vías de tren. https://www.eldebate.com/tecnologia/20240704/japon-contrata-robot-humanoide-mantenimiento-vias-tren_210547.html (Página visitada por última vez el 8/07/2025)



- El Mundo. (2008, 7 de enero). Castilla y León. <https://www.elmundo.es/elmundo/2008/01/07/castillayleon/1199714036.html> (Página visitada por última vez el 8/07/2025)
- El Mundo. (2008, 7 de enero). La empresa Redalsa suelda los raíles que se utilizan para las vías del AVE de toda España. <https://www.elmundo.es/elmundo/2008/01/07/castillayleon/1199714036.html> (Página visitada por última vez el 8/07/2025)
- En el Subte. (2022, 9 de junio). Japón prueba un robot para reparar cables eléctricos en los ferrocarriles. <https://enelsubte.com/noticias/japon-prueba-un-robot-para-reparar-cables-electricos-en-los-ferrocarriles/> (Página visitada por última vez el 8/07/2025)
- ERA – European Union Agency for Railways. (2021). Reports. <https://www.era.europa.eu/> (Página visitada por última vez el 8/07/2025)
- Friends of The Stockton & Darlington Railway. (2022). History of the S&DR. <https://www.sdr1825.org.uk/history-of-the-sdr/> (Página visitada por última vez el 8/07/2025)
- Fundación de los Ferrocarriles Españoles. (s.f.). Página principal. <https://ffe.es> (Página visitada por última vez el 8/07/2025)
- García, F. J. (2016, 22 de diciembre). Historia de la electrificación. Fran J. García – WordPress.com. <https://franerandio.wordpress.com/2016/12/22/historia-de-la-electrificacion/> (Página visitada por última vez el 8/07/2025)
- Geismar. (s.f.). Vehículo de transporte de medición y de auscultación de vía Vigilis 400. <https://geismar.com/productos/vehiculo-de-transporte-de-medicion-y-de-auscultacion-de-via-vigilis-400/?lang=es> (Página visitada por última vez el 8/07/2025)
- Geotren. (2025, 26 de junio). Análisis detallado de las inversiones en ferrocarril en España. <https://www.geotren.es/blog/analisis-detallado-de-las-inversiones-en-ferrocarril-en-espana/> (Página visitada por última vez el 8/07/2025)
- Gobierno de la Región. (2021, 26 de septiembre). Francia celebra el 40 aniversario de la llegada del TGV. Noticias. <https://gou.laregion.es/noticias/2021-09-26/francia-celebra-el-40-aniversario-de-la-llegada-del-tgv> (Página visitada por última vez el 8/07/2025)
- González, M. (2024, 7 de octubre). Así fue como los trenes bala Shinkansen de Japón cambiaron el mundo de los viajes en tren para siempre. Intrioper. <https://intrioper.com/asi-fue-como-los-trenes-bala-shinkansen-de-japon-cambiaron-el-mundo-de-los-viajes-en-tren-para-siempre/> (Página visitada por última vez el 8/07/2025)



Universidad de Valladolid

**MEJORA DE LA
OPERATIVIDAD Y DEL
DISEÑO DEL CARRO DE UT
DE AUSCULTACIÓN DE VÍA
DE REDALSA SA SME**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

Historia de la Red Nacional de los Ferrocarriles Españoles. (2011). En Wikipedia. https://es.wikipedia.org/wiki/Historia_de_la_Red_Nacional_de_los_Ferrocarriles_Espa%C3%B1oles (Página visitada por última vez el 8/07/2025)

Historia del ferrocarril en Francia. (2017). En Wikipedia, la enciclopedia libre. https://es.wikipedia.org/wiki/Historia_del_ferrocarril_en_Francia (Página visitada por última vez el 8/07/2025)

Ikont. (s.f.). Búsqueda de productos. <https://ikont.com/product-search/> (Página visitada por última vez el 8/07/2025)

Ineco. (s.f.). Eficiencia del sector español en el desarrollo de la alta velocidad. <https://www.ineco.com/ineco/insights/ineco-impulsa/eficiencia-del-sector-espanol-en-el-desarrollo-de-la-alta-velocidad> (Página visitada por última vez el 8/07/2025)

Informa D&B. (2024). Redalsa SA S.M.E.: consulte teléfono, CIF y dirección. <https://www.einforma.com/informacion-empresa/redalsa> (Página visitada por última vez el 8/07/2025)

ITCL Centro Tecnológico. (s.f.). Redalsa: software de detección de defectos en carril ferroviario. <https://itcl.es/empresa-proyectos/redalsa-software-deteccion-defectos-carril-ferroviario/> (Página visitada por última vez el 8/07/2025)

ITF – International Transport Forum. (2020). Railway infrastructure and sustainability. <https://www.itf-oecd.org/> (Página visitada por última vez el 8/07/2025)

Iwnicki, S. (2006). Handbook of railway vehicle dynamics. CRC Press.

Jiménez de Mesa, A. (2023). Diseño de equipo de registro dinámico ferroviario para la detección de defectos de vía (Trabajo Fin de Máster, Universidad Politécnica de Madrid).

JR East. (2021). Shinkansen maintenance practices. <https://www.jreast.co.jp/e/>

Memoranda. (2017, 22 de marzo). Tren AVE de Alta Velocidad de España en 1992 [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=nbEzUR-8qNg> (Página visitada por última vez el 8/07/2025)

Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible. (2020, 4 de agosto). Desarrollo de la alta velocidad. <https://www.transportes.gob.es/el-ministerio/sala-de-prensa/noticias/mar-04082020-1658> (Página visitada por última vez el 8/07/2025)

Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible. (2023, 29 de diciembre). Noticias. <https://www.transportes.gob.es/el-ministerio/sala-de-prensa/noticias/vie-29122023-0933> (Página visitada por última vez el 8/07/2025)

Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible. (2025, 21 de enero). Nueva terminal logística en Valladolid. <https://www.transportes.gob.es/el-ministerio/sala->



[de-prensa/noticias/mar-21012025-1408](#) (Página visitada por última vez el 8/07/2025)

Mundrey, J. S. (2010). Railway track engineering (3rd ed.). Tata McGraw-Hill.

Museo del Ferrocarril. (2021, 9 de febrero). 170º aniversario del primer ferrocarril de Madrid. <https://museodelferrocarril.org/comunicacion/noticia.asp?item=615> (Página visitada por última vez el 8/07/2025)

Network Rail. (2022). Asset management and digital railway. <https://www.networkrail.co.uk/> (Página visitada por última vez el 8/07/2025)

Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea. (2007, 23 de octubre). Directiva 2007/58/CE del Parlamento Europeo y del Consejo. Diario Oficial de la Unión Europea. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2007-82209> (Página visitada por última vez el 8/07/2025)

Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea. (2016). Directiva (UE) 2016/798 del Parlamento Europeo y del Consejo de 11 de mayo de 2016 sobre la seguridad ferroviaria.

Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea. (2016, 26 de mayo). Directiva (UE) 2016/798 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 11 de mayo de 2016, sobre la seguridad ferroviaria. Diario Oficial de la Unión Europea, L 137. <https://www.iberley.es/legislacion/directiva-2016-798-11-may-doue-sobre-seguridad-ferroviaria-24519947> (Página visitada por última vez el 8/07/2025)

Plan Guadalhorce (1926). (2024). En Wikipedia, la enciclopedia libre. [https://es.wikipedia.org/wiki/Plan_Guadalhorce_\(1926\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Plan_Guadalhorce_(1926)) (Página visitada por última vez el 8/07/2025)

Plasser & Theurer. (2023). Maquinaria de mantenimiento ferroviario. <https://www.plassertheurer.com/> (Página visitada por última vez el 8/07/2025)

Pérez, J. (2017, 19 de abril). Así se hizo el AVE Madrid-Sevilla, la obra maestra que estuvo a punto de descarrilar. El Independiente. <https://www.elindependiente.com/economia/2017/04/19/asi-se-hizo-el-ave-madrid-sevilla-la-obra-maestra-que-estuvo-a-punto-de-descarrilar/> (Página visitada por última vez el 8/07/2025)

Railmotif. (2024, 14 de abril). La historia de RENFE: creación. De 1941 a 1961. <https://railmotif.com/la-creacion-de-renfe-de-1941-a-1961/> (Página visitada por última vez el 8/07/2025)

Railway Gazette. (2023). Digitalisation in railway maintenance. <https://www.railwaygazette.com/> (Página visitada por última vez el 8/07/2025)



Redalsa S.A. (2019). Cuentas anuales 2019 [PDF]. <http://redalsa.com/wp-content/uploads/2020/10/CuentasAnuales2019.pdf> (Página visitada por última vez el 8/07/2025)

Redalsa S.A. (s.f.). Colaboración en proyectos internacionales. <https://redalsa.com/colaboracion-en-proyectos-internacionales/> (Página visitada por última vez el 8/07/2025)

Redalsa S.A. (s.f.). Conducción y operación de trenes. <https://redalsa.com/conduccion-operacion-trenes/> (Página visitada por última vez el 8/07/2025)

Redalsa S.A. (s.f.). Cuentas anuales [PDF]. <http://redalsa.com/wp-content/uploads/2020/02/Cuentas-Anuales.pdf> (Página visitada por última vez el 8/07/2025)

Redalsa S.A. (s.f.). Página principal. <https://redalsa.com> (Página visitada por última vez el 8/07/2025)

Redalsa S.A. (s.f.). Qué hacemos. <https://redalsa.com/que-hacemos/> (Página visitada por última vez el 8/07/2025)

REDALSA. (s.f.). Página principal. <https://redalsa.com> (Página visitada por última vez el 8/07/2025)

Schlatter Group. (s.f.). Página principal. <https://www.schlattergroup.com/es/> (Página visitada por última vez el 8/07/2025)

SFF-CGT. (2007). CONTRATO - ADIF 2007-2010 [Archivo PDF]. https://www.sff-cgt.org/juridica/legislacion_ferroviaria/ADIF_Contrato_Programa_2007_2010.pdf (Página visitada por última vez el 8/07/2025)

Sistema de control ferroviario europeo. (2007). En Wikipedia. https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_control_ferroviano_europeo (Página visitada por última vez el 8/07/2025)

SNCF Réseau. (2020). Maintenance and asset management. <https://www.sncf-reseau.com/> (Página visitada por última vez el 8/07/2025)

Stockton and Darlington Railway. (2003). En Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Stockton_and_Darlington_Railway (Página visitada por última vez el 8/07/2025)

TGV. (2003). En Wikipedia, la enciclopedia libre. <https://es.wikipedia.org/wiki/TGV> (Página visitada por última vez el 8/07/2025)

TraceParts. (s.f.). Página principal. <https://www.traceparts.com/es> (Página visitada por última vez el 8/07/2025)



Tren de la Fresa. (2006). En Wikipedia, la enciclopedia libre. https://es.wikipedia.org/wiki/Tren_de_la_Fresa (Página visitada por última vez el 8/07/2025)

Tōkaidō Shinkansen. (2006). En Wikipedia, la enciclopedia libre. https://es.wikipedia.org/wiki/T%C5%8Dkaid%C5%8D_Shinkansen (Página visitada por última vez el 8/07/2025)

UIC. (2010). Rail infrastructure management. Union Internationale des Chemins de fer.

Universidad de Granada. (2025, 6 de junio). Sensores inteligentes para supervisar en tiempo real el estado de trenes y vías [Versión en inglés]. <https://www.ugr.es/en/node/48511> (Página visitada por última vez el 8/07/2025)

Universidad de Granada. (2025, 6 de junio). Sensores inteligentes para supervisar en tiempo real el estado de trenes y vías. <https://www.ugr.es/universidad/noticias/sensores-inteligentes-supervisar-tiempo-real-estado-trenes-vias> (Página visitada por última vez el 8/07/2025)

Valle, J. del. (s.f.). Ferrocarril Madrid Aranjuez. Se inauguró el 9 de febrero de 1851.

Adurcal.com. <https://www.adurcal.com/enlaces/mancomunidad/titulos/bonel/madridarajuez.htm> (Página visitada por última vez el 8/07/2025)

Vía Libre. (2005, 10 de enero). Renfe y ADIF en marcha desde el 1 de enero 2005. <https://vialibre-ffe.com/noticias.asp?not=377> (Página visitada por última vez el 8/07/2025)

Vía Libre. (2013, 31 de julio). Así funciona el ERTMS, Sistema Europeo de Gestión del Tráfico Ferroviario. <https://www.vialibre-ffe.com/noticias.asp?not=11170> (Página visitada por última vez el 8/07/2025)

Vía Libre. (2023). Vehículos auscultadores en España. https://vialibre-ffe.com/pdf/11642_pdf_07.pdf (Página visitada por última vez el 8/07/2025)

Vía Libre. (s.f.). La normativa comunitaria del sector ferroviario europeo [Archivo PDF]. https://vialibre-ffe.com/PDF/Normativa_europea.pdf (Página visitada por última vez el 8/07/2025)

Vía Libre. (s.f.). Redalsa S.A. SME. https://vialibre-ffe.com/ficha_empresa.asp?cod=112 (Página visitada por última vez el 8/07/2025)

World Bank. (2020). Resilient railways. <https://www.worldbank.org/> (Página visitada por última vez el 8/07/2025)