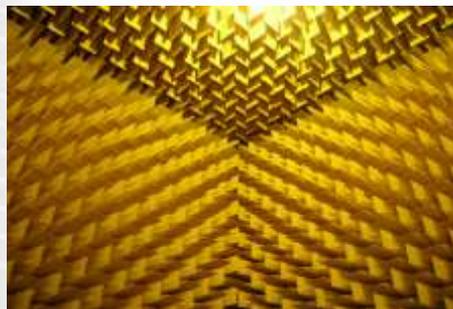


Documento de posicionamiento

**Investigación e innovación en
materiales avanzados con
aplicación al sector ferroviario**

Noviembre, 2021



SECRETARÍA TÉCNICA
PLATAFORMA TECNOLÓGICA FERROVIARIA ESPAÑOLA
Fundación de los Ferrocarriles Españoles
C/ Santa Isabel, 44 - 28012 Madrid
Tel.: (34) 91 151 10 83
E-mail: msacristan@ffe.es
www.ptferroviaria.es

I. INTRODUCCIÓN

Los grandes retos y objetivos de futuro de la industria ferroviaria europea estarán recogidos en la definición de la visión del programa Europe's Rail JU (la empresa conjunta sucesora de Shift2rail), promovido por el propio sector, junto con la Comisión Europea como medio para impulsar la I+D en el ámbito ferroviario dentro del Programa Marco de Investigación Horizon Europe para el periodo 2021-2027. Esa misión se resume en la introducción de mejores trenes en el mercado (más silenciosos, más cómodos, más confiables, etc.), que operan en una infraestructura fiable e innovadora, a un menor coste de ciclo de vida y con mayor capacidad para hacer frente a las crecientes demandas de movilidad de pasajeros y mercancías.

En ese contexto de investigación e innovación es indiscutible que los desarrollos en el ámbito de materiales han jugado, juegan y jugarán un papel fundamental. Este documento persigue recoger de manera sumaria la situación y las perspectivas alrededor de las actividades de investigación e innovación en el ámbito de los materiales con aplicación al sector ferroviario.

Fruto de la colaboración entre la Plataforma Tecnológica Ferroviaria Española (PTFE) y la Plataforma Tecnológica Española de Materiales Avanzados y Nanomateriales (MATERPLAT), siguiendo las directrices de colaboración entre los agentes del sistema de I+D+i, que deben de seguir las plataformas amparadas bajo la tutela de la Agencia Estatal de Investigación, AEI, del Ministerio de Ciencia e Innovación, el presente documento surge ante la detección permanente de desarrollos y tecnologías disruptivas de aplicación al ferrocarril en el ámbito de los materiales cuya presentación y tratamiento tuvieron lugar en la Jornada "Investigación e innovación en materiales avanzados con aplicación al sector ferroviario" celebrada el 28 de octubre de 2020 y organizada por ambas plataformas. No se trata de una iniciativa inédita, ya que ambas plataformas registran una dilatada trayectoria de colaboración. En 2020 se publicó, asimismo, la segunda edición del documento "Materiales avanzados para el sector ferroviario" como herramienta para que las empresas que buscan alternativas y nuevas soluciones puedan conocer nuevos materiales y soluciones innovadoras.

En este contexto se enmarca el presente "Documento de posicionamiento: Investigación e innovación en materiales avanzados con aplicación al sector ferroviario" que pretende recoger el pulso a la innovación revisando, renovando y actualizando el elaborado en 2015 "Investigación e innovación en materiales con aplicación en el ámbito ferroviario". Bajo la coordinación nuevamente de la División de Industria y Transporte de TECNALIA, y con la participación de la industria, de centros tecnológicos y grupos de investigación de diferentes universidades, el documento se estructura en tres epígrafes: material móvil, plataforma y vía e instalaciones que, a su vez, se desgranar en diferentes vectores de innovación. Concluye el documento con una serie de retos y recomendaciones de las que se extrae que el desarrollo y mejora de los materiales es, y seguirá siendo, un capítulo fundamental en la I+D+i del ferrocarril enfocado a contribuir a la competitividad del sector, a validar su componente de sostenibilidad y con ello contribuir a que el modo ferroviario se consolide como la columna vertebral de la movilidad.

II. MATERIAL MÓVIL

Los desarrollos en materiales de aplicación en material móvil han de responder, de igual modo, a los objetivos de transporte más sostenible, económico y eficaz. La contribución a estas metas se puede clasificar en diferentes ámbitos:

NUEVAS ALEACIONES

En la actualidad, el aluminio sigue siendo quizás el material de referencia en la construcción de coches ferroviarios. El éxito en su introducción y permanencia está relacionado con su ligereza y con innovaciones realizadas en los procesos de fabricación y soldadura, que lo han convertido en una solución extremadamente competitiva. Nuevas aleaciones, quizás adaptadas del sector aeronáutico, y mejoras en los procesos de soldadura, como la soldadura FSW (friction stir Welding) son vectores de innovación que siguen siendo de actualidad.

En el apartado de nuevas aleaciones destaca la tendencia sostenida a contar con aceros con mejor comportamiento mecánico y al desgaste, en general para la construcción del material móvil y con especial intensidad, entre otros, en sistemas de frenos.

El desarrollo de aleaciones especiales es también un reto en la expansión de las tecnologías de fabricación aditiva para componentes aligerados, con propiedades adecuadas de resistencia y fatiga. Igualmente se van desarrollando aplicaciones de espumas metálicas en sistemas y componentes estructurales.

MATERIALES COMPUESTOS

El sector ferroviario tampoco es ajeno a la incorporación de materiales compuestos de matriz polímero. Es una tendencia que está muy asentada en el sector eólico, en el aeronáutico y de manera creciente en automoción, y en la que se ha venido trabajando también en aplicaciones ferroviarias. Las líneas de trabajo en este ámbito se enfocan en la extensión del uso de este tipo de materiales a nuevos componentes para aplicaciones estructurales y no estructurales, en la introducción de materiales reciclados y reciclables y en la disponibilidad de una mayor variedad de fibras, resinas y núcleos que permitan ajustar el diseño a las necesidades existentes. Entre las necesidades, son destacables, por ejemplo, la de responder a los requerimientos de fuego y toxicidad de humos, o la respuesta ante el impacto de balasto, aspectos para el que estos materiales presentan cierta debilidad.

Esta potenciación del uso de los materiales compuestos pasa por el desarrollo de métodos de fabricación y unión de componentes, acordes con la economía de escala y tipología de piezas propios del ámbito ferroviario. En este punto destaca la apuesta por obtener componentes con las propiedades adecuadas mediante procesos consolidación y curado fuera de autoclave. Además, de cara a asegurar la calidad, repetibilidad y estabilidad de los procesos, se incorporan diferentes tecnologías de fabricación inteligente, el control de procesos en tiempo real, y de desarrollo de métodos de inspección fiables y ágiles que permitan asegurar una correcta consolidación de los materiales, también de las uniones, en especial en componentes de responsabilidad estructural.

A la zaga de estas innovaciones en materiales para la estructura primaria, los sistemas de rodadura, especialmente críticos en términos de responsabilidad, precisan también del desarrollo de nuevas formulaciones de materiales. En estos sistemas se busca, además,

disponer de soluciones con alta capacidad de amortiguamiento, materiales elastoméricos y nuevos diseños de interfaz elastómero-metal.

ALIGERAMIENTO

El desarrollo de nuevos materiales, ya sean materiales híbridos, aleaciones metálicas o materiales compuestos de matriz polimérica, se dirige, en muchos casos, a resolver las necesidades de aligeramiento asociadas principalmente con la eficiencia energética, aunque también con la maximización de carga de pago, con aspectos de mantenimiento, durabilidad y explotación. Al aligeramiento de componentes de material rodante contribuyen asimismo la integración de diferentes funciones y subsistemas.

En este apartado se pueden destacar los trabajos en el desarrollo de materiales híbridos y estructuras multimaterial, buscando combinar las mejores propiedades de cada tipo de material. También en la introducción de conceptos de fabricación aditiva, tanto de aleaciones metálicas como de plásticos reforzados, que permiten alcanzar diseños optimizados sin comprometer las propiedades resistentes.

Es importante tener en cuenta, además, la contribución de herramientas de diseño, cálculo y simulación y optimización que facilitan estos desarrollos: simulación multiescala para la predicción de propiedades de materiales, optimización topológica, basada en algoritmos genéticos, etc.

Con estas aproximaciones, algunos de los proyectos de I+D actualmente en marcha arrojan estimaciones que apuntan a reducción de peso del entorno del 30-50% en el material móvil.

TECNOLOGÍAS DE SUPERFICIE Y MULTIFUNCIONALIDAD

En este apartado se incluyen diferentes líneas de trabajo que buscan mejorar las propiedades de los materiales añadiendo nuevas funcionalidades. Se trata, en general, del uso de tecnologías de superficies: tecnologías de deposición de una o varias capas con propiedades específicas, deposición por láser (LMD), pulverización catódica (Sputtering); impresión funcional, recubrimientos y pinturas con propiedades avanzadas, nanomateriales, etc.

Entre las funciones añadidas se pueden mencionar la mejora en resistencia al desgaste, a agentes químicos o físicos y climáticos o atmosféricos, o la integración de funciones eléctricas en superficies inteligentes: cableado, calentamiento, iluminación, etc., o electrónicas, sensores, antenas, etc. Igualmente el desarrollo de soluciones de amortiguamiento activo (Smart Damping) o pasivo, o el aprovechamiento de calor residual o la energía disipada en vibraciones (Energy Harvesting).

Otras líneas de trabajo relacionadas con estas tecnologías son, por ejemplo, el desarrollo de recubrimientos nanoaditivados con funcionalidad bactericida y viricida, hidrofóbica, de más fácil limpieza. Algunas de estas propiedades se pueden también obtener mediante técnicas de microtexturizado. De igual modo se trabaja en recubrimientos y superficies para la mejora del comportamiento acústico y de control de radiación térmica.

FUEGO

En el apartado de materiales con alta resistencia al fuego y baja toxicidad de humos las principales líneas de trabajo tienen que ver con la ignifugación mediante aditivos, con los que desarrollar componentes y productos con certificación de acuerdo con los niveles de riesgo y requisitos definidos en la EN45545. El objetivo es sustituir los aditivos bromados o halogenados por otros basados en sistemas intumescentes y nanopartículas más seguros para personas y medio ambiente.

Estas tecnologías son de aplicación, por ejemplo, en el acrilonitrilo butadieno estireno (ABS), típicamente empleado en equipos eléctricos; en espumas y resinas para materiales compuestos, pre-impregnados o de vía líquida, tanto termoplásticos, principalmente el polipropileno, como termoestables (epoxi, poliuretano, compuestos acrílicos, etc.).

Por último, se puede destacar la profundización en el conocimiento sobre los requisitos y condiciones reales y la interpretación práctica de la norma. También el desarrollo de herramientas y técnicas de simulación, que permitan entender el comportamiento y optimizar la solución en fases de desarrollo de los materiales, y, en algunos casos, poder desarrollar soluciones de protección específicas para cada componente.

FABRICACIÓN AVANZADA

El impacto de la innovación en materiales en los procesos de fabricación es evidente; y prácticamente inabarcable. De modo telegráfico se pueden destacar:

La sustitución de métodos tradicionales por métodos aditivos en todas sus variantes:

- De aporte de energía (laser, arco eléctrico, plasma, haz de electrones, etc.).
- De aporte de material (en forma de hilo, proyección de polvo o cama de polvo).
- De consolidación como el proceso conocido como "Binder Jetting".

El uso de este tipo de fabricación aditiva habilita, por otra parte, toda una serie de tecnologías de optimización topológica, ya que permiten poner material allí donde es necesario y evitar ponerlo en posiciones donde no tenga una contribución significativa, consiguiendo diseños extremadamente optimizados y aligerados.

El estado de la implantación de los materiales compuestos en el sector se ha comentado en párrafos anteriores, pero dada la ligazón entre material consolidado y su proceso de fabricación, inherente a estos materiales la innovación, parece necesario mencionar también algunas innovaciones en los procesos de fabricación y consolidación de estos materiales:

- Procesos automatizados de fabricación fuera de autoclave (termoplásticos y termoestables), curado en moldes calefactados o autocalefactados, o autocurado de laminados, aprovechando el efecto joule en las propias fibras.
- Encintado automatizado y consolidación in situ, asistida por láser en procesos AFP y ATL.
- Procesos aditivos por filamento fundido reforzado con fibra continua.
- Procesos de soldadura y unión por ultrasonidos, resistencia o laser en piezas con materiales termoplásticos.

MANTENIMIENTO

Los aspectos relacionados con el mantenimiento se ven también impactados por la innovación en materiales. Tal es el caso de las posibilidades que aporta la digitalización mediante, por ejemplo, la integración de sensores y las tecnologías conocidas como “Health monitoring”, que permiten hacer diagnóstico en línea del estado de los componentes más críticos mediante las tecnologías asociadas: internet de las cosas (IoT), transmisión de datos en tiempo real y análisis basados en condición (Condition-based análisis). En este sentido, el desarrollo de nuevos procesos de integración de estos sensores es una vía fundamental, incluyendo sensores inalámbricos basados por ejemplo en los protocolos NFC (Near field Communications), pasivos, que no requieren alimentación, mediante tecnologías como la impresión funcional 3D.

En el caso de componentes en composite y en estructuras multimaterial es igualmente crítico el desarrollo de nuevas tecnologías de unión, mecánicas, adhesivas o híbridas; optimizar las uniones y asegurar su correcto comportamiento a lo largo de la vida útil del componente.

También relacionado con el mantenimiento son críticos los desarrollos en técnicas de inspección, tolerancia al daño y reparabilidad de los materiales compuestos. Además de los aspectos comentados sobre integración de sensores es fundamental la innovación para la mejora del comportamiento fuera de plano de los laminados, con tecnologías que añaden fibras en sentido del espesor tipo “Tufting” o “Stiching” o las tecnologías que permiten la reparación automática, in situ, de los compuestos de matriz termoestable, o termoplástica, con encintados automáticos y curados fuera de autoclave.

En el ámbito de los materiales metálicos, más o menos convencionales, resultan también de gran interés las tecnologías de reparación de componentes dañados mediante soldadura automatizada o fabricación aditiva, en todas sus variantes, con diferentes fuentes de calor y tipos de aporte de material: WAAM, LMD, EBAM, etc.

ENERGÍA

La innovación en materiales es también una variable fundamental para la adopción de nuevas fuentes de energía, tendencia de la que el sector ferroviario no es ajena. Se trata de desarrollos de materiales para componentes capaces de gestionar y aprovechar energía de diferentes fuentes de manera integrada, ya sea fuentes internas de energía (calor, vibración, etc.) como externas (solar, gradientes de temperatura, etc.). Este apartado está relacionado con la multifuncionalidad referida anteriormente (integración de células fotovoltaicas en superficies y cristales, sistemas para “Energy Harvesting”, o almacenamiento de energía en componentes estructurales, etc.)

Por otra parte, es de especial actualidad todo lo relativo a las tecnologías de almacenamiento de hidrógeno como vector energético:

- Materiales para tanques presurizados (hasta 700Bar) para el almacenamiento de hidrógeno.
- Materiales con alta capacidad de absorción másica y volumétrica de hidrógeno (MOFs, materiales ultraporosos basados en carbono, hidruros metálicos)

SOSTENIBILIDAD, RECICLABILIDAD Y CICLO DE VIDA

La contribución de la innovación en materiales para la búsqueda de soluciones más sostenibles se pone de manifiesto entre otros, en:

- La necesidad de eliminación y sustitución de materiales críticos.
- Fomento de la economía circular, con reciclado, reacondicionado o reutilización de materiales, como por ejemplo el aprovechamiento en recubrimientos o en procesos de fabricación aditiva de piezas y componentes de polvo procedente de la atomización de chatarra ferroviaria.
- Desarrollos en tecnologías para la valorización de materiales no metálicos.
- Desarrollo de sistemas de unión reversibles para materiales termoplásticos o uniones composite-metal (ultrasonidos, inducción y resistencia).
- El desarrollo de fibras y refuerzos biodegradables.

ACÚSTICA Y VIBRACIONES

En el campo de la dinámica, acústica y vibraciones, y para mejorar la percepción de bienestar en el interior de un tren, es necesario jugar con variables muchas veces enfrentadas, como una absorción sonora óptima a baja frecuencia y en pequeños volúmenes o un aislamiento acústico elevado con menos peso. Conjugar estas variables y alcanzar equilibrios óptimos exige muchas veces desarrollos que se escapan de la escala componente y exigen trabajar a nivel material.

En esta línea los metamateriales, que surgen de una configuración geométrica estructurada, y no de las propiedades físicas de los materiales que los componen, son especialmente interesantes. Algunos ejemplos son, por ejemplo, los “Arrays” de microresonadores, con o sin cavidad, laberintos acústicos que provocan la cancelación pasiva de ondas en el camino de propagación, etc. O también los “Acoustic Black Holes”, que se comportan como sumideros de energía y son capaces de concentrar y amortiguar las vibraciones de las ondas de flexión a partir de una frecuencia de corte, en contraposición a los materiales viscoelásticos clásicos.

También en el ámbito de los materiales viscoelásticos y elastoméricos se mantiene un elevado grado de innovación en la búsqueda de nuevas formulaciones que mejoran sus prestaciones.

III. PLATAFORMA Y VÍA

La apuesta española por la alta velocidad, a pesar de los avatares y las convulsiones macroeconómicas de los últimos lustros, se mantiene como un pilar fundamental de la movilidad del futuro, la sostenibilidad y la descarbonización. Se siguen construyendo nuevas líneas y mejorando la infraestructura ya en servicio, para adaptarla a las exigencias en términos de eficiencia, costes, mantenimiento e impacto ambiental. En ese camino de mejora continua juegan un papel fundamental las innovaciones relativas al desarrollo y uso de nuevos materiales y materiales con propiedades mejoradas.

MANTENIMIENTO

El capítulo de mantenimiento es clave desde el punto de vista del confort del pasajero, de la planificación, de la seguridad y de la explotación. Todos los desarrollos, también en materiales, que mejoren las técnicas de mantenimiento predictivo suponen una mejora en todos esos aspectos.

En este sentido, es muy relevante la utilización de sensores de fibra óptica embebidos en estructuras, para anticiparse a la aparición de grietas y deformaciones, para la medición de temperatura y esfuerzos, también del carril, en lo que se ha venido a llamar “*Internet of Steel*”. De esta manera sería posible una monitorización en tiempo real, más allá de la auscultación periódica mediante coches dedicados a esa tarea. En paralelo, es clave el conocimiento de los materiales que permita hacer proyecciones sobre cuál será la evolución futura de su comportamiento en función del tráfico, de la velocidad, de las condiciones atmosféricas y de la carga de los vehículos que circulan por la vía. En esta línea es muy relevante el estudio del comportamiento tribológico de los aceros ferroviarios, mediante ensayos tribológicos, tales como ensayos “*twin disc*”, para evaluar el problema desgaste por fatiga por rodadura (RCF) en las líneas de alta velocidad y los ensayos “*pin-on-disc*” o ensayos de gran escala, para medir el desgaste el servicio. Estos datos permiten correlacionar los datos obtenidos en el laboratorio con los datos reales de desgaste en servicio, con los cuales poder estimar la vida útil en servicio por desgaste de la vía ferroviaria y guiar el desarrollo de nuevos materiales con comportamiento mejorado.

Otras aportaciones que vienen de la mano de desarrollos de materiales nuevos o mejorados son, por ejemplo, las reparaciones mediante fabricación aditiva, que permiten una mayor inmediatez de las actuaciones, abriendo incluso la posibilidad de reparaciones in situ, sin necesidad de desmontar los componentes dañados. Fuera del mantenimiento, la fabricación aditiva permite reducir el tiempo de fabricación de piezas originales y de repuestos a demanda, la fabricación de elementos mediante ingeniería inversa o de geometría complicada.

Señalar la incorporación de materiales con mayor tolerancia al daño, que permiten una gestión más eficiente de las actuaciones de mantenimiento, al reducir, por ejemplo, la rapidez de crecimiento de grietas y aumentar, en general, el margen de funcionamiento. Otro campo de innovación en materiales con un alto impacto en las tareas de mantenimiento es el de los materiales autorreparables, capaces de regenerar daños y grietas.

ALEACIONES

Quizás el ámbito más importante en cuanto al desarrollo de aleaciones metálicas especiales es el relativo a los aceros para el carril. Es necesario seguir innovando en el desarrollo de nuevos aceros y métodos de fabricación que mejoren las propiedades mecánicas (resistencia a la tracción, límite elástico, comportamiento a la fatiga y dureza) y alarguen su vida útil. Para ello, la microestructura que mejores propiedades mecánicas da al carril es la perlita y, en concreto, la perlita fina (que tiene menor distancia interlaminar), la cual confiere al carril una mayor dureza y resistencia al desgaste, mediante tratamientos térmicos del carril entero o la cabeza del carril, o bien desarrollando aceros microaleados, mediante el empleo de pequeñas cantidades de elementos microaleantes (Nb, V, Mn y Cr). El acero microaleado puede ser una excelente elección para la obtención de la

microestructura de perlita fina frente a los carriles de cabeza endurecida, porque los costes de fabricación y la complejidad técnica de fabricación es mucho menor.

MULTIFUNCIONALIDAD

La multifuncionalidad hace referencia a un abanico de tecnologías que añaden, a las propiedades intrínsecas de los materiales, nuevas funcionalidades, mediante la adición de componentes principalmente de escala nanométrica o micrométrica. Algunas aplicaciones al sector ferroviario son, por ejemplo, el desarrollo y aplicación de recubrimientos calefactables para deshielo y calentamiento localizado, que redundan en una reducción de las labores de mantenimiento en zonas susceptibles de formación de hielo y su impacto negativo. Asegurando un funcionamiento correcto de la estructura y minimizando riesgos de fragilidad de los aceros a temperaturas muy bajas.

También la funcionalidad de incluir diferentes sensores en elementos elásticos para la monitorización de las condiciones de tráfico y estado de la vía. Como ejemplos, cabe destacar la incorporación de piezoeléctricos en placas de asiento, pudiendo identificar distintos niveles de carga y desplazamientos. Esto permitiría su utilización, por ejemplo, en zonas de transición para identificar la presencia de traviesas bailarinas, o su empleo en zonas destinadas al pesaje dinámico de los trenes. Esto último, además de monitorizar la carga de los trenes, podría aportar información sobre la respuesta de la vía para su posterior modelización y predicción de la degradación y necesidad de mantenimiento.

Las aplicaciones basadas en impresión funcional, ya presentada en el apartado de material móvil, permiten integrar sensores, circuitos conductores, componentes y pistas electrónicos, iluminación, calefactores, etc.

SOSTENIBILIDAD

Como en los diferentes sectores de la economía y la sociedad, los criterios de sostenibilidad se solapan con los objetivos y desarrollos de innovación. En el ámbito de la infraestructura ferroviaria son interesantes los trabajos orientados al desarrollo de mezclas bituminosas con carácter sostenible para su utilización en diferentes niveles de la sección ferroviaria, como por ejemplo en capa de sub-balasto o como vía sobre placa bituminosa. Entre las distintas soluciones sostenibles cabe destacar la reducción de la temperatura de fabricación, la incorporación de áridos reciclados procedentes de firmes deteriorados y la modificación del ligante con polímeros reciclados. Señalar asimismo el desarrollo de componentes como las chaquetas de carril, con el objetivo de eliminar el uso de componentes plásticos y facilitar los procesos de recuperación y reciclaje.

Dentro del ámbito de los materiales metálicos se han puesto en marcha iniciativas encaminadas a combatir las emisiones de CO₂ (Green Steel) y alcanzar un acero neutro en carbono en 2050. Iniciativas como los certificados de "acero ecológico" y el "acero reciclado y producido de forma renovable", que certifica el acero fabricado a través de la ruta de horno de arco eléctrico, conectada a electricidad renovable, con una huella de carbono tan baja como 300 kilogramos / tonelada.

IV. INSTALACIONES

La línea aérea de contacto y otras instalaciones y elementos de vía y de seguridad son campos en los que la innovación y el uso de nuevos materiales juegan un papel fundamental, en la línea de lo recogido en la anterior versión de este documento.

Por aplicaciones, se puede destacar el ámbito de la durabilidad e incremento de ciclo de vida en condiciones extremas de frío, calor y humedad, el desgaste provocado por las partículas en suspensión y las acciones derivadas del propio viento. En este ámbito, la innovación y nuevos materiales siguen ejerciendo un papel relevante para la reducción de los costes asociados a la instalación y mantenimiento.

La construcción de las instalaciones debe realizarse en ocasiones en lugares de difícil acceso. Además, la complejidad de este tipo de operaciones se puede incrementar notablemente debido a la imposibilidad de disponer en la zona del equipamiento necesario que facilita la instalación. La catenaria, los postes, ménsulas y brazos de atirantado son, a menudo, complejas de trasladar al lugar de instalación por limitaciones de peso y dimensiones.

Existe la posibilidad de recurrir a materiales alternativos que, además de ofrecer las prestaciones requeridas, ofrecen un peso más reducido y facilitan las operaciones de transporte, aproximación y montaje. Los perfiles de materiales compuestos de matriz polimérica presentan en este sentido unas excelentes características de ligereza y resistencia en condiciones ambientales extremas de frío o calor, humedad o radiación solar. La fabricación de estos perfiles mediante técnicas de pultrusión es una solución muy competitiva en la que los procesos de fabricación y automatización de pintado están siendo objeto de diversos proyectos de I+D+I.

Los fenómenos de contacto entre catenaria y pantógrafo son desde siempre un foco de investigación y desarrollo, debido a los problemas de desgaste mecánico y requerimientos de propiedades eléctricas. Estudios tribológicos de los materiales han tenido como objetivo mejorar el rendimiento, minimizando pérdidas energéticas y desgaste. Tradicionalmente estos estudios se han circunscrito al cobre electrolítico y a otras aleaciones de cobre con aleantes como Cr, Zr, Ag y Mg o el grafito. Estos estudios se pueden extender para considerar variables como el grado de humedad o la salinidad, o los parámetros de los tratamientos termomecánicos del cobre. Además, como alternativas al cobre electrolítico (ETP) se han desarrollado nuevas aleaciones con mayores temperaturas de recristalización y mejores propiedades mecánicas, que aportan una resistencia mayor al desgaste y baja termofluencia. Un desgaste menor redonda en un menor coste de mantenimiento y una temperatura de recocido superior, un aumento en la capacidad del hilo de soportar picos de intensidad.

V. RETOS Y RECOMENDACIONES

Si el año 2015 se enunciaba la necesidad del sector de consolidar la ventaja competitiva frente a otros medios de transporte, en términos de eficiencia, sostenibilidad, puntualidad, servicio y comodidad del pasajero, a 2021 esta reflexión sigue siendo de plena validez. La necesidad de la I+D+i para seguir mejorando en velocidades de circulación, costes de construcción y explotación, mantenimiento, impacto ambiental y sostenibilidad sigue estando vigente. El desarrollo y mejora de los materiales es, y seguirá siendo, un capítulo fundamental de la I+D+i del sector.

Entre los apartados que se identifican como líneas en las que trabajar destacar todo el ámbito de la multifuncionalidad, los materiales híbridos, metamateriales y recubrimientos funcionales, para conseguir mejoras en vibraciones, ruido y confort, corrosión y corrientes vagabundas, mejora de comportamiento a baja temperatura, integración de funciones antihielo. Recubrimientos omnifóbicos, aplicables en composites o en metales, para repeler todo tipo de líquidos/sólidos, o conseguir superficies más higiénicas, repeler virus y bacterias. El objetivo es hacer posible la integración de soluciones en el producto final sin perder eficiencia; y poner en marcha la fabricación industrial a un coste razonable.

En el ámbito del carril es necesario seguir destacando la importancia de mejorar las posibles aleaciones y tratamientos, para mejorar sus condiciones de desgaste, y la digitalización - Internet of Steel- con la integración de sensores enfocados a la monitorización y el mantenimiento.

En el ámbito de las instalaciones y la electrificación ferroviaria destaca la proyección de los materiales superconductores, especialmente el diboruro de magnesio y los superconductores de alta temperatura de segunda generación. Debido a una resistencia prácticamente nula en corriente continua, permiten la transmisión de potencias elevadas sin caídas de tensión y sin necesidad de incrementar el nivel de tensión de la línea. Por ese motivo, son de aplicación en subestaciones o en sistemas de tracción en corriente continua, favoreciendo el frenado regenerativo para la recuperación de energía. Además, pueden habilitar mayores distancias efectivas entre subestaciones y sistemas de carga rápida, entre otras aplicaciones.

En el apartado de aligeramiento mediante materiales compuestos, y a pesar del trabajo realizado durante los últimos años en composites resistentes a fuego, queda mucho camino por recorrer en la incorporación de un mayor número de soluciones compatibles con la EN 45545-2 y que permitan un mayor volumen de producción, unos procesos de fabricación más industriales, con sistemas de producción más adaptados a las necesidades del sector y un abaratamiento de los componentes fabricados. De esta manera, los composites basados en matrices epoxi, benzoxacina o química híbrida podrán sustituir a metales en partes estructurales o interiores. A la vez, otros materiales como policarbonatos podrán reemplazar la utilización de vidrios y otro termoplásticos de altas prestaciones multitud de componentes metálicos en aplicaciones de interior y exterior.

En términos de consumo de energía, y hablando de tecnologías de tracción, la tendencia actual es la de reemplazar los IGBTs clásicos utilizando semiconductores de SiC, para poder ganar en eficiencia, en aligeramiento y reducir el consumo. A su vez, la posibilidad de crear múltiples sistemas en paralelo de condensadores miniaturizados permitiría adquirir energía mientras el tren está en movimiento.

Respecto al tema de baterías, el mismo desarrollo que se está produciendo en la automoción, con nuevas tecnologías de batería, pasando de Ion-Li a otros materiales más accesibles, baratos, con una densidad energética superior y que no estén localizados en zonas geográficas inestables. Se están acuñando nuevos términos: post-Li-ion, post-Li, post-litio, “beyond-lithium”, “beyond-lithium-ion”, etc. Para referirse a diferentes tecnologías de baterías de sodio-ion (iones de Na), zinc-ion (iones de Zn), metal-azufre (Na-S, Li-S), metal-aire (Na-aire, Li- aire), y baterías de estado sólido, flujo redox, etc. Todas ellas difieren en los principales componentes y en su química y presentan diferentes niveles de desarrollo, aunque todas apuntan a mejorar la capacidad de almacenamiento y por tanto la autonomía. Será necesario apoyarse en capacidad y conocimiento en I+D de baterías avanzadas a lo largo de toda la cadena de valor (materiales, modelado y simulación, fabricación de celdas, “Battery Packs”, Ingeniería y fabricación, testeo y caracterización, etc.

En lo que respecta a energía, es imprescindible dedicar unas líneas a las tecnologías de hidrógeno y las pilas de combustible. Actualmente se están moviendo muchas iniciativas a todos los niveles, especialmente en la UE, en pro del desarrollo e implementación de esta solución para suprimir el consumo de combustibles fósiles, por lo que parece este un camino ya trazado.

Por último, una mención a las tecnologías de fabricación aditiva, tanto en material compuesto, cumpliendo normativa de fuego y humo, como en material metálico. Los altos costes de producción y la no suficiente validación de los materiales empleados (acero, Ti, Al) hacen que esta tecnología esté todavía lejos de su implantación generalizada, pero que, a buen seguro, serán referentes en el futuro, teniendo la potencialidad de transformar la fabricación de manera radical

Documento elaborado por:



Aitor Gastañares



Eduardo de la Guerra



Eduardo Troche



Elena Jubete



Ibon Ocaña



Ignasi Gómez-Belinchón



Javier Carrillo de Albornoz



ArcelorMittal

José Manuel Puente



Maite Fernández



Technological Centre

Marcos Sánchez
María del Mar Castro



Mariano Lázaro



Ingeniería para el Control del Ruido

Martí Duch



Miguel del Sol



Pablo Romero-Rodríguez



Pedro Martín Pérez



Raúl Parra



Santiago Sanz



Universidad de Oviedo

Héctor García
Sergio González-Cachón



Susana Calvo



Valentín Alegría

Coordinación y Secretaría Técnica:

Angeles Táuler, M^a Mar Sacristán, Eduardo Prieto, Aida Herranz, Sergio Quintero