

*Documento de posicionamiento*

**Investigación e  
innovación en  
materiales con  
aplicación en el  
ámbito ferroviario**

*Octubre, 2015*



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: fuepu18@ffe.es  
[www.ptferroviaria.es](http://www.ptferroviaria.es)

## I. INTRODUCCIÓN

El sector ferroviario se ha consolidado como uno de los más competitivos de la industria española, y la presencia internacional de empresas y proyectos nacionales no ha hecho más que aumentar en los últimos lustros. Mantener ese crecimiento, consolidar el liderazgo y la presencia exterior es un reto alcanzado que el sector debe ser capaz de mantener para optar a nuevas oportunidades que se abren constantemente en los mercados tradicionales y emergentes. El sector deberá apostar por afianzarse en los puntos clave en los que el ferrocarril es ya percibido como ventajoso: sostenibilidad, eficiencia, seguridad, y esto exige un mayor peso de la I+D+i de empresas, centros de investigación, universidades y otras entidades como plataformas y asociaciones.

La permanente necesidad de superar barreras tecnológicas para nuevas aplicaciones y la creciente conciencia medioambiental, han planteado nuevos retos en el campo de los transportes. Se buscan nuevas soluciones constructivas y materiales que favorezcan disminuir pesos, costes, impulsar procesos de reciclado y, por ende, emisiones de CO<sub>2</sub>; todo ello integrando calidad y manteniendo estándares y generando normalizaciones.

El empleo de nuevos materiales viene siendo una constante en todos los sectores, y también en el ferroviario, desde que a mediados del siglo XIX se comenzase el desarrollo del ferrocarril. En la actualidad, esta necesidad es cada vez más importante para evolucionar hacia los crecientes requerimientos de sostenibilidad y eficiencia: requerimientos que se traducen en exigencias de aligeramiento de material móvil, mayores velocidades y frecuencias de paso y cargas de uso de la infraestructura, reutilización y reciclado de materiales; y exigencias de confort de pasajeros y de residentes en proximidades a instalaciones, sin reducir por ello la seguridad del sistema.

La Plataforma Tecnológica Ferroviaria (PTFE), que tiene entre sus objetivos principales crear las herramientas necesarias para contribuir a la mejora de los avances científicos y tecnológicos que permitan la competitividad, la internacionalización y la sostenibilidad del Sector Ferroviario, aplicando las directrices indicadas desde el Ministerio de Economía y Competitividad, órgano de tutela de la PTFE, ha entendido que la relevancia y el desarrollo y aplicación de materiales avanzados, nanomateriales, etc., en el ámbito de la investigación e innovación en el sector ferroviario, son factores clave para favorecer la competitividad y asegurar el liderazgo de la industria ferroviaria.

En este contexto se enmarca el presente *“Documento de posicionamiento: Investigación, e innovación en materiales con aplicación en el ámbito ferroviario”*, documento que pretende recoger el pulso de la innovación en nuevos materiales para los diferentes subsectores del sistema ferroviario, así como las tendencias y aplicaciones futuras. Bajo la coordinación de la División de Industria y Transporte de TECNALIA, y con la participación de empresas, centros tecnológicos y grupos de investigación de diferentes universidades, entidades todas de la PTFE, ha sido posible la realización de este documento oportunamente estratégico, que recoge una serie de retos y recomendaciones y que se estructura en tres epígrafes: material móvil, instalaciones y plataforma y vía en los que se ponen en juego tecnologías, materiales y retos diferenciadores.

## II. MATERIAL MÓVIL

Con unos trenes cada vez más veloces y ligeros se están consiguiendo unos elevados niveles de competitividad comercial, al mismo tiempo que se están reduciendo las emisiones de contaminantes ligadas al transporte ferroviario. Estos aspectos son de especial relevancia en un escenario de liberalización del transporte de pasajeros, como también los son las mejoras en la calidad. Al mismo tiempo, los estándares de confort exigidos por los pasajeros son cada vez mayores.

Un mayor confort, más espacio para los pasajeros, menor peso y menor coste, son criterios en cierta medida contradictorios y que requieren una evolución que ha de venir de la mano del empleo de nuevos materiales en aplicaciones estructurales, aspectos aerodinámicos e interiorismo.

Por otra parte, la introducción de nuevos materiales en el material rodante debe tener en cuenta las características del entorno ferroviario en lo referente a compatibilidad con el entorno, mantenibilidad, reparabilidad y ciclo de vida propio de dicho material rodante. Por consiguiente, soluciones que han sido probadas con éxito en otros sectores deberán ser reevaluadas para comprobar su idoneidad de uso en el sector ferroviario.

El aluminio ha sido protagonista de la evolución del ferrocarril desde la década de los 80, aportando ventajas competitivas frente al acero por su ligereza, durabilidad y comportamiento frente a la corrosión. En 1996 el tren TGV Dúplex supuso un aumento del entorno al 40% de capacidad con una reducción del 12% en peso<sup>1</sup>.

El éxito en la introducción del aluminio fue posible gracias a innovaciones relacionadas con el proceso de fabricación, como el desarrollo de perfiles extruidos huecos y de grandes dimensiones, la incorporación de nuevas aleaciones adoptadas del sector aeronáutico y avances en los procesos de soldadura, en los que todavía hay espacio para la innovación, por ejemplo, la soldadura FSW (Friction Stir Welding).

En la actualidad existen líneas de investigación abiertas que buscan la ampliación del uso de estas aleaciones de aluminio, no solo en aplicaciones estructurales, sino también en componentes másicos. Ello se consigue mediante tecnologías basadas en el estado semisólido que buscan conseguir componentes de aluminio de elevada integridad estructural que permiten plantear la posibilidad de substituir componentes actualmente forjados en aleaciones férricas.

Los materiales compuestos de matriz metálica (MMC) son considerados uno de los grandes avances en la ciencia de los materiales de los últimos años, aplicados especialmente en automoción y aeronáutica. Su potencialidad se basa en sus propiedades mecánicas adaptables mejoradas, especialmente en términos de rigidez, resistencia mecánica y resistencia a la abrasión así como en la capacidad de cumplir por si mismos con la exigente normativa de fuego y humos (EN-45545) de aplicación en el sector. Este tipo de materiales se fabrican mediante moldeo o aleación mecánica, proceso en el cual se añaden partículas cerámicas de refuerzo, principalmente SiC y Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> de tamaño micrométrico o nanométrico. Estas últimas permiten obtener unas propiedades mejoradas con porcentajes muy

---

<sup>1</sup> HACIA EL ALUMINIO: Fuerte, ligero y rentable; European Aluminium Association (2007)



pequeños de refuerzo. Un 1% de refuerzo Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>P (50nm) consigue una resistencia a tracción comparable con un refuerzo del 15% de SiCp (3,5µm).

Junto con los compuestos de matriz metálica, las espumas metálicas presentan unas propiedades interesantes, principalmente por su ligereza y su capacidad de absorción de energía de impacto y amortiguación de vibraciones. Por este motivo, y por su comportamiento frente a fuego y humos, son buenos candidatos para aplicaciones en paneles estructurales e interiores, en suelos, paredes de cabina y coche.

Capítulo especial, por los retos e implicaciones que suponen en el diseño y en los procesos de fabricación, merecen los materiales compuestos de matriz polímero. Este tipo de materiales son de uso habitual en aplicaciones de interiorismo y en estructuras secundarias. La evolución natural es su utilización en la estructura primaria de los coches y en otros componentes estructurales de responsabilidad, siguiendo la línea recorrida en el sector aeronáutico y últimamente en la automoción. De estos sectores, el sector ferroviario ha de tomar la experiencia y buscar la aproximación más adecuada a la estructura costes y producción: Los costes de producción hacen inviable la utilización de los procesos de consolidación y curado de pre-impregnados en autoclave utilizados aeronáutica mientras que el tamaño de los componentes hacen complicada la adaptación del proceso de infusión de muy alta presión utilizado, por ejemplo, por BMW en sus modelos i3 e i8. En España ya hay experiencia en la fabricación de componentes estructurales con propiedades adecuadas mediante procesos de infusión por vía líquida y curado fuera de autoclave mediante bolsa de vacío. En esta línea se enmarcan algunas de las actividades previstas a nivel Europeo, con activa participación española, en el seno de la iniciativa Shift2Rail.

El uso de estas tecnologías requiere, además, del desarrollo de tecnologías de procesado de fibras que automaticen el proceso de preparación y consolidación de las preformas de fibra seca. Estos procesos automatizados pueden conseguir propiedades adaptadas en zonas de mayores requerimientos o refuerzos locales, mediante mezcla de diferentes fibras y tejidos o la mejora de comportamiento fuera del plano de los laminados, mediante técnicas de cosido que añaden fibras en la dirección del espesor o incluso preformas 3D que pueden alcanzar propiedades cercanas a las isotrópicas.

Entre las opciones de materia prima más habituales se consideran matrices basadas en formulaciones epoxi o fenólicas, y su mayor limitación son los requerimientos de fuego y humos, lo que plantea la necesidad de recurrir a resinas ignífugas, modificadas con aditivos. En cuanto a las fibras de refuerzo, se pueden considerar la aramida, el vidrio y el carbono, siendo este último el que mejores propiedades alcanza.

En los procesos de diseño y fabricación de componentes estructurales en nuevos materiales, además de los retos propios del desarrollo de estos materiales hay que tener en cuenta que la normativa a la que se han de ajustar está todavía sin desarrollar. Diferentes empresas y agentes tecnológicos españoles están involucradas en este desarrollo, como demuestra su participación el proyecto REFRESCO, financiado por la comisión Europea y cuyos objetivos están alineados en esa dirección.

Además, una de las claves de la I+D+I es el concepto multimaterial, con diseños que incluyen la utilización de materiales más tradicionales como las aleaciones férreas, o el aluminio, con nuevas aportaciones como los compuestos de matriz metálica (MMC), las espumas metálicas o los compuestos de matriz polimérica. Estos conceptos introducen, a su vez, la necesidad de resolver las uniones entre materiales disimilares que mantengan las

propiedades requeridas en términos de cargas estáticas y dinámicas, fatiga o envejecimiento y durabilidad.

Es conocida la contribución española al desarrollo de soluciones específicas para la línea de alta velocidad Medina-La Meca. Una de sus singularidades es la gran presencia de partículas abrasivas suspendidas en el aire a causa de su trazado a través el desierto de Arabia, lo que se ha traducido en requisitos de resistencia frente a abrasión mucho más altos de lo habitual. En esta línea se enmarcan soluciones de materiales basadas en la mejora de las resinas y pinturas de recubrimiento, su intercarra con el metal base y también soluciones innovadoras basadas en materiales plástico-cerámicos. La tecnología de superficies y el desarrollo, análisis y mejora de recubrimientos tiene también un impacto relevante la aerodinámica, que es cada vez más crítica con el aumento de la velocidad, ya que es posible reducir el desprendimiento de la capa límite para reducir la resistencia aerodinámica.

Por último, e independientemente de los materiales utilizados en la estructura del vehículo, los requerimientos de peso, costes y, especialmente, de confort abordado, conllevan la utilización de nuevas soluciones y materiales de interior con mejores propiedades de aislamiento y absorción acústica y térmica. El asiento es uno de los factores más relevantes en la percepción de confort. Tradicionalmente han sido fabricados con estructuras metálicas y de espumas de poliuretano. Este componente se está viendo también beneficiado por el uso de nuevos materiales, que aumentan su resistencia mecánica, reducen su peso y mejoran el confort, como las nuevas formulaciones de espumas en base silicona o resina de melanina.

### **III. PLATAFORMA Y VÍA**

El gran desarrollo de la Alta Velocidad y el incremento de la carga transportada por los vehículos, entre otros factores, conducen a una evolución constante de la infraestructura ferroviaria. Esta, además, se ha de adaptar a exigencias crecientes en términos de coste, de mantenimiento y durabilidad, ruido y vibraciones. El empleo de nuevos materiales para abordar estas exigencias es una de las claves de los programas de I+D+i nacionales y europeos, incluyendo la iniciativa Shift2rail.

La clave para responder a estas exigencias está en la incorporación de elementos con adecuadas propiedades elásticas y de durabilidad. Carriles, traviesas, placas de asiento de carril, suelas bajo traviesas y mantas bajo balasto, nuevas composiciones de balasto y sub-balasto bituminoso son algunos los elementos clave que permiten responder a las exigencias.

Las mezclas bituminosas no solo mejoran el comportamiento vibratorio de la vía, sino que también son capaces de incrementar su capacidad portante, su estabilidad, la resistencia a la deformación, su capacidad para proteger al resto de la infraestructura o su durabilidad, en referencia al sistema tradicional. Además, suponen la reducción del tiempo de ejecución e incluso podrían reducirse los costes de construcción. Sin embargo, de nuevo, las crecientes demandas de velocidad, carga y frecuencia de paso hacen necesaria una revisión de la solución.

Por ejemplo, la modificación del betón mediante plastómeros o elastómeros es capaz de mejorar el comportamiento y la vida útil de mismo. Esta solución, ampliamente extendida, se enfrenta sin embargo al reto de consideraciones ambientales, que está propiciando la búsqueda de soluciones basadas en materiales reusados. El polvo de caucho procedente de neumáticos fuera de uso, el negro de humo o las fibras de relleno recicladas son algunas de las soluciones, respetuosas con el medio ambiente, que se están proponiendo.

Los materiales bituminosos aportan también ventajas en capas de sub-balasto. Las capas de grava y arena de elevados espesores han ido cediendo el paso a soluciones bituminosas fabricadas a partir de mezclas asfálticas en caliente. El comportamiento y durabilidad de este tipo de soluciones en condiciones de servicio están siendo objeto de investigación con el fin de optimizar su diseño y composición. Además, inconvenientes asociados con el cuidado ambiental están empujando la búsqueda de nuevas soluciones, basadas en mezclas asfálticas a baja temperatura o a la valorización de materiales reusados o reciclados.

La utilización de estos materiales reciclados y la búsqueda de soluciones de ecodiseño capaces de mejorar el rendimiento ambiental de materiales y productos, mediante la incorporación de materiales plásticos reciclados en sustitución de materiales vírgenes, es de hecho una tendencia general. A menudo la construcción de infraestructuras, no solo ferroviarias, debe hacer frente a un problema de escasez de material, bien sea por cuestiones ambientales o por la inexistencia de material apropiado en el entorno próximo. La solución de tratamiento y estabilización de suelos a base de cal, cemento o polímeros puede suponer un elevado coste, que sugiere la búsqueda de otros materiales estabilizantes más innovadores y competitivos, tales como materiales puzolánicos procedentes de residuo (RCD, escorias, cenizas, vidrio,...) o residuos de depuradora, que contienen muchos metales pesados; o materiales naturales de origen orgánico (Bacterias microaglomerantes). Las ventajas de la utilización de materiales reciclados se extienden también, por ejemplo, al desarrollo de traviesas con residuos termoplásticos, de difícil valorización.

Las vías en placa, con una presencia cada vez mayor, especialmente en la alta velocidad y entornos urbanos (tranvías) se han ejecutado tradicionalmente sobre hormigón, que permite reducir costes de mantenimiento y asegurar las prestaciones. En la actualidad, existen desarrollos que permiten mejorar sus inconvenientes en términos de excesiva rigidez y, por tanto, ruido y vibraciones. Estos desarrollos están basados en la utilización de mezclas bituminosas modificadas con polvo de caucho procedente de neumáticos fuera de uso, que proporcionan amortiguamiento adicional para reducir la transmisión.

Las crecientes exigencias de uso tienen también influencia en el propio carril cuyas prestaciones en servicio van siendo mejoradas. El desarrollo de nuevos aceros perlíticos, bainíticos y austeníticos, la aplicación de tratamientos superficiales que aumenten la dureza y resistencia de la superficie de rodadura contribuyen a aumentar su vida útil.

Los carriles de acero perlítico presentan en general las mejores propiedades, mientras que condiciones de servicio extremadamente severas, con elevadas deformaciones en la cabeza una fuerte abrasión, están impulsando el desarrollo de nuevos carriles con propiedades mejoradas (tenacidad a la fractura, fatiga y baja velocidad de crecimiento de grieta y resistencias al desgaste). Estos nuevos aceros se basan en la utilización de tratamientos térmicos sobre todo el carril o sobre la cabeza, de manera que la estructura perlítica obtenida presente una microestructura más fina, con menor distancia interlaminar; o en la utilización de aceros microaleados con pequeñas cantidades de Niobio y vanadio y cromo.

El objetivo de estos desarrollos en la microestructura es conseguir un material de extrema dureza pero que mantenga el comportamiento frente a fatiga de contacto.

Otros desarrollos, además de las propiedades mecánicas y de durabilidad, se enfocan a la optimización de los procesos de soldadura (productos cada vez de un largo mayor) o en control de todo el proceso de fabricación, mediante el uso de tecnologías de visión e inspección mediante láser (reconstrucción 3D) para la detección de defectos superficiales de productos a alta temperatura.

En la atenuación de ruido y vibraciones, además de las propiedades elásticas de los diferentes componentes de la estructura y sub-estructura, requiere del desarrollo de nuevas soluciones de materiales más ligeros y menos costosos que se puedan utilizar, por ejemplo, en nuevas aplicaciones de barreras acústicas que incorporen además aspectos de integración paisajística y respeto medioambiental.

La minimización del ruido se puede también abordar mediante el desarrollo de nuevos materiales aplicados al carril. Por ejemplo, el proyecto OVERRAIL, financiado en el marco del programa nacional RETOS, busca el desarrollo de nuevos materiales modificadores del coeficiente de fricción, de aplicación sobre el carril. Por último, el desarrollo de nuevos materiales “inteligentes”, que varíen sus propiedades de rigidez y amortiguamiento en función de las necesidades en cada momento del servicio, o que integren nuevas funcionalidades, como las traviesas o placas de asiento capaces de generar energía a partir de las vibraciones a las que se ven sometidas durante el paso de los vehículos (energy harvesting), son líneas con un gran potencial.

## 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. La necesidad de incrementar el ciclo de vida en condiciones extremas de frío, de calor y de humedad, el desgaste provocado por las partículas en suspensión eólica y las acciones derivadas del propio viento, así como la reducción de los costes asociados a la instalación y mantenimiento son factores que justifican la aplicación de los nuevos materiales en las estructuras e instalaciones del sistema ferroviario. La construcción de las instalaciones debe realizarse en ocasiones en lugares de difícil acceso. Además, la complejidad de este tipo de operaciones puede incrementarse notablemente debido a la imposibilidad de disponer en la zona, del equipamiento necesario que facilite la instalación. En resumen, la catenaria, los postes, ménsulas y brazos de atirantado son, a menudo, piezas complejas de trasladar al lugar de instalación tanto por limitaciones de peso como por 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 polímero 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. Existen también desarrollos de brazos atirantados



en materiales compuestos de matriz polímero y estos materiales están permitiendo también en los últimos años una mejora en el ciclo de vida de los aisladores.

Otros componentes, como los propios postes, podrían también mejorarse mediante el uso de estos materiales.

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. Nuevos materiales pueden contribuir a aumentar el ciclo de vida en condiciones meteorológicas adversas. En este sentido, 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, 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 polimicroaleadas con mayores temperaturas de recristalización y mejores propiedades mecánicas, que aportan una resistencia mayor al desgaste y baja termofluencia.

Un desgaste menor disminuye el coste de mantenimiento, y una temperatura de recocido superior aumenta la capacidad del hilo de contacto para soportar picos de intensidad. El contacto entre catenaria y pantógrafo se puede mejorar mediante el uso de materiales amortiguadores en las estructuras soporte, de modo que se contribuya a minimizar los esfuerzos y el desgaste.

Respecto al efecto de la acción del viento, se pueden identificar ámbitos de I+D+I en el desarrollo de materiales y recubrimientos capaces de soportar la abrasión producida por las partículas en suspensión, así como brazos de atirantado y tubos de ménsula de mayor rigidez y resistencia.

Por último, cabe destacar el uso de fibra de óptica como herramienta para sensorizar las instalaciones, no solo en la parte de la infraestructura, sino también en la línea aérea de contacto y canaletas de cables. España, Alemania y Japón están trabajando activamente en esta línea.

## V. RETOS Y RECOMENDACIONES

Resumiendo lo comentado en los apartados anteriores, el transporte ferroviario se encuentra en auge gracias a las ventajas de este modo de transporte frente a los competidores. Consolidar esta ventaja competitiva en un entorno que exige mayores velocidades, menores costes de construcción, mantenimiento y explotación, mayores cargas por eje y mayores frecuencia de paso exige la continua potenciación de I+D+I. Sería de esperar una transferencia de conocimiento de otros sectores, tal y como históricamente se ha dado entre sectores como el aeronáutico, el naval, la automoción y la ingeniería civil o la industria. Sin embargo, mientras en otros sectores las innovaciones en materiales aportan mejoras de forma sostenida, la mayor parte de los sistemas ferroviarios siguen basados en materiales tradicionales.

Los materiales compuestos de matriz polímero son ya habituales en la obra civil, como refuerzo de estructuras o en la construcción de puentes; El hormigón autorreparable y los biomateriales son también ejemplos de innovación en el sector de la edificación. La fibra de carbono, nuevos materiales cerámicos, el grafeno y/o el siliceno se posicionan como sustitutos del acero y los metales en sectores como el aeronáutico y la automoción.

La introducción de estos y otros nuevos materiales en el sector del ferrocarril debe apoyarse en el conocimiento y la experiencia adquiridos en otros sectores sin olvidar la estructura de costes y las exigencias propias de las aplicaciones ferroviarias. Además, la creciente conciencia social acerca del respeto por la casa común permite asegurar que el desarrollo de nuevos materiales estará ligado a conceptos de sostenibilidad, reutilización y reciclaje. Este es, precisamente, el ámbito en el que se encuadran la mayoría de las innovaciones que se han recogido en el apartado de infraestructura y vía; y es, además, un ámbito de gran potencial innovador. En efecto, existe una gran cantidad de materiales, bien naturales, bien artificiales, que pueden ser empleados en la construcción de la infraestructura ferroviaria. Sin embargo, es habitual que soluciones que se adoptan en la construcción de carreteras no se puedan utilizar en el ferrocarril, o no en todos los países, porque la normativa no los considera y no se encuentra armonizada ni siquiera a nivel europeo.

Aspectos normativos son también fundamentales en lo que se refiere al uso de nuevos materiales en el ámbito del material móvil. Un claro ejemplo son las limitaciones que introduce la normativa relativa al comportamiento frente a fuego y humos (EN-45545) en la introducción de nuevos materiales. Toda la normativa existente se ha desarrollado para guiar el desarrollo de los vehículos basados en materiales tradicionales, lo que hace que haya aspectos relacionados con nuevos materiales que no están considerados o que no son de aplicación.

Criterios de diseño, márgenes de seguridad, metodología de cálculo, normativas de seguridad, reciclabilidad y proceso de homologación, entre otros, son puntos en los que la normativa ha de evolucionar para habilitar el uso de nuevos materiales y agilizar el desarrollo tecnológico de todo el sector.

En lo que respecta al propio carril, el reto al que se enfrentan los fabricantes es el aumento de la vida útil del mismo bajo cargas de servicio, con productos de mayor tenacidad a la fractura, menores velocidades de crecimiento de grieta y mayores resistencias al desgaste. Para alcanzar estas mejoras, es necesario contar con capacidad tecnológica aplicada al

estudio de microestructuras, tratamientos térmicos y mecánicos, la caracterización de la tenacidad a la fractura, la velocidad de crecimiento de grieta o ensayos tribológicos.

Otros aspectos son el desarrollo de tecnologías soldeo más eficientes, con objeto de conseguir reducir los niveles de tensiones residuales y las microestructuras deseadas, el uso del láser para modificar estas microestructuras a nivel superficial (laser de endurecimiento) o la deposición laser.

A modo de conclusión, otras necesidades identificadas son:

- Formación y capacitación de los ingenieros y proyectistas, con el desarrollo de una metodología de diseño más flexible y conocimiento de las posibilidades y limitaciones que aporta la incorporación de nuevos materiales.
- Colaboración más estrecha entre todos los agentes, administradores, fabricantes, empresas, centros tecnológicos y universidades, a través de programas.
- Fomento de la transferencia tecnológica desde otros sectores como el de la edificación y construcción civil, la aeronáutica, la automoción o la industria.
- Coordinación de los trabajos, para evitar las duplicidades, papel en el que la PTFE juega un papel relevante.
- Disponer de trayectos e instalaciones de ensayo para pruebas a escala real y en servicio de nuevos materiales de infraestructura, instalaciones o material rodante.

**Coordinación Científico-Técnica:**



Miguel Seco

**Documento elaborado por:**



Cristina García



Enric Martín



Enrique Díaz  
Enrique Moliner



Javier Belzunce  
Sergio González-Cachón



José Conrado Martínez



Juan Manuel Ramírez



Julia Irene Real



INSTITUTO DE BIOMECÁNICA DE VALENCIA

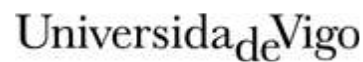
José S. Solaz



Miguel Angel Morcillo



Miguel del Sol Sánchez



Pedro Merino  
Xosé Ramón Nóvoa



Sergio Escriba

**Coordinación y Secretaría Técnica:**

Angeles Táuler, M<sup>a</sup> Mar Sacristán, Eduardo Prieto, Laura Lorenzo, Aida Herranz, Sarah Whalley