

Técnica Industrial 343

Desafíos del sector industrial

VIABILIDAD DEL REPERFILADO DE RUEDAS DE FERROCARRIL
desgastadas por su uso mediante técnicas de fabricación aditiva

MONITORIZACIÓN CONTINUA DE LA EVOLUCIÓN DE LA FATIGA EN FLEXIÓN ROTATORIA
mediante correlación digital de imágenes 3D

VEHÍCULOS ELÉCTRICOS
Revisión de la potencia eléctrica en baja tensión con los cambios producidos por los vehículos eléctricos

REDUCIR EL CONSUMO DE COMBUSTIBLES
Los biocombustibles y los motores de gran eficiencia pueden ser una solución real para ayudar a mitigar las emisiones en el sector del transporte

ARTÍCULO

Industria en transformación ante el mayor reto productivo de la década

INNOVACIÓN

La computación cuántica llama a la puerta de la industria

ENTREVISTA

Jordi Hereu, ministro de Industria y Turismo de España

ELIGE TU GRADO DE INGENIERÍA CON TODA LA INFORMACIÓN

¡Tu futuro está en juego!



<https://cogiti.es/guia-de-titulaciones>

- ATRIBUCIONES PROFESIONALES
- PROFESIÓN REGULADA
- EUROINGENIERO
- EMPLEABILIDAD
- COLEGIACIÓN....

Adelante, ¡Consúltalo en tu colegio profesional!



COGITI
Consejo General de Colegios Oficiales
de Graduados e Ingenieros Técnicos
Industriales de España

EN PORTADA Desafíos del sector industrial



- 06 Industria en transformación: talento técnico, transición energética y aceleración tecnológica ante el mayor reto productivo de la década.**
La industria española afronta uno de los periodos más decisivos de las últimas décadas. En un contexto de competencia global, transición energética, escasez de talento técnico y aceleración tecnológica, las empresas industriales deben reinventar sus modelos productivos para seguir siendo competitivas.
- 12 ENTREVISTA Jordi Hereu Boher.** Ministro de Industria y Turismo de España: "Sin perfiles técnicos y de ingeniería suficientes se ralentiza la innovación, disminuye la capacidad de absorción tecnológica y se dificulta la reindustrialización". **Mónica Ramírez.**
- 15 Manifiesto por la Innovación Industrial.**
- 16 La doble transición: ¿Es la tecnología digital una clave o un riesgo para un futuro verde?**
La digitalización se busca como forma de fomentar la competitividad de Europa y la sostenibilidad es uno de los puntos centrales del Pacto Verde Europeo, donde Europa busca crear su marca distintiva respecto a los competidores. Pero la idea de juntar las transiciones verde y digital va más allá de querer que las dos transiciones sucedan a la vez. **Zora Kovacic.**
- 20 ENTREVISTA José María Felguera Garrido.** CEO, Partner & Strategy manager, de SCHUMPIT: "La IA generativa no elimina la esencia de la profesión, la amplifica, pero exige responsabilidad, formación continua y criterio". **Mónica Ramírez.**
- 24 ENTREVISTA Susana Pascual Madrigal.** CEO y fundadora de PixelsHub: "La tecnología avanza más rápido que la capacidad de las organizaciones para absorberla". **Mónica Ramírez.**
- 26 ENTREVISTA Miguel Ángel Díaz.** Presidente de la Asociación Nacional de Inteligencia Emocional (ASNIE), miembro activo de la International Society of Emotional Intelligence (ISEI) y de la International Positive Psychology Association (IPPA): "La clave está en sumar a nuestra precisión y capacidad analítica, el poder de las habilidades humanas". **Mónica Ramírez.**

Foto de portada: Shutterstock

ACTUALIDAD

- 04 La computación cuántica llama a la puerta de la industria.**
Optimizar rutas logísticas globales, diseñar nuevos materiales o gestionar redes energéticas complejas son algunos de los problemas más difíciles a los que se enfrentan hoy las empresas industriales. Resolverlos exige analizar millones o incluso miles de millones de combinaciones posibles, algo que supera la capacidad de muchos sistemas informáticos convencionales. En este contexto, una tecnología emergente comienza a despertar el interés de la industria: la computación cuántica. **Mónica Ramírez.**

ARTÍCULOS

- 30 ORIGINAL**
Viabilidad del reperfilado de ruedas de ferrocarril desgastadas por su uso mediante técnicas de fabricación aditiva
Study of the viability of additive manufacturing for railway wheels worn by use. **Jon Hernández-Martínez, Javier Santamaría, Aizpea Urresti, Julio Blanco-Lorenzo, Ernesto García Vadillo**
- 46 ORIGINAL**
Continuous fatigue monitoring in rotating beams using 3D Digital Image Correlation
Monitorización continua de la evolución de la fatiga en flexión rotatoria mediante correlación digital de imágenes 3D. **C. Huertas-Charriel, A. García-Martínez, L. Felipe-Sesé, A. J. Molina-Viedma, J. A. Almazán-Lázaro, E. López-Alba and F. A. Díaz**
- 56 ORIGINAL**
Revisión de la potencia eléctrica en baja tensión con los cambios producidos por los vehículos eléctricos
Forecast of low-voltage electrical power with the changes produced by electric vehicles. **Dr. Pablo Zapico Gutiérrez y María Zapico Gómez-Collantes**
- 68 ORIGINAL**
Reducing fuel consumption: Biofuels and high efficiency engines are becoming a real solution to mitigate transport emissions
Reducir el consumo de combustibles: Los biocombustibles y los motores de gran eficiencia pueden ser una solución real para ayudar a mitigar las emisiones en el sector del transporte. **Sofía Morán y Xiomar Gómez**

INGENIERÍA Y HUMANIDADES

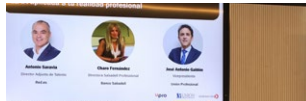
- 92 INGENIEROS EN LA HISTORIA Henry Ford:** el ingeniero que diseñó la fábrica del siglo XX con la introducción de la cadena de montaje móvil. **Mónica Ramírez**
- 96 Publicaciones**

03 **Editorial ¿Es necesaria una Ley de Ingeniería?**
José Antonio Galdón Ruiz

PROFESIÓN

80 **La Fundación Técnica Industrial entrega el IV Premio a la Innovación Tecnológica, Empresarial y Sostenibilidad a la empresa Tecozam**

El acto comenzó con las palabras de bienvenida del presidente de la Fundación Técnica Industrial y el Consejo General de la Ingeniería Técnica Industrial de España (COGITI), José Antonio Galdón Ruiz, que destacó, un año más, la calidad de los trabajos presentados a estos premios.



83 **El Parlamento Europeo solicita a la Comisión Europea que se investigue en profundidad la exclusión de los ingenieros en la elaboración de los Informes de Evaluación de Edificios**

84 **ENTREVISTA Julio Galván.** CEO de ADA Sistemas.

85 **ENTREVISTA Luis Romero Pérez.** Propietario y director general del grupo FULTON: "En el crecimiento de nuestra empresa, la ingeniería juega un papel muy importante".



85 **Jornada sobre el Programa en Formación de Competencias Digitales en el ámbito de los Colegios Profesionales – Upro**

86 **El VIII Congreso Nacional de Industria reunió en Bilbao a los referentes del sector**

87 **ENTREVISTA Charo Fernández Álvarez.** Directora de segmento de Sabadell Professional: "La colaboración entre industria, profesionales y entidades financieras es esencial para avanzar hacia un modelo económico más competitivo, responsable y sostenible".



88 **ENTREVISTA Concepción Alicia Monje Micharet.** Investigadora en Robótica y Catedrática en la UC3M: "Los avances en robótica suelen ser el resultado de muchos intentos, pruebas y errores, pero también de una gran ilusión por descubrir y crear cosas nuevas". **Mónica Ramírez.**



91 **TRIBUNA Seguridad ferroviaria: la investigación técnica como servicio público.** **Domingo Villero.**



95 **UAITIE impulsa su actividad institucional y refuerza su compromiso con la igualdad, la participación y el talento joven**



Técnica Industrial Fundada en 1952 como órgano oficial de la Asociación Nacional de Peritos Industriales, es editada por la Fundación Técnica Industrial, vinculada al Consejo General de Colegios de Graduados e Ingenieros Técnicos Industriales de España (COGITI).

**Fundación Técnica Industrial
 Comisión Ejecutiva**

Presidente José Antonio Galdón Ruiz
Vicepresidente Domingo Villero Carro
Secretario Jesús E. García Gutiérrez
Tesorero Alejandro Sotodosos Fernández
Interventor Antonio Ruiz Saiz
Vocales Diego Pérez Muñiz y Mar López Almagro
Gerente Miquel Darnés Cirera

Patronos

Unión de Asociaciones de Ingenieros Técnicos Industriales de España (UAITIE), Cogiti y Colegios de Ingenieros Técnicos Industriales, representados por sus decanos:

- A Coruña** Macario Yebra Lemos
- Álava** Alberto Martínez Martínez
- Albacete** Francisco Avellaneda Carpena
- Alicante** Antonio Martínez-Canales Murcia
- Almería** Francisco Lores Llamas
- Aragón** Enrique Zaro Giménez
- Ávila** Samuel Gavilán López
- Badajoz** Vicenta Gómez Garrido
- Illes Balears** Sebastián Frongia
- Barcelona** Ricard Nogués i Parra
- Bizkaia** Alberto García Lizaranzu
- Burgos** Antonio Ruiz Saiz
- Cáceres** Fernando Doncel Blázquez
- Cádiz** Domingo Villero Carro
- Cantabria** Raúl Huerta Fernández
- Castellón** José Luis Ginés Porcar
- Ciudad Real** José Carlos Pardo García
- Córdoba** Francisco López Castillo
- Garraf i l'Alt Penedès** Mar López Almagro
- Gipuzkoa** Valeriano Carballo Garrido
- Girona** Jordi Fabrellas Payret
- Granada** Fernando Terrón Bote
- Guadalajara** Juan José Cruz García
- Huelva** Manuel León Gómez
- Jaén** Rafael Fernández Mesa
- La Rioja** Jesús Vellilla García
- Las Palmas** José Antonio Marrero Nieto
- León** José Antonio Cuba Cal
- Lleida** Ramón Grau Lanau
- Lugo** Jorge Rivera Gómez
- Madrid** José Antonio Galdón Ruiz
- Málaga** José B. Zayas López
- Manresa** Jordi Valiente Prat
- Región de Murcia** Miguel Ángel Sola Navarro
- Navarra** Enrique Domínguez Peralta
- Ourense** Santiago Gómez-Randulfe Álvarez
- Palencia** Jesús de la Fuente Valtierra
- Principado de Asturias** Diego Pérez Muñiz
- Salamanca** José M^a Collantes Hidalgo
- S. C. Tenerife** Antonio M. Rodríguez Hernández
- Segovia** Gabriel Vallejo Álvarez
- Sevilla** José Joaquín Palma Chaves
- Soria** Levy Garijo Tarancón
- Tarragona** Joan Gabriel Talamí Maigí
- Toledo** Ángel Carrero Romero
- Valencia** Tomás Játiva Collados
- Valladolid** Rafael Álvarez Palla
- Vigo** Jorge Cerqueiro Pequeño
- Zamora** Jose Luis Hernández Merchán

¿Es necesaria una Ley de la Ingeniería?

Ninguna infraestructura se construye sin proyecto. Ningún sistema se desarrolla sin planificación. Ninguna organización funciona sin un marco que defina sus reglas. Sin embargo, la ingeniería en España, siendo uno de los pilares del desarrollo económico y tecnológico, continúa operando sin una ley que ordene de forma integral su ejercicio profesional y sin coordinación con el ámbito universitario.

Esta paradoja obliga a plantear una cuestión de fondo: ¿es necesaria una Ley de la Ingeniería?

La respuesta es clara es SÍ, es necesaria, y no solo conveniente, sino imprescindible para dar respuesta a una situación que se ha ido consolidando con el paso del tiempo y que afecta directamente al desarrollo de la profesión, a la calidad de los servicios técnicos y, en última instancia, al conjunto de la sociedad.

La ingeniería española ha experimentado en las últimas décadas una profunda transformación en el ámbito académico, especialmente tras la implantación del Espacio Europeo de Educación Superior. Sin embargo, esta evolución no ha venido acompañada de una actualización equivalente del marco normativo que regula el ejercicio profesional, que, en la mayoría de los casos, presenta estructuras del siglo XIX. Como consecuencia, se ha generado una desconexión evidente entre la formación recibida y el desarrollo de la actividad profesional, así como un entorno caracterizado por la fragmentación, la inseguridad jurídica y la existencia de interpretaciones divergentes.

Este escenario, ampliamente conocido, no puede prolongarse. La falta de un marco común limita el desarrollo ordenado de la ingeniería, dificulta la identificación clara de competencias y responsabilidades, y genera incertidumbre en profesionales, empresas, administraciones y estudiantes. Todo ello impacta, además, en la confianza que la sociedad deposita en los servicios técnicos.

En este contexto, la necesaria Ley de la Ingeniería se configura como el instrumento para dar una respuesta estructural a esta problemática. Su finalidad es establecer un marco que permita alinear la formación académica con el ejercicio profesional, definir con precisión las competencias y responsabilidades, y garantizar un entorno de seguridad jurídica para todos los agentes implicados.

Pero esta ley no debe entenderse únicamente como una herramienta para resolver problemas existentes. Debe ser, además, un instrumento para ordenar, cohesionar y proyectar la ingeniería hacia el futuro. La diversidad de ramas y especialidades, lejos de ser un elemento de división, constituye una fortaleza que requiere un marco común que facilite la colaboración y reduzca la conflictividad. La construcción de un modelo basado en competencias permitirá avanzar hacia un sistema más coherente, eficiente y adaptado a la realidad actual.

Al mismo tiempo, esta ley ha de concebirse con una clara vocación de futuro. La evolución tecnológica, la aparición de nuevas disciplinas y la creciente complejidad de los sistemas técnicos exigen una regulación flexible y dinámica, capaz de adaptarse a los cambios y de anticipar los retos que se plan-

tearán en los próximos años. No se trata únicamente de resolver los problemas del presente, sino de evitar que estos vuelvan a reproducirse.

La dimensión estratégica de esta norma es igualmente evidente. La ingeniería desempeña un papel fundamental en ámbitos clave como la transición energética, la digitalización, la sostenibilidad o la modernización del tejido productivo. Disponer de un marco normativo claro, coherente y alineado con el entorno europeo no solo refuerza la competitividad, sino que facilita la movilidad profesional y mejora la calidad de los servicios técnicos.

Asimismo, un sistema ordenado y transparente contribuye a generar confianza. Confianza en la ciudadanía, que demanda servicios técnicos seguros y de calidad; en las empresas, que necesitan identificar con claridad las capacidades profesionales; y en los estudiantes, que requieren referencias claras sobre su futuro profesional y un marco que dé sentido a su formación.

La alineación con el entorno europeo constituye otro elemento esencial. La convergencia con los modelos existentes en otros Estados miembros y el respeto a los principios de reconocimiento de cualificaciones y libre prestación de servicios son aspectos fundamentales para situar a la ingeniería española en un contexto plenamente integrado en el mercado interior.

En este punto, resulta oportuno invitar a una reflexión compartida. A todas las organizaciones de la ingeniería, a las universidades, los empresarios y empleadores, a los propios profesionales y, de manera muy especial, a los jóvenes y estudiantes que representan el futuro de la profesión. La construcción de este nuevo marco no puede entenderse como una iniciativa aislada, sino como un compromiso colectivo que exige implicación, visión y responsabilidad.

Porque serán precisamente las nuevas generaciones quienes desarrollen su carrera en el modelo que hoy seamos capaces de definir. Y es, por tanto, en ellas donde debe centrarse buena parte de este esfuerzo: en ofrecerles un sistema claro, coherente, alineado con Europa y capaz de reconocer el valor de su formación y de su talento.

La cuestión, por tanto, ya no es si esta ley es necesaria. La cuestión es si estamos dispuestos, como colectivo y como país, a asumir la responsabilidad de impulsarla.

Porque posponerla supone perpetuar los problemas actuales y no abordarla implica renunciar a un sistema más claro, más justo y más competitivo. Y porque sin un marco adecuado, la ingeniería española seguirá operando por debajo de su verdadero potencial.

La Ley de la Ingeniería no puede seguir siendo una aspiración. Debe convertirse en una prioridad compartida. Y hacerla realidad no es solo una oportunidad: es, hoy, una responsabilidad ineludible.

José Antonio Galdón Ruiz

Presidente del Consejo General de la Ingeniería Técnica Industrial de España y de la Fundación Técnica Industrial

La computación cuántica llama a la puerta de la industria

Optimizar rutas logísticas globales, diseñar nuevos materiales o gestionar redes energéticas complejas son algunos de los problemas más difíciles a los que se enfrentan hoy las empresas industriales. Resolverlos exige analizar millones o incluso miles de millones de combinaciones posibles, algo que supera la capacidad de muchos sistemas informáticos convencionales. En este contexto, una tecnología emergente comienza a despertar el interés de la industria: la computación cuántica.

Mónica Ramírez

Todavía se encuentra en una fase temprana de desarrollo, pero empresas tecnológicas y grandes compañías industriales ya exploran las posibles aplicaciones de la computación cuántica en ámbitos como la logística, la química o la planificación de procesos complejos.

Se trata de una tecnología pensada para resolver problemas que hoy resultan inabordables. Los ordenadores actuales son extraordinariamente potentes, pero existen determinados problemas que se vuelven prácticamente imposibles de resolver cuando el número de variables crece demasiado.

Este tipo de desafíos aparece con frecuencia en la industria: planificación logística global, optimización de redes energéticas, simulación de nuevos materiales o programación de la producción en grandes fábricas. En muchos casos, el número de posibles combinaciones aumenta de forma exponencial, lo que dificulta encontrar la solución óptima. Aquí es donde entra en juego la computación cuántica.

A diferencia de los ordenadores tradicionales, que procesan información mediante bits que adoptan valores de 0 o 1, los ordenadores cuánticos utilizan qubits, capaces de representar múltiples estados simultáneamente gracias a fenómenos de la física cuántica como la superposición y el entrelazamiento. Esto permite explorar muchas soluciones posibles al mismo tiempo y, en teoría, resolver ciertos problemas de optimización mucho más rápidamente que los sistemas clásicos.

De la logística al diseño de materiales

Uno de los campos donde la computación cuántica podría tener un impacto más inmediato es la logística. Las cade-

nas de suministro modernas implican la coordinación de múltiples variables: rutas de transporte, disponibilidad de vehículos, centros logísticos, demanda de productos o consumo energético. Optimizar estas redes requiere analizar un número enorme de combinaciones posibles.

Algunas empresas ya han comenzado a experimentar con esta tecnología. El fabricante automovilístico Volkswagen, por ejemplo, realizó proyectos piloto para estudiar cómo los algoritmos cuánticos podrían ayudar a optimizar la gestión del tráfico urbano y las rutas de transporte en grandes ciudades. Según diversos análisis del World Economic Forum y la consultora McKinsey, la optimización logística es uno de los primeros ámbitos donde podrían aparecer aplicaciones prácticas de la computación cuántica.

Otra de las aplicaciones más prometedoras se encuentra en la simulación de materiales. Muchos avances industriales dependen del desarrollo de materiales con propiedades específicas: mayor resistencia, menor peso o mejor conductividad. Sin embargo, simular con precisión el comportamiento de los átomos dentro de un material resulta extremadamente complejo para los ordenadores tradicionales.

Los sistemas cuánticos, al basarse en los mismos principios físicos que gobiernan el comportamiento de las partículas subatómicas, podrían modelar estos sistemas con mayor precisión. Empresas químicas como BASF investigan junto a compañías tecnológicas cómo utilizar algoritmos cuánticos para acelerar el desarrollo de nuevos catalizadores y compuestos químicos. En el futuro, estas capacidades podrían facilitar el diseño de baterías más eficientes, nuevos materiales estructurales o procesos industriales más sostenibles.

Por su parte, las fábricas modernas son sistemas altamente complejos en los

que interactúan maquinaria, trabajadores, energía y logística. Planificar la producción, gestionar el mantenimiento de los equipos u optimizar el consumo energético implica analizar múltiples variables simultáneamente. En instalaciones industriales de gran tamaño, encontrar la combinación óptima puede convertirse en un desafío computacional considerable.

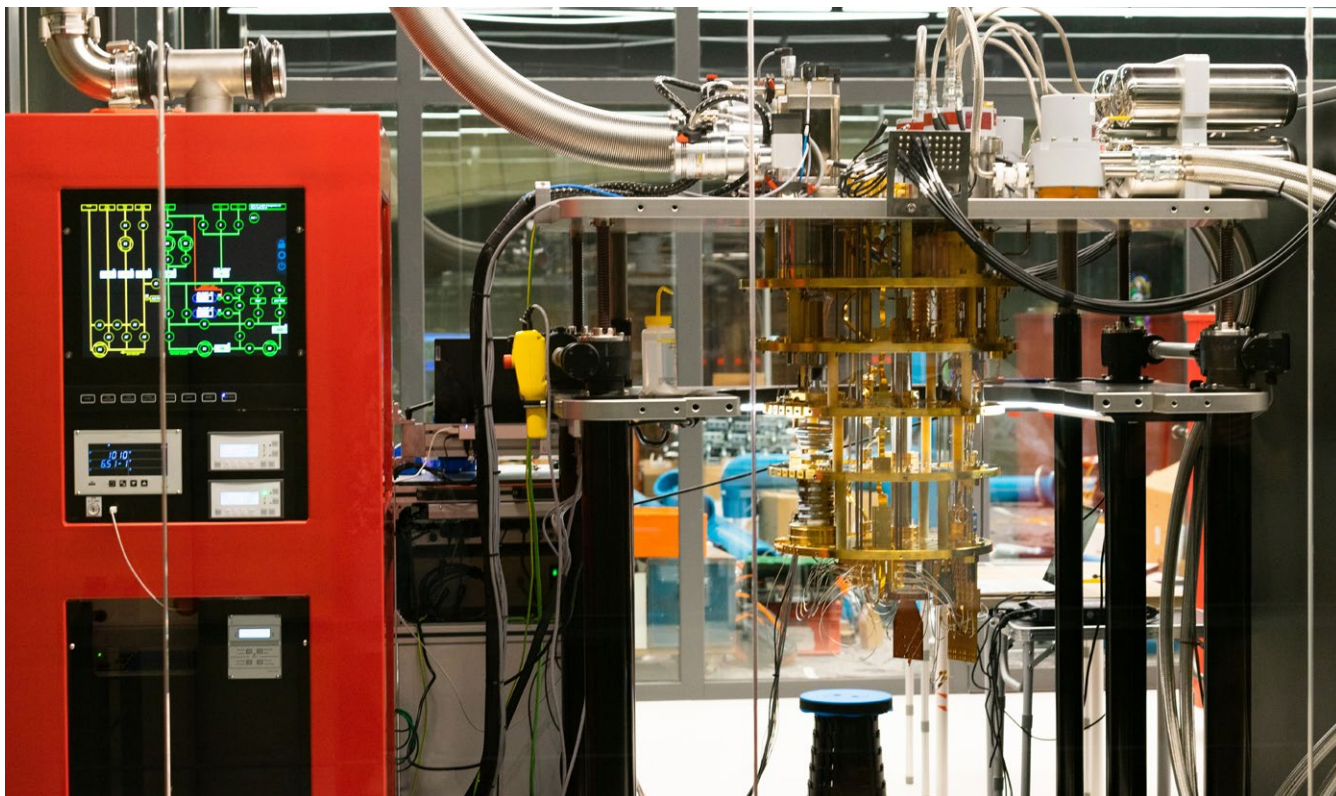
La computación cuántica podría ayudar a abordar estos problemas mediante algoritmos capaces de evaluar simultáneamente múltiples escenarios posibles. Entre las aplicaciones que se investigan actualmente destacan la planificación avanzada de la producción, la optimización energética de plantas industriales o el diseño de redes logísticas más eficientes.

Del laboratorio a las primeras aplicaciones industriales

A pesar de su potencial, la computación cuántica todavía se encuentra en una fase inicial. Los ordenadores cuánticos actuales cuentan con un número relativamente limitado de qubits y presentan problemas de estabilidad. Estas unidades de información cuántica son extremadamente sensibles a perturbaciones externas, lo que puede generar errores en los cálculos. Los investigadores denominan a esta etapa era NISQ (Noisy Intermediate-Scale Quantum), caracterizada por sistemas cuánticos todavía limitados pero capaces de realizar ciertos cálculos experimentales.

No obstante, el progreso tecnológico avanza rápidamente. En los últimos años han aparecido nuevos procesadores cuánticos con mayor número de qubits y mejores capacidades de control, lo que abre la puerta a experimentos cada vez más complejos.

Empresas tecnológicas como IBM, Google, Microsoft o Intel invierten impor-



Configuración de computadora cuántica de alta tecnología en laboratorio con sistema de enfriamiento criogénico. Foto: Shutterstock.

tantes recursos en el desarrollo de esta tecnología, con el objetivo de construir procesadores cuánticos cada vez más potentes y estables.

Quantum Spain: el impulso español a la computación cuántica

Más allá de los avances tecnológicos, el desarrollo de la computación cuántica también tiene una dimensión estratégica. En los últimos años han surgido diversas iniciativas orientadas a fomentar el desarrollo abierto de herramientas cuánticas, facilitando que universidades, centros de investigación y empresas puedan experimentar con esta tecnología.

España también se ha sumado al desarrollo de tecnologías cuánticas a través del proyecto Quantum Spain, el primer ecosistema nacional dedicado a la computación cuántica. La iniciativa, en marcha desde 2022, tiene como objetivo construir una infraestructura científica y tecnológica que permita impulsar la investigación y el desarrollo de aplicaciones cuánticas en el país.

Entre sus principales actuaciones se encuentra la instalación de un ordenador cuántico basado en cúbits superconductores en el Barcelona Supercomputing Center, así como el despliegue de simuladores cuánticos de alto rendimiento (HPC). Estas infraestructuras estarán

conectadas a la Red Española de Supercomputación, lo que permitirá a universidades, centros de investigación y empresas acceder a recursos de computación cuántica para desarrollar nuevos algoritmos y aplicaciones.

Además de la infraestructura tecnológica, el proyecto contempla programas de formación, seminarios y actividades de transferencia de conocimiento para fortalecer el ecosistema científico e industrial en torno a la computación cuántica y sus aplicaciones en ámbitos como la inteligencia artificial.

Quantum Spain forma parte de la Estrategia Nacional de Inteligencia Artificial y se alinea con la iniciativa europea EuroHPC Joint Undertaking, que busca integrar tecnologías cuánticas en los principales centros de supercomputación del continente. El proyecto cuenta con una inversión inicial de 22 millones de euros procedentes del Plan de Recuperación, con previsión de alcanzar alrededor de 60 millones de euros mediante su participación en programas europeos.

Un futuro híbrido

La mayoría de los expertos coincide en que la computación cuántica no sustituirá completamente a la informática tradicional. Lo más probable es que el futuro de la computación sea híbrido, combinando

sistemas clásicos y cuánticos. Los ordenadores convencionales seguirán realizando la mayoría de las tareas, mientras que los procesadores cuánticos se utilizarán para resolver problemas específicos de alta complejidad.

Según diversos informes industriales, las primeras aplicaciones prácticas podrían aparecer durante la próxima década, especialmente en sectores como la logística, la energía o la química industrial.

Para los ingenieros de la rama industrial, comprender el potencial de la computación cuántica no significa necesariamente convertirse en expertos en física cuántica. Sin embargo, conocer qué tipo de problemas podría resolver esta tecnología permitirá anticipar nuevas herramientas de optimización y diseño industrial.

Al igual que ocurrió con la inteligencia artificial o el análisis de datos, las empresas que comiencen a explorar estas tecnologías con antelación podrían obtener ventajas competitivas cuando maduren.

Puede que los ordenadores cuánticos todavía no estén presentes en las fábricas, pero la industria ya empieza a prepararse para el día en que los qubits se conviertan en una nueva herramienta para resolver algunos de los problemas más complejos de la ingeniería.

Industria en transformación: talento técnico, transición energética y aceleración tecnológica ante el mayor reto productivo de la década

Mónica Ramírez

La industria se sitúa en el centro del debate económico global. Digitalización, sostenibilidad, innovación y una nueva política industrial europea marcarán la hoja de ruta de un sector que genera el 16% del PIB y el 70% de las exportaciones nacionales, pero que necesita ganar peso económico y reforzar su resiliencia para afrontar el futuro.

Un sector estratégico en plena transición

La industria sigue siendo uno de los pilares de la economía española: concentra casi el 45% de la inversión privada en I+D y genera empleo estable y cualificado, con un 90% de contratos indefinidos y salarios un 18% superiores a la media nacional.

Sin embargo, el peso de la industria en la economía ha disminuido con el paso de las décadas. En 1995 representaba más del 21% del valor añadido bruto, mientras que en la actualidad se sitúa cerca del 16%, por debajo de la media europea del 20,5%.

Esta pérdida relativa se produce en un momento en el que la industria vuelve a situarse en el centro de las estrategias económicas internacionales. Estados Unidos, China o la propia Unión Europea están impulsando nuevas políticas industriales para reforzar su autonomía estratégica, asegurar el acceso a tecnologías críticas y fortalecer las cadenas de suministro.

En palabras del secretario de Estado de Industria, del Ministerio de Industria y Turismo de España, Jordi García Brustenga, la industria se encuentra en un momento decisivo: “La nueva Ley de Industria debe convertirse en el tablero de juego de este nuevo mundo, y obligará a definir una estrategia industrial cada seis años, identificando ecosistemas prioritarios y retos transversales como país”, señaló recientemente durante un encuentro organizado por Nueva Economía Fórum. Sin embargo, reconoció que sacar adelante la nueva Ley de Industria y Autonomía Estratégica este año es “difícil”, aunque dejó claro que es uno de sus

grandes objetivos. “Está en el Congreso y la idea es aprobarla este año, aunque es difícil, pero hay ventanas de oportunidad y ahí estaremos para conseguirlo”, señaló.

Además, enmarcó la futura ley en un contexto internacional “muy interesante, con riesgos y oportunidades”, marcado por la inestabilidad geopolítica y el avance de posiciones más proteccionistas. A este respecto, tanto a España como a Europa les preocupa asegurar la producción de ciertas tecnologías y productos críticos, vinculando esa autonomía a la defensa de “los valores, los derechos, la democracia y nuestro estado de bienestar”, indicó. En su opinión, en la vorágine actual es necesario buscar un “camino intermedio”, que combine apertura y protección estratégica en sectores especialmente vulnerables.

El objetivo es claro: definir una estrategia industrial que permita reforzar el peso productivo del país y responder a los grandes cambios tecnológicos, geopolíticos y medioambientales.



Foto: Shutterstock.

Los cinco grandes retos del sector industrial

Distintos estudios recientes coinciden en identificar cinco desafíos estructurales que marcarán el futuro de la industria durante los próximos años: competitividad global, sostenibilidad, talento, ciberseguridad y digitalización avanzada.

Según el análisis realizado por la consultora tecnológica SEIDOR, estos retos no son coyunturales, sino estructurales, y determinarán la capacidad competitiva del sector en el medio plazo.

1. Competir en un mercado global cada vez más fragmentado

Las cadenas de suministro globales se han vuelto más inestables en los últimos años. La pandemia, las tensiones geopolíticas y el aumento del coste de las materias primas han obligado a las empresas a replantear su modelo operativo.

Hoy en día ya no basta con producir de forma eficiente: las compañías necesitan flexibilidad, anticipación y control en tiempo real de sus operaciones. Las empresas industriales están apostando por plataformas digitales que integran información financiera, logística y operativa para mejorar la toma de decisiones. Tecnologías como los gemelos digitales, el análisis predictivo o los sistemas ERP avanzados permiten simular escenarios productivos y anticipar posibles interrupciones en la cadena de suministro.

Este enfoque tecnológico se ha convertido en un elemento estratégico para mejorar la resiliencia empresarial.

2. La sostenibilidad como nuevo eje competitivo

La transición ecológica se ha convertido en uno de los grandes motores de cambio para la industria europea. Las nuevas regulaciones comunitarias obligan a las empresas a medir, reducir y reportar su impacto ambiental, lo que implica transformar procesos productivos, optimizar el consumo energético y mejorar la gestión de residuos y emisiones.

La sostenibilidad ya no es solo una cuestión reputacional. Se ha convertido en un factor clave de competitividad. Las compañías industriales están incorporando herramientas de gestión ESG integradas con sistemas de planificación empresarial que permiten analizar el ciclo de vida del producto y mejorar la trazabilidad de materiales.

En paralelo, la electrificación de procesos productivos y el uso de energías

renovables se consolidan como pilares de la descarbonización industrial. Sin embargo, la transición energética también enfrenta obstáculos. Uno de los más relevantes es la capacidad limitada de las redes eléctricas, que en algunos casos dificulta la electrificación de procesos industriales intensivos en energía.

3. El gran desafío del talento técnico

Si hay un problema que preocupa especialmente a los directivos industriales es la falta de profesionales cualificados. El sector necesita cubrir más de 100.000 vacantes técnicas, según un estudio realizado por la consultora GAD3.

Además de otros factores determinantes, la escasez de talento técnico que afecta a la industria tiene también un origen formativo. El III Informe “Análisis de los Estudios Universitarios en Ingeniería” del Instituto de Graduados en Ingeniería e Ingenieros Técnicos de España (INGITE) advierte de un descenso sostenido de las vocaciones en ingeniería durante las últimas dos décadas. Dentro de este contexto, la rama industrial —que incluye titulaciones como Ingeniería Mecánica, Eléctrica, Electrónica Industrial, Química Industrial, etc.— continúa siendo la más vinculada al tejido productivo, al proporcionar gran parte de los profesionales que trabajan en sectores como la automoción, la maquinaria, la energía o la fabricación avanzada.

Sin embargo, el informe señala que el número de estudiantes que optan por estas titulaciones no crece al ritmo que exige la demanda del mercado laboral. A ello se suma una elevada tasa de abandono en los estudios de ingeniería, cercana al 50%, lo que reduce significativamente el número final de graduados que se incorporan al mercado. Este desequilibrio entre formación y necesidades del sector productivo se traduce en una brecha cada vez más evidente entre la demanda de ingenieros de la rama industrial y la disponibilidad de profesionales cualificados, una situación que ya está afectando a la capacidad de crecimiento y modernización de muchas empresas.

Esta brecha entre oferta y demanda de talento afecta especialmente a perfiles vinculados a la automatización, la programación industrial, el mantenimiento avanzado o el análisis de datos.

La preocupación sobre la creciente dificultad para captar talento cualificado en la industria ha quedado también patente en el VIII Barómetro Industrial del

COGITI-Cátedra Internacional COGITI de Ingeniería y Política Industrial (UCAM), presentado en 2025, sobre la situación de la industria en España. Un 58 % de los ingenieros de la rama industrial encuestados para la elaboración del citado informe, considera que existe una falta importante de perfiles técnicos especializados en el mercado laboral, lo que evidencia una brecha significativa entre la formación actual y las competencias efectivamente requeridas en el entorno productivo. Esta falta de adecuación repercute directamente en la capacidad de las empresas para innovar, ejecutar proyectos estratégicos y afrontar con garantías los procesos de transición tecnológica.

El resultado es una brecha cada vez más evidente entre las necesidades del tejido productivo y la disponibilidad de ingenieros capaces de afrontar los retos tecnológicos de la nueva industria. Sin un refuerzo de las vocaciones tecnológicas y de la formación en ingeniería, la transformación industrial podría encontrarse con un obstáculo inesperado: la falta de profesionales capaces de impulsarla.

La situación se agrava por el envejecimiento de la población activa. Una parte significativa de los trabajadores industriales se aproxima a la jubilación, lo que supone la pérdida de décadas de experiencia acumulada.

En Europa, el problema es aún más evidente. Según el Instituto Europeo de Innovación y Tecnología (EIT), dos tercios de las pymes industriales tienen dificultades para cubrir puestos técnicos especializados.

El presidente de la Unión de Profesionales y Trabajadores Autónomos (UPTA), Eduardo Abad, subraya la importancia de reforzar la formación y el acceso a fondos europeos para modernizar el tejido productivo: “El tamaño y la cantidad son importantes”, señala al referirse al predominio de microempresas en el tejido productivo español.

En este contexto, la formación continua y los programas de capacitación tecnológica se perfilan como herramientas esenciales para cerrar la brecha de talento.

4. La ciberseguridad industrial

La creciente digitalización de las plantas industriales ha incrementado también los riesgos de ciberataques. La convergencia entre tecnologías de la información (IT) y tecnologías operacionales (OT) ha multiplicado los puntos vulnerables en los sistemas productivos.

Los entornos industriales conectados son objetivo prioritario del ransomware y otras amenazas avanzadas. Para hacer frente a este riesgo, las empresas están adoptando nuevos modelos de seguridad basados en arquitecturas Zero Trust (confianza cero), segmentación de redes y monitorización continua de sistemas.

La ciberseguridad se ha convertido así en un elemento clave para garantizar la continuidad operativa y proteger la propiedad intelectual industrial.

5. La inteligencia artificial y la digitalización industrial

La digitalización sigue siendo una de las grandes palancas de transformación del sector industrial. Tecnologías como la sensorica avanzada, el Internet de las Cosas (IoT), la automatización inteligente o la inteligencia artificial están permitiendo mejorar la eficiencia productiva, reducir paradas de maquinaria y optimizar la toma de decisiones.

Según la consultora Gartner, más del 80% de las empresas utilizarán aplicaciones basadas en inteligencia artificial generativa antes de que finalice 2026, frente a menos del 5% en 2023.

En el ámbito industrial, la IA se está aplicando principalmente en áreas como el mantenimiento predictivo, la planificación de la producción, la optimización energética y los análisis de datos operativos. Según el informe de la empresa tecnológica IFS, especialista en inteligencia artificial industrial, el 89% de las compañías que han adoptado inteligencia artificial de forma temprana afirman haber incrementado su rentabilidad, y nueve de cada diez empresas de construcción e ingeniería elevarán su inversión en IA en 2026. Gonzalo Valle, director de preventa de IFS, explica que la modernización tecnológica se ha convertido en una prioridad estratégica: "Las organizaciones buscan plataformas ERP preparadas para el futuro como base para implementar soluciones de inteligencia artificial fiables y escalables".

Pymes industriales: entre la transformación y la incertidumbre

El tejido industrial español está compuesto mayoritariamente por pequeñas y medianas empresas. Las pymes representan el 99,8% de las compañías del país y generan más del 60% del empleo y del valor añadido bruto, según datos del portal Industry Talks.

Sin embargo, muchas de estas em-

presas enfrentan dificultades para acceder a financiación, implementar procesos de digitalización o aprovechar plenamente los fondos europeos.

La complejidad burocrática de los programas de ayudas y las diferencias administrativas entre comunidades autónomas han ralentizado en algunos casos el acceso a recursos clave para la modernización industrial. A ello se suman desafíos adicionales como el aumento de los costes energéticos, la inflación o la presión competitiva internacional.

La industria europea ante un nuevo tablero global

La política industrial ocupa un lugar central en la agenda económica mundial. Tanto las economías emergentes como las desarrolladas están reconociendo la importancia del Estado para conseguir una base industrial sólida, y así impulsar el crecimiento económico y la generación de empleo. Este resurgimiento se ve promovido por la creciente competencia global y la necesidad de abordar desafíos socioeconómicos y medioambientales.

En este sentido, Estados Unidos ha lanzado ambiciosos programas de inversión tecnológica, mientras que Pekín continúa con su programa "Made in China 2025", lanzado en 2015 para elevar el valor añadido de la producción china, superando la reputación de productos baratos y mejorando la eficiencia. Con ello, busca la autosuficiencia en sectores clave como inteligencia artificial, robótica y vehículos eléctricos, con un alto cumplimiento reportado hacia sus metas finales.

Europa, por su parte, está impulsando iniciativas como la Ley de Chips, la Ley de Materias Primas Críticas o la Ley de Industria de Cero Emisiones Netas, destinadas a reforzar la competitividad del continente.

En España, el ministro de Economía, Comercio y Empresa, Carlos Cuerpo, advirtió recientemente en el Foro ANFAC (Asociación Española de Fabricantes de Automóviles y Camiones) que el sector industrial afronta un entorno cada vez más competitivo: "La industria afronta un contexto marcado por el incremento del proteccionismo por parte de algunos de los principales actores económicos, lo que encarece la oferta europea y afecta indirectamente a sus exportaciones, así como por el aumento de la competencia global, especialmente de China, donde se produce actualmente más del 50% de los vehículos eléctricos del mundo. A estos retos se suma la transición hacia

una movilidad sostenible, una apuesta decidida por la descarbonización que, además de su trasfondo climático, debe servir para liderar el nuevo escenario industrial", señaló.

En este escenario, la industria europea busca reforzar su autonomía estratégica sin renunciar a su apertura comercial.

Automoción, defensa y tecnología: sectores clave del futuro

Algunos sectores industriales se perfilan como especialmente estratégicos en esta nueva etapa. Entre ellos destacan la automoción y el vehículo eléctrico, la industria de defensa, las energías renovables, los semiconductores, la biotecnología y la aeronáutica.

España juega un papel relevante en algunos de estos ámbitos. El país es el segundo productor europeo de automóviles y el octavo a nivel mundial, lo que convierte a la industria de automoción en uno de los principales motores industriales.

En este sentido, el director general de ANFAC, José López-Tafall, defiende que el Plan España Auto 2030 será clave para consolidar esta posición: "Es un plan pionero que refuerza la base industrial, apuesta por la innovación para atraer inversiones de calidad y con compromisos a largo plazo, incluyendo una infraestructura que crezca al mismo ritmo que la industria, con el objetivo de avanzar en la nueva competitividad, a la vez que se mantiene la antigua".

La transformación tecnológica como palanca de competitividad

La transformación digital se perfila como el elemento transversal que permitirá abordar muchos de los retos del sector. Según un informe de la consultora Deloitte sobre la competitividad del sector industrial, el sector de productos industriales, la analítica de datos y la inteligencia artificial generativa serán las tecnologías con mayor impacto en la competitividad industrial.

El estudio identifica cuatro niveles de madurez digital en las empresas industriales: la estandarización de procesos, las cadenas de suministro integradas, la gestión avanzada del dato y la industria predictiva basada en IA.

Actualmente, muchas empresas españolas se encuentran todavía en el segundo nivel, aunque las grandes compañías comienzan a avanzar hacia modelos basados en el análisis de datos y

la automatización inteligente.

A pesar de los desafíos, la industria española cuenta con importantes oportunidades de crecimiento. La relocalización de cadenas de suministro, los fondos europeos de recuperación y la transición energética pueden impulsar una nueva etapa de reindustrialización.

El Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia, elaborado por el Gobierno de España, contempla más de 8.300 millones de euros de inversión industrial destinados a digitalización, sostenibilidad y desarrollo tecnológico. Entre sus objetivos destacan impulsar la economía circular, fortalecer sectores estratégicos, promover espacios de datos industriales, apoyar el desarrollo de semiconductores y acelerar la electrificación industrial.

Inteligencia artificial: la nueva palanca de la productividad industrial

La inteligencia artificial se está consolidando como una de las tecnologías con mayor impacto en la transformación del sector industrial. Su capacidad para analizar grandes volúmenes de datos en tiempo real permite mejorar la eficiencia operativa, optimizar procesos y anticipar fallos en los equipos.

En las plantas industriales, la IA se utiliza principalmente para el mantenimiento predictivo, la planificación de la producción, la gestión energética y la optimización de la cadena de suministro. Gracias a los algoritmos de aprendizaje automático, las empresas pueden detectar patrones de funcionamiento anómalos y evitar paradas imprevistas en la maquinaria.

Los datos confirman esta tendencia. Según el informe de tendencias y predicciones de la compañía tecnológica IFS, el 91% de las empresas de ingeniería y construcción prevé aumentar su inversión en inteligencia artificial en 2026, mientras que el 89% de las compañías que ya la utilizan afirma haber mejorado su rentabilidad.

Además de incrementar la productividad, la inteligencia artificial está cambiando la forma en que se toman decisiones en las organizaciones industriales. Las nuevas plataformas integran datos procedentes de sensores, sistemas ERP y herramientas de análisis avanzado para ofrecer una visión completa del funcionamiento de la planta.

En este contexto, la IA no sustituye al conocimiento humano, sino que lo



La inteligencia artificial permite anticipar fallos en maquinaria, optimizar la planificación de la producción y mejorar la eficiencia energética de las plantas industriales. Foto: Shutterstock.

amplifica. Como señalan los expertos del sector, el verdadero valor de estas tecnologías surge cuando se combinan con la experiencia técnica de ingenieros y operarios capaces de interpretar los datos y transformar la información en decisiones estratégicas.

El futuro de la industria: colaboración entre personas y tecnología

El futuro del sector industrial dependerá en gran medida de su capacidad para integrar innovación tecnológica y talento humano. La automatización y la robotización seguirán expandiéndose, pero lejos de sustituir a los trabajadores, están transformando los perfiles profesionales.

La industria del futuro será más digital, más sostenible y conectada, pero seguirá necesitando ingenieros, técnicos y especialistas capaces de gestionar sistemas cada vez más complejos.

La clave, coinciden los expertos, será encontrar el equilibrio entre inversión tecnológica, formación y políticas industriales que impulsen la competitividad, ya que, en última instancia, la industria no solo es un motor económico: es también una garantía de resiliencia y de desarrollo para el conjunto de la sociedad.

Europa quiere reindustrializarse

Durante décadas, muchas economías occidentales apostaron por un modelo basado en los servicios y la externalización de

Los cinco grandes retos de la industria

1. **Competitividad global:** Las empresas deben adaptarse a un mercado cada vez más volátil, con cadenas de suministro fragmentadas, tensiones geopolíticas y mayor competencia internacional.
2. **Transición energética:** La descarbonización de la economía obliga a modernizar procesos productivos, electrificar instalaciones y reducir emisiones para cumplir con los objetivos climáticos europeos.
3. **Escasez de talento técnico:** Más de 100.000 vacantes industriales siguen sin cubrir en España debido a la falta de perfiles cualificados en áreas como mantenimiento, automatización o análisis de datos.
4. **Digitalización y automatización:** Tecnologías como la inteligencia artificial, el Internet de las Cosas, la robótica o los gemelos digitales están transformando la producción y la gestión industrial.
5. **Ciberseguridad industrial:** La creciente conectividad de las plantas productivas incrementa el riesgo de ciberataques, obligando a reforzar la protección de sistemas industriales y datos críticos.

la producción hacia países con menores costes laborales. Sin embargo, las crisis recientes han puesto de manifiesto la importancia estratégica de contar con una base industrial sólida.

La pandemia, las tensiones geopolíticas y las interrupciones en las cadenas de suministro globales evidenciaron la dependencia de Europa en sectores críticos como los semiconductores, las materias primas estratégicas o los productos sanitarios. Como respuesta, la Unión Europea ha iniciado un proceso de reindustrialización orientado a reforzar su autonomía estratégica.

Esta nueva política industrial europea se articula en torno a tres grandes ejes:

Autonomía tecnológica

Europa busca reducir su dependencia de terceros países en tecnologías clave como los microchips, las baterías eléctricas o la inteligencia artificial. Iniciativas como la Ley Europea de Chips o el impulso a proyectos estratégicos industriales pretenden fortalecer estas cadenas de valor dentro del continente.

Transición energética y descarbonización

El Pacto Verde Europeo impulsa la transformación de la industria hacia modelos productivos más sostenibles, con inversiones en energías renovables, electrificación industrial y tecnologías de cero emisiones.

Resiliencia de las cadenas de suministro

La relocalización parcial de la producción industrial se ha convertido en una prioridad para reducir riesgos asociados a crisis internacionales, conflictos comerciales o interrupciones logísticas.

En este contexto, países como España ven en la reindustrialización una oportunidad para reforzar su tejido productivo y atraer nuevas inversiones en sectores estratégicos como la automoción eléctrica, la industria aeroespacial, la defensa o las energías renovables.

El reto ahora consiste en transformar estas iniciativas en proyectos concretos que permitan consolidar una industria europea más innovadora, sostenible y competitiva en el escenario global.

Mirando al futuro

La próxima década será decisiva para la industria europea y española. La transición energética, la digitalización de los procesos productivos y la reorganización de las cadenas de suministro están redefiniendo el papel del sector industrial en la economía global. En este escenario, reforzar la capacidad tecnológica, atraer talento cualificado y consolidar una política industrial coherente serán factores determinantes para que la industria siga siendo uno de los principales

motores de innovación, empleo y desarrollo económico.

En un mundo cada vez más tecnológico y competitivo, el futuro de la industria no dependerá solo de las máquinas, sino de la capacidad de las empresas y de la sociedad para formar el talento, impulsar la innovación y construir un modelo productivo más sostenible, resiliente y preparado para los desafíos del siglo XXI.

La industria del futuro ya está en marcha. El reto ahora es contar con la tecnología, el talento y la visión estratégica necesarios para liderarla.

La industria: pasado, presente y futuro (1995-2030)	
1995 — La industria como pilar económico	
La industria española representaba más del 21% del PIB. La producción se basaba principalmente en procesos mecánicos y automatización básica, con una digitalización todavía limitada. Sectores como la automoción, la metalurgia o la maquinaria industrial consolidaban su papel como motores exportadores.	
2000 — Globalización y deslocalización industrial	
La expansión del comercio internacional impulsa la deslocalización de parte de la producción hacia países con menores costes laborales. Las cadenas de suministro se globalizan y la competitividad se centra en la reducción de costes y la eficiencia operativa.	
2008 — Crisis financiera y reestructuración productiva	
La crisis económica obliga a muchas empresas industriales a reestructurar sus modelos de negocio. Se acelera la automatización y se introducen las primeras estrategias de digitalización en las plantas productivas.	
2011-2015 — Nace el concepto de Industria 4.0	
Alemania impulsa el término Industria 4.0, que introduce la digitalización de los procesos productivos mediante sensores, datos, robótica avanzada y sistemas ciberfísicos. Comienza la transición hacia fábricas inteligentes y conectadas.	
2020 — Pandemia y ruptura de las cadenas de suministro	
La crisis sanitaria global pone en evidencia la dependencia industrial de proveedores internacionales. Europa comienza a plantear estrategias de reindustrialización y autonomía estratégica en sectores críticos.	
2023-2025 — Digitalización y transición energética	
La industria acelera la adopción de tecnologías como inteligencia artificial, Internet de las Cosas, gemelos digitales y analítica avanzada. Al mismo tiempo, la presión regulatoria impulsa la descarbonización de procesos y la electrificación industrial.	
2026 — Inteligencia artificial industrial	
Los sistemas de IA comienzan a integrarse de forma generalizada en la planificación de la producción, el mantenimiento predictivo y la optimización energética. La automatización se combina con nuevas capacidades de análisis de datos en tiempo real.	
2030 — Industria sostenible, digital y resiliente	
Las estrategias industriales europeas apuntan a un modelo productivo más sostenible, digitalizado y autónomo. La industria del futuro se caracteriza por fábricas inteligentes, cadenas de suministro más cortas y una fuerte integración entre tecnología, talento humano e innovación.	

<https://toolbox.cogiti.es/>

COGITI TOOLBOX

El portal de gestión de licencias de software para colegiados

Software técnico para Ingenieros

Consulta nuestro catálogo 2026

Oferta Exclusiva COGITI

Haz que **factuone** trabaje por ti
Gestiona, simplifica y ahorra

20% de descuento

Plan Básico	14,99€ 11,99€/Mes
	179,88€ 143,88€/Año
1 usuario, 2 GB de almacenamiento, sistema verifactu.	
Plan Plus	29,99€ 23,99€/Mes
	359,88€ 287,88€/Año
10 usuarios, 4 GB de almacenamiento, 200 escaneos OCR y Gestión contable.	

EvolK Pruébalo gratis durante 14 días

progeCAD Professional

LA ALTERNATIVA CAD ¡oferta!

El Consejo General de Graduados en Ingeniería rama Industrial e Ingenieros Técnicos Industriales de España (COGITI) ya confía en progeCAD.

¿A QUÉ ESPERA PARA PROBARLO? INICIE LA PRUEBA GRATUITA DE 30 DÍAS.

10% Desde 351€*

*Precio sin impuestos

PACK COMPLETO dmELECT

67%

Instalaciones

- en Edificación
- en Urbanización
- Térmicas

P.V. 2.100€+IVA

690€ + IVA

PROMOCION especial dmELECT

¡No esperes más!
¡Esta Oferta es Por Tiempo Limitado!

GEATECH soft

-30%

PACK PROFESIONAL 11

3.906€ + IVA
~~P.V. 5.580€ + IVA~~

LUSOCAD

Disponibles Para Windows Apple

-25%

RIB Presto

¡Oferta!

Proyecto y dirección de obra

Paquete 1: Presupuestos y ofertas, personalizar informes, servicios.

~~1093€~~

¡Ahora! 983,70€

L.V.A no incluido

-10%

etap

¡Oferta exclusiva! -36%

AUTOCAD OEM

342€ + IVA

Incluye gratis un curso Caneco eLearning

<https://toolbox.cogiti.es/>

COGITI

A AutoCAD

AutoCAD® OEM es una versión personalizada y a medida de AutoCAD® que permite integrar herramientas de diseño brindando funcionalidades de CAD, a través del plugin Caneco Implantation.

20% Descuento Normas UNE

UNE AENOR

<https://toolbox.cogiti.es/>

COGITI
Consejo General de Colegios Oficiales de Graduados e Ingenieros Técnicos Industriales de España

Jordi Hereu Boher

Ministro de Industria y Turismo de España

“Sin perfiles técnicos y de ingeniería suficientes se ralentiza la innovación, disminuye la capacidad de absorción tecnológica y se dificulta la reindustrialización”

Mónica Ramírez

En pleno proceso de transformación industrial, España consolida el impulso de sectores estratégicos que están llamados a liderar el crecimiento en los próximos años, como la automoción eléctrica y conectada, las energías renovables, la industria química, el acero o los semiconductores. A ellos se suma la fortaleza de ramas tradicionales —como la alimentaria— que siguen siendo un pilar esencial del tejido productivo y del empleo.

Sin embargo, este dinamismo convive con importantes desafíos. La necesidad de reforzar la autonomía estratégica europea, avanzar en la descarbonización, acelerar la digitalización —especialmente mediante la inteligencia artificial— y, sobre todo, afrontar la escasez de talento técnico cualificado, marcarán el futuro inmediato del sector. En paralelo, el fortalecimiento de esa autonomía estratégica se ha convertido en una prioridad para la Unión Europea, con el objetivo de reducir dependencias en ámbitos críticos como la energía, las materias primas o la tecnología.

En este contexto se enmarca también la futura Ley de Industria y Autonomía Estratégica que prepara el Gobierno, una norma llamada a actualizar el marco regulatorio vigente desde 1992 y a sentar las bases de una industria más resiliente, sostenible y digital. Se trata de un instrumento clave para reforzar las capacidades productivas del país y alinear la industria española con las prioridades estratégicas europeas.

De todo ello nos habla el ministro de Industria y Turismo, Jordi Hereu Boher, a lo largo de esta entrevista



Jordi Hereu Boher

“España está en condiciones de convertirse en un nuevo gran hub industrial europeo, apoyado en su ecosistema productivo, en la llegada de inversiones y en la fortaleza del talento industrial del país”

concedida a Técnica Industrial, en la que desgrana los principales retos a los que se enfrenta el sector industrial.

¿En qué momento se encuentra el sector industrial en España?

España vive un verdadero renacimiento industrial. La evolución reciente demuestra que la industria

manufacturera está creciendo de manera sostenida: el Índice de Producción Industrial (IPI) cerró 2025 en el entorno del +4,5 % interanual. Además, la industria manufacturera cerró 2025 con un crecimiento interanual del 2,8 % de su valor añadido bruto en términos reales. Mientras, el empleo industrial superó en 2025, por primera vez en la historia de nuestro país, los 3 millones (3,07M) de ocupados, con un crecimiento interanual del 3,9 %. Por todo ello, considero que estamos recogiendo los frutos de la política industrial puesta en marcha a partir de 2020.

Además, España está en condiciones de convertirse en un nuevo gran “hub” industrial europeo, apoyado en su ecosistema productivo, en la llegada de inversiones y en la fortaleza del talento industrial del país.

Desde el Gobierno no nos conformamos y vamos a seguir trabajando tanto con empresarios y agentes sociales para seguir desplegando esta política industrial con capacidad para transformar nuestro país.

¿Cuáles diría que son los puntos más fuertes y los más débiles del sector, debido a la coyuntura actual?

Es evidente que España está creciendo a un ritmo sólido y los datos del PIB están ahí. Además, contamos con una gran capacidad de atracción de inversión, especialmente en sectores como la automoción, las renovables o la industria química y semiconductores. Todas estas fortalezas hay que situarlas en un entorno geopolítico tensionado, donde las condiciones comerciales cambian casi cada día. Por ello, es importante profundizar en nuestra

“Fortalecer la autonomía estratégica de la UE es imprescindible. Europa debe ganar muchos grados de autonomía estratégica para asegurar la competitividad y la resiliencia del continente”

autonomía estratégica y reducir en lo posible nuestra dependencia, a nivel europeo, de materias primas críticas.

En líneas generales, ¿cuáles son los principales retos y desafíos a los que se enfrenta el sector industrial?

Como decía antes, situaría como uno de los principales retos el aumento de la autonomía estratégica tanto a nivel español como europeo, reduciendo la dependencia en energía, industria y defensa. También es importante profundizar en la descarbonización industrial, tanto para favorecer la autonomía energética como para cumplir con los objetivos climáticos que nos hemos planteado. Es fundamental poner énfasis en la digitalización a gran escala, con especial aporte en la IA, la automatización y el uso intensivo de datos. No me olvido en la captación y retención del talento industrial, imprescindible para afrontar la reindustrialización. Por último, considero de gran importancia garantizar un entorno de inversión estable que permita a España seguir liderando el crecimiento industrial europeo.

¿Cómo se puede ganar “valor añadido europeo”? ¿Qué medidas se están llevando a cabo en este sentido?

La clave está en reforzar las capacidades industriales estratégicas dentro de Europa. Para ello, hay que impulsar sectores con alto valor tecnológico, como es la movilidad eléctrica, los chips, el hidrógeno o los materiales avanzados.

También está el tema de la financiación. Ahí debemos ir de la mano las administraciones con el sector privado, movilizándolo más fondos y hacerlo de manera accesible para las empresas, pymes y emprendedores. Papel importante debería jugar la creación de instrumentos específicos como el Fondo Europeo de Competitividad, que financie inversiones en sectores clave como el acero, el automóvil o el químico.

¿Es necesario, por tanto, fortalecer la autonomía estratégica de la UE?

Es imprescindible. La autonomía estratégica es una condición para garantizar que Europa mantenga decisiones soberanas en energía, industria y defensa. Europa debe ganar muchos grados de autonomía estratégica para asegurar la competitividad y la resiliencia del continente.

En su opinión, ¿qué dependencias son aceptables y cuáles son estratégicamente arriesgadas?

Es importante tener diversificadas nuestras fuentes de materias primas, creando sistemas de aprovisionamiento alternativos y de bajo riesgo político. Debemos cooperar de manera equilibrada en sectores industriales con estándares compartidos con otros socios comerciales.

Pero si hablamos de materias primas críticas, cuya volatilidad afecta a toda la cadena industrial, debemos ser cautelosos y estudiar con quién nos aliamos. Y con la guerra de Irán, estamos viendo que el sector petrolero es crucial para mantener unos precios adecuados.

En este sentido, ¿deben reforzarse las alianzas con socios fiables, diversificar suministros, y asegurar acceso a tecnología, materias primas y estándares?

Nosotros defendemos lo que llamo ‘estrategia dual’. Esto quiere decir que debemos mantener alianzas firmes con socios fiables, diversificar los proveedores e impulsar la producción europea de materias primas críticas y el desarrollo de tecnologías propias.

Así lo recogemos en la agenda europea de transformación industrial, que incluye nuevas herramien-

tas financieras y marcos regulatorios para reforzar cadenas de valor estratégicas.

¿Cuáles son los sectores estratégicos más destacados en la actualidad en nuestro país?

Todos los sectores son importantes y nos aportan una diversidad de industrialización que no hay que minusvalorar. Pero, evidentemente, hay sectores que ‘tiran’ más de la economía, como el de la automoción eléctrica y conectada, las energías renovables, la industria del acero, química y aluminio, y los semiconductores.

Pero quiero poner en valor aquí el sector del turismo. Aporta más de 13% del PIB nacional y desde la pandemia ha resurgido con fuerza en España, de tal manera que ya no es tan importante la cantidad de turistas extranjeros que recibimos, como la calidad y el gasto que aportan. Todo ello en un entorno de transformación hacia un turismo más sostenible y digital.

En fechas recientes defendió en el Consejo de Competitividad, celebrado en Bruselas, la integración del mercado interior y la creación de un Fondo Europeo de Competitividad con atención a las pymes. ¿Qué puede contarnos sobre ello?

Nosotros hemos defendido en Europa que el Fondo Europeo de Competitividad propuesto por la Comisión Europea para incentivar las inversiones industriales en la UE recoja instrumentos específicos para los distintos sectores, como los del acero, el automóvil o el químico.

Este fondo tiene como objetivo fundamental actuar de catalizador

“Hay sectores que ‘tiran’ más de la economía, como el de la automoción eléctrica y conectada, las energías renovables, la industria del acero, química y aluminio, y los semiconductores”

para paliar el déficit de inversión necesario para que Europa pueda cumplir sus aspiraciones en materia de competitividad, transición ecológica, seguridad y resiliencia.

Para alcanzar los objetivos en el ámbito de la política verde e industrial de Europa, se requieren inversiones específicas y movilizar capital suficiente, tanto por parte de los actores públicos como privados. Por este motivo, el Fondo Europeo de Competitividad pretende utilizar todos los instrumentos financieros de la Unión Europea disponibles, y prestar un apoyo más eficaz y específico a los sectores y proyectos clave.

Para ello, las empresas, sobre todo pymes y empresas emergentes, deben ser capaces de acceder a la financiación de manera sencilla y ágil, con los mínimos obstáculos administrativos.

En definitiva, debemos conseguir que el Fondo Europeo de Competitividad se convierta en un instrumento fundamental para hacer realidad las aspiraciones industriales y el liderazgo tecnológico de la Unión Europea.

También participó en el encuentro ministerial de Friends of Industry, grupo liderado por Francia, Alemania, España e Italia, donde se revisaron los avances de la Declaración

“Lo que nos da la experiencia es que tenemos que trabajar en formar especialistas en IA y automatización avanzada. Y también en ‘democratizar’ la aplicación de la IA, porque vemos que existen brechas de digitalización entre grandes compañías y pymes. Por último, hay que apostar por la ciberseguridad y la soberanía del dato”

de Berlín, centrada en ámbitos tan destacados como la soberanía industrial, el liderazgo tecnológico, la descarbonización, las materias primas críticas o la industria de Defensa. ¿Qué pasos se están llevando a cabo para conseguir los objetivos que se plantean?

Europa necesita una industria unida frente a la envergadura de las oportunidades. Juntos debemos proporcionar un marco y unos impulsos fiables para el crecimiento, la innovación y la competitividad. Por ello, es importante adoptar una serie de medidas que van desde la necesaria simplificación administrativa europea, hasta aplicar la IA a la industria, pasando por crear mercados líderes europeos, generando una demanda inicial segura de materiales básicos respetuosos con el clima, como el acero, el cemento y los productos químicos, visibilizando los esfuerzos de transformación en el mercado e incentivando nuevas capacidades descarbonizadas, manteniendo un equilibrio entre simplicidad, eficiencia económica y rentabilidad.

Uno de los puntos que se abordan en la Declaración de Berlín es la inteligencia artificial y su aplicación en la industria europea, ¿cuáles son los principales retos a los que se enfrentan las empresas en la aplicación de la IA en los procesos de producción industrial para impulsar la competitividad? ¿Cómo está siendo el grado de implantación?

La implantación crece con rapidez, especialmente en automoción, logística, manufactura avanzada y energía. Proyectos financiados por el próximo Fondo de Competitividad o por el Pacto de Industria Limpia europeo impulsarán aún más esta transición.

Lo que nos da la experiencia es que tenemos que trabajar en formar especialistas en IA y automatización avanzada. Y también en ‘democratizar’ la aplicación de la IA, porque vemos que existen brechas de digitalización entre grandes compañías y pymes. Por último, hay que apostar por la ciberseguridad y la soberanía del dato.

Uno de los principales desafíos a los que se enfrenta la industria

“Entre los proyectos prioritarios destacaría la aprobación de la nueva Ley de Industria y Autonomía Estratégica, que sustituirá a la de 1992 y permitirá afrontar los retos de autonomía estratégica, digitalización y descarbonización”

española es la escasez de personal cualificado, especialmente en perfiles técnicos e ingenieros especializados. Esta carencia puede limitar la capacidad productiva, frenar la innovación y dificultar la incorporación de nuevas tecnologías. ¿Considera que la falta de personal cualificado está afectando de forma significativa al desarrollo y competitividad de las empresas industriales en España? ¿Qué medidas se pueden tomar al respecto?

Es evidente que sin perfiles técnicos y de ingeniería suficientes se ralentiza la innovación, disminuye la capacidad de absorción tecnológica y se dificulta la reindustrialización. Por eso ya estamos trabajando en el refuerzo de la FP industrial avanzada, en programas de recualificación y capacitación digital, la aplicación de incentivos a la incorporación de jóvenes a carreras STEM, o la atracción de talento internacional especializado.

¿Cuáles son los proyectos más destacados que tiene por delante el Ministerio de Industria y Turismo?

Entre los proyectos prioritarios destacaría la aprobación de la nueva Ley de Industria y Autonomía Estratégica, que sustituirá a la de 1992 y permitirá afrontar los retos de autonomía estratégica, digitalización y descarbonización.

Por otro lado, seguimos apoyando a los sectores a través de los PERTE industriales, especialmente centrados en descarbonización y movilidad eléctrica, sin olvidar los programas de apoyo a la industria de defensa como vector tecnológico e industrial.

Manifiesto por la Innovación Industrial

21 de abril – Día Mundial de la Creatividad y la Innovación



“Desde la Fundación Técnica Industrial y el COGITI se asume un compromiso claro: promover la cultura de la innovación, fomentar la formación continua, generar espacios de conexión entre actores del ecosistema y visibilizar el impacto de la ingeniería en la sociedad”

nológicos, universidades y profesionales. Solo a través de ecosistemas colaborativos será posible acelerar el impacto de la innovación.

Asimismo, el liderazgo adquiere una nueva dimensión. Los ingenieros e ingenieras no solo deben aportar soluciones técnicas, sino también actuar como agentes integradores capaces de conectar estrategia y ejecución, tecnología y negocio, innovación y valor social.

Apostar por la innovación industrial es, en definitiva, apostar por la competitividad sostenible. Las organizaciones que no integren la innovación en su ADN comprometen su capacidad de adaptación y su futuro. En cambio, aquellas que la impulsan de forma sistemática fortalecen su posicionamiento y generan valor a largo plazo.

Desde la Fundación Técnica Industrial y el COGITI se asume un compromiso claro: promover la cultura de la innovación, fomentar la formación continua, generar espacios de conexión entre actores del ecosistema y visibilizar el impacto de la ingeniería en la sociedad. Todo ello con un objetivo compartido: construir una industria más sólida, sostenible y preparada para los desafíos del mañana.

Este manifiesto es también un llamamiento. A empresas, instituciones y profesionales: innovar no es solo crear, es construir futuro. Hoy, más que nunca, la innovación industrial es la palanca que conecta talento, tecnología y propósito.

En un contexto global marcado por la incertidumbre, la aceleración tecnológica y la urgencia climática, la innovación industrial ha dejado de ser una opción para convertirse en una responsabilidad estratégica. La industria, como columna vertebral del desarrollo económico y social, está llamada a liderar una transformación que ya no puede esperar: la transición hacia modelos más sostenibles, digitales y resilientes.

Desde la Fundación Técnica Industrial y el Consejo General de la Ingeniería Técnica Industrial de España (COGITI), se reivindica el papel esencial de la ingeniería

“Apostar por la innovación industrial es, en definitiva, apostar por la competitividad sostenible. Las organizaciones que no integren la innovación en su ADN comprometen su capacidad de adaptación y su futuro”

como motor de este cambio. En el centro de esta transformación están las personas: ingenieros e ingenieras capaces de integrar conocimiento técnico, visión estratégica y compromiso social.

Innovar en el ámbito industrial implica mucho más que incorporar nuevas tecnologías. Supone repensar procesos, rediseñar modelos de negocio y optimizar el uso de los recursos. Es avanzar hacia una industria más eficiente, conectada y respetuosa con el entorno. La transformación verde y digital no son caminos paralelos, sino dos dimensiones de una misma evolución que redefine la competitividad.

Pero la innovación también es una cuestión de propósito. La industria del siglo XXI debe asumir un rol activo en la respuesta a los grandes desafíos globales: la descarbonización, la economía circular, la seguridad energética y la cohesión social. Innovar es, en este sentido, comprometerse con un futuro que equilibre progreso económico y bienestar colectivo.

En este escenario, la colaboración se convierte en un elemento clave. La complejidad de los retos actuales exige superar visiones aisladas y fomentar alianzas entre empresas, administraciones, centros tec-

La doble transición: ¿Es la tecnología digital una clave o un riesgo para un futuro verde?

Por Zora Kovacic, investigadora Ramón y Cajal, Universitat Oberta de Catalunya

Al despertar en 2050, podrías empezar el día mirando por la ventana, con tu dispositivo de realidad aumentada mostrándote datos de contaminación en tiempo real. Luego, desayunas algo que compraste porque te convenció su puntuación ambiental, claramente visible en el momento de la compra gracias a los datos digitales.

Los agricultores producen los alimentos con un uso eficiente de los recursos, porque saben exactamente qué cultivo plantar y cuándo; tienen acceso a macrodatos gracias a plataformas de código abierto que recopilan información ambiental pública, previsiones meteorológicas o datos a través de sensores en las explotaciones.

Antes de encender la lavadora, compruebas el precio de la electricidad. Para incentivar el consumo en épocas de abundancia de energía renovable, los precios varían, y la gamificación convierte la búsqueda de buenos horarios en una experiencia divertida. No solo consumes, sino que también produces electricidad gracias a los paneles solares instalados en tu tejado, que está conectado a una microrred en malla." (Comisión Europea 2022).

Este escenario no es discurso de venta de una startup, sino la visión de la "Twin Transition" (la doble transición verde y digital) que promueve la Comisión Europea, como parte de la estrategia de crecimiento para la década de 2020.

¿Qué es la "Twin Transition"?

La digitalización se busca como forma de fomentar la competitividad de Europa y la sostenibilidad es uno de los puntos centrales del Pacto Verde Europeo, donde Europa busca crear su marca distintiva respecto a los competidores. Pero la idea de juntar las transiciones verde y digital va más allá de querer que las dos transiciones sucedan a la vez. La Comisión Europea habla de "transiciones gemelas", que van de la mano. El concepto se basa en la idea de que

la transformación digital es un "facilitador esencial" (Comisión Europea 2019) para alcanzar la transición hacia la sostenibilidad.

Como algunos científicos apuntan (Kloppenburger *et al.* 2022), usar las tecnologías digitales para resolver problemas ambientales tiene un impacto no siempre positivo en la gobernanza ambiental. Por un lado, la digitalización lleva a una forma digital de "ver" y gestionar el medioambiente. Eso significa que problemas que no sean fácilmente codificables en formato digital (como la calidad de los ecosistemas, punto focal de la Ley de la Naturaleza, o el estado ecológico de los ríos, enfoque de la Directiva Marco del agua) puedan ser invisibilizados. La doble transición conlleva una participación creciente de actores privados que proveen tecnología y datos en la formulación de políticas ambientales. Mediante el uso de macrodatos (Big Data), sensores y algoritmos, se promueve un cambio hacia una toma de decisiones automatizada y basada en datos, que hace de la optimización la principal forma de intervención política.

El tecno-optimismo bajo la lupa

A pesar de las promesas de soluciones "win-win" (donde todos ganan), la misma Comisión Europea identifica varios riesgos para la sostenibilidad derivados de la digitalización:

- Creciente demanda energética: los centros de datos y las criptomonedas consumen cantidades ingentes de electricidad.
- Efecto rebote: las mejoras en la eficiencia energética hacen que las tecnologías sean más económicas y accesibles, permitiendo más aplicaciones y más usuarios. A largo plazo, acabamos consumiendo más energía, anulando el ahorro inicial.
- Dependencia de materiales críticos: la fabricación de dispositivos

digitales requiere litio y cobalto. Una mayor dependencia de las importaciones de materiales críticos y escasos puede generar nuevas tensiones geopolíticas.

- Residuos electrónicos: las nuevas tecnologías requieren la sustitución de equipos antiguos.

Resumiendo, la digitalización de sectores de gran impacto para las políticas verdes, como la agricultura y la energía, integra perspectivas y procesos de gobernanza específicos en torno a la naturaleza y crea una comprensión tecnológica de cómo enmarcar y gestionar los problemas ambientales. Este paradigma puede cambiar significativamente la gobernanza ambiental, pero no está claro si mejorará la sostenibilidad a largo plazo (es decir, social, económica y ambiental) de sectores económicos clave.

En términos sencillos, la gobernanza ambiental no es solo el conjunto de leyes ambientales, sino el proceso mediante el cual los gobiernos, las empresas y los ciudadanos deciden cómo gestionar los recursos naturales. A través de la gobernanza, se debate cómo protegemos el agua, el aire o la energía, y qué intereses (económicos, sociales o técnicos) deben tener prioridad.

Al introducir la digitalización, estas negociaciones cambian: las decisiones empiezan a depender también de empresas tecnológicas, de las posibilidades definidas por algoritmos y datos, y de lógicas diferentes a las que han definido hasta ahora la gobernanza ambiental. La gobernanza ambiental viene históricamente de la voluntad de proteger el medio ambiente, conservar los recursos naturales y se basa en buscar que la actividad económica respete los límites planetarios. La digitalización trae consigo la lógica de la innovación, del progreso y del crecimiento económico. Esa lógica puede entrar en tensión con la protección de los recursos naturales.

gía. El caso del Programa Nacional de Algoritmos Verdes es un ejemplo interesante: la tensión que emerge entre la digitalización y la transición energética, debida al consumo energético de la misma digitalización, se resuelve auspiciando el uso de "algoritmos verdes", a saber, herramientas digitales que se alimenten de energía renovable. Esta paradoja advierte sobre el "olvido de la materialidad", señalando que la infraestructura física necesaria para la Inteligencia Artificial tiene su propia huella ecológica que rara vez se contabiliza. Además, la búsqueda de soluciones técnicas hace que la gobernanza ambiental se redireccione, en el ejemplo citado, hacia la gobernanza de los algoritmos, con el riesgo de que problemas

ambientales sin visibilidad digital pasen a segundo lugar.

La digitalización tiene muchas aplicaciones interesantes, pero la experiencia preliminar de la implementación de la doble transición muestra que forzar el connubio entre digitalización y sostenibilidad puede llevar a resultados no deseables. Mi recomendación es evitar lo que Langdon Winner definió como el "sonambulismo tecnológico" y usar las tecnologías digitales con medida.

Referencias

Comisión Europea, 2019. El Pacto Verde Europeo. COM/2019/640 final.
Comisión Europea, 2022. Strategic Foresight Report: Twinning the green and digital transitions

in the new geopolitical context. COM/2022/289 final.

García Casañas, C., & Kovacic, Z. (2025). Implementing the twin transitions: A critical perspective from the Spanish energy sector. *Environmental Science & Policy*, 164, 104012.
Kloppenborg S, Gupta A, Kruk SRL, et al. (2022) Scrutinizing environmental governance in a digital age: New ways of seeing, participating, and intervening. *One Earth* 5: 232–241.
Yáñez Serrano, P., & Ramos, L. A. (2025). "In agriculture 1+ 1 does not equal 2": re-configurations and frictions around the implementation of the digital farm book. *Environmental Science & Policy*, 171, 104128.



Zora Kovacic pronunció la conferencia "La transformación verde y digital en la UE" en el I Congreso Nacional de Ingeniería, organizado por COGITI y COGITIVAL, el pasado 12 de diciembre en Valencia.



MÁSTER UNIVERSITARIO PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES

Inicia tu proceso de admisión y
revolucionas tu carrera en solo 10 meses
con nuestro máster online.

MODALIDAD

Online

IDIOMA

Español

CRÉDITOS

60 ECTS

HORARIO

Flexible

PRÓXIMA EDICIÓN

28 Mayo 2026

1

Rellena el formulario que encontrarás [aquí](#) para que podamos darte de alta en nuestro portal del candidato.

2

Una vez que recibas el correo de alta en el Portal del Candidato, deberás subir la documentación requerida para avanzar en tu proceso.

3

Una vez admitido, deberás realizar el pago de la Reserva de Plaza. Los Colegiados de los Colegios Oficiales de Graduados e Ingenieros Técnicos Industriales cuentan con un **15% de descuento** sobre los derechos de matrícula.*

TASAS:

Para colegiados de los Colegios Oficiales de Graduados e Ingenieros Técnicos Industriales

Precio total del máster: ~~2.950€*~~

**Precio total del máster con descuento del 15%:
2.581€***



DR. EDUARDO SIMAL CARRETERO

Director del Máster
Universitario en PRL

PLAN DE PAGOS:

- Reserva de plaza: 490€ (incluida en el precio total).
- Importe restante a pagar
 - 6 cuotas sin intereses de 349€
 - O un único pago de 2.039€

BECA DE ESPECIALIDAD

*Si cuentas con un título de especialidad como Técnico Superior en PRL, se aplicaría la beca de especialidad. En este caso el precio total del máster es de 1.870€.

Información de contacto:

+34 91 709 14 32 ext. 1898 +34 669 201 269
master.fdeg@ufv.es
Ctra: Pozuelo-Majadahonda, Km. 1,800 28223
Pozuelo de Alarcón (Madrid)

SOLICITA TU
PLAZA



José María Felguera Garrido

CEO, Partner & Strategy manager de SCHUMPIT

“La IA generativa no elimina la esencia de la profesión, la amplifica, pero exige responsabilidad, formación continua y criterio”

Mónica Ramírez

La irrupción de la inteligencia artificial generativa está comenzando a transformar la práctica de la ingeniería y a replantear el papel del profesional técnico en el proceso de diseño, análisis y toma de decisiones. Con motivo del I Congreso Nacional de Ingeniería, celebrado el pasado mes de diciembre, José María Felguera Garrido, CEO de SCHUMPIT, abordó en su ponencia “Inteligencia artificial generativa en la ingeniería” las oportunidades y retos que esta tecnología plantea para el sector industrial. En esta entrevista analiza el impacto real de la IA en las pymes, la evolución de las competencias profesionales y el papel que los ingenieros deberán asumir para integrar estas herramientas sin renunciar al criterio técnico que define la profesión.

En su artículo publicado en el número anterior de Técnica Industrial, titulado “La inteligencia artificial generativa en la Ingeniería Técnica Industrial: innovación, tendencias y el nuevo paradigma tecnológico”, usted abordaba la Inteligencia Artificial desde una perspectiva aplicada. ¿En qué punto real cree que nos encontramos actualmente?

Nos encontramos en una fase intermedia entre la experimentación generalizada a nivel de usuario por los técnicos más curiosos, y la integración estructural en los procesos de ingeniería de aquellos que han entendido su gran potencial. La inteligencia artificial generativa ya está siendo utilizada por muchos profesionales para tareas concretas: ayuda a la redacción de documentación técnica, análisis preliminar de datos, estructuración de información o apoyo en la planificación de proyectos. Sin embargo, todavía no forma parte de los sistemas críticos de diseño o cálculo en la mayoría de las organizaciones.



José María Felguera Garrido

“Los sectores mejor posicionados son aquellos que ya cuentan con un alto nivel de digitalización y con sistemas industriales capaces de generar datos estructurados de manera continua”

Podría decirse que ahora estamos en una etapa de ingeniería asistida, donde la IA comienza a automatizar tareas repetitivas de bajo valor añadido y a mejorar la eficiencia operativa, pero donde el núcleo del razonamiento técnico y la responsabilidad profesional siguen estando plenamente en manos del ingeniero. El verdadero salto se producirá cuando estas herramientas se integren de manera natural en la facilitación de la información compleja, con conclusiones previas para que los ingenieros e ingenieras puedan tener

un mejor escenario para emitir su juicio técnico.

¿Estamos sobredimensionando las capacidades actuales de la IA o, por el contrario, infravalorando su impacto a medio plazo?

En cierto modo están ocurriendo ambas cosas al mismo tiempo. En el corto plazo, existe una tendencia a sobreestimar las capacidades actuales de la IA, fruto de la ingente información sobre lo que puede llegar a realizar, pero que a día de hoy todavía no se ha conseguido de una manera real, especialmente cuando se interpreta como un sistema capaz de sustituir el razonamiento técnico humano. Esto no ocurre y los modelos actuales siguen siendo probabilísticos, y requieren supervisión experta para garantizar la fiabilidad de sus resultados.

Sin embargo, a medio plazo es probable que estemos infravalorando su impacto real. La verdadera transformación no vendrá solo de la automatización de tareas, sino de la capacidad de acceder de forma conversacional a grandes volúmenes de información técnica y de modelizar escenarios complejos casi en tiempo real. En ese contexto, la IA no sustituye al ingeniero, pero amplía significativamente su capacidad de análisis y toma de decisiones.

¿Qué sectores industriales están mejor preparados para integrar soluciones basadas en IA?

Los sectores mejor posicionados son aquellos que ya cuentan con un alto nivel de digitalización y con sistemas industriales capaces de generar datos estructurados de manera continua. En particular, industrias como la automoción, la aeronáutica, la energía, la química o las grandes ingenierías de infraestructuras llevan años trabajando con plataformas de simulación, sistemas MES, ERP, BIM o entornos de diseño

digital que facilitan la incorporación de soluciones de inteligencia artificial.

En estos entornos, la IA puede integrarse con relativa facilidad para optimizar procesos, anticipar incidencias o mejorar la toma de decisiones operativas. Por el contrario, los sectores con menor digitalización previa encontrarán mayores dificultades iniciales, ya que la inteligencia artificial depende en gran medida de la disponibilidad y calidad de los datos.

En el caso de la industria española, ¿existe una brecha significativa respecto a otros países europeos en la adopción de tecnologías inteligentes?

Existe cierta brecha, aunque probablemente no tan grande como a veces se percibe. Las grandes empresas industriales españolas están alineadas con los estándares tecnológicos europeos y participan activamente en procesos de digitalización avanzada. Donde sí se observa una mayor diferencia es en el tejido de pequeñas y medianas empresas, que constituye la base de la industria española.

En muchas de estas organizaciones la digitalización previa todavía es limitada, lo que dificulta una adopción rápida de tecnologías basadas en datos. Sin embargo, la evolución reciente de las herramientas de inteligencia artificial generativa —mucho más accesibles y menos dependientes de grandes infraestructuras tecnológicas— abre una oportunidad importante para que este tipo de empresas reduzcan esa distancia en los próximos años.

¿Qué papel juegan las pymes industriales? ¿Tienen acceso real a estas tecnologías?

Las pymes son clave, porque representan la base del ecosistema industrial. Son el 99,8 % del tejido empresarial de España, por consiguiente, cualquier innovación que no vaya enfocada a su mejora, no tiene recorrido. Afortunadamente, cuando hablamos de las soluciones actuales de la Inteligencia Artificial, sí que podemos asegurar que tienen una aplicación práctica en la PYME, con independencia del sector.

En cuanto al acceso tecnológico, a día de hoy podemos asegurar que sí se tiene. Las plataformas de IA generativa son asequibles y no requieren infraestructuras complejas. El verda-

dero obstáculo no es el acceso, sino la falta de metodología, el desconocimiento de casos de uso concretos y el temor a la seguridad de datos.

La pyme que incorpore IA en redacción técnica, gestión documental o simulación preliminar de escenarios complejos para la toma de decisiones, ya puede obtener mejoras significativas sin grandes inversiones.

¿La IA sustituirá empleos industriales o transformará competencias?

Transformará competencias mucho más que destruirá empleo cualificado. Las tareas repetitivas, administrativas o de documentación tenderán a automatizarse. Pero el juicio técnico, la validación normativa, la interpretación contextual y la responsabilidad profesional seguirán siendo humanas.

El perfil que desaparecerá es el que se limite a ejecutar procesos repetitivos sin aportar criterio. El que combine conocimiento técnico con dominio de herramientas inteligentes tendrá mayor empleabilidad.

Por otro lado, el Ingeniero tiene en esta tecnología la oportunidad de automatizar las tareas que le consumen tiempo, pero no aportan un valor apreciado por los clientes o la sociedad, y, de esta manera, aportar un valor mayor, tangible y visible, en definitiva, de alto impacto, que sus clientes apreciarán al instante.

¿Qué perfiles técnicos serán más demandados en los próximos años?

A día de hoy podemos decir que veremos crecer la demanda de ingenieros con competencias en análisis de datos. Nosotros ya los llevamos en nuestro ADN, pero ahora deberemos poder sacar todo el jugo a la ingente cantidad de datos disponibles para emitir un juicio y un dictamen técnico todavía más preciso.

También de especialistas en integración IA-sistemas industriales. Implementar esta tecnología en los actuales entornos industriales es un reto, y sólo desde el conocimiento profundo de los procesos industriales seremos capaces de hacer que la inversión en IA sea rentable. Aquí el ingeniero es fundamental para asegurar que la aplicación de esta tecnología se traduce en un retorno de la inversión asegurado, y en un espacio temporal asumible para la empresa o negocio.

Perfiles híbridos técnico-digitales. Quizás este es un punto en el que ya

se está notando la demanda. No sólo se debe conocer la ciencia de nuestra profesión, sino toda la tecnología actual que permita implementarla. El salto del conocimiento teórico a la práctica será cada vez más fácil, como podemos comprobar cuando conversamos con las plataformas de inteligencia artificial, pero es necesario conocer todo su potencial para poder hacer un uso realista y tangible en el desarrollo de la profesión.

Responsables de gobernanza algorítmica y “compliance” tecnológico. Este es un perfil muy transversal en todas las profesiones, pero los Ingenieros debemos ser capaces de determinar cómo se escala esta tecnología y qué repercusiones tiene al utilizar los datos disponibles de nuestros clientes o empresas. Debemos tener la capacidad de saber cómo se debe escalar el uso de la IA y cómo protegernos ante fugas de datos sensibles.

Todos los ingenieros debemos aumentar nuestras capacidades con la formación y adaptación en estas disciplinas. Por fortuna, nuestra formación y aptitudes nos ha preparado para poder asimilarlo sin un esfuerzo significativo.

¿Qué competencias debería empezar a adquirir hoy día un ingeniero de la rama industrial para seguir siendo competitivo en un entorno dominado por sistemas inteligentes?

Lo resumiría en al menos cuatro: 1) Alfabetización en IA generativa (uso

“Las grandes empresas industriales españolas están alineadas con los estándares tecnológicos europeos y participan activamente en procesos de digitalización avanzada.

Donde sí se observa una mayor diferencia es en el tejido de pequeñas y medianas empresas, que constituye la base de la industria española”

avanzado, no superficial). El ingeniero industrial debe conocer a fondo el funcionamiento de las aplicaciones y riesgos de la IA generativa. No basta con usar herramientas: se requiere comprender resultados, detectar sesgos y aplicar criterios éticos y normativos. Estas habilidades permiten aprovechar la IA de manera responsable y aportar valor real en el entorno profesional.

2) Comprensión básica de modelos de datos y lógica algorítmica. Debemos entender cada solución de IA, para qué está concebida y diseñada. Esto es fundamental para dar credibilidad a las respuestas o Ouputs que nos transcriba.

3) Gestión ética y normativa de sistemas inteligentes. Conocer dónde están trabajando nuestros datos y bajo qué criterios utiliza nuestros datos la plataforma o desarrollo en IA, nos permitirá asegurar que su uso es responsable y sigue los criterios establecidos por la UE.

4) Capacidad de validación crítica de resultados generados. Fundamental. Toda respuesta de la IA deber ser validada por el ingeniero. Debemos seguir con nuestro juicio crítico como base para un uso responsable y de valor de esta tecnología.

No se trata de programar redes neuronales, sino de saber trabajar con ellas con criterio técnico.

Y como contrapartida, ¿podría producirse una pérdida progresiva de competencias técnicas básicas si la IA asume parte del razonamiento?

Sí, existe riesgo de que los ingenieros pierdan competencias básicas en el ejercicio de su profesión si se produce una dependencia excesiva de la inteligencia artificial. Cuando un ingeniero delega de

“La historia de la ingeniería siempre ha sido la historia de la adaptación tecnológica. El ingeniero que decida comprender y dominar estas herramientas seguirá siendo imprescindible en un entorno cada vez más inteligente”

forma sistemática el razonamiento preliminar en sistemas de IA sin comprender en profundidad los fundamentos físicos subyacentes, se corre el peligro de erosionar su capacidad analítica. Este fenómeno no es nuevo; ya se observó en el pasado con la introducción de herramientas de cálculo automatizado, que, aunque agilizaron ciertos procesos, también incentivaron una menor dedicación al entendimiento de los principios fundamentales y de las respuestas y conclusiones de cálculo. Este razonamiento acrítico debe evitarse y seguir con la actitud crítica ante sus respuestas.

Por tanto, la clave para evitar esta pérdida de competencias reside en mantener los fundamentos físicos y matemáticos de la ingeniería. La inteligencia artificial debe concebirse como un acelerador de los procesos y una herramienta de apoyo, no como un sustituto del pensamiento crítico y del conocimiento técnico esencial del ingeniero.

El “generative design” permite explorar miles de combinaciones en segundos. ¿Existe el riesgo de que el ingeniero deje de comprender profundamente las soluciones que implementa?

Ese riesgo es real si no se exige trazabilidad. El generative design explora miles de combinaciones, pero el ingeniero debe comprender las variables de entrada, los criterios de optimización y las restricciones impuestas. Si no entiende la función objetivo ni los límites físicos del sistema, la solución puede ser formalmente óptima pero conceptualmente inadecuada.

Estos sistemas optimizan matemáticamente una función objetivo dentro de unas restricciones definidas por el propio profesional; si esas hipótesis están incompletas o mal planteadas, el resultado puede ser formalmente óptimo, pero técnicamente inadecuado en condiciones reales. Por ello, el ingeniero debe mantener el control sobre las variables, comprender qué se está optimizando y validar posteriormente la solución con criterios clásicos de cálculo y normativa. La herramienta amplía la capacidad creativa, pero la responsabilidad y la comprensión profunda siguen siendo humanas.

Usted plantea una cuestión crucial: ¿quién firma un diseño generado parcialmente por IA? ¿Debería exigirse declarar explícitamente el uso de IA en

memorias técnicas o proyectos visados?

La responsabilidad sigue siendo del profesional firmante. Desde un punto de vista jurídico actual, la IA es una herramienta. La firma implica asumir la validación completa del contenido.

En el futuro, podría establecerse la obligación de declarar el uso de sistemas de IA en proyectos visados, especialmente en ámbitos críticos. No como desconfianza, sino como transparencia técnica y trazabilidad.

¿Estamos ante una herramienta o ante una nueva forma de pensar la ingeniería?

Estamos ante ambas cosas, pero en fases distintas. En el corto plazo, la IA generativa actúa principalmente como una herramienta de automatización inteligente: elimina tareas repetitivas de bajo valor añadido —redacción documental, estructuración de informes, análisis preliminares, organización de datos— y libera tiempo del ingeniero para dedicarse a actividades de mayor criterio técnico.

Sin embargo, a medio plazo el cambio es mucho más profundo. La integración conversacional con múltiples fuentes de datos —BIM, ERP, históricos de mantenimiento, normativa, simulaciones— permitirá modelizar escenarios complejos de forma inmediata y dinámica. El ingeniero no solo automatizará procesos, sino que ampliará su capacidad de análisis al poder explorar alternativas, simular impactos y tomar decisiones informadas en tiempo real. En ese punto, la IA deja de ser únicamente una herramienta operativa para convertirse en una nueva forma de pensar y practicar la ingeniería: más exploratoria, más integrada y cognitivamente aumentada.

Y finalmente, ¿qué mensaje trasladaría a los ingenieros que observan este cambio con incertidumbre?

Les diría que la historia de la ingeniería siempre ha sido la historia de la adaptación tecnológica: desde el cálculo manual al CAD, del plano físico al BIM, del control analógico al digital. La IA generativa no elimina la esencia de la profesión; la amplifica. Pero exige responsabilidad, formación continua y criterio. La incertidumbre es legítima. La pasividad no lo es.

El ingeniero que decida comprender y dominar estas herramientas seguirá siendo imprescindible en un entorno cada vez más inteligente.

Seguro Complementario **Mupiti Accidentes**

No puedes
poner la vida
en pausa



pero
sí puedes
protegerte por
20 euros
¡AL AÑO!

Mupiti Accidentes es el seguro diseñado para ser tu primera opción de cobertura básica para tus familiares en caso de fallecimiento por accidente, o para ti en caso de incapacidad por accidente. Por una mínima cuota al alcance de cualquier bolsillo, puedes disfrutar de la garantía y tranquilidad de reducir las consecuencias que un accidente pueda tener para ti o los tuyos.

Riesgos cubiertos	Cobertura básica	Cobertura doble
Fallecimiento por accidente	21.000€	42.000€
Incapacidad permanente absoluta por accidente	36.000€	72.000€
Incapacidad permanente parcial por accidente	Hasta 18.000€	Hasta 36.000€
Incapacidad permanente total por accidente	18.000€	36.000€
Prima anual	20,11€	40,22€

**EL SEGURO DE ACCIDENTES
AL ALCANCE DE TODOS**

Infórmate en el teléfono
695 448 517

También en
maria.correa@mupiti.com
www.mupiti.com



Susana Pascual Madrigal

CEO y fundadora de PixelsHub

“La tecnología avanza más rápido que la capacidad de las organizaciones para absorberla”

Mónica Ramírez

La transformación tecnológica de la industria no depende únicamente de las herramientas digitales, sino de la capacidad de las organizaciones para integrar la innovación con las personas que deben aplicarla. Bajo esta premisa, Susana Pascual, ingeniera técnica industrial, emprendedora y CEO de PixelsHub, participó en el I Congreso Nacional de Ingeniería, el pasado mes de diciembre, con la ponencia “Digital Decode: Descifrando el proceso de la decodificación”, en la que abordó cómo traducir la complejidad tecnológica en valor real para las empresas y sus equipos. En esta entrevista reflexiona sobre liderazgo tecnológico, innovación aplicada, el papel integrador de la ingeniería y la importancia de impulsar vocaciones STEAM en las nuevas generaciones.

El pasado mes de diciembre participó en el I Congreso Nacional de Ingeniería, organizado por el Consejo General de la Ingeniería Técnica Industrial de España (COGITI) y COGITI Valencia, con una ponencia titulada “Digital Decode: Descifrando el proceso de la decodificación”. ¿Cuál fue el principal enfoque y mensaje que quiso transmitir? El principal mensaje que quise transmitir con Digital Decode es que ninguna transformación —digital, industrial o estratégica— es posible si no ponemos a las personas en el centro. Solemos hablar mucho de tecnología, de herramientas, de procesos, pero pocas veces nos detenemos a “decodificar” cómo las personas entienden, asimilan y se relacionan con esos cambios.

Desde mi experiencia como ingeniera y emprendedora, he comprobado que el verdadero reto no es tecnológico, sino humano: cómo acompañamos a los equipos, cómo generamos confianza, cómo traducimos la complejidad técnica en algo comprensible, útil y accionable. Decode es precisamente



Susana Pascual (fotografía de Marta Martín Heres)

“Muchas empresas quieren innovar, pero no siempre saben cómo aplicar la tecnología a problemas concretos de negocio, formación o seguridad”

eso: traducir, conectar y alinear tecnología, estrategia y personas para que el cambio ocurra de verdad.

Ingeniera técnica industrial por la Universidad de Oviedo, ¿cómo ha sido su desarrollo profesional hasta ahora?

Mi desarrollo profesional es un buen ejemplo de la transversalidad y versatilidad de la ingeniería técnica industrial. La Universidad de Oviedo me dio una base sólida, rigurosa y muy práctica, que me ha permitido moverme con naturalidad entre sectores, tecnologías y modelos de negocio muy distintos.

Comencé vinculada a proyectos tecnológicos y, con el tiempo, fui orientando mi carrera desde la investigación hacia la innovación aplicada, lo que dio pie a la constitución de PixelsHub, una

boutique IT especializada en Realidad Extendida (XR) que trabaja principalmente en los sectores de la industria y la defensa. A partir de ahí, a medida que hemos ido sumando años a la empresa, he tenido que ir diversificando mi trayectoria y competencias: desde la ingeniería más técnica hasta la gestión empresarial, la estrategia, la divulgación y la dinamización de ecosistemas profesionales.

Creo firmemente que la ingeniería técnica industrial no te encierra en un único camino; al contrario, te abre muchos, y eso es algo que deberíamos poner mucho más en valor de cara a las nuevas generaciones.

En la actualidad es CEO, además de fundadora y socia mayoritaria, de la empresa PixelsHub SL, centrada en soluciones de Realidad Extendida XR para industria, energía, oil&gas y defensa principalmente, ¿cuáles son las principales necesidades que detecta en las empresas, a nivel general? ¿Y las carencias más destacadas?

Pese a que somos una micropyme, la realidad es que el “core” tan tecnológico e innovador de nuestra actividad nos ha permitido tener acceso a un gran número de empresas, con un volumen mayoritario de multinacionales y grandes compañías. Y en este acercamiento, y pese a lo que de primeras pueda parecer, lo que hemos visto es que la realidad empresarial de estas empresas no difiere tanto de las que podamos tener cualquier otra.

A nivel general, detecto tres grandes necesidades. En primer lugar, traducir la tecnología a valor real: muchas empresas quieren innovar, pero no siempre saben cómo aplicar la tecnología a problemas concretos de negocio, formación o seguridad. En segundo lugar, gestión del cambio y capacitación: la tecnología avanza más rápido que la capacidad de las organizaciones para absorberla. Y, en tercer lugar, cohe-

sión: más allá de diseñar un buen plan estratégico -fundamental-, el verdadero reto está en conseguir que la estrategia sea viva y que además se ejecute en toda la organización, asegurando alineación, compromiso y eficiencia en la consecución de objetivos.

Las carencias más habituales tienen que ver con la falta de visión transversal y con la escasa conexión entre áreas técnicas, dirección y personas. Ahí es donde la ingeniería, y en particular la ingeniería técnica industrial, juega un papel clave como elemento integrador.

En 2024 fue seleccionada como una de las 5 finalistas nacionales del Premio Talgo a la Mujer Excelente en la Ingeniería, y anteriormente, en 2020, fue nombrada como una de las mujeres emprendedoras de referencia en España por el diario “El Referente”, entre otros reconocimientos obtenidos a lo largo de los últimos años, ¿qué suponen para usted este tipo de distinciones?

Los recibo con gratitud y también con mucha responsabilidad. Más allá del reconocimiento personal, los entiendo como una oportunidad para visibilizar referentes femeninos en la ingeniería y, en general, en torno al rol de cualquier emprendedor, algo que sigue siendo necesario.

Si mi trayectoria sirve para que una joven se plantee estudiar ingeniería, o para que una profesional se anime a dar un paso más en su carrera, o incluso emprender, entonces estos reconocimientos cobran todo su sentido. No los veo como una meta, sino como una palanca para seguir abriendo camino.

Por otro lado, también son una palanca en la espalda para reforzar y apuntalar la idea de que lo que estamos haciendo, en equipo, tiene hueco y es reconocido profesionalmente, así que los premios y reconocimientos son también un compromiso para no tirar la toalla en los momentos menos buenos.

Desde 2019 compagina su actividad empresarial con su faceta como divulgadora en materias relacionadas con la innovación, el emprendimiento, el mundo STEM, o los profesionales del futuro, ¿cómo valora la situación actual en estos ámbitos?

Vivimos un momento apasionante y, al mismo tiempo, muy exigente. Hay una enorme demanda de perfiles técnicos,

una aceleración tecnológica sin precedentes y sectores estratégicos —como el de la defensa— que van a necesitar muchísimos ingenieros e ingenieras en los próximos años.

Sin embargo, seguimos teniendo un problema de vocaciones y de percepción. Falta explicar mejor qué hacemos los ingenieros, qué impacto real tenemos y qué oportunidades profesionales existen. Por eso la divulgación es tan importante: conectar la ingeniería con la sociedad. Una realidad tan cercana, que me impulsó a profesionalizar mi rol en torno a la divulgación, la conexión, etc., en una nueva empresa dedicada específicamente a ello, The Human Link.

¿Cómo cree que evolucionarán las citadas materias en los próximos diez años?

Creo que veremos una ingeniería cada vez más transversal, combinando tecnología, negocio y personas; colaborativa, basada en ecosistemas y alianzas; estratégica, especialmente en sectores como defensa, energía o industria avanzada, y humana, con un foco creciente en las personas: en cómo diseñamos soluciones pensando en quienes las usan, las operan y las hacen posibles, y en cómo acompañamos a los equipos en los procesos de cambio, formación y toma de decisiones.

El sector defensa, en particular, representa una oportunidad enorme para atraer talento joven, mostrar proyectos de alto impacto y posicionar la ingeniería técnica industrial como una carrera clave para la soberanía tecnológica y el desarrollo empresarial.

Gran apasionada de la comunicación, la divulgación tecnológica y el fomento de vocaciones STEAM en niñas y mujeres, ¿qué iniciativas lleva a cabo en estas áreas concretas?

Trabajo en estas áreas desde distintos frentes: charlas, congresos, mentorías, eventos propios, colaboración con instituciones, etc. Mi enfoque no es solo “animar a estudiar ingeniería”, sino mostrar referentes reales, trayectorias diversas y salidas profesionales concretas.

Es fundamental que las niñas y jóvenes vean que hay espacio para ellas, que la ingeniería no es un camino único ni rígido, y que pueden desarrollar carreras técnicas sin renunciar a su identidad ni a su propósito personal.

Entiendo además este compromiso como una responsabilidad personal y profesional, que procuro ejercer de manera altruista, a través de las asociaciones y organizaciones con las que colaboro habitualmente en mi región, Asturias, siempre que la agenda lo permite.

Por último, ¿cuáles son sus próximos proyectos?

¡Será por proyectos! A veces tengo la sensación de que me faltan horas, pero la realidad es que después de una durísima pandemia para todos, estoy enfocando un 2026 con muchísima ilusión y emoción, porque sin duda este año verán la luz iniciativas en las que llevo tiempo trabajando, y que suponen un paso más en este proceso de aprendizaje y crecimiento continuo en el que siempre quiero estar.

A corto y medio plazo estoy centrada en tres grandes líneas. Primero, seguir referenciando PixelsHub como empresa líder en soluciones XR para industria y defensa. Tenemos la suerte de ser proveedores de INDRA, entre otros proyectos, dentro del programa FCAS, el mayor programa europeo de defensa hasta la fecha, y también trabajamos con el Mando Conjunto del Ciberespacio, Policía Nacional, etc. Segundo, impulsar THE HUMAN LINK, una empresa recién constituida orientada a la divulgación, dinamización y creación de experiencias en torno a personas, tecnología, emprendimiento e innovación. Y tercero, el DEFENCE & TECH SUMMIT, una iniciativa estratégica para conectar pymes, startups, grandes empresas, instituciones y talento en torno al sector defensa, con un foco claro en ingeniería, colaboración y futuro profesional. Un espacio abierto a todos los ingenieros técnicos y a todas las ingenieras técnicas que, desde sus organizaciones o proyectos —ya sea por cuenta propia o ajena—, tengan conocimiento, experiencia o visión que aportar, y que vean en el sector defensa una oportunidad real de desarrollo profesional.

Todos estos proyectos comparten una misma idea: la ingeniería como motor de transformación, conexión y oportunidad. Y justo eso es lo que representa el COGITI, a los que agradezco desde aquí su impulso y apuesta por esta profesión que compartimos y que, a mí, tantas oportunidades me ha dado. ¡Nos vemos en el camino!

Miguel Ángel Díaz

Presidente de la Asociación Nacional de Inteligencia Emocional (ASNIE), miembro activo de la International Society of Emotional Intelligence (ISEI) y de la International Positive Psychology Association (IPPA)

“La clave está en sumar a nuestra precisión y capacidad analítica, el poder de las habilidades humanas”

Mónica Ramírez

En un entorno empresarial cada vez más complejo, la solvencia y excelencia técnica ya no es suficiente para garantizar a las organizaciones los mejores resultados. Miguel Ángel Díaz lleva más de 25 años ayudando a empresas de distintos países a “ver lo invisible”. Presidente de la Asociación Nacional de Inteligencia Emocional (ASNIE) y autor del libro “Liderar personas es simple, no es sencillo”, reivindica que el verdadero impacto en la ingeniería y en cualquier sector técnico no reside solo en el conocimiento experto, sino también en la capacidad de gestionar personas con rigor, conciencia y humanidad.

Licenciado de Psicología, su enfoque, profundamente humano y riguroso, lo ha convertido en un referente en el desarrollo del liderazgo emocional y el crecimiento organizacional.

Tras su participación en el I Congreso Nacional de Ingeniería, organizado por el COGITI y COGITI Valencia, el pasado mes de diciembre, con la ponencia “Power Skills para ingenieros”, reflexiona en esta entrevista sobre el papel de la inteligencia emocional, la calidad directiva y la gestión del talento en el nuevo contexto profesional. En definitiva, habilidades emocionales capaces de liderar personas en un escenario en el que los factores intangibles condicionan su rendimiento y bienestar.

El pasado mes de diciembre participó en el I Congreso Nacional de Ingeniería, organizado por el Consejo General de la Ingeniería Técnica Industrial de España (COGITI) y COGITI Valencia, con una conferencia titulada “Power Skills para ingenieros”, ¿cuáles son los principales mensajes que quiso transmitir?



Miguel Ángel Díaz

“El mejor ingeniero no es el que mejor sabe resolver ecuaciones, diseñar estructuras o programar sistemas, el verdadero valor está en quienes saben conectar todo esto con las personas”

Pues uno de los principales mensajes tenía que ver con el gran cambio de época que estamos viviendo a nivel social y empresarial (paso de un entorno VUCA a un entorno BANI) y de cómo todo esto afecta a las personas en su trabajo. Concretamente, creo que el mejor ingeniero/a a día de hoy no es el que mejor sabe resolver ecuaciones, diseñar estructuras o programar sistemas, el verdadero valor está en quienes saben conectar todo esto con

las personas. Pienso que la clave está en sumar a nuestra precisión, nuestra lógica y nuestra capacidad analítica... el poder de las habilidades humanas.

Desde aquí, hay un conjunto de habilidades que pueden hacer brillar una posición de ingeniería dentro de una organización y por eso dimos unos cuantos “tips” para mejorar: la inteligencia emocional, la adaptabilidad y resolución creativa de problemas, la gestión de personas, el aprendizaje continuo y la comunicación con impacto. Estas habilidades son las que pueden marcar la diferencia entre un ingeniero/a bueno y uno extraordinario y con un gran impacto a su alrededor.

¿Qué le motivó a dedicarse a trabajar con líderes y organizaciones desde el punto de vista de la Inteligencia Emocional?

El enorme impacto que tienen en todo lo que ocurre dentro de las organizaciones. Desde mi punto de vista, son el engranaje que provoca que las cosas funcionen o no dentro de una organización.

Si disponemos de unos buenos niveles de calidad directiva, tendremos un impacto positivo sobre el clima laboral de nuestros equipos (aunque seguiremos expuestos a problemas y conflictos) y esto tiene, a su vez, un gran impacto en la productividad de las personas.

Sea cual sea la clave de una organización para que tenga éxito (satisfacción de los empleados, productividad, exigencia, creatividad, etc.) los líderes y managers de una organización son el factor que más influye en que se puedan lograr porque participan como una pieza clave en casi todos los procesos o al menos pueden tener voz y voto en ellos.

Al final es un tema de impacto, cuando quieres ayudar a una orga-

nización intentas impactar al máximo consumiendo los mínimos recursos, y trabajar a través de los managers y líderes de una organización ha sido la forma más efectiva que he encontrado de hacerlo a lo largo de mi carrera.

En su libro "Liderar personas es simple, no es sencillo", habla de factores tangibles e intangibles que influyen en el éxito de un equipo, ¿prevalecen unos factores sobre otros?

En el libro explico que los factores intangibles, como el clima o las emociones, aunque no se vean, terminan impactando directamente en los resultados tangibles. De hecho, el clima laboral es un ejemplo perfecto de cómo lo intangible condiciona la productividad, el absentismo o la rotación de personal (que es lo que medimos).

En la mayoría de las ocasiones cuando valoramos una posición de liderazgo o de "management" lo hacemos por aquellas tareas técnicas (tangibles) que tengo que realizar (planificar, organizar, dirigir, supervisar, etc.); sin embargo, suelen quedar olvidadas una serie de tareas "humanas" (intangibles), que es lo que de verdad marca la diferencia entre un manager bueno y uno magnífico.

No me atrevería a decir que unos marcan la diferencia sobre otros, porque considero que del equilibrio de ambos es de dónde se obtiene la capacidad de impacto, pero sí es cierto que tradicionalmente, las tareas humanas suelen estar más olvidadas u abandonadas, por eso son las que más se echan en falta.

Sobre todo, en posiciones técnicas, los profesionales se suelen encontrar más cómodos con los procesos y procedimientos que con las personas, por eso suele haber una gran carencia de cuidado de los aspectos intangibles y, hoy en día, todavía me sorprende como le prestamos atención a aquellas cosas que medimos (y vemos), y no se lo prestamos a aquellas otras que los provocan (y que cuestan más de ver).

Ha trabajado con más de 350 empresas en distintos países. ¿Qué patrones comunes encuentra en las organizaciones que no están logrando su máximo potencial?

El primero es que no existe una congruencia en su mensaje, por un lado,

verbalizan que las personas son su activo más importante y, por otro, incentivamos y fijamos objetivos solo en los aspectos tangibles o técnicos. Es decir, te digo una cosa, pero te pago por otra.

Por otro lado, nos acostumbramos a una serie de aspectos que no son para nada normales en las organizaciones. Nos acostumbramos a que las personas no disfruten de su trabajo del día a día, a que no estén motivadas, a que no podamos expresarnos libremente (siempre que lo hagamos desde el respeto) para discrepar u opinar diferente, etc. Nada de esto es normal, sin embargo, somos tolerantes con personas que no se sienten bien a nuestro alrededor o que no ofrecen su mejor versión por estar desmotivadas.

Todos estos problemas serían mejorados si incrementamos los niveles de calidad directiva y dotamos a nuestros managers de herramientas para que puedan hacer bien su trabajo y obtengan la mejor versión de las personas que tienen a su cargo.

Habla de "intuir en minutos lo que puede estar pasando" en una compañía. ¿Cómo desarrolló esa capacidad de diagnóstico rápido?

Esta habilidad yo la aprendí de las ciencias sociales, en mi caso como buen psicólogo, nos han enseñado a fijarnos con una mirada especial en las cosas, hemos ido desarrollando la habilidad de captar o identificar rápidamente varios datos de la situación, detectar patrones y generar hipótesis de lo que puede estar ocurriendo. Esta estrategia no está exenta de error, sin embargo, es mucho más certera que no hacer nada en absoluto y no prestar atención a lo que puede estar ocurriendo.

Para mí, la Inteligencia Emocional nos da la habilidad de aprender a ver lo que no se ve. Tenemos que formar a nuestros líderes y managers para que aprendan a extraer este tipo de hipótesis y actúen ante personas que no están en su mejor momento. Les enseñamos a que hagan buenos diagnósticos y pasemos del "está desmotivado" que no nos da pistas de cómo podemos ayudar a la persona, a un "tienen un problema de autonomía en su puesto de trabajo o de aprendizaje", que sí que nos permite tomar cartas en el asunto e intervenir para reactivar a la persona.

¿Qué características tiene un líder que impulsa un "crecimiento excepcional" en su equipo?

Pues un líder que consigue resultados extraordinarios creo que tiene una combinación de inteligencia emocional (para aprender a gestionarse a sí mismo y así poder gestionar mejor a las personas que le rodean), es exigente y disciplinado, pero extraordinariamente orientado a las personas, siendo capaz de apreciar profundamente a las personas con las que trabaja.

Para que un líder pueda generar un entorno de seguridad psicológica (con los beneficios que esto aporta de la apertura y la comunicación franca y directa) tiene que apoyarse en el valor que perciba en los miembros de su equipo, en sus fortalezas, en apreciar todo lo bueno que tengan. Solo desde ahí se puede generar la confianza necesaria para poder extraer su mejor versión, que solo te la van a dar si ellos/as quieren... esto a veces se nos olvida.

Suelo decir que "cada uno tiene el equipo que se merece" con lo que, cuando tienes personas extraordinarias en el equipo suele ser un reflejo de su líder, lo mismo ocurre cuando tienes personas desconfiadas, conformistas o poco trabajadoras.

¿Cómo se trabaja con líderes que tienen resistencia al cambio o una baja conciencia emocional? ¿Es lo habitual hoy día?

Es totalmente habitual que la mayoría de los frenos a los que se enfrentan los líderes tienen una raíz emocional, y al ayudarles a gestionar esas emociones desagradables, les permites hacer las cosas que tienen que hacer.

Por ejemplo, un líder que tiene miedo a mantener conversaciones de "feedback" habitualmente con los miembros de su equipo (porque no sabe cómo enfocarlas, porque cree que al corregirles cosas se desmotivarán, porque teme algún enfrentamiento con algún miembro del equipo, etc.) tenderá a evitarlas escudándose en la gran cantidad de trabajo que tiene que realizar y verbalizará que tiene tantas tareas (o tantos emails por contestar) que no tiene tiempo de hablar con los miembros de su equipo. No es un tema de tiempo, es un tema de gestión de emocional.

Son capaces de verbalizarte la gran importancia que tiene tener esas

conversaciones con su equipo, pero no paran de buscar excusas para no tenerlas, porque no son capaces de gestionar ese miedo.

La resistencia al cambio suele esconder también miedos que no son bien gestionados y que nos frenan y nos paralizan a la hora de enfrentarnos a nuevos escenarios. Preferimos la certidumbre de los viejos patrones o modelos, a la ambigüedad de los nuevos.

Desde su experiencia, ¿ha percibido un cambio en la actitud de los “jefes” en los últimos años?

La mayoría de ellos muestran una mayor apertura a aprender y entender mejor a las personas con las que trabajan; sin embargo, muestran los mismos frenos y barreras que hace 10 años. El problema es que ahora se les ve más. Es decir, como buenos seres humanos, lo mismo que nos frenaba y nos restaba oportunidades hace 30 años, lo hace ahora también.

Me explico, hace años podrías tener unas dudosas habilidades de liderazgo y escudarte en que el equipo no era bueno, la gente era muy blanda o cualquier otra excusa. A día de hoy, los departamentos de personas tenemos acceso a mucha más información (encuestas de clima, portal del empleado, etc.) y nos hacemos una mejor idea de cómo se sienten las personas en un determinado equipo. Además, comienza a implantarse en las organizaciones una cultura del bienestar en el que, no solo debemos de cuidar de los clientes, de los procesos o de los resultados, sino que las personas (el talento) es lo que

“La resistencia al cambio suele esconder también miedos que no son bien gestionados y que nos frenan y nos paralizan a la hora de enfrentarnos a nuevos escenarios. Preferimos la certidumbre de los viejos patrones o modelos, a la ambigüedad de los nuevos”

marca la diferencia entre una organización a la que le van bien las cosas y al resto.

Todavía nos falta por dar el siguiente paso en las organizaciones y, esto es, ser exigentes con los managers que tenemos. Hoy en día, si un equipo no funciona, somos capaces de cambiar uno a uno a todos los miembros del equipo en vez de cambiar al manager. Esto me parece un error, aunque también es una oportunidad para aquellos que necesitan tiempo para aprender a hacer las cosas mejor.

¿Cuál cree que será la tendencia en la próxima década?

Generar entornos del trabajo donde el talento quiera desarrollarse. Ya nos hemos dado cuenta de que hay ciertos procesos que ya no tiene sentido que hablemos de ellos, como, por ejemplo, la “retención del talento”.

Este concepto es una falacia en sí misma, el talento no se puede retener, porque cada vez tenemos más claro que el talento escoge dónde quiere desarrollarse. Por eso, si generar un entorno de trabajo estimulante, donde las personas tengan autonomía para hacer las cosas, aprendan cosas valiosas cada año y se enfrenten a retos interesantes, el talento te escogerá para trabajar en tu organización.

En las organizaciones donde eso no ocurre, están avocadas a una pérdida de talento continua y a veces silenciosa, ya que terminan gastándose el dinero en contratar a nuevo personal y en despedir al que no se aclimata, generando una merma de rentabilidad enorme en la cuenta de resultados, pero como cuesta de ver a simple vista, todavía son modelos utilizados hoy.

¿Qué consejos le daría a una empresa que quiere empezar a trabajar en el desarrollo de su liderazgo interno?

Primero, que defina claramente su modelo de liderazgo. ¿Qué valores son importantes en la organización? ¿Qué creencias son las que nos hacen ser especiales? ¿Cuál queremos que sea nuestra forma de hacer las cosas?

Una vez tengas todo esto bien definido, el siguiente paso es encontrar una forma de unificar criterios entre todos los líderes de la organización y aterrizarlo de una forma que les resulte sencilla de implantar. Suele ser

a través de escuelas corporativas de liderazgo o de workshops para facilitarles recursos.

A partir de aquí, tenemos que acostumbrarnos a medir, porque aquello que no se mide, cuesta mucho de mejorar. Por eso se tiene que apoyar en mediciones internas que nos muestren el impacto de lo que estamos haciendo, solo desde ahí podremos tomar las mejores decisiones.

Y para finalizar, dar visibilidad y poner en valor a los mejores managers para que sirvan de modelo para los demás. Aquello que quieras que crezca, préstale atención. Por eso compartir las mejores prácticas e incluso premiarlas, lanzarán el mensaje a toda la organización de lo que se quiere proponer, y se invitará a que muchas más personas quieran seguir también ese camino.

A pesar de no creer en soluciones universales, ¿cuál ha sido el mayor aprendizaje que le ha dejado esta visión “artesanal” de la consultoría?

Que lo que verdaderamente vale dinero no es cuanto haces, sino cuanto impactas. A veces por quererte ahorrar unos euros, te pones en manos de personas que no tienen la experiencia o el bagaje que necesitas y luego tienes que corregir (si dispones de una segunda oportunidad) o pierdes ese barco para siempre.

De la misma manera que cuando tengo una dolencia física quiero que me vea el mejor médico y el más especialista en la materia, no siempre nos pasa esto cuando pensamos en la formación de los líderes de mi organización. Y no siempre se exprime al máximo el presupuesto que tengo para formar a mis líderes. A veces buscamos soluciones grupales, cuando solamente tenemos un problema con 2-3 de mis managers, y podría ser resuelto con unas sesiones de coaching ejecutivo 1 a 1.

Además, creo que hay que desarrollar un tipo de consultoría que sea sostenible para las organizaciones. Nosotros, por ejemplo, cada vez que implementamos una herramienta nueva (como por ejemplo una encuesta de clima), buscamos crear un equipo con personal interno en la organización que luego vaya a mantener vivo el proyecto desde dentro, así no generamos dependencia y podemos acometer nuevos proyectos a futuro.

CONVOCATORIA 2026

PREMIO GALICIA



Dirigido a proyectos de aplicación
industrial de la inteligencia artificial

Dotación: 1.800€

Participa hasta el
30 de septiembre de 2026

Consulta las bases:

www.fundaciontindustrial.es

Viabilidad del reperfilado de ruedas de ferrocarril desgastadas por su uso mediante técnicas de fabricación aditiva

Study of the viability of additive manufacturing for railway wheels worn by use

Jon Hernández-Martínez¹, Javier Santamaría¹, Aizpea Urresti¹, Julio Blanco-Lorenzo¹, Ernesto García Vadillo¹

Resumen

La operación de reperfilado de ruedas ferroviarias consiste en un proceso de torneado que elimina material para devolver la rueda desgastada a su perfil original. Esto implica que, en casos de desgaste acumulado en la pestaña de la rueda o daños locales en la banda de rodadura, la cantidad de material a eliminar sea grande, reduciendo por tanto la vida útil y aumentando los costes de mantenimiento. Para hacer frente a este problema, se ha propuesto la fabricación aditiva como solución reciente. La tecnología de Deposición de Energía Dirigida es conocida por su viabilidad a la hora de reparar daños locales con gran precisión, y ya ha sido utilizada para reparar carriles ferroviarios. Sin embargo, su aplicación a las ruedas de ferrocarril es aún objeto de estudio, debido a las exigencias mecánicas y resistencia a desgaste que la rueda debe alcanzar.

El objetivo de este estudio es investigar materiales de polvo metálico para el reperfilado de las ruedas ferroviarias y comprobar que el resultado obtenido es adecuado considerando las propiedades mecánicas alcanzadas. Los primeros materiales comerciales estudiados han sido AISI 4140 y Stellite 6. Ambos se han depositado sobre probetas extraídas de la banda de rodadura de una rueda utilizada hasta su servicio final, tratando de reproducir las condiciones reales lo más fielmente posible. Se han realizado ensayos tribológicos para caracterizar el comportamiento de fricción y la resistencia al desgaste de estos materiales frente al material base de la rueda. El caso del AISI 4140 mostró un gran resultado, por lo que se amplió posteriormente el estudio a otros dos aceros, AISI 52100 y AISI H13, confirmando nuevamente el gran resultado del AISI 4140. Se concluye, que el uso de la fabricación aditiva resulta de gran interés para su uso en el reperfilado de ruedas ferroviarias, consiguiendo una adecuada resistencia al desgaste y excelentes propiedades en cuanto a dureza y tensiones residuales compresivas (apropiadas para una mayor resistencia a fatiga).

Palabras clave

Rueda ferroviaria, fabricación aditiva, fricción, desgaste y direct energy deposition.

Abstract

The railway wheel reprofiling operation consists of a turning procedure that restores the worn wheel to its original profile. This means that when wear occurs mainly on the flange or there is localised damage, it is necessary to eliminate a considerable high amount of material. To address this problem, Additive Manufacturing has been proposed as an ideal solution, exactly, Direct Energy Laser-Beam is known for its feasibility in repairing local damage with high precision, moreover, it has already been used for welding and repairing railway rails. However, its application to railway wheels is still under investigation due to the demanding mechanical requirements and the need for adequate wear performance in the wheel material.

The aim of this study is to investigate suitable metallic powder materials for the reprofiling of railway wheels and to verify that the resulting properties meet the mechanical requirements of wheel applications. The commercial materials initially selected were AISI 4140 and Stellite 6, which were deposited onto specimens extracted from the tread of a wheel that had reached the end of its service life. Therefore, the substrate material was a hardened steel, trying to reproduce real operating conditions as faithfully as possible. Then, tribological tests were performed to characterize friction behaviour and measure the wear resistance of the coated specimens compared with non-clad wheel material. Finally, due to the excellent performance obtained with AISI 4140 steel, the study was extended to two additional high-grade steels, AISI 52100 and AISI H13. Their mechanical properties (with the exception of microhardness) were analysed again, confirming the excellent performance of AISI 4140. Therefore, it is concluded that Additive Manufacturing for railway wheel reprofiling is of great interest, the results show that it is possible to achieve a significant wear resistance and excellent mechanical properties in terms of hardness and compressive residual stresses, and consequently, an improved fatigue resistance.

Keywords

Railway wheel, additive manufacturing, friction, wear, and direct energy deposition.

Recibido/received: 03/07/2025

Aceptado/accepted: 05/02/2026

1Dpto. de Ingeniería Mecánica, Universidad del País Vasco UPV/EHU

Autor para correspondencia: Jon Hernández Martínez; e-mail: jon.hernandez@ehu.eus

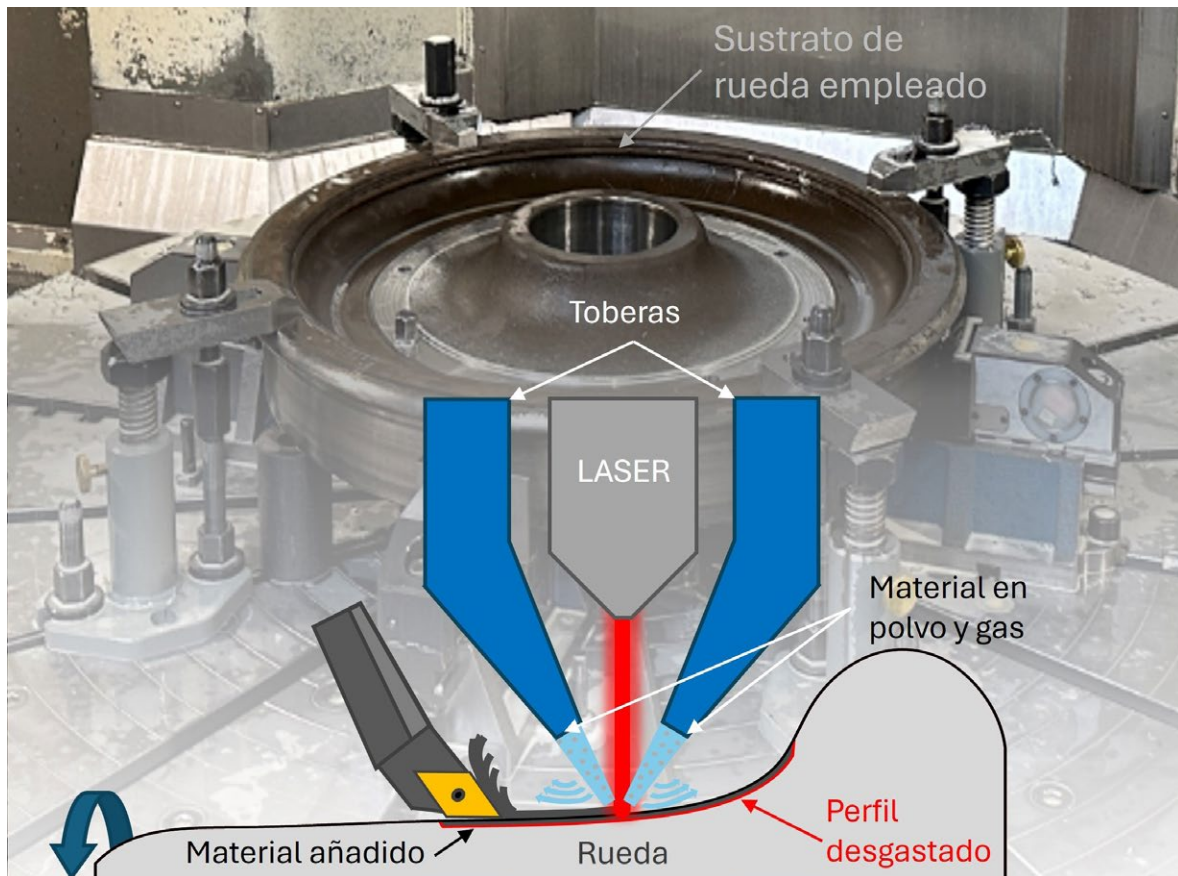


Imagen cedida por los autores del artículo.

1. INTRODUCCIÓN

La vida útil de las ruedas y de los carriles de acero convencionales se ve cada vez más limitada por las exigencias actuales, como lo son mayor volumen de tráfico, velocidades de circulación más rápidas y mayores cargas dinámicas. Todo ello contribuye al desgaste y a la fatiga de contacto por rodadura (en adelante RCF por sus siglas en inglés, *rolling contact fatigue*). Estos factores no solo provocan molestias físicas a los pasajeros, como contaminación acústica (UNE EN ISO 3095, 2013) y vibraciones (UNE EN 12299, 2010), sino que también dan lugar a un desgaste excesivo que altera el perfil de rodadura, la presencia y propagación de grietas (*spalling, shattered rim, shelling*, etc.) y otros defectos causados por condiciones no deseadas (plano de la rueda) que afectan aún más a la dinámica del vehículo ferroviario y comprometen su seguridad.

El método actual para la restauración de los perfiles de rodadura se realiza mediante tornos de foso, es decir, un proceso de arranque de viruta en el que en algunas circunstancias obliga a desperdiciar una gran cantidad de

material, como los planos de rueda y el desgaste de la pestaña, lo que reduce considerablemente el diámetro. Asimismo, este problema no solamente afecta a la rueda que se ha de reparar, sino que exige también retornar el resto de las ruedas para garantizar la mínima diferencia de diámetros entre distintas ruedas material (Shen *et al.*, 2024) (Pereira *et al.*, 2024). Además, una vez que la rueda alcanza su diámetro final, es decir, el menor diámetro aprovechable (UNE EN ISO 13715, 2021), esta debe desecharse, con el consiguiente desperdicio medioambiental y económico. De este modo, el coste de sustitución de las ruedas llega a ser hasta 10 veces el del reperfilado (Åhrén, Waara & Larsson Kråik, 2003).

Sin embargo, en los últimos años ha surgido una nueva línea de investigación centrada en explorar métodos alternativos para la restauración de los perfiles desgastados que se enfoca principalmente en la fabricación aditiva metálica (en adelante MAM por sus siglas en inglés, *metal additive manufacturing*), dado que ofrece versatilidad, precisión y control de energía mayores

(Vafadar *et al.*, 2021). De estas, la tecnología de deposición de energía directa por láser (en adelante DED-LB por sus siglas en inglés, *direct energy deposition-laser beam*) es la más adecuada para la reparación de daños locales. Una clara representación gráfica de esta gran ventaja se muestra la figura 1, en la que se representa un perfil de rueda con un desgaste típico, pero con una profundidad perpendicular a la superficie idéntica en dos zonas, la banda de rodadura y la pestaña. Es posible observar cómo, evidentemente, la reducción diametral necesaria para reperfilar la pestaña es ampliamente mayor que la necesaria para la banda de rodadura. En efecto, puede llegar a ser más del doble. Sin embargo, se muestra también que con la posibilidad de añadir una cantidad pequeña de material, mediante MAM, se lograría evitar eliminar material innecesario y reducir excesivamente el diámetro de la rueda.

Además, estudios previos han demostrado que crear revestimientos a partir de materiales en polvo mejora las características técnicas y la resistencia del material base. Por eso, me-

dian­te la MAM sería posible conseguir un aumento de la resistencia a desgas­te y RCF, principales causas de fallo, y, por tanto, prolongar la vida útil de ruedas y carriles a través de diversos materiales en polvo.

Recientes pruebas experimentales han demostrado que el uso del Stellite 6 sobre materiales de carril de alta calidad puede aumentar la vida útil de estos. Nellian *et al.* (2023, 2018) ensayaron esta aleación en raíles R260 y R350HT y obtuvieron en ambos casos una mejora de la resistencia al desgaste. Lewis *et al.* (2015) experimentaron revestimientos de Stellite 6, acero Hadfield, acero martensítico y acero inoxidable con 1 y 2 capas sobre un carril de grado R260, y los compararon con resultados anteriores del proyecto INNOTRACK (Vasić & Franklin, 2011). El Stellite 6 mostró la mayor concordancia entre ambos proyectos, fue el material de mejor rendimiento tanto en condiciones secas como en húmedas y también mostró consistencia en el índice de desgaste independientemente del número de capas de revestimiento aplicadas. Lewis *et al.* (2016) también compararon otros 6 recubrimientos diferentes sobre carril y concluyeron que las muestras de acero inoxidable martensítico y Stellite 12 tenían los índices de desgaste más bajos, correspondientes al 50% respecto a la referencia del carril de grado R260, mientras que el de Stellite 6 era del 70%. Sin embargo, el Stellite 6 fue seleccionado como la mejor opción para el revestimiento debido a la calidad de su deposición sobre el sustrato, pues logró una fusión sin porosidad. Roy *et al.* (2018) obtuvieron resultados similares al ensayar revestimientos de AISI 410, AISI 420 y Stellite 6 en un acero de carril de alta resistencia R400HT. A pesar de que el AISI 420 redujo el desgaste, tras los ensayos presentó graves daños superficiales y más grietas que la probeta sin revestimiento. Por el contrario, el Stellite 6, con un índice de desgaste similar al de la probeta no revestida y un mecanismo de daño uniforme sin signos de acumulación de residuos ni grietas, se indicó como la elección óptima. Estudios similares fueron llevados a cabo por Fasihi *et al.* (2022) en los que también compararon Stellite 6 con un nuevo material de revestimiento desarrollado mediante la combinación de los materiales estándar AISI 410L y

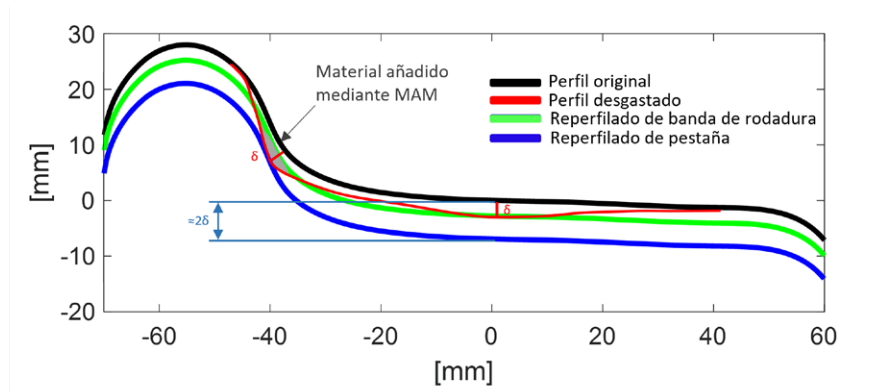


Figura 1. Reperfilado necesario para distintas ubicaciones de desgaste.

AISI 420. Se comprobó que los carriles de alta resistencia el Stellite 6 poseían un porcentaje de desgaste similar, y ambos fueron superados por este nuevo material combinado. Sin embargo, para el caso de carriles ligeros, el Stellite 6 seguía siendo la mejor opción.

De forma paralela, también se han realizado novedosos estudios en el campo de las ruedas. Guo *et al.* (2015) investigaron el comportamiento frente al desgaste cuando el carril o la rueda se revestían de forma individual con aleación de cobalto, muy similar al Stellite 6. Descubrieron que el coeficiente de fricción y la tasa de desgaste de ambas partes se reducían significativamente en ambos casos, es decir, aplicando el recubrimiento solamente al carril, y, por otro lado, solamente a la rueda. De forma similar, Wang *et al.* (2014) analizaron el contacto cuando el revestimiento láser de material a base de cobalto se aplicaba tanto al carril como a la rueda, y observaron que la tasa de desgaste disminuía y los daños eran menos graves. Wang *et al.* (2016) repitieron la prueba para analizar el efecto de la lubricación con aceite en los casos en que solo el carril o la rueda estaban revestidos individualmente y cuando ambos estaban revestidos. En el caso en el que el recubrimiento se aplicaba a ambos, el desgaste volvía a ser menor. Sin embargo, con el revestimiento individual, el comportamiento de la parte revestida mejoraba, pero la tasa de desgaste del componente no revestido aumentaba significativamente. Xiao *et al.* (2023) simulaban la reparación de un defecto en una rueda ER9 mediante recubrimiento por láser con tres materiales distintos: aleación con base de hierro, base níquel y base cobalto. Aunque no compararon los resultados respecto a una rueda sin recu-

brimiento, la aleación de base cobalto fue la mejor en términos de fricción, desgaste y daño superficial, seguida de la aleación de base hierro.

Asimismo, otros estudios siguen sugiriendo el uso de aceros muy aleados como la mejor alternativa para el revestimiento de raíles, como el acero martensítico, un desarrollo propio a partir de los comerciales AISI 410 y 420 (Fasihi *et al.*, 2021), los también comerciales AISI 434L, 314, el propio AISI 420 (Xie *et al.*, 2021), el AISI 630, el 18Ni300 (Meng *et al.*, 2021) y la aleación de ultrarresistencia Aermet 100 (Zhang, He & Wang, 2022). Sin embargo, otros autores (Tomlinson *et al.*, 2023; Yildirimli *et al.*, 2022) recomiendan usar el mismo material que el sustrato, reduciendo así posibles defectos y aumentando el comportamiento a fatiga. De igual modo, también se han realizado estudios con aceros de alta aleación para reparaciones de rueda, además de incluir otros aditivos como el lantano (Fu *et al.*, 2015; Wang *et al.*, 2016) y WS₂ y CaF₂ (Ding *et al.*, 2022). Por otro lado, los ensayos con aceros comerciales, pero igualmente muy aleados, produjeron grietas más profundas que la propia rueda (Zhu *et al.*, 2019). Por ello, en este estudio se ha propuesto para los ensayos un acero de baja aleación, similar a la rueda utilizada como sustrato.

Este trabajo forma parte de la iniciativa europea Academics4Rail y del cual ya se han obtenidos resultados prometedores (Hernández Martínez *et al.*, 2025). Estudia los resultados obtenidos con dos distintos materiales de aporte y los compara con una rueda de ferrocarril de grado ER9, que posee la mayor distinción de resistencia y dureza acorde a la norma (UNE EN 13262, 2021). Las probetas fueron obtenidas

de la banda de rodadura de rueda desgastada, tras haber llegado al final de su vida útil tras múltiples operaciones de reperfilado. De esta manera se analiza lo más fielmente posible el estudio de la fabricación aditiva como tecnología para el reperfilado.

2. METODOLOGÍA

2.1. Preparación de muestras y materiales

Las muestras fueron extraídas de la banda de rodadura de la rueda. Para ello, la rueda se mecanizó en un centro de mecanizado vertical (VR-2.4, GMTK), de donde se extrajo la llanta y se realizaron diversos cortes en la banda de rodadura. De cada corte se seccionó el perfil de rodadura y se obtuvo un prisma cuadrangular de caras planas con una altura suficiente que garantizara la adecuada evacuación del calor generado durante el proceso de fabricación láser. En la cara superior, a escasos milímetros de la superficie de rodadura, y previamente rectificada, se realizaron los recubrimientos. Este proceso se muestra en la figura 2.

Sobre la banda de rodadura se midieron valores de dureza y se obtuvo un promedio de 342 HB, superior en 87 HB al valor mínimo exigido por la norma (UNE EN 13262, 2021), es decir, durante la puesta en servicio de la rueda se produjo un endurecimiento por deformación.

Los materiales de aporte seleccionados fueron Stellite 6, AISI 4140, AISI 52100 y AISI H13. El Stellite 6 es una aleación de cobalto que ha demostrado tener excelentes propiedades frente al desgaste en anteriores estudios (Nellian & Pang, 2023; Nellian *et al.*, 2018; Lewis & Fletcher, 2015; Vasić & Franklin, 2011; Lewis *et al.*, 2016; Roy *et al.*, 2018; Fasihi *et al.*, 2022; Guo *et al.*, 2015; Wang *et al.*, 2014; Wang *et al.*, 2016; Xiao *et al.*, 2023). El AISI 4140 es un acero económico empleado en aplicaciones que requieren poco desgaste como engr-

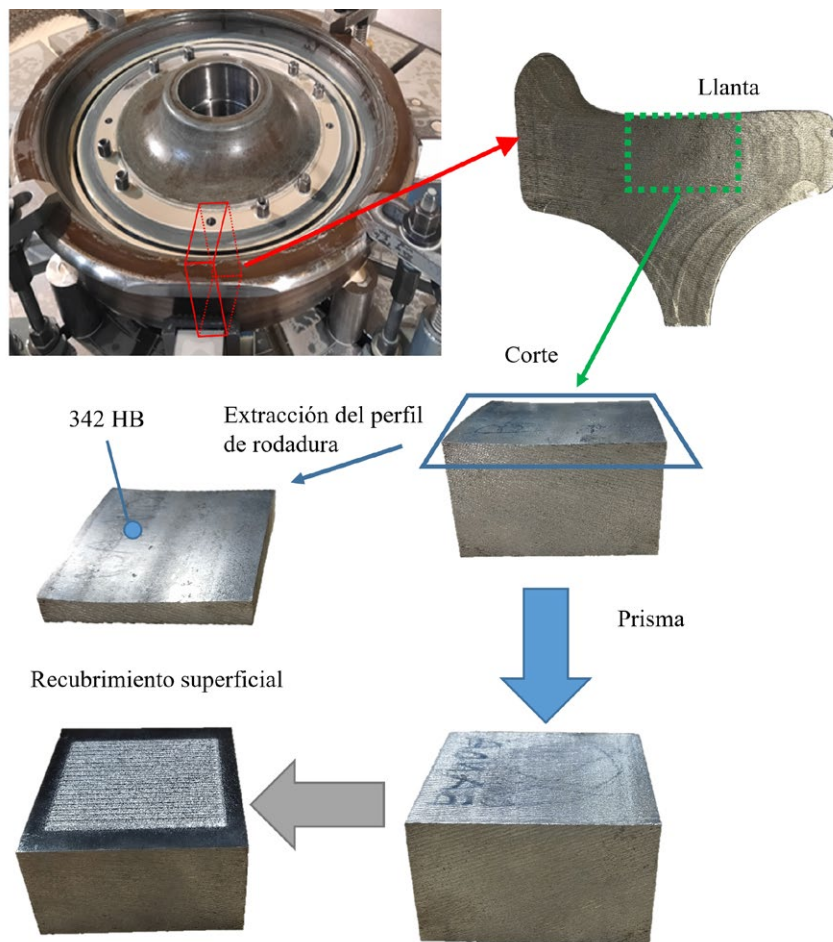


Figura 2. Diferentes tamaños de la discontinuidad transversal.

najes y levas. Además, su composición es muy similar a la de la rueda utilizada aquí como sustrato, por lo que se espera que el revestimiento sea resistente (Tomlinson *et al.*, 2023; Yildirimli *et al.*, 2022). El AISI 52100 es un acero especialmente diseñado para resistir desgaste y RCF, lo que hace que sea muy utilizado en aplicaciones de rodadura, como rodamientos. Finalmente, AISI H13 es un acero asequible y versátil, empleado generalmente para resistir desgaste en aplicaciones de herramientas para trabajos en caliente y en frío. Todos poseen una granulometría $-45+105 \mu\text{m}$ y su composición se muestra en la tabla 1.

2.2. Recubrimiento láser

Antes de realizar el recubrimiento sobre la rueda, se llevó a cabo un proceso de optimización, el cual consistió en realizar primeramente cordones individuales utilizando diferentes combinaciones de parámetros, caudal de material de aporte, velocidad de avance y potencia. Sin embargo, por motivos de ahorro de material de rueda y logística (obtención de la rueda, extracción de probetas y preparación), se llevó a cabo antes sobre un sustrato preliminar, AISI 1055, y, posteriormente, sobre la propia rueda. La composición de ambos sustratos es muy similar y se muestra en la tabla 2. Este proceso fue

	Fe	Co	C	Mn	Cr	Si	Mo	S	P	Al
Stellite 6	1,5	Bal.	1		28	1.5	1			
AISI 4140	Bal.		0,4	0,75-1	0,8-1,1	0,15-0,35	0,15-0,25	<0,04	<0,035	
AISI 52100	Bal.		0,95	0,41	1,49	0,2		0,004	<0,01	0,01
AISI H13	Bal.		0,3-0,4	0,2-0,4	4,75-5,5	0,8-1,2	1,25-1,75			

Tabla 1. Composición de los materiales de aporte (porcentaje de peso [%]).

realizado para los aportes de Stellite 6, AISI 4140 y AISI 52100. No fue necesario para AISI H13, ya que se conocían los parámetros óptimos de anteriores estudios.

El proceso consistió, en primer lugar, en fabricar cordones individuales y analizar su sección transversal (Figs. 3a, 3c y 3e) de forma visual a través de un microscopio óptico (DCM 3D, Leica, Alemania). El objetivo es observar que no haya cambios microestructurales en la zona diluida y la zona afectada térmicamente (ZAT), evitar poros y otros defectos visuales y comprobar que hay una buena integridad entre el material aportado y el sustrato. Esta integridad puede definirse a través del coeficiente de dilución (DC), el cual se calcula en la ecuación 1 a partir de las áreas de la superficie de capa (Sc) y de la superficie diluida (Sd). Sin embargo, a modo de practicidad, este cálculo puede simplificarse a la altura de capa (h) y profundidad (d). Este proceso se repite hasta obtener una altura aproximada de 0,3 mm y un DC superior al 30% que asegura la correcta adhesión de sucesivos cordones (Urresti *et al.*, 2024).

$$DC = \frac{S_d}{S_d + S_c} \approx \frac{d}{d+h} \quad (1)$$

Posteriormente, su reproducibilidad fue comprobada en pequeñas capas (Fig. 3b, 3d y 3f), además de ajustarse el paso, distancia horizontal entre cordones. Este proceso es repetido hasta conseguir una altura de capa un uniforme, sin aumento de altura por efecto superposición. Los valores óptimos identificados se muestran en la tabla 3.

El proceso de fabricación aditiva se ha realizado en el centro de procesamiento de materiales por láser Aktinos 500 (Kondia), especialmente diseñado para la experimentación con Laser Cladding (LC) por el Grupo de Fabricación de Alto Rendimiento del Departamento de Ingeniería Mecánica de la UPV/EHU. Este centro dispone de un generador láser de fibra CW (onda continua) de 1 kW de potencia y longitud de onda de 1,070 nm, el cual es transmitido por un sistema de fibra óptica hasta el cabezal, en el que hay instalada una óptica de enfoque de 200 mm. Sobre este cabezal están también acopladas sendas toberas que suministran el material de aporte, impulsado por un alimentador de polvo (Twin 10-C, Sulzer Metco) y que proporcionan los gases

	Fe	C	Mn	Cr	Si	Mo	S	P	Ni
Sustrato ER9 (máx. admisible)	Bal.	0,6	0,8	0,3	0,4	0,08	0,015	0,02	0,3
Sustrato AISI 1055	Bal.	0,51	0,75	0,22	0,3	0,01	0,02	0,03	0,06

Tabla 2. Composición de los sustratos (porcentaje de peso [%])

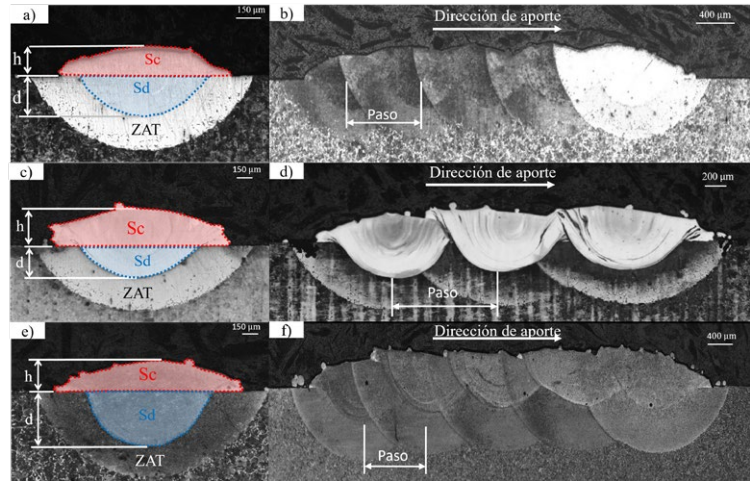


Figura 3. Secciones de los recubrimientos durante la obtención de parámetros. Cordón individual de a) AISI 4140, c) Stellite 6, e) AISI 52100 (en rojo superficie de la capa aportada y en azul superficie de dilución), y recubrimiento de b) AISI 4140, d) Stellite 6 y f) AISI 52100.

	Potencia (W)	Velocidad de avance (m/min)	Caudal de material (g/min)	Paso (mm)	Nº capas	CD (%)	Altura (mm)
AISI 4140	700	450	3,3	1,00	2	62	0,28
Stellite 6	800	500	4,5	1,35	2	58	0,32
AISI 52100	800	450	3,0	1,20	2	53	0,42
AISI H13	600	450	3,5	1,15	3	54	0,32

Tabla 3. Parámetros optimizados de fabricación aditiva

de protección y arrastre. En ambos casos el gas empleado es argón, y un haz láser de 1,7 mm de diámetro.

Una vez obtenidos los parámetros de proceso, se llevó a cabo el recubrimiento sobre la rueda. Para ello, se realizaron recubrimientos de 50 x 50 mm² en dos capas (Fig. 4) para crear un revestimiento de espesor suficientemente, y en trazados perpendiculares para mejorar las propiedades en ambas direcciones. La altura conjunta de ambas capas fue de 1 mm y 0,8 mm, para los casos de AISI 4140 y Stellite 6, respectivamente. Con posterioridad, el material del sustrato fue eliminado mediante procesos de mecanizado para obtener una altura total inferior a 10 mm y, por tanto, compatible con el estándar del ensayo de fricción y desgaste (ASTM G99, 2017).

A continuación, la calidad del revestimiento se examinó analizando su microestructura a través de difracción de rayos X (DRX) (D8 Discover, Bruker, Alemania) y midiendo las tensiones residuales (DRX) producidas tras la fabricación. Posteriormente, se procedió al rectificado del revestimiento

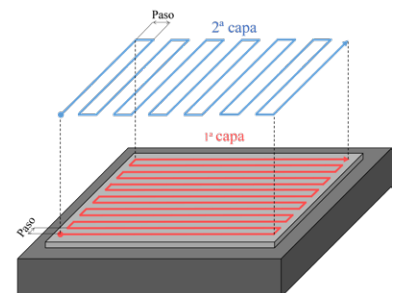


Figura 4. Patrón de recubrimiento (en rojo la primera capa y en azul, la segunda)

para medir nuevamente las tensiones residuales tras un proceso de mecanizado, y dureza (Tecmicro). Por último, las probetas fueron seccionadas y analizadas ópticamente (DCM 3D, Leica, Alemania) para observar la unión entre material aportado y sustrato y realizar mediciones de microdureza (FALCON 500, Innova Test, Países Bajos).

2.3. Ensayos de fricción y desgaste

Las pruebas tribológicas se realizaron en un dispositivo ball-on-disk (Fig. 5), siguiendo los procedimientos dictados en la norma (ASTM G99, 2017). Esta máquina aplica una fuerza normal sobre un indentador inmóvil, presionándolo sobre un plato sometido a rotación, por lo que se produce, de esta manera, un deslizamiento entre ambas partes. Aunque no hay rodadura como podría esperarse de un contacto rueda-carril, este escenario es válido para situaciones de contacto con la pestaña, las cuales se caracterizan por elevados seudodeslizamientos y condiciones saturadas del contacto. Como indentador se empleó una bola de 6 mm de diámetro, fabricada en WC 94/6 Co (módulo elástico de 600 GPa y coeficiente de Poisson de 0.22) debido a su elevada dureza, 1.550 HV. Con estos parámetros nominales y mediante de la teoría de Hertz (el problema tangencial no se tiene en cuenta para este cálculo), se calcula la máxima presión de contacto.

En la primera etapa de investigación se analizaron el AISI 4140 y el Stellite 6, y se compararon con la rueda de referencia mediante un test inicial de fricción y un segundo test de desgaste. Para las pruebas de fricción se empleó una fuerza normal de 5 N, lo que supone una presión máxima de 1.437 MPa, valor típico del contacto rueda con carril, una velocidad de deslizamiento de 0,1 m/s y una duración de 5.500 ciclos. Por el contrario, para analizar el desgaste, se emplearon una fuerza normal de 10 N (1.811 MPa) y una velocidad de deslizamiento de 0,12 m/s, con el fin de acelerar el fenómeno de desgaste. Asimismo, el número de ciclos también se aumentó a 36.000 para lograr estabilización del proceso y obtener una huella de desgaste más significativa. Finalmente, en el tercer test se analizaron los tres aceros, AISI 4140,



Figura 5. Tribómetro ball-on-disk.

	Test 1	Test 2	Test 3
Materiales ensayados	Rueda, AISI 4140 y Stellite 6	Rueda, AISI 4140 y Stellite 6	Rueda, AISI 4140, AISI 52100 y AISI H13
Fuerza (N)	5	10	15
Presión máxima de Hertz (MPa)	1.437	1.811	2.070
Velocidad de deslizamiento (m/s)	0,1	0,12	0,4
Total de ciclos	5.730	36.000	20.000

Tabla 4. Parámetros de los ensayos tribológicos

AISI 52100 y AISI H13, junto con el material de rueda. La carga y la velocidad se ampliaron, 15 N (2.070 MPa) y 0,4 m/s, respectivamente, y el total de ciclos se redujo a 20.000. Un resumen de los parámetros se muestra en la tabla 4. Todos los ensayos se realizaron bajo mismas condiciones atmosféricas, de temperatura, de humedad ambiente y sin lubricación. Todas las probetas

fueron pulidas manualmente mediante papel abrasivo hasta obtener una rugosidad $R_a < 0,1 \pm 0,09 \mu\text{m}$.

3. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

3.1. Microestructura y estado tensional

En primer lugar, se realizó un análisis de fase y cristalinidad de los materiales

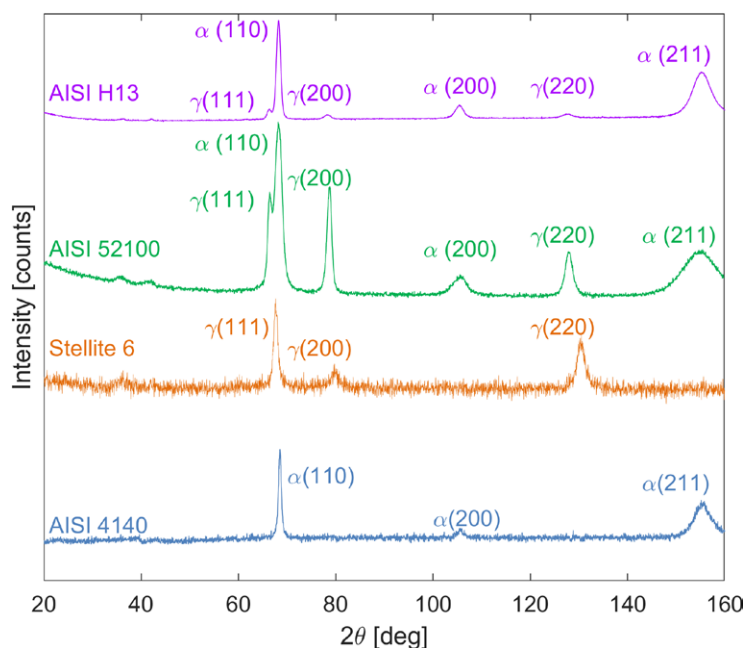


Figura 6. Análisis XRD (γ indica austenita, α indica ferrita)

de aporte mediante DRX en el rango $20^\circ < 2\theta < 160^\circ$ (Fig. 6), con una longitud de onda de $k\alpha_1, Cr = 2,28976 \text{ \AA}$, que, posteriormente, servirá para las tensiones generadas durante la fabricación.

En el caso del Stellite 6, los patrones de austenítica- γ pura demuestran la existencia de una estructura cúbica centrada en el las caras (FCC), mientras que en los aceros están claramente dominados por la fase ferrita- α , estructura cúbica centrada en el cuerpo (BCC). Esta fase es pura en el AISI 4140. Sin embargo, en los casos de AISI 52100 y AISI H13 se refleja también la existencia de fase γ , lo que indica la presencia de austenita retenida. Este comportamiento es característico de los procesos de fabricación aditiva asistidos por láser, en los cuales la combinación de altas temperaturas —superiores al punto de austenización— y elevadas tasas de enfriamiento impiden que la austenita formada disponga del tiempo suficiente para transformarse en ferrita/martensita (DebRoy *et al.*, 2018). No obstante, es posible apreciar cómo la intensidad de los patrones γ son mayores para el AISI 52100 que para el AISI H13, lo que indica que esta retención de austenita es mayor para el primero. Esto se debe, principalmente, a la composición química de estos dos materiales (v. tabla 1); AISI 52100 es un material con un alto contenido en carbono (1%), el cual es un estabilizador de austenita (Sae-narjhan, Kang & Kim, 2019); mientras que AISI H13 posee gran contenido de cromo (4,75%) y molibdeno (1,25%), formadores de ferrita (Kuzucu, Aksoy & Korkut, 1998; Ofner *et al.*, 2025). En la tabla 5 se muestra un resumen de los resultados de difracción obtenidos: ángulo 2θ , distancia interplanar, índices de Miller, parámetros de red y la identificación correspondiente al estándar JCPDS (Joint Committee on Powder Diffraction Standards).

En cuanto a las tensiones generadas durante la fabricación (tabla 6), el Stellite 6 originó un esfuerzo biaxial de tracción, un resultado característico de los procesos de fabricación aditiva DED-LB, debido a los elevados gradientes térmicos que se general durante la fabricación. Sin embargo, en los tres aceros aportados se obtuvieron tensiones de compresión.

Por otro lado, en el recubrimiento de AISI 4140 se observó un esta-

	2θ ($^\circ$)	Distancia interplanar d_{hkl} (\AA)	Índices de Miller (hkl)	Parámetro de red $a=b=c$ (\AA)	Identificación JCPDS
AISI 4140 (α)				2,8680	01-087-0721
P1	68,874	2,0552	1 1 0	2,8631	
P2	105,734	1,7803	2 0 0	2,8721	
P3	155,670	1,1711	2 1 1	2,8679	
Stellite 6 (γ)				3,5611	00-015-0806
P1	67,706	2,0552	1 1 1	3,5597	
P2	80,039	1,7803	2 0 0	3,5607	
P3	130,686	1,2597	2 2 0	3,5630	
AISI 52100 (α)				2,8782	00-006-0696
P1	68,154	2,0433	1 1 0	2,8896	
P2	105,580	1,4375	2 0 0	2,8750	
P3	155,428	1,1717	2 1 1	2,8701	
AISI 52100 (γ)				3,6113	00-023-0298
P1	66,419	2,0903	1 1 1	3,6205	
P2	78,760	1,8044	2 0 0	3,6089	
P3	127,882	1,2744	2 2 0	3,6046	
AISI 52100 (α)				2,8873	00-006-0696
P1	68,033	2,0465	1 1 0	2,8941	
P2	104,773	1,445	2 0 0	2,8905	
P3	154,137	1,1746	2 1 1	2,8773	
AISI H13 (γ)				3,6235	00-023-0298
P1	66,379	0,5792	1 1 1	3,6224	
P2	77,994	0,6806	2 0 0	3,6386	
P3	127,560	1,1131	2 2 0	3,6096	

Tabla 5. Resultados del análisis de difracción

do tensional de compresión desde la deposición del material, y que tras el proceso de rectificación decreció ligeramente y se mantuvo de igual manera la compresión. Estas compresiones no son resultados típicos de los procesos de fabricación láser. No obstante, se han observado generadas tras tratamientos térmicos mediante laser tras la fabricación mediante DED-LB (Duan *et al.*, 2023, Li *et al.*, 2024) o incluso tras la propia fabricación aditiva en carriles (Kendall *et al.*, 2022; Narayanan *et al.*, 2019), las cuales podrían estar ligadas a transformaciones de fase ocurridas en el material (Chen *et al.*, 2021; Rahman Rashid *et al.*, 2019). Estas últimas sugieren que durante la fabricación de cada cordón ocurre un enfriamiento rápido y se produce martensita y la consecuente expansión cristalina de cúbica a tetragonal, la cual queda restringida por el material ya solidificado y se generan así las tensiones de compresión. Sin embargo, con la fabricación de cada cordón se produce, al mismo tiempo, un calentamiento que afecta a los anteriores ya fabricados, lo que altera, de esta manera, sus propiedades y recibe el nombre de

[MPa]	σ_1	σ_2
AISI 4140	-423,7	-389,2
Stellite 6	151	95,8
AISI 52100	-220,5	-97,2
AISI H13	-62,9	-38,2

Tabla 6. Tensiones residuales en piezas fabricadas

martensita revenida (Wright, 2011). Esta martensita revenida se oscurece en comparación con la no revenida (Chen *et al.*, 2021; Rahman Rashid *et al.*, 2019), efecto que es claramente visible en la figura 3b. Con el fin de esclarecer este fenómeno se llevaron a cabo más mediciones en nuevas probetas fabricadas bajo los mismos parámetros (potencia, velocidad y caudal) que pudiesen confirmar el comportamiento del AISI 4140. Además, con el propósito de verificar que los resultados no se vieran influidos únicamente por efectos superficiales, las mediciones se repitieron tras la rectificación de la pieza. Los resultados obtenidos (tabla 7) confirman la repetibilidad de estas tensiones de compresión y permiten definir las como características

[MPa]	Según fabricado		Posrectificado	
	σ_1	σ_2	σ_1	σ_2
Pieza 1	-423,7	-389,2	-317,7	-136,9
Pieza 2	-245,85	-203,5	-338,6	-66,6
Pieza 3	-277,35	-209,15	-339,2	-46,1
Pieza 4	-405,9	-368,6	-316,2	-225,6

Tabla 7. Mediciones de tensiones residuales en piezas fabricadas con AISI 4140

propias de este material y, por tanto, adecuado para una mayor resistencia a fatiga.

3.2 Dureza

La tabla 8 muestra los resultados de la dureza superficial de cada material, y se muestra un promedio de 10 indentaciones realizadas a cada uno de ellos y la desviación estándar. En el caso de la rueda, se observa un valor de $27,8 \pm 0,8$ HRC, un resultado inferior al medido sobre la banda de rodadura anteriormente (342 HB, aprox. 37 HRC). Este cambio confirma que, efectivamente, la banda de rodadura se endureció por los numerosos ciclos de carga a los que fue sometida durante su puesta en servicio, mientras que, a escasos milímetros de profundidad, su valor sigue siendo cercano a los 255 HB (aprox. 26 HRC) que dicta la norma. Por otro lado, todos los recubrimientos aumentaron la dureza, y en algunos casos se alcanzó el doble. En primer lugar, se observa que el AISI 4140 posee el menor valor de los recubrimientos, y con una desviación significativa, $48,4 \pm 2,4$ HRC. Esta desviación es de gran importancia, ya que puede representar indicios de inestabilidad en el material aportado, lo que afecta a su comportamiento. Por el contrario, tanto el Stellite 6 como AISI 52100 y AISI H13 presentan valores más estables, $50,6 \pm 1,5$ HRC, $66,2 \pm 1,3$ HRC y $59,3 \pm 1,3$ HRC, respectivamente. Sin embargo, lo más relevante es que estos valores son superiores al doble del de la rueda, lo que indica una gran mejora en sus propiedades mecánicas y sugiere, por tanto, ser más adecuados para aplicaciones que requieren gran resistencia a deformación y desgaste. No obstante, en el contacto rueda con carril ferroviario una mayor dureza no es necesariamente preferible, ya que podría desencadenar el efecto adverso de aumentar el desgaste del elemento

que contactar, el raíl. Comprender y controlar esto es esencial para garantizar una funcionalidad óptima. En este caso, aunque el AISI 4140 tiene el valor más bajo de los materiales revestidos, su elevada desviación podría tener un efecto perjudicial en la estabilidad de la pieza recubierta. Por ello, el Stellite 6 y el AISI H13, con valores promedio no demasiado elevados y baja desviación, pueden considerarse las opciones más adecuadas.

3.3. Microdureza

A continuación, se presenta el análisis de microdureza realizado en la primera etapa de la investigación, por lo que únicamente se muestra para AISI 4140 y Stellite 6. Se analizó la transición entre estos revestimientos y sus sustratos mediante metalografías (Fig. 7), y no se observaron fallos ni irregularidades de adhesión, poros ni otros posibles defectos. También se llevaron a cabo mediciones de microdureza siguiendo un procedimiento estándar de 300 gramos de aplicación durante 10 segundos (dwell time). Estas mediciones se realizaron en el centro de los cordones de la primera capa, con dos mediciones por metalografía con dos metalografías por material. El promedio de

HRC	Promedio	Desviación estándar
Rueda	27,8	$\pm 0,8$
AISI 4140	48,4	$\pm 2,4$
Stellite 6	50,6	$\pm 1,5$
AISI 52100	66,2	$\pm 1,3$
AISI H13	59,3	$\pm 1,3$

Tabla 8. Resultados de dureza HRC

estas medidas en forma de variación en profundidad se muestra en la figura 8.

Como puede observarse, el recubrimiento de AISI 4140 presentó unos valores muy estables en la capa aportada ($d < 1$ mm) con un promedio de 508 HV_{0,3}. A continuación, existe una transición, en la ZAT, puramente decreciente hasta alcanzar el sustrato (270 HV_{0,3}) a 1,7 mm de profundidad. Por otro lado, los resultados obtenidos en el Stellite 6 confirman su anticipada superior dureza, con un valor máximo de 580 HV_{0,3} en la superficie, que tras un ligero descenso a 500 HV_{0,3} vuelve a aumentar brevemente según se aproxima al inicio de la ZAT, a 0,8 mm de profundidad. Sin embargo, a diferencia del AISI 4140, es visible un pequeño valle de 350 HV_{0,3} a 1 mm de profundidad, antes de alcanzar el sustrato alrededor de los 1,4 mm de profundidad. Analizando la metalografía del Stellite 6 (Fig. 7b) puede observarse que la variación de microdureza en la transición entre este material y el sustrato corresponde a la ZAT de la segunda capa. Este recalentamiento produce un leve recocido y, de esta manera, disminuye la dureza y se consigue, consecuentemente, la no uniformidad en la transición entre material aporta-

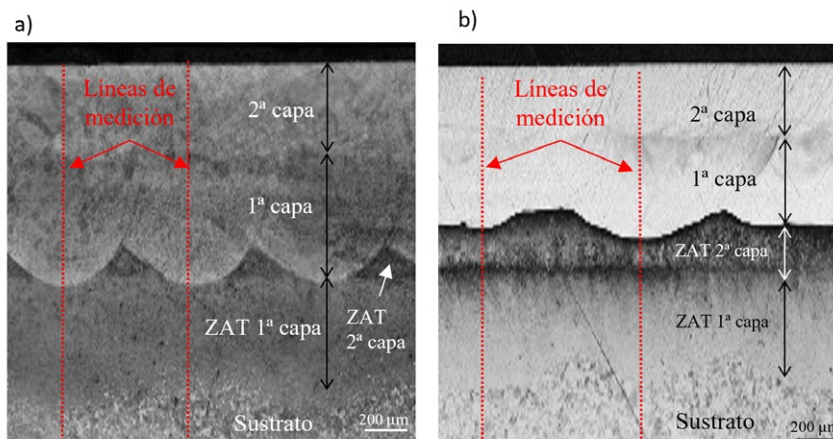


Figura 7. Secciones transversales de los recubrimientos: a) AISI 4140 b) Stellite 6

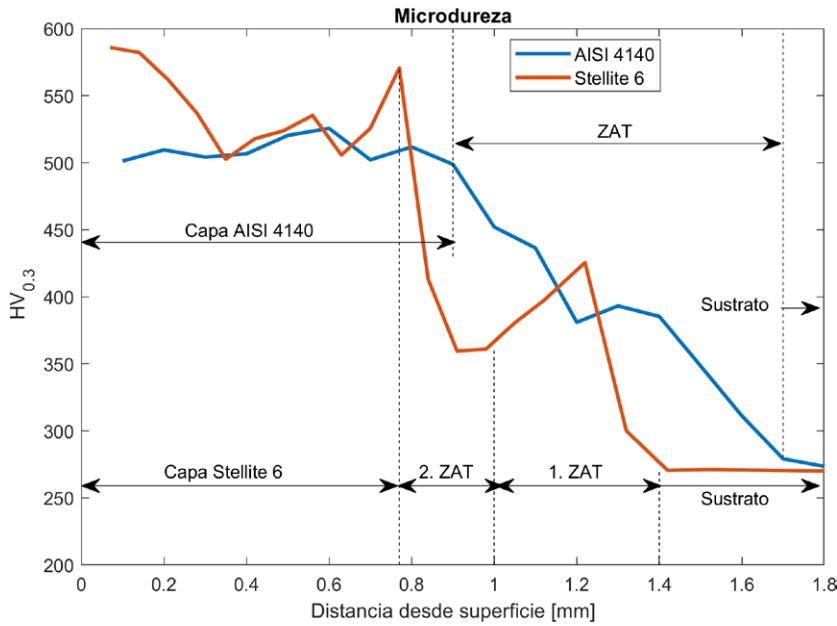


Figura 8. Variación de la microdureza

do y sustrato. Este efecto no se da en el AISI 4140, puesto la ZAT generada durante la segunda capa es de menor espesor (Fig. 7a), por lo que existe únicamente en la zona intermedia de los cordones de la primera capa.

En conclusión, aunque inicialmente se desaconsejaba el uso de AISI 4140, debido a su mayor desviación en la dureza superficial, los análisis de microdureza en profundidad han revelado que este material presenta una estabilidad y uniformidad interna superiores en comparación con el Stellite 6, a pesar de que este último mostraba una menor variabilidad superficial. Por ello, especialmente en recubrimientos multicapas como el de este estudio, resulta crucial evaluar la calidad de la unión entre el recubrimiento y el sustrato. En este contexto, la ZAT desempeña un papel determinante, y es deseable que su espesor sea menor que

el de la capa aportada, ya que esto contribuye a evitar irregularidades en la dureza y mejora el rendimiento global del recubrimiento.

3.4. Ensayos de fricción y desgaste

Test 1: ensayo de fricción

A continuación se muestran los resultados del ensayo de fricción (test 1 en la tabla 4), en el que, en primer lugar, se observa que el recubrimiento fabricado con AISI 4140 posee el menor coeficiente de fricción (CdF), el cual se estabiliza en $0,25 \pm 0,02$ después de 1.150 ciclos, seguido por la rueda sin revestimiento, con un valor promedio de $0,3 \pm 0,02$ tras 1.750 ciclos. Por el contrario, el Stellite 6 presentó el mayor CdF, con un máximo valor medio de $0,7 \pm 0,04$ después de 1.210 ciclos. Esta comparativa entre valores estabilizados se muestra en la figura 6b. La

observación inicial de la prueba tribológica destaca el extremadamente elevado coeficiente de fricción del Stellite 6, especialmente cuando se compara con la rueda sin recubrimiento y con AISI 4140. Aunque estos hallazgos son consistentes con los de otros estudios de ball-on-disk en los que se obtenían elevados CdF para Stellite 6 (Poshtahani, Roostaie & Azadi, 2023; Suh *et al.*, 2024, y Ostolaza *et al.*, 2024), estos valores son contrarios al resultado deseado, ya que un alto CdF implica mayores fuerzas de contacto y, por tanto, mayores porcentajes de desgaste. Analizando estos resultados, se evidencia que el AISI 4140 exhibió un comportamiento muy similar al de la rueda de referencia, e, incluso, llegó a poseer un valor estabilizado más bajo, lo que sugiere la buena viabilidad del AISI 4140 como material de aporte en rueda.

Test 2: ensayo de fricción y desgaste

En la primera prueba de desgaste (test 2 en la tabla 4), se llevó a cabo nuevamente la medición del CdF durante todo el ensayo (Fig. 10). Todos los materiales comenzaron con un CdF de 0,1 hasta alcanzar valores significativos, nuevamente alrededor de los 1.000 ciclos. A continuación, el CdF de la rueda sin recubrimiento fluctuó de forma brusca entre 0,35 y 0,5 hasta alcanzar los 28.000 ciclos. Esta falta de uniformidad puede asociarse al desprendimiento de pequeñas partículas superficiales que actúan como una tercera capa intermedia en el contacto. Posteriormente, el CdF aumentó repentinamente a 0,8, lo cual se atribuye a una pérdida de material aún más grave. En el caso del AISI 4140, el comportamiento fue similar durante la primera etapa. No obstante, presenta un comportamiento más moderado durante el incremento desde el CdF de 0,3 a los 1.000 ciclos, hasta el CdF de 0,4 a los 30.000 ciclos. En ese momento, ocurrieron algunas fluctuaciones y la fricción aumentó, al igual que la rueda, hasta 0,8 al final de la prueba. Esto puede indicar que la pérdida de material fue menor y ocurrió en una etapa posterior en comparación con la rueda de referencia. Finalmente, Stellite 6, que ya presentó el CdF más alto anteriormente, comenzó con diversas oscilaciones y aumentó su valor, de nuevo hasta 0,8, antes de los 12.000

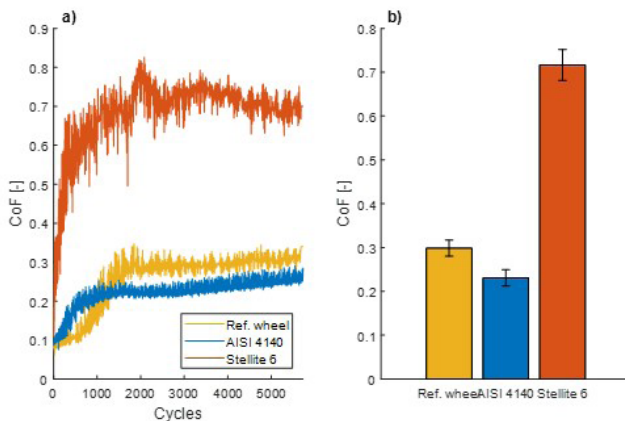


Figura 9. a) Coeficientes de fricción durante el ensayo; b) valores estabilizados del coeficiente de fricción.

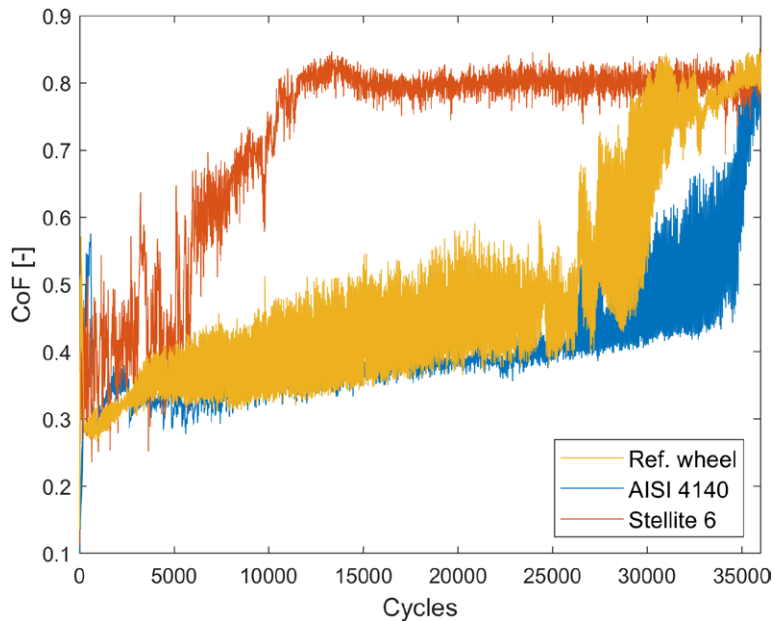


Figura 10. Coeficientes de fricción durante los ensayos de desgaste

ciclos y permaneció estable hasta el final de la prueba. Esto sugiere que la pérdida de material para el Stellite 6 ocurrió extremadamente rápido, lo que aumentaría de forma significativa el desgaste. Este hecho podría verse seriamente afectado por la tensión residual de tracción inicial generada en el recubrimiento de Stellite 6 durante el proceso de LC, lo que acelera, de esta manera, la pérdida de material superficial.

Tras los ensayos, se analizaron las huellas de desgaste y se observaron restos de polvo rojizo tanto en la rueda sin revestimiento como con revestimiento de AISI 4140, además de ser es-

tas huellas más oscuras bajo microscopía (Figs. 11a y 12a). Estos hechos son indicios de haberse producido desgastes oxidativos. Y es más evidente en el AISI 4140, ya que este tipo de desgaste ayuda a mantener un bajo coeficiente de fricción (Glascott, Stott & Wood, 1985; Rowe, 2009), y a las pequeñas películas de óxido apreciables en la huella de desgaste (Fig. 12a). Por el contrario, en la rueda sin recubrimiento (Fig. 11a) son visibles algunas estrías que indican que varias micropartículas fueron arrastradas, como podía anticiparse por las oscilaciones del CdF (v. Fig. 10). Esto sugiere que, aunque hubo un proceso de oxidación, ocurrió, asimis-

mo, un desgaste abrasivo en el que estas micropartículas actúan formando una capa intermedia. Por otro lado, en la topografía de la rueda sin recubrimiento (Fig. 11b) se observa una considerable cantidad de material acumulado en los bordes, especialmente notable en el borde exterior debido a la acción centrífuga de la rotación, lo que indica una gran transferencia de material; ocurre en menor medida en la rueda recubierta con AISI 4140 (Fig. 12b).

En el caso del Stellite 6, el repentino aumento del CdF en ambos ensayos (v. Figs. 9 y 10) demuestra que las micropartículas se desprendieron muy rápidamente, lo que provocó un desgaste abrasivo excesivo. Esto es también evidente por la presencia de estrías en la huella de desgaste (Fig. 13a). Esta pérdida de material, unida a la elevada dureza de la Stellite 6, dio lugar a una tercera capa muy agresiva que incrementó el desgaste en mucha mayor medida que la de la rueda sin revestimiento, como puede verse si se compara frente a la topografía de la rueda (Fig. 11.b). Esto refleja un efecto bien conocido en el ámbito ferroviario, en el que las micropartículas que se desprenden de la rueda y del carril debido a la rodadura se depositan sobre la cabeza del carril (Harrison, 2020) y actúan, posteriormente, como elemento acelerador del desgaste. Estos resultados muestran una tasa de desgaste extraordinariamente elevada para el Stellite 6 en comparación con

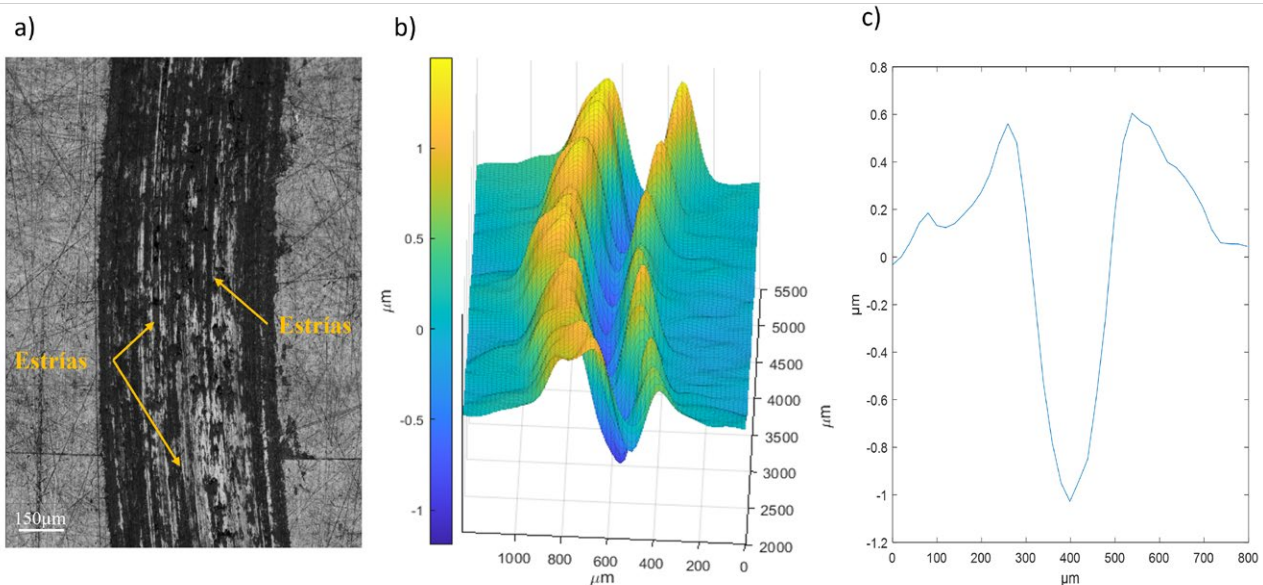


Figura 11. Desgaste de la rueda sin recubrimiento: a) imagen óptica, b) topografía y c) perfil medio transversal.

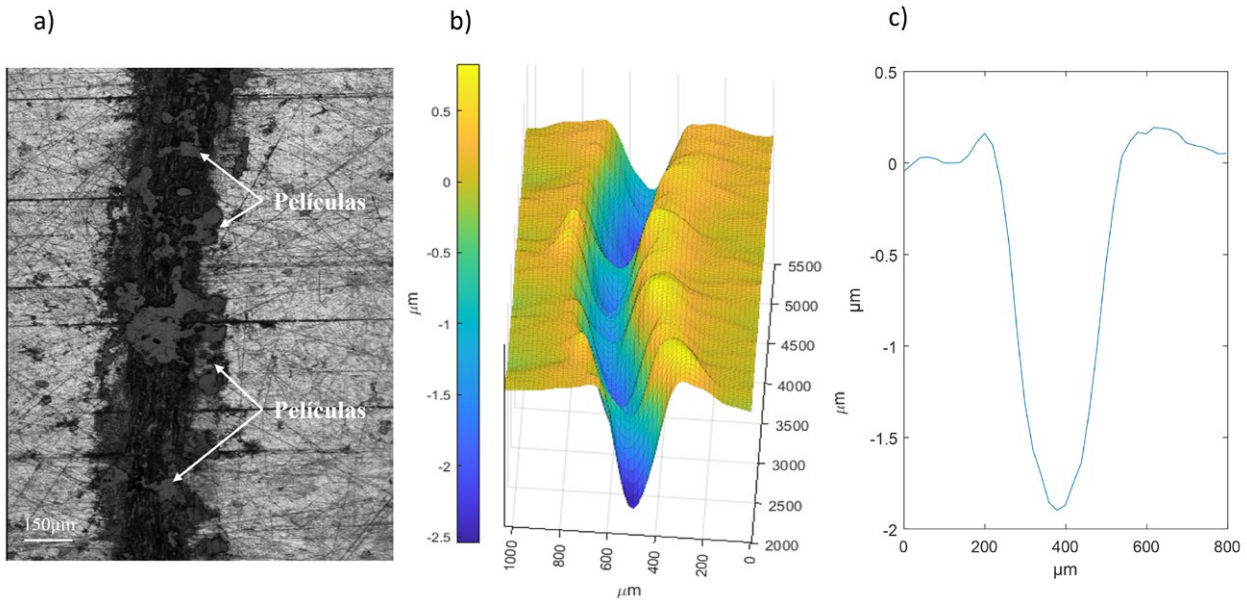


Figura 12. Desgaste de AISI 4140: a) imagen óptica, b) topografía y c) perfil medio transversal.

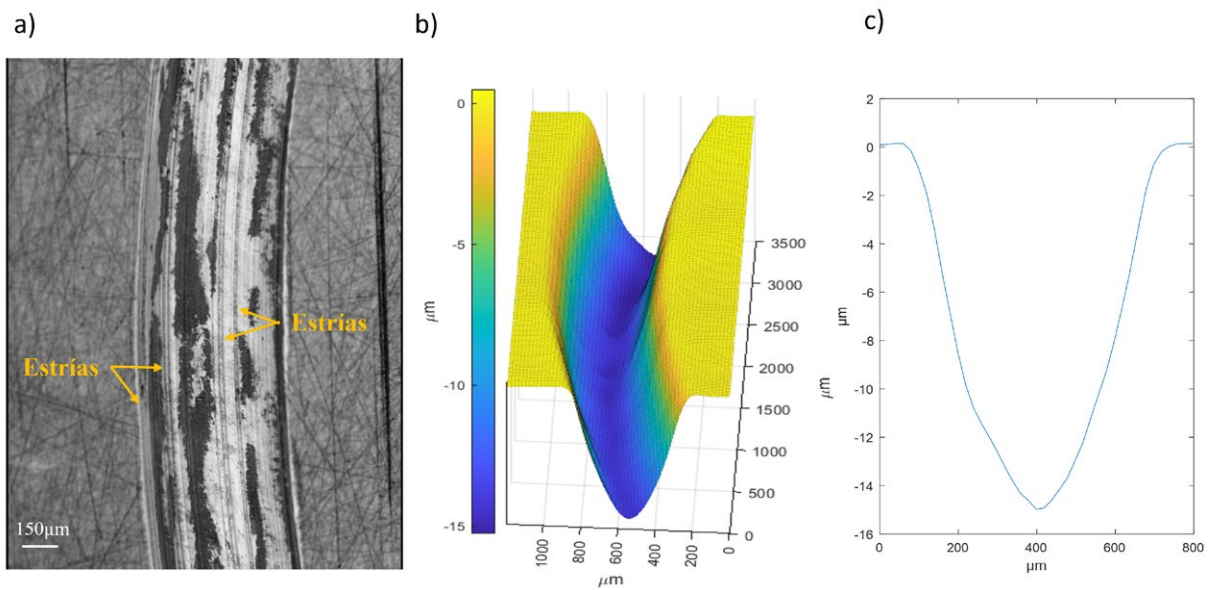


Figura 13. Desgaste de Stellite 6: a) imagen óptica, b) topografía y c) perfil medio transversal.

la rueda de referencia ER9 empleada, y con el acero AISI 4140 depositado. Aunque estos resultados son contrarios a los esperados, son semejantes a los obtenidos en estudios similares, Ostolaza *et al.* (2024) compararon esta aleación frente a un acero comercial y observaron que el desgaste del Stellite era, aproximadamente, 6 veces superior, y únicamente podía ofrecer un mejor comportamiento en condiciones de elevada temperatura.

Finalmente, sobre las marcas de desgaste se realizaron integraciones mediante el método trapezoidal para obtener el perfil promediado. Por cada material se integraron 8 secciones repartidas equitativamente sobre la cir-

conferencia desgastada, y la longitud total integrada fue ligeramente superior al 25% de la circunferencia. En primer lugar, destaca de nuevo la gran cantidad de material desgastado en el caso del Stellite 6 (v. Fig. 13c), el cual llega a alcanzar hasta una profundidad (14 µm) un orden de magnitud superior a la de la rueda (v. Fig. 11c) (1 µm), así como una mayor amplitud horizontal. Por otro lado, aunque el AISI 4140 presentó un CdF menor, y un proceso de desgaste similar a la rueda y sin tanta acumulación de material en el borde, la máxima profundidad (v. Fig. 12c) (1,9 µm) es también superior a la de la rueda.

Test 3: segundo ensayo de fricción y desgaste

Este tercer ensayo corresponde a una ampliación de la búsqueda del material más adecuado para su uso en el reperfilado de ruedas ferroviarias. Debido al favorable resultado obtenido por el acero AISI 4140 en el anterior test, los nuevos materiales seleccionados fueron otros dos aceros de calidad AISI 52100 y AISI H13, y se analizó de nuevo su comportamiento ante fricción y desgaste.

El CdF de este nuevo ensayo se muestra en la figura 14. A primera vista se observa que tanto la rueda como el AISI 4140 y AISI 52100 presentan

un comportamiento muy similar, con un valor muy cercano a 0,4, un valor estándar que se espera encontrar en el típico contacto rueda-carril. Sin embargo, pueden distinguirse pequeñas diferencias entre estos tres materiales; mientras que la rueda muestra una tendencia al alza, el comportamiento de AISI 4140 y AISI 52100 puede dividirse en dos etapas: una primera etapa de crecimiento hasta los 1.200 ciclos, en la cual el CdF es ligeramente superior al de la rueda, y una segunda etapa de final del ensayo en la que el CdF de ambos recubrimientos comienza un leve descenso hasta finalizar con un valor menor del de la rueda. Esta diferencia del valor último es aún mayor en el caso del AISI 52100. Además, pico de rodaje (run in peak), el característico máximo inicial de fricción antes de llegar a estabilizarse, es mucho menor en el AISI 52100, Este hecho es otro gran indicio de la excelente respuesta a fricción de este material. Por otro lado, en el caso del AISI H13, este pico es significativamente más alto y duradero, además de tener un CdF también mucho mayor que el resto durante todo el ensayo. Esto sugiere que este material muestra un gran mecanismo de adhesión, lo que es fácilmente traducible a un gran volumen de desgaste.

En resumen, los sobresalientes resultados obtenidos por AISI 4140 y AISI 52100 son un excelente indicio de la viabilidad del proceso de DED-LB para la aplicación del reperfilado de ruedas ferroviarias y sus requisitos de comportamiento a fricción.

Las topografías y el perfil promedio transversal de los cuatro materiales se muestran, respectivamente, en las figuras 15 y 16. Bajo una primera observación es posible concluir lo anteriormente relatado, pues en el recubrimiento AISI H13 hay una gran cantidad de material eliminado y es visible un trazado de 800 μm de ancho y 20 μm de profundidad. Esta última es, aproximadamente, 4 veces la de la rueda. Por otro lado, el AISI 52100 presenta también un comportamiento irregular, con un perfil no demasiado profundo (3,5 μm), pero muy estrecho (100 μm). Esto puede deberse a una transferencia de material, el cual ha quedado adherido a la bola y actúa como un filo que genera una ranura en el material. Sin embargo, este efecto

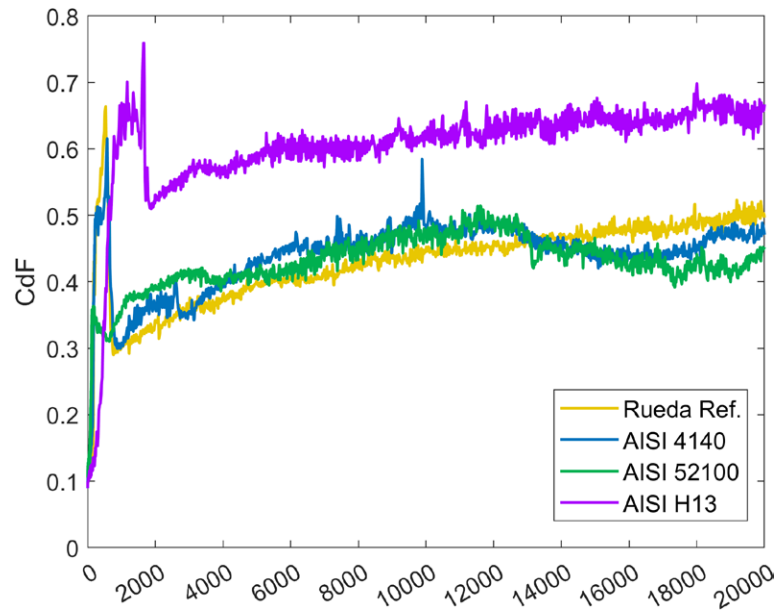


Figura 14. Coeficiente de fricción correspondiente al test 3.

podría haber sido amplificado por las condiciones cerradas del laboratorio, y es improbable que se reproduzca en un

contacto real rueda-carril en el que la posición del contacto es variable y hay grandes fuerzas de arrastre aerodi-

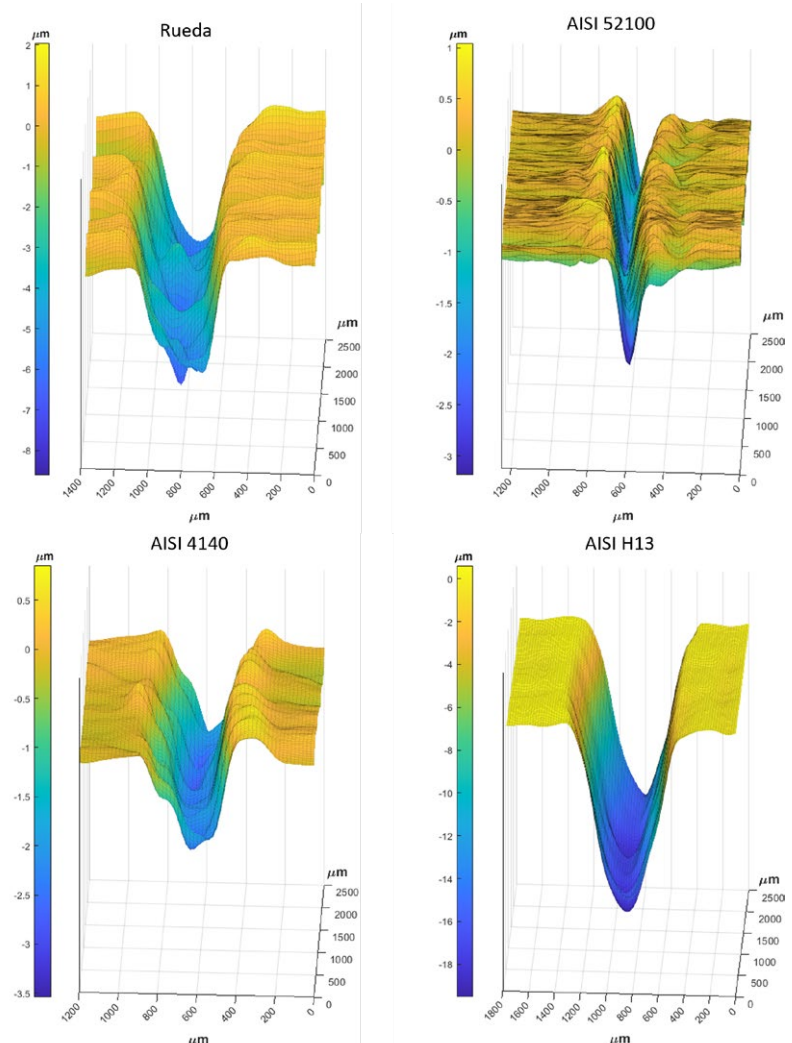


Figura 15. Topografías de desgaste del test 3.

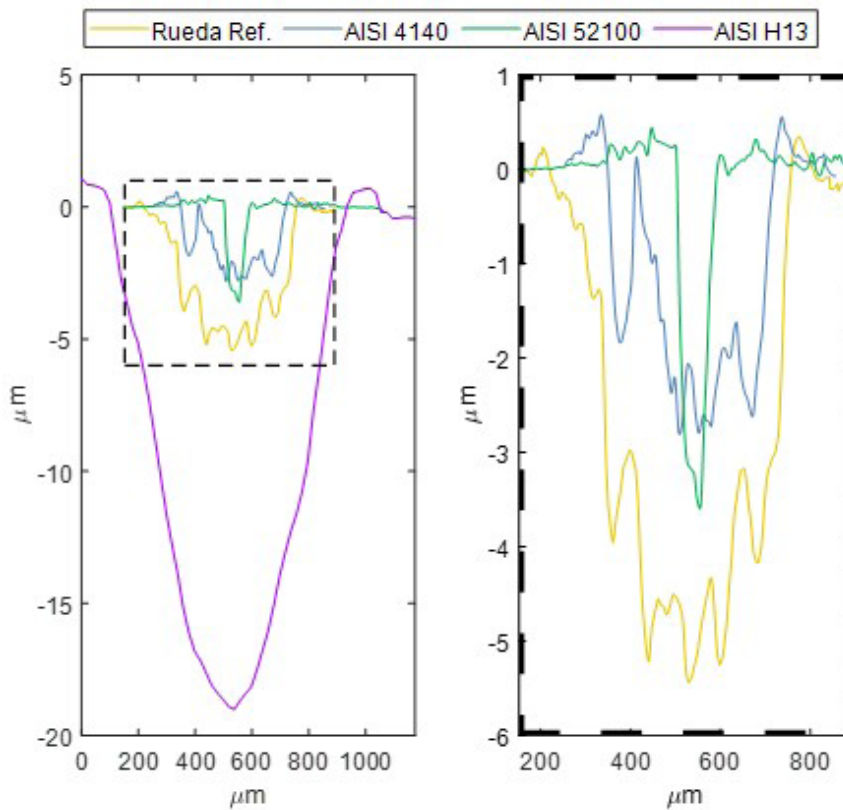


Figura 16. Perfiles de desgaste correspondientes al test 3.

námicas. Finalmente, el contorno del AISI 4140 es prácticamente similar al de la rueda, lo que indica un mecanismo de desgaste análogo, pero con unas dimensiones, tanto en profundidad ($2,5 \mu\text{m}$) como en anchura ($400 \mu\text{m}$), considerablemente menores a las de la rueda, $5 \mu\text{m}$ y $600 \mu\text{m}$, respectivamente. Estos resultados sugieren que el AISI 4140 no solamente puede igualar el comportamiento de la rueda, sino que puede mejorarlo considerablemente, lo cual lo convierte en el material más idóneo para uso en procesos de DED-LB en el reperfilado de ruedas ferroviaria y su requisito de poseer una gran resistencia al desgaste.

4. CONCLUSIONES

En este estudio se ha empleado el proceso DED-LB para estudiar la fabricación aditiva metálica como método de reperfilado de ruedas de ferrocarril. Para ello, fueron extraídos varios especímenes de la banda de rodadura de rueda de desgastada de grado ER9 y se realizaron recubrimientos superficiales con dos tipos de material. Dado que la rueda está sometida a altos requerimientos de desgaste, la resistencia al

desgaste del material aportado debe ser evaluada, por lo que se realizaron ensayos tribológicos en un dispositivo de ball-on-disk. Aunque este escenario no se trata de un contacto de rodadura, puede reproducir eficazmente situaciones de contacto de raíl con pestaña, en el que se dan unas condiciones de contacto muy saturadas con elevados deslizamientos. Cabe destacar también que el entorno de los ensayos de laboratorio es diferente del real, pues no se tuvieron en cuenta las influencias que la humedad, la corrosión y terceras capas (arena, hojas, lubricación) pudieran tener en los resultados. Para las condiciones analizadas las principales conclusiones que pueden extraerse de este trabajo son las siguientes:

- Se ha demostrado que la fabricación aditiva metálica puede usarse como una técnica factible para la creación de recubrimientos superficiales sobre ruedas de ferrocarril. Todos los materiales utilizados en este estudio fueron depositados correctamente sobre la banda de rodadura, sin detectarse poros ni otros defectos que afecten a la integridad del enlace entre material aportado y sustrato.

- Al realizar recubrimientos sobre ruedas ferroviarias, es primordial que el material cumpla con las exigencias de dureza requeridas en la norma, para soportar los distintos requisitos mecánicos a los que se ven sometidas las ruedas durante su vida útil. Sin embargo, la unión entre material aportado y sustrato está influenciada por la ZAT. En este caso en concreto, a pesar de que el AISI 4140 mostraba un comportamiento superficial poco uniforme, con gran desviación, el posterior análisis interno ha demostrado que es mucho más homogéneo que aquellos con una desviación menor en la dureza superficial. Por ello, es imprescindible complementar dicha medición con análisis de microdureza en profundidad, que permiten caracterizar la distribución de dureza a lo largo del espesor del recubrimiento y en la ZAT. Esta información es clave para evaluar la integridad estructural, la resistencia al desgaste y la calidad de la unión metalúrgica entre el recubrimiento y el sustrato, por lo que es deseable que el espesor de la ZAT sea inferior al de la capa aportada para evitar no uniformidades en la dureza.

- Dado que las ruedas ferroviarias están sometidas a cargas variables, es esencial que tengan una gran resistencia a RCF. En la fabricación de las muestras de estudio se han conseguido desarrollar tensiones de compresión en los recubrimientos, lo que es un resultado excelente para combatir la propagación de grietas. Asimismo, se ha demostrado que el AISI 4140 posee una gran repetibilidad de generar tensiones residuales de compresión, lo que lo convierte en un material potencialmente adecuado para el reperfilado de ruedas ferroviarias. No obstante, es importante señalar que la difracción de neutrones es una técnica no destructiva sencilla y útil para medir el estado tensional en la superficie, mientras que, si se desea un análisis más completo, especialmente en todo el espesor del recubrimiento, se requiere una técnica más exhaustiva y destructiva.
- Los ensayos tribológicos realizados en este estudio concluyen que las piezas fabricadas con DED-LB pueden igualar eficazmente la respuesta

de fricción de la rueda. En concreto, tanto el AISI 4140 como el AISI 52100 presentan un comportamiento muy similar al de la rueda, e incluso podrían superarlo.

• Por otro lado, también se ha concluido que el AISI 4140 puede replicar perfectamente el comportamiento de desgaste de la rueda, y puede mejorarlo, lo que se traduce en una reducción de la cantidad de material eliminado. Además, el AISI 52100 dio como resultado un área de desgaste más pequeña, pero irregular. Por ello, antes de poder confirmar su aptitud, es necesario realizar un estudio exhaustivo para comprender completamente su mecanismo de desgaste.

En general, se ha demostrado que el DED-LB podría utilizarse eficazmente como técnica viable para producir recubrimientos superficiales en ruedas ferroviarias, lo que resultaría especialmente interesante para aquellas en las que el desgaste este concentrado en la pestaña. Esto es así porque para restaurar el perfil completo de rodadura es necesario reducir notablemente el diámetro y, por tanto, eliminar una gran cantidad de material, con el consiguiente desperdicio económico, mientras que mediante esta nueva técnica se evitaría el desaprovechamiento de una cantidad considerable de material durante el torneado. En concreto, el AISI 4140 ha sido seleccionado como el candidato óptimo debido a su combinación superior de todas las características. Además, la asequibilidad de este material desempeñaría un papel fundamental para reducir los gastos de mantenimiento y aumentar la eficiencia del funcionamiento ferroviario. Aunque este estudio es aún muy preliminar, debido a las elevadas sollicitaciones que soportan las ruedas de ferrocarril en servicio, constituye un paso inicial antes de que esta técnica pueda ser implementada en la industria. No obstante, es necesaria una mayor investigación sobre el uso de la fabricación aditiva en el reperfilado del perfil de rodadura completo, y el proceso de desgaste por rodadura, antes de que las ruedas reperfiladas mediante esta técnica puedan operar en la vía en condiciones reales.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo finan-

ciero de Horizon Europe: Europe's Rail Joint Undertaking Academics-4Rail [101121842], del Gobierno Vasco [IT1764-22, KK-2023/00029], y del Ministerio de Ciencias y Universidades MICINN, Ministerio de Economía, Comercio y Empresa MINECO y MCI/AEI [PID2019-109483RB-I00], incluyendo la financiación del Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER). No obstante, los puntos de vista y opiniones expresados son responsabilidad exclusiva de los autores y no reflejan necesariamente los de la Unión Europea ni de Europe's Rail Joint Undertaking. Ni la Unión Europea ni la autoridad otorgante pueden considerarse responsables de estas. Los autores también agradecen el servicio técnico y humano de los SGIker (UPV/EHU/FEDER, EU).



REFERENCIAS

- Åhrén, T., Waara, P., & Larsson Kråk, P. O. (2003). Technical and economic evaluation of maintenance for rail and wheels on Malmbanan. En Implementation of heavy haul technology for network efficiency: Proceedings of the International Heavy Haul Conference (pp. 5.81-5.86). International Heavy Haul Association.
- ASTM G99 17. (2017). Standard Test Method for Wear Testing with a Pin on Disk Apparatus. ASTM International.
- Chen, W., Xu, L., Han, Y., Zhao, L., & Jing, H. (2021). Control of residual stress in metal additive manufacturing by low temperature solid state phase transformation: An experimental and numerical study. Additive Manufacturing, 42, 102016.
- DebRoy, T., *et al.* (2018). Additive manufacturing of metallic components – Process, structure and properties. Progress in Materials Science, 92.
- Ding, H., *et al.* (2022). Effect of laser claddings of Fe based alloy powder with different concentrations of WS_2 on the mechanical and tribological properties of railway wheel. Wear, 488-489, 204174.
- Duan, S., Ren, W., Lei, W., & Wang, Y. (2023). Study on the microstructure and properties of rail cladding layer after laser quenching. Journal of Manufacturing Processes, 108, 180-193.
- Fasihi, P., Abrahams, R., Mutton, P., & Yan, W. (2021). Tribological properties of a new alloy laser clad on hypereutectoid rails. Journal of Tribology, 143(5).
- Fasihi, P., *et al.* (2022). Tribological properties of laser clad alloys for repair of rail components. Materials, 15(21).
- Fu, Z. K., *et al.* (2015). Investigation on microstructure and wear characteristic of laser cladding Fe based alloy on wheel/rail materials. Wear, 330-331, 592-599.
- Glascott, J., Stott, F. H., & Wood, G. C. (1985). The effectiveness of oxides in reducing sliding wear of alloys. Oxidation of Metals, 24(3), 99-114.
- Guo, H. M., *et al.* (2015). Investigation on wear and damage performance of laser cladding Co based alloy on single wheel or rail material. Wear, 328, 329, 329-337.
- Harrison, H. (2020). Producing and measuring the 3rd body layer. En Proceedings of the 2020 Joint Rail Conference. Joint Rail Conference.
- Hernandez Martinez, J., Santamaria, J., Arrizubieta, J. I., & Correa, N. (2025). Experimental evaluation of novel alloy powders for extending service life of railway wheels worn by use. Wear, 205945.
- Kendall, O., Fasihi, P., Abrahams, R., & Paradowska, A. (2022). Application of a new alloy and post processing procedures for laser cladding repairs on hypereutectoid rail components. Materials, 15(15).
- Kuzucu, V., Aksoy, M., & Korkut, M. H. (1998). The effect of strong carbide forming elements such as Mo, Ti, V and Nb on the microstructure of ferritic stainless steel. Journal of Materials Processing Technology, 82.
- Lewis, S. R., & Fletcher, D. I. (2015). Assessment of laser cladding as an option for repairing/enhancing rails. Wear, 330, 331, 581-591.
- Lewis, S. R., *et al.* (2016). Improving rail wear and RCF performance

- using laser cladding. *Wear*, 366, 367, 268-278.
- Li, N., *et al.* (2024). Microstructure and wear behaviors of 17 4 PH stainless steel fabricated by laser cladding with post laser shock peening treatment. *Wear*, 538, 539, 205207.
- Lu, P., *et al.* (2019). Laser cladding of rail: The effects of depositing material on lower rail grades. *Wear*, 438-439, 203045.
- Meng, L., Zhu, B., Hu, Q., Zeng, X., & Wang, D. (2021). Laser induction hybrid cladding of different coatings on rail surface: Microstructure, wear properties and contact fatigue behaviors. *Applied Surface Science*, 566, 150678.
- Narayanan, A., Mostafavi, M., Pirling, T., & Kabra, S. (2019). Residual stress in laser clad rail. *Tribology International*, 140, 105844.
- Nellian, A. S., & Pang, J. H. L. (2023). Laser metal deposition characterization study of metal additive manufacturing repair of rail steel specimens. *Virtual and Physical Prototyping*, 18(1), e2134042.
- Nellian, A. S., *et al.* (2018). Microstructure and wear performance assessment of laser clad rail steel for service life extension at sharp radius curves. En 2018 International Conference on Intelligent Rail Transportation (ICIRT) (pp. 1-5).
- Ofner, N., *et al.* (2025). Influence of increasing chromium content on additively manufactured tool steels: Microstructural and mechanical evolution before and after heat treatment. *Journal of Materials Research and Technology*, 34.
- Ostolaza, M., *et al.* (2024). High temperature tribological performance of functionally graded Stellite 6/WC metal matrix composite coatings manufactured by laser directed energy deposition. *Friction*, 12(3), 522-538.
- Pereira, H. B., *et al.* (2024). Influence of HAZ microstructure on RCF under twin disc test of a flash butt welded rail. *Wear*, 546-547, 205324.
- Poshtahani, A. G., Roostaie, S., & Azadi, M. (2023). Plasma nitriding effect on tribological and corrosion properties of Stellite 6 and 12 PTA weld clad hardfaced on stainless steel 410. *Results in Surfaces and Interfaces*, 11, 100108.
- Rahman Rashid, R. A., Nazari, K. A., Barr, C., & Palanisamy, S. (2019). Effect of laser reheat post treatment on the microstructural characteristics of laser clad ultra high strength steel. *Surface and Coatings Technology*, 372, 93-102.
- Rowe, W. B. (2009). Mechanics of abrasion. En *Principles of Modern Grinding Technology* (pp. 341-363).
- Saenarjhan, N., Kang, J. H., & Kim, S. J. (2019). Effects of carbon and nitrogen on austenite stability and tensile deformation behavior of 15Cr 15Mn 4Ni based austenitic stainless steels. *Materials Science and Engineering A*, 742.
- Shen, M., Mei, L., Gong, F., Li, C., & Li, Q. (2024). Damage behaviour of rail flash butt welding joints under controlled impact kinetic energy. *Wear*, 552-553, 205435.
- Suh, J., *et al.* (2024). Control of the grain structure and wear behavior of a Y₂O₃ nanoparticle dispersed Stellite 6 alloy fabricated by laser directed energy deposition. *Journal of Alloys and Compounds*, 1002, 175326.
- Tomlinson, K., Fletcher, D. I., & Lewis, R. (2023). Evaluation of laser cladding as an in situ repair method on rail steel. *Tribology International*, 180, 108210.
- UNE EN 12299:2010. (2010). Railway applications – Ride comfort for passengers – Measurement and evaluation. European Standard.
- UNE EN 13262. (2021). Railway applications – Wheelsets and bogies – Wheels – Product requirements. European Standard.
- UNE EN ISO 3095:2013. (2013). Railway applications – Acoustics – Measurement of noise emitted by railbound vehicles. International Organization for Standardization.
- UNE EN ISO 13715:2021. (2021). Railway applications – Wheelsets and bogies – Wheels – Tread profile. International Organization for Standardization.
- Urresti, A., Murua, O., Arrizubieta, J. I., & Lamikiz, A. (2024). In situ monitoring of the DED LB process for defect detection. *Procedia CIRP*, 124, 314-317.
- Vafadar, A., Guzzomi, F., Rassau, A., & Hayward, K. (2021). Advances in metal additive manufacturing: A review of common processes, industrial applications, and current challenges. *Applied Sciences*, 11(3).
- Vasić, G., & Franklin, F. J. (2011). Plastic deformation and crack initiation in hard pearlitic rail steels. En *IOM3 Conference on 20th Century Rail*. York, United Kingdom.
- Wang, W. J., *et al.* (2016). The role of lanthanum oxide on wear and contact fatigue damage resistance of laser cladding Fe based alloy coating under oil lubrication condition. *Tribology International*, 94, 470-478.
- Wang, W. J., *et al.* (2014). Effect of laser cladding on wear and damage behaviors of heavy haul wheel/rail materials. *Wear*, 311(1-2), 130-136.
- Wang, W. J., *et al.* (2016). Investigation on wear resistance and fatigue damage of laser cladding coating on wheel and rail materials under the oil lubrication condition. *Tribology Transactions*, 59(5), 810-817.
- Wright, R. N. (2011). Relevant aspects of carbon and low alloy steel metallurgy. En *Wire Technology* (pp. 199-228).
- Xiao, Q., *et al.* (2023). High temperature tribological properties of coatings repaired by laser additive manufacturing on railway wheel tread damage. *Wear*, 520, 521, 204674.
- Xie, T., *et al.* (2021). Investigation on the rolling contact fatigue behaviors of different laser cladding materials on the damaged rail. *Journal of Tribology*, 143(5).
- Yildirimli, K., Tomlinson, *et al.* (2022). Small scale testing of rail laser cladding longevity, parameter tolerance and in situ repairs in preparation for field implementation. En *12th International Conference on Contact Mechanics and Wear of Rail/Wheel Systems*. Melbourne, Australia.
- Zhang, B., He, B., & Wang, H. (2022). Microstructural investigation and mechanical performance of laser cladding repaired bainite steel with AerMet100 steel. *Surface and Coatings Technology*, 440, 128498.
- Zhu, Y., *et al.* (2019). Study on wear and RCF performance of repaired damage railway wheels: Assessing laser cladding to repair local defects on wheels. *Wear*, 430, 431, 126-136.



Convocatoria 2026

Premio MUPITI

Ingeniería para las personas

Dotación: 2.000€

Participa hasta el
30 de septiembre de 2026

Consulta las bases:

www.fundaciontindustrial.es

Continuous fatigue monitoring in rotating beams using 3D Digital Image Correlation

Monitorización continua de la evolución de la fatiga en flexión rotatoria mediante correlación digital de imágenes 3D

C. Huertas-Charriel¹, A. García-Martínez², L. Felipe-Sesé¹, A. J. Molina-Viedma¹, J. A. Almazán-Lázaro¹, E. López-Alba³ and F. A. Díaz³

Resumen

El análisis de fatiga en viga rotatoria resulta crítico debido al riesgo de fallo catastrófico común en maquinaria con componentes rotatorios. Dichos fallos no solo comprometen la eficiencia operativa, sino que también plantean riesgos de seguridad significativos, lo que ha impulsado una extensa investigación en este campo. Recientemente, las técnicas ópticas han surgido como herramientas valiosas para el análisis estático y dinámico de componentes mecánicos. En concreto, la correlación digital de imágenes 3D (DIC-3D) ofrece un enfoque de campo completo con gran potencial para la medición de mapas de desplazamiento y deformación. A diferencia de los sensores de contacto convencionales, que requieren conexiones físicas y solo proporcionan datos discretos (esporádicos), DIC-3D permite realizar mediciones cuantitativas precisas y sin contacto, sin interferir en la operación del sistema. Este trabajo presenta una configuración experimental novedosa para monitorizar de forma continua la evolución de la fatiga en una viga rotatoria, sin necesidad de detener ni ralentizar el ensayo. El método emplea un sistema de cámaras estereoscópicas de alta resolución sincronizado con la rotación de la probeta. Este enfoque elimina la necesidad de costosas cámaras de alta velocidad a la vez que mejora la resolución de la imagen. Mediante el procesamiento de las imágenes con un sistema DIC-3D, ha sido posible obtener series de mapas de desplazamiento y deformación que permiten rastrear el crecimiento de la grieta a lo largo de los ciclos. Los resultados demuestran el potencial de este método para dilucidar el comportamiento de la grieta y predecir la vida útil de componentes críticos en industrias como la energía eólica, la automoción, el sector ferroviario y el aeroespacial. Este método podría abrir una línea interesante para futuras investigaciones.

Palabras clave

Fatiga de materiales, flexión rotativa, correlación digital de imágenes, abertura de grieta y monitorización de la integración estructural.

Abstract

Fatigue analysis in rotating bending is critical due to the risk of catastrophic failure in rotating machinery. Such failures not only compromise operational efficiency, but also pose significant safety hazards, driving extensive research in this field. Recently, optical techniques have emerged as valuable tools for static and dynamic analysis of machine components. Specifically, 3D Digital Image Correlation (3D DIC) offers a robust, full-field approach to measure displacement and strain maps. Unlike conventional contact sensors, which rely on physical connections and yield only discrete data points, 3D DIC provides precise, non-contact quantitative measurements without interfering with the system's operation. This work presents a novel experimental setup to continuously monitor fatigue evolution in a rotating beam without interrupting the test. The method utilizes a high-resolution stereoscopic camera system synchronized with the specimen's rotation. This approach eliminates the need for expensive high-speed cameras while improving image resolution. By processing the images via 3D DIC, it is possible to obtain displacement and strain maps that enable the tracking of crack growth throughout the cycles. The results demonstrate the potential of this method to elucidate crack behaviour and predict the service life of critical components in industries such as wind energy, automotive, railway, and aerospace, establishing a solid methodology for future research.

Keywords

Materials fatigue, rotating beam, digital image correlation, crack opening, and monitoring of structural integration.

Recibido/received: 03/07/2025

Aceptado/accepted: 05/02/2026

¹Department of Mechanical and Mining Engineering, EPS Linares, Universidad de Jaén, Spain.

²CAF Digital Manufacturing, Linares.

³Department of Mechanical and Mining Engineering, EPS Jaén, Universidad de Jaén, Spain.

Corresponding author: Luis Felipe Sesé; e-mail: lfelipe@ujaen.es

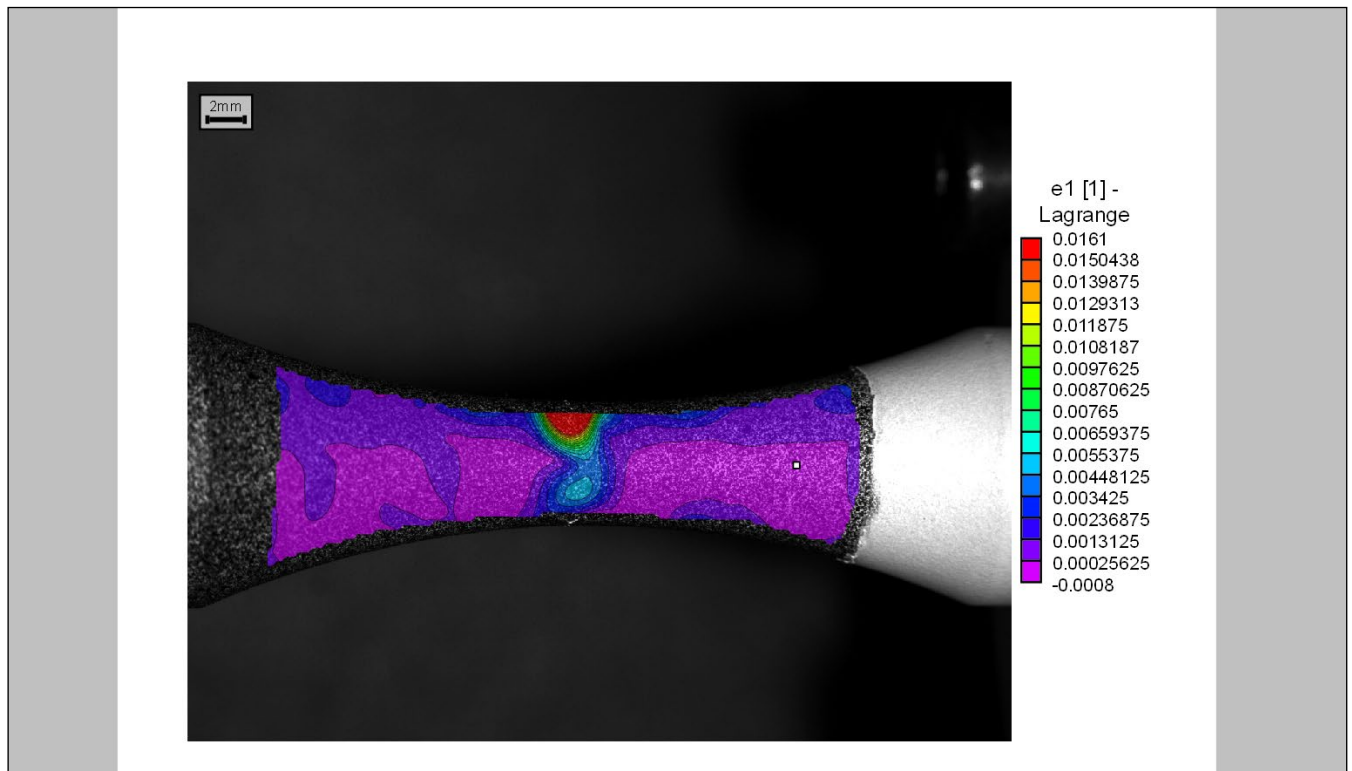


Imagen cedida por los autores del artículo

1. INTRODUCTION

Fatigue is a phenomenon that occurs in materials when they are subjected to repeated cyclic loads, which can lead to the initiation of cracks and, ultimately, component failure even when the applied stresses are below the material's yield strength (R. Budynas & Nisbett, 2020; Lee *et al.*, 2004a). Fatigue is a critical factor in the design of mechanical components, especially those subjected to dynamic loads, such as vibrating components or rotating shafts (Campbell & Tiryakioğlu, 2022; Chandan & Vikas, 2009; Kepka *et al.*, 2024; Smith & Hillmansen, 2004; Tridello *et al.*, 2025). Thus, considering that microscopic cracks will always exist in a material — typically generated in areas with stress concentrators, material defects or manufacturing imperfections— these cracks grow and coalesce with each applied load cycle. This process causes further stress concentration and a reduction in the load-bearing cross-section, among other effects, leading to sudden failure (Suresh, 1998). Therefore, it is crucial to minimize stress concentrators during the design of mechanical elements and to pay special attention to the manufacturing process and surface finish,

avoiding both external and internal discontinuities or irregularities (Oberreiter *et al.*, 2023). To evaluate or estimate this life, different methods are used. However, the most common in industry is the stress-life method.

The stress-life method, or S-N approach, is a traditional yet widely used technique for fatigue analysis (Budynas & Nisbett, 2017; Lee *et al.*, 2004; Tridello *et al.*, 2022). This method relies on the experimental generation of an S-N curve, which characterizes the relationship between applied stress amplitude (S) and the number of cycles to failure (N). Historically, the foundational experiment for this method is the rotating beam test (International Organization for Standardization, 2021). In this configuration, a specimen is subjected to a constant bending moment while rotating around its longitudinal axis. Consequently, with each rotation, every point on the specimen's surface undergoes a complete cycle of fully reversed stress. This setup is particularly valued for assessing the fatigue resistance of shafts and similar components, as it accurately replicates the loading conditions encountered in real-world applications (Carpinteri *et al.*, 2000; DE Freitas & François, 1995; Rastogi

& Kumar, 2009). By repeating these tests at various stress levels, the material's fatigue life is determined (International Organization for Standardization, 2021). However, it is crucial to note that these results often exhibit considerable scatter due to microstructural heterogeneities, defects, and variations in testing conditions (Lee *et al.*, 2004a). In standard rotating beam tests, instrumentation is typically limited to controlling the precision of the applied bending moment, verified through dimensional measurements or strain gauges (International Organization for Standardization, 2021). Consequently, continuous monitoring of the fatigue damage evolution during the test remains a significant challenge.

However, optical techniques like Digital Image Correlation (DIC) have become essential in experimental mechanics for their ability to provide non-contact, full-field measurements (Niezrecki *et al.*, 2018; M. A. Sutton *et al.*, 2009b). DIC is an optical technique that allows for the measurement of displacements and strains maps on a component's surface by analysing digital images, so there is minimum interaction with the specimen and unprecedented spatial resolution in the

measurement. Thus, this technique has great potential for both static and dynamic scientific and industrial applications (He *et al.*, 2024; Molina-Viedma *et al.*, 2018a; Molina-Viedma *et al.*, 2018b; Palanca *et al.*, 2016; Pan, 2011).

In fact, DIC has also been used in advanced studies of fatigue phenomenon. It has been applied for the characterization of crack tip fields, enabling the calculation of stress intensity factors (SIF), the evaluation of crack closure, and the continuous monitoring of crack propagation rates (Vanlanduit *et al.*, 2009). This technique has been extensively applied across diverse regimes, including low cycle fatigue (LCF), very high cycle fatigue (VHCF), and specialized studies such as fretting and corrosion fatigue (He *et al.*, 2024; Hebert & Khonsari, 2023). Furthermore, its inherent multiscale adaptability allows for investigations ranging from the macroscopic structural health monitoring of large-scale components, such as wind turbine blades and aircraft airframes (He *et al.*, 2024), to the micromechanical analysis of strain localization at slip bands and grain boundaries (Carroll *et al.*, 2013; Hebert & Khonsari, 2023). The most common configuration has focused on the study of fatigue from the fracture mechanics approach, specifically in the analysis of fracture mode I (Díaz *et al.*, 2020; Sánchez *et al.*, 2021; Tong, 2018; Vasco-Olmo *et al.*, 2013). For this kind of tests, most reviewed implementations focus on Middle Tension (MT), Compact Tension (CT), or dog-bone specimens subjected to tension load cycles, where the surface of interest remains optically accessible during the tests. DIC has been also employed to analyse the fatigue under fracture mode II and mixed-mode scenarios, although such implementations are less frequent compared to pure opening mode studies (Tong, 2018).

To the best of the authors' knowledge, the application of DIC to analyse fatigue phenomena in rotating bending tests —specifically under the Stress-Life (S-N) approach— remains unexplored. To address this gap, this work introduces a novel experimental setup using 3D DIC to monitor the crack initiation zone and crack opening continuously throughout the test, without interrupting it, employing high resolution cameras eliminating

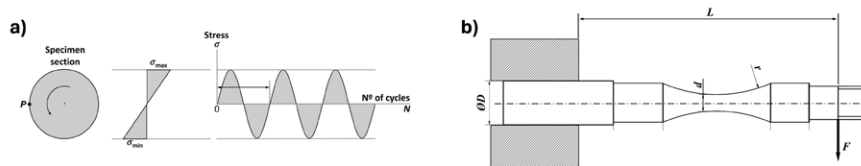


Figure 1. a) Moore rotating-beam fatigue testing machine, b) variable stresses at a point P on the specimen.

the need for expensive high-speed cameras. This approach aims to enhance the reliability and reproducibility of such tests by facilitating a deeper understanding of fatigue failure mechanisms, while simultaneously providing clear visualization for both analytical and educational purposes. Specifically, an optical system synchronized with the specimen's rotation was designed and applied to hourglass-shaped specimens. Precisely, three types of specimens subjected to bending fatigue test inspired on ISO 1143:2021 have been analysed. This methodology offers significant insight into fatigue behaviour, with high relevance for industrial applications such as railway and transport sectors. The following sections detail the fundamental concepts and methodology, demonstrating how this implementation enables the measurement of critical parameters.

2. FUNDAMENTALS

2.1. Fatigue test principle

As introduced, the rotating beam

fatigue test consists of subjecting a rotating specimen to a fully inverted stress recording the number of cycles required to produce its failure (fatigue life) (Budynas & Nisbett, 2020) as illustrated in Figure 1a. The rotating specimen test (International Organization for Standardization, 2021), or the Moore machine test (Figure 1b), is one of the most effective and widely used for metallic materials. It employs small circular cross-section specimens that rotate driven by an electric motor (Budynas & Nisbett, 2020).

2.2. Fatigue Analysis using the Stress-Life Method

To determine the fatigue strength of a rotating beam using the stress-life method, it is essential to establish a database derived from specimens subjected to fully reversed fluctuating stresses (zero means stress). Given the inherent stochastic nature of fatigue, a substantial number of tests is required to generate a statistically significant average, though some

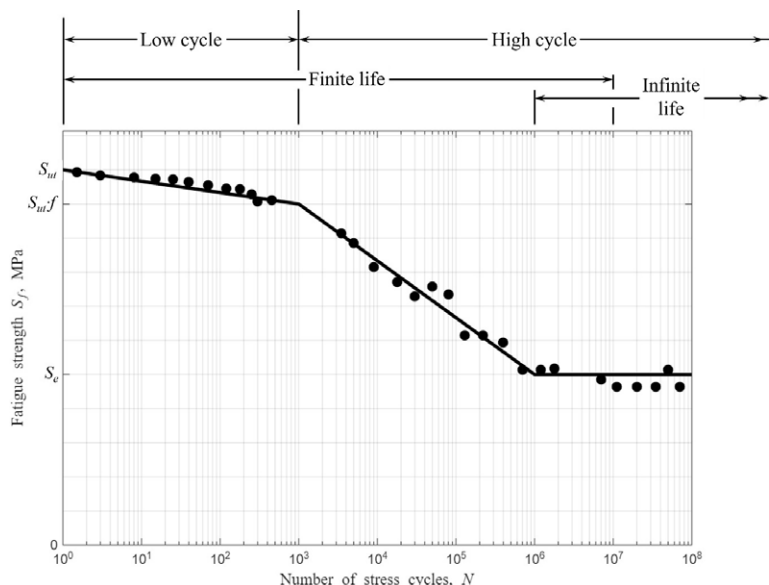


Figure 2. S-N diagram for rotating beam tests showing the relationship between the applied fully reversed alternating stress and the expected cycle life.

degree of uncertainty inevitably remains. This empirical process defines the relationship between the applied stress amplitude (S) and the expected fatigue life (N). Figure 2 illustrates a typical S-N diagram for steel resulting from a test campaign and which is generalized for its use in steels. In this plot, the ordinate axis represents the fatigue strength (S_f), which is typically denoted with a subscript indicating the specific number of cycles at which the specimen fails (N) in logarithmic scale (Budynas & Nisbett, 2020).

As it can be observed, the life ranges from one single cycle —when an alternating stress equal to the ultimate tensile strength (S_{ut}) is applied— to a value of 10^6 cycles when it is applied a stress of S_e known as the endurance limit. Below this limit, the component is assumed to have an infinite life, typically defined as exceeding one million cycles ($N \geq 10^6$). The value of S_e has been analysed on a great quantity of tests in order to be related with S_{ut} and enable further analysis. For steels under $S_{ut} = 1400 \text{ MPa}$, it was observed that $S_e = 0,5 S_{ut}$. It is important to note that this S_e value is defined for a specific material with a particular size, finish, or environmental conditions according to the standard employed for the rotating-beam fatigue test. To adjust this strength value when certain conditions vary respect the standard, a series of adjustment parameters is required. In this case, these are known as Marin factors and most common are related to surface condition, size, kind of load, and temperature (Budynas & Nisbett, 2020).

The range from $N = 1$ to $N = 1,000$ cycles is generally classified as low-cycle fatigue, as indicated in figure 2. Consequently, high-cycle fatigue refers to failure corresponding to stress cycles greater than 10^3 cycles. The inflexion point at 10^3 cycles corresponds to a stress applied of $(S_f)_{10^3} = f \cdot S_{ut}$ being f a factor which depends on the ultimate strength of the material and ranges between 0,9 and 0,77 (Budynas & Nisbett, 2020). So, the calculation of the life (N in cycles) is usually limited to applied stresses in the range between $(S_f)_{10^3}$ and S_e . In that range, the predicted life is related with the fatigue strength following the next equation:

$$S_f = aN^b \quad \text{Eq. 1}$$

Where, the constants a and b are defined by the points for 10^3 cycles when applying $(S_f)_{10^3} = f \cdot S_{ut}$ and 10^6 cycles corresponding to S_e . Taking that into account in Eq.1, a and b become as followed:

$$a = \frac{(fS_{ut})^2}{S_e} \quad \text{Eq. 2}$$

$$b = -\frac{1}{3} \log \frac{fS_{ut}}{S_e} \quad \text{Eq. 3}$$

Following the procedure described, the number of cycles that one rotating component could withstand a certain bending stress could be calculated from the S_{ut} value. It is important to note that, this procedure could also be applied to non-rotatory components or submitted to different loads from bending, adjusting the corresponding Marin factors. Additionally, when mean stress conditions are not equal to zero, different criteria exist to relate the material's fatigue strength to specific alternating and mean stress conditions. Notable among these are the Goodman fatigue criterion, due to its simplicity, and the ASME elliptical criterion, for its better fit to experimental results (Budynas & Nisbett, 2020).

2.3. Digital Image Correlation

DIC is a full-field optical technique for surface displacement measurement based on the acquisition of digital images of a specimen during its testing. The basic principle of this method consists of tracking groupings of pixels, known as subsets or facets, in the images captured during the specimen's deformation process. To

determine the displacement or strain of a point $P(x_p, y_p)$, a reference image is required (typically the initial state), where a subset (a square window) with dimensions of $2M+1$ pixel, where M is the distance from the reference point to the edge of the window. Subsequently, this subset is tracked in each of the captured images to establish the deformation experienced by the specimen during the test relative to the reference image (Sutton *et al.*, 2009). To facilitate the subset tracking process, a random speckle pattern is typically generated on the surface, making a facet easily differentiable respect its neighbours. This is usually achieved by applying a base of white paint, followed by a random black speckle pattern to create the maximum possible contrast (Figure 3) (Sutton *et al.*, 2008). The variations in the shape of this pattern throughout the test allow for the calculation of displacements and strains by comparing the specimen from its initial state (considered the reference state) to its final (deformed) state (Pan *et al.*, 2009; Sutton *et al.*, 2008; Sutton *et al.*, 2009).

For its application, it must be noted that a single camera is used for two-dimensional displacement or strain studies; however, if a three-dimensional analysis is required, as it is the case of the study of non-flat specimens, a stereoscopic vision system is necessary to provide spatial perception. In this case, system consists of two cameras observing the same area of interest to perform the analysis (Sutton *et al.*, 2009). In any case, the vision system requires calibration. For 2D DIC, determining the pixel-to-millimetre magnification ratio is often sufficient. However, calibration for 3D DIC is

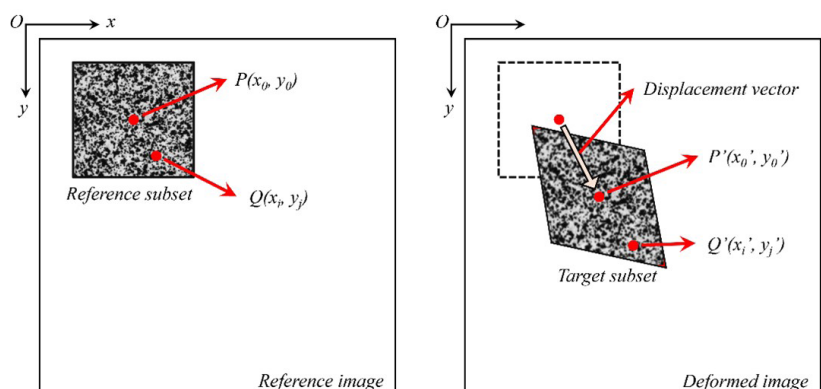


Figure 3: Processing scheme for 2D DIC analysis.

significantly more complex, as the software must determine the optical properties of each camera, as well as their orientation and position relative to one another and the specimen—namely, the intrinsic and extrinsic parameters of the optical setup. To achieve this, calibrated grid patterns are typically imaged, and correlation algorithms are applied to the images captured by both cameras. Once the relative positions are established and all imaging parameters are defined, the absolute 3D coordinates of any surface point can be calculated. By performing this calculation for every point on the object's surface, the 3D contour can be determined across the entire field of view throughout the test. (Pan *et al.*, 2009; Sutton *et al.*, 2009).

3. METHODOLOGY

3.1. Specimens used

As commented, three kind of specimens were analysed during its rotating bar bending fatigue testing. Previously to the determination of the description of the experimental setup, it is important to describe the material tested. The three distinct single-point loading specimens made of steel C45 were designed based on the ISO 1143 standard as shown in figure 4. The test campaign included a cylindrical specimen (parallel-sided), an hourglass-shaped specimen, and a specimen featuring a stress concentrator (diameter reduction) to assess its influence on fatigue life. Based on the geometry, material, test conditions, and specific surface finish of the specimen, the theoretical S-N diagram can be determined according to the procedure described in (Budynas & Nisbett, 2017). The ultimate strength of the steel used in the specimen, was considered as 895 MPa according to supplier. To calculate the point corresponding to $N = 10^3$ it has to be calculated the value of $(S_f)_{10^3}$ according to procedure previously described, leading to a value of 751,8 MPa. To calculate the value of S_e adapted to the characteristics of the specimen and test, it has to be applied the Marin factors as commented. For that purpose, Eq (4) is used, where S_e' is the original ultimate strength of the material according to the standard conditions and the k factors are the so-called Marin factors, which modify the

Specimen	Minimum load (N)	Maximum load (N)
Notched	135	280
Straight-sided	150	330
Hourglass-shaped	185	415

Tabla 1. Load ranges for finite life regime testing for each specimen.

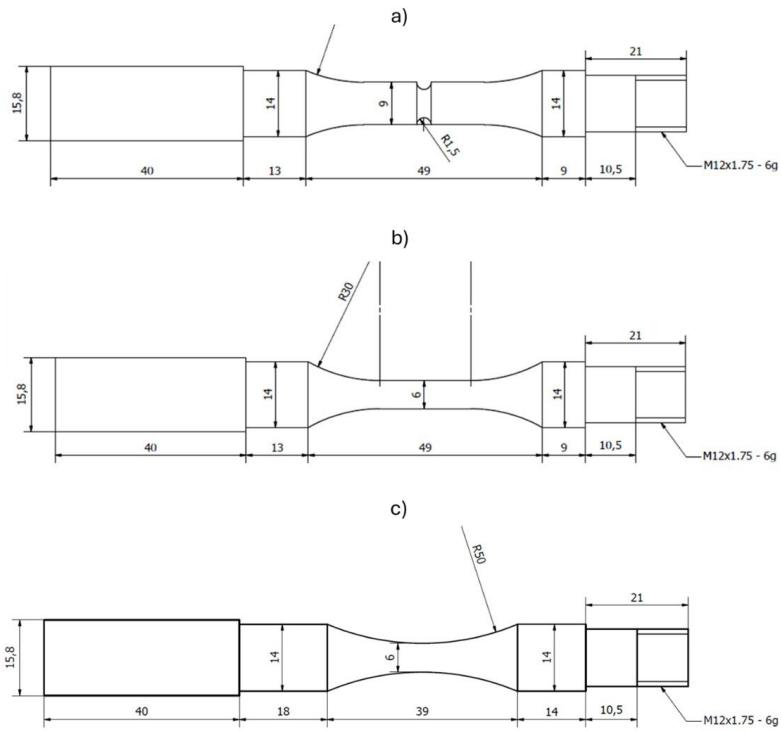


Figure 4. Specimen drawings used for testing, where: a) notched specimen, b) straight-sided (parallel) specimen, c) hourglass-shaped specimen.

fatigue limit due to geometry, surface finish, temperature, and other factors.

$$S_e = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot S_e' \quad \text{Eq. 4}$$

The value of S_e , assuming a machined surface, an ambient temperature of 20 °C, and given the specimen geometry, is 343 MPa.

Next step is to calculate the load for each specimen to enable a stress that leads to a fatigue strength corresponding to a life between $10^3 > N > 10^6$. Table 1 details the load range for each specimen. These values were selected to ensure testing within the finite life regime—specifically, maintaining stress below the ultimate tensile strength (S_{ut}) but above the fatigue endurance limit (S_e). The values were selected in multiples of 5N, taking into account that the 40 mm length area at the left of the specimen was the clamped area

and the punctual load was applied in the middle of the 21 mm length part at the right of each specimen shown in figure 4.

3.2. Experimental set-up

The fatigue testing machine used allows for rotating beam fatigue tests under single-point loading (cantilever bending), which is one of the methods described in the ISO 1143 standard. To achieve this, the load is applied using weights placed on a long-articulated lever arm that rests on a Hottinger Brüel & Kjaer K-U9C 2kN load cell. This load cell allows the precise measurement of the force exerted on the specimen tip. The load cell and the specimen are connected through a bearing system, which allows the specimen to rotate freely while maintaining the load static. The rotation of the specimen

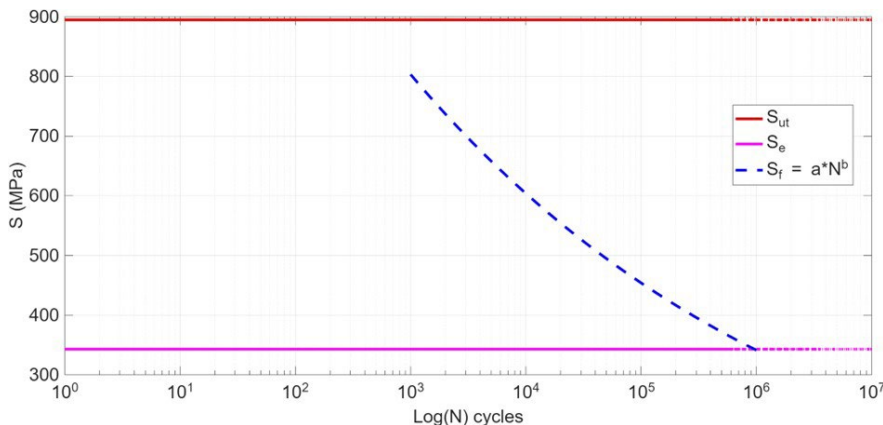


Figure 5. S-N diagram for the test specimens.

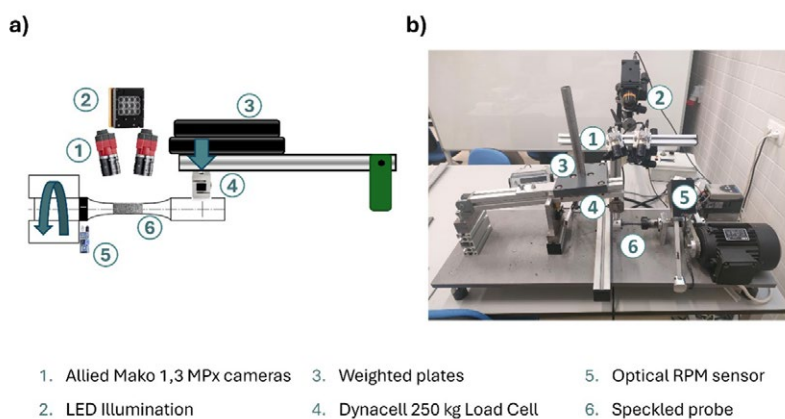


Figure 6: a) Schematic diagram, b) final experimental setup for the rotating beam test.

was controlled through a three-phase motor, commanding a rotational speed of 400 rpm for all the tests.

Regarding the image acquisition procedure, given the cylindrical geometry of the specimen and the potential for 3D displacement, the use of 3D DIC is mandatory. A key requirement of the methodology is to capture the same area of the specimen throughout the test; therefore, synchronizing the image capture with the specimen's rotation is crucial. To compensate for minor variations in rotational speed, the cameras are triggered via a TTL pulse based on the specimen's position. This trigger signal is generated by a photoelectric sensor pointed at the machine's rotating component, which detects a narrow white mark on the grip system. Simultaneously, this signal is sent to an Arduino system to count the number of revolutions. Due to the high number of cycles expected on this kind of tests and, consequently, the high number of images to be stored and processed, it was decided to save and process only one every ten

images, that is every ten cycles of rotation. This allowed a sufficient amount of data to observe the fatigue fracture process, while reducing storage and processing costs. For this purpose, a Python program was developed to control cameras and record one image every 10 TTL pulses.

Specifically, the optical system, consisted of two Allied Vision Mako U-130B (1,280 × 1,024 pixels) cameras equipped with 35 mm lenses. Given the high rotational speed of the specimen, a short exposure time was required to minimize motion blur; in this case 300 μs was employed. This short exposure reduced the light intensity reaching the sensor, necessitating an auxiliary lighting system to illuminate the area under study. Figure 6 illustrates both the schematic diagram and the actual experimental setup. The cameras were positioned to view the specimen from above—focusing on the zone subjected to tension where crack opening occurs—thereby, optimizing the visualization of crack initiation and propagation.

4. RESULTS AND DISCUSSION

The results obtained after testing the three specimens are shown below. Four specimens were studied of each geometry, but, for illustration purposes, DIC results from one of each type will be shown in this section.

First, the hourglass specimen is studied. The mass selected for this test was 30 kg, which results in a load measured by the load cell of 285 N since the load is not totally centred on the contact point with the specimen. This load generates a maximum alternating stress of 521 MPa located at the smallest section, which, according to the S-N diagram, would imply a total of 32,850 cycles.

3D DIC enables the simultaneous measurement of shape, displacement, and strain. Among these, longitudinal strain proves to be the most effective indicator for detecting crack initiation. Since the cameras view the specimen laterally, the crack opening under tension manifests as a localized concentration of high positive strain. Although strain fields are inherently noisier than displacement fields due to the differentiation process required to be calculated former from latter, this parameter offers superior sensitivity for identifying initiation sites. However, a theoretical distinction is necessary, strictly speaking, calculating strain across a discontinuity (the crack) is not consistent with the continuum mechanics assumptions. Therefore, these high values should be interpreted as a 'pseudo-strain' or damage indicator rather than a true measure of material deformation.

Fracture is expected to occur at the central point, as this is where the highest stress is generated due to it being the area of smallest cross-section. Figure 7a shows how the crack is observed in the strain map in the central section of the specimen, near the end of the test. Due to the camera viewing angle, only the zone of the specimen under tension is visible. In the lower zone, a similar distribution with negative strain values should appear, due to the compressive stress experienced.

Continuing with the strain analysis, the evolution of strain at the point of maximum strain can be obtained over the number of images until fracture, as shown in figure 7b. As it can be observed, the strain remains practically

constant and positive, due to being subjected to tension throughout the test, until a point is reached where the trend changes and begins to increase at 55,000 cycles. At this moment, the crack size grows until it finally reaches a maximum value, where the specimen finally fractures. It is also observed that fracture occurred at 61,746 cycles, while the theoretical study predicted about 32,850 cycles. These differences can be attributed to the inherent uncertainty of the fatigue process or to the fact that the surface finish was not fully defined by the theoretical parameters. However, a larger test series would be necessary to draw more well-founded conclusions regarding the sources of discrepancy.

As commented, it can be considered that strain values measured do not adequately mechanically represent the event when a crack is forming; therefore, once the crack initiation point was located, its opening was measured. To this end, the displacement along the longitudinal axis of two different points on the specimen near the crack, one on each side, was monitored. The crack opening was, therefore, calculated by the difference between the displacement of one point minus the other, for each captured image. The result is shown in figure 8b. A trend similar to that of the strain is observed, in which the value is constant and practically zero until 55,000 cycles, at which point the crack width begins to increase exponentially until fracture at an opening of 0.12 mm.

Next, the results for the parallel-sided specimen are shown below. In this test, the applied load measured by the load cell was 175 N, which corresponds to a maximum stress in the specimen of 399 MPa and an expected fatigue life of 270,000 cycles.

Figure 9a shows the longitudinal strain at a moment near the end of the test, when fatigue failure has begun to propagate. In this case, the crack did not appear in the central zone of the specimen; rather, due to the bending moment distribution, the zone sustaining the highest stress is the one with the smallest diameter located furthest from the load application point. Analysing the strain at the point of maximum strain yields the graph in figure 9b. This remains constant, similar to the hourglass specimen test,

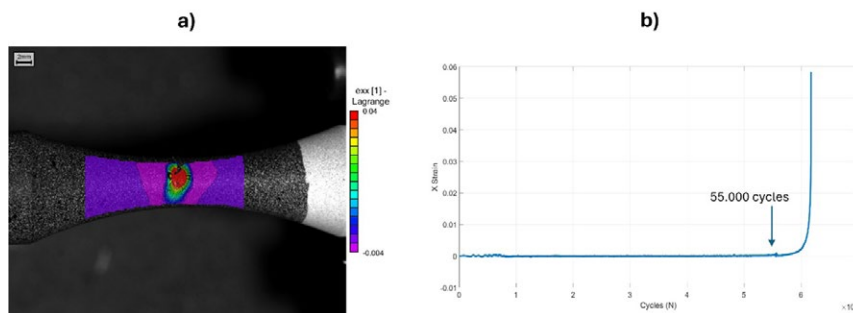


Figure 7. a) Longitudinal strain map, b) evolution of longitudinal strain vs. number of cycles (hourglass specimen).

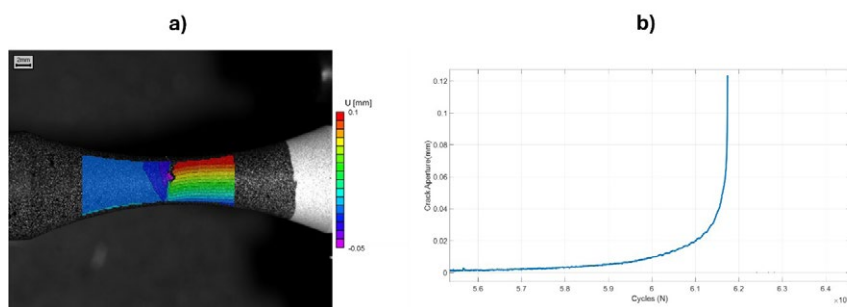


Figure 8. a) Longitudinal displacement map, b) evolution of crack width vs. number of cycles (hourglass specimen).

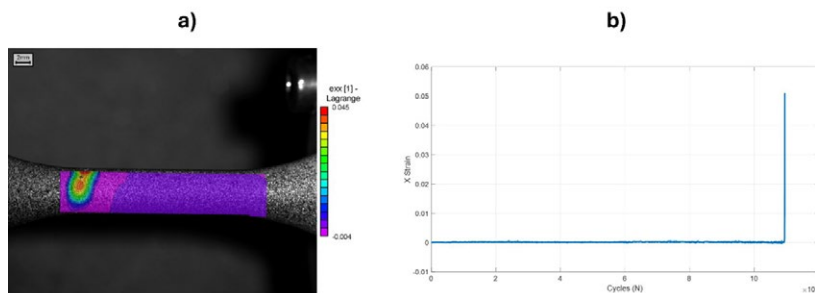


Figure 9. a) Longitudinal strain map, b) evolution of longitudinal strain vs. number of cycles (parallel-sided specimen).

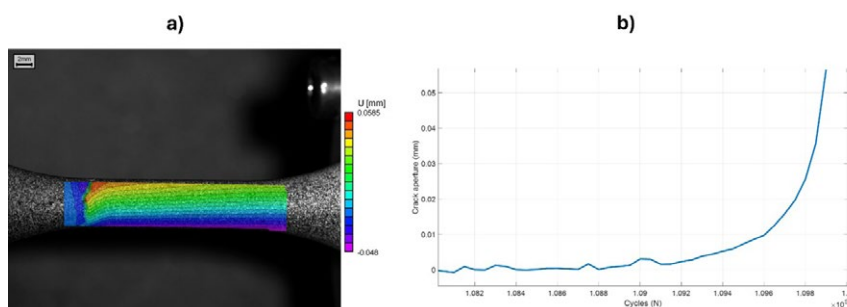


Figure 10. a) Longitudinal displacement map, b) evolution of crack width vs. number of cycles (parallel-sided specimen).

until it approaches 100,000 cycles. At this point, the strain increases exponentially due to crack opening until final fracture occurs at 109,780 cycles. In this case, there is a certain discrepancy between the theoretical and

experimental cycles; however, given the uncertainty inherent to the fatigue phenomenon, this is considered an acceptable error.

Once the crack location was determined, its opening was calculated as

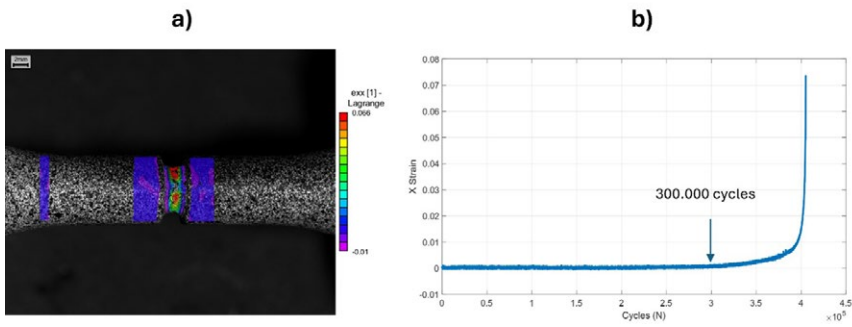


Figure 11. a) Longitudinal strain map, b) evolution of longitudinal strain vs. number of cycles (Notched specimen).

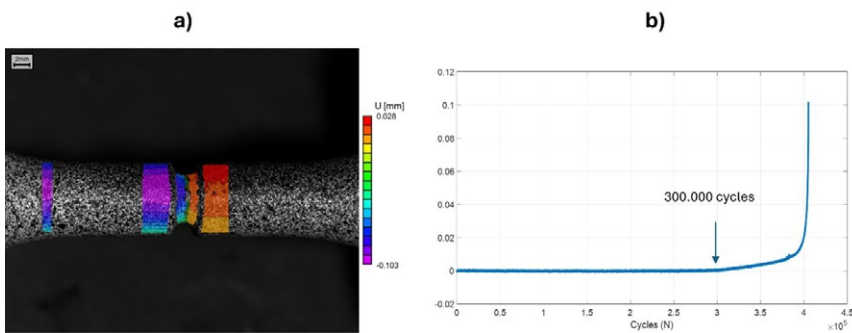


Figure 12. a) Longitudinal displacement map, b) evolution of crack width vs. number of cycles (notched specimen).

a function of the number of cycles, repeating the process used for the

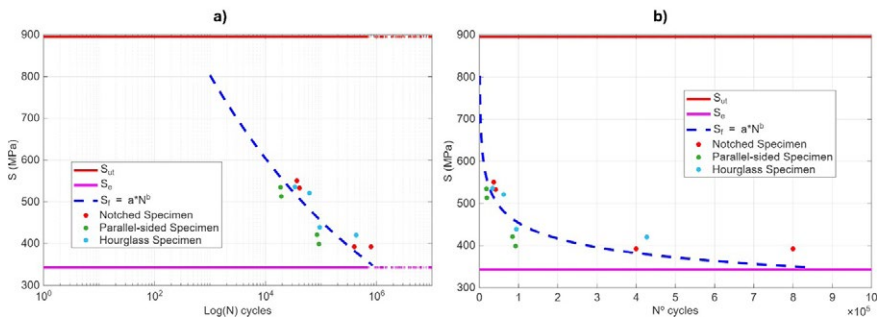


Figure 13. S-N diagram showing experimental results from the test series: a) logarithmic scale; b) linear scale.

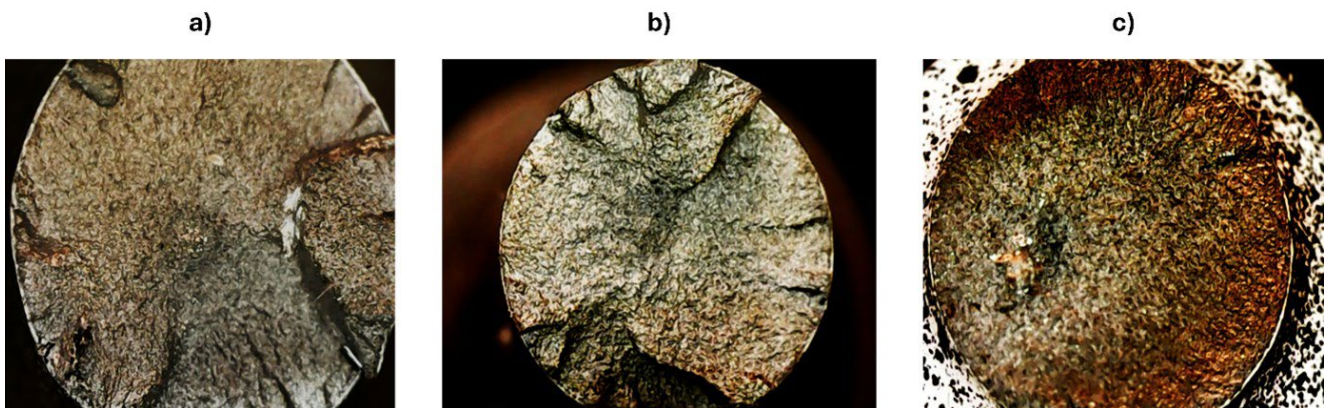


Figure 14: Macroscopic analysis of fracture surface for: a) hourglass-shaped specimen, b) straight-sided (parallel) specimen, and c) notched specimen.

previous specimen. This evolution is shown in the graph in figure 10b, where it can be observed that the crack appears approximately in the last 1,000 cycles and its width grows asymptotically until specimen fracture at almost 0.06 mm of crack opening.

Finally, the results for the notched specimen are shown. In this case, the measured applied load is 150 N, which corresponds to a maximum stress in the specimen at the centre of the notch, due to it having the minimum cross-section, of 274 MPa. It must be taken into account that due to the presence of the notch, a stress concentration is generated. Therefore, a stress concentration factor of $K_f = 1.434$ was applied so the actual stress at the notch section is finally 392.9 MPa, for which a total number of 326,000 cycles is expected. Figure 11a shows the longitudinal strain map for a moment near the fatigue fracture of the specimen. It demonstrates how the crack appears for this specimen in the notch zone, as it is the section with the smallest area and where the stress is highest. Following this, the strain is plotted for the point of maximum value as a function of the number of cycles, obtaining the curve in figure 11b. The strain remains constant and practically negligible throughout the test until reaching 300,000 cycles. From this point onwards, the value begins to increase exponentially until final fracture at 400,700 cycles. In this instance, crack initiation was detected after 75% of the test had elapsed, unlike in previous tests, in which the strain remained constant almost until specimen fracture

Finally, the graph of crack opening as a function of the number of cycles is shown in figure 12b. A trend similar to that of the strain is observed, with

the crack beginning to widen starting from 300,000 cycles until its total failure with an opening of 0.1 mm.

As previously noted, three replicate tests were conducted for each specimen type to ensure data robustness and assess dispersion. Figure 13 presents the S-N diagram alongside the experimental results, plotting maximum sustained stress against the number of cycles to failure. Despite some deviation between the predicted values and the measured experimental life, the theoretical curve shows good agreement with the data. The observed scatter is attributed to the inherent stochastic nature of the fatigue phenomenon and deviation previously noted are consistent with the general tendency. This sensitivity is more evident in figure 13b (linear scale), which clearly illustrates how minor variations in stress amplitude can lead to significant variations in fatigue life.

Finally, an analysis of the fracture surface was conducted to assess the failure mechanism. Figure 14 shows the cross sections of the three types of specimens tested. In all cases, the surfaces exhibit the characteristic features of rotating bending fatigue: a smooth, dull region corresponding to the stable crack propagation stage, and a rougher texture representing the final and abrupt fracture area.

5. CONCLUSIONS

This study presents a novel experimental setup for monitoring the rotating beam fatigue process, employing full-field optical techniques to observe displacements and strains across the entire surface. Furthermore, the crack opening and propagation processes were successfully monitored using the 3D DIC analysis derived from these images.

Specifically, the study quantified crack opening and its influence on local strain fields. Observations revealed that crack growth remains latent and virtually undetectable for the majority of the test life, until a critical cycle count is reached, triggering exponential propagation until fracture. Higher resolution images could detect previous stages. This behaviour underscores the importance of reliable monitoring procedures prioritizing high-resolution data acquisition over high-speed cameras, which typically

suffer from lower spatial resolution. Additionally, future research could analyse the relationship between specimen tip displacement and crack depth as an indirect measurement method.

Consequently, leveraging the full-field capabilities of DIC, this work establishes a robust tool for precise fatigue analysis. This methodology holds significant potential for both future research and industrial applications, particularly in predicting component service life and performing in-service inspections aligned with Structural Health Monitoring (SHM) strategies. Ultimately, this approach aims to bridge the gap between theoretical models and experimental reality through high-fidelity data collection.

ACKNOWLEDGMENTS

This research is part of the Project I+D+i PID2022-141618OA-I00 INTEGROPTICS funded by MCIN PID2022-141618OA-I00, FEDER, UE.

Authors also acknowledge the grant Ayudas de Iniciación a la Investigación. Acción 2 2023 from Universidad de Jaén.

REFERENCES

- Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2017). *Diseño de Ingeniería Mecánica de Shigley* (8.a ed.). Mc Graw Hill.
- Campbell, J., & Tiryakioğlu, M. (2022). Fatigue Failure in Engineered Components and How It Can Be Eliminated: Case Studies on the Influence of Bifilms. *Metals*, 12(8). <https://doi.org/10.3390/met12081320>.
- Carpinteri, A., Brighenti, R., & Spagnoli, A. (2000). Fatigue growth simulation of part-through flaws in thick-walled pipes under rotary bending. *International Journal of Fatigue*, 22(1), 1-9. [https://doi.org/10.1016/S0142-1123\(99\)00115-2](https://doi.org/10.1016/S0142-1123(99)00115-2).
- Carroll, J. D., Abuzaid, W., Lambros, J., & Sehitoglu, H. (2013). High resolution digital image correlation measurements of strain accumulation in fatigue crack growth. *International Journal of Fatigue*, 57, 140-150. <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2012.06.010>.
- Chandan, K., & Vikas, R. (2009). A Brief Review on Dynamics of a Cracked Rotor. *International Journal of*

Rotating Machinery, 2009. <https://doi.org/10.1155/2009/758108>.

- De Freitas, M., & François, D. (1995). Analysis of Fatigue Crack Growth in Rotary Bend Specimens and Railway Axles. *Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures*, 18(2), 171-178. <https://doi.org/10.1111/j.1460-2695.1995.tb00152.x>.
- Díaz, F. A., Vasco-Olmo, J. M., López-Alba, E., Felipe-Sesé, L., Molina-Viedma, A. J., & Nowell, D. (2020). Experimental evaluation of effective stress intensity factor using thermoelastic stress analysis and digital image correlation. *International Journal of Fatigue*, 135, 105567. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2020.105567>.
- He, X., Zhou, R., Liu, Z., Yang, S., Chen, K., & Li, L. (2024). Review of research progress and development trend of digital image correlation. En *Multidiscipline Modeling in Materials and Structures* (Vol. 20, N. 1, pp. 81-114). Emerald Publishing. <https://doi.org/10.1108/MMMS-07-2023-0242>.
- Hebert, J., & Khonsari, M. (2023). The application of digital image correlation (DIC) in fatigue experimentation: A review. *Fatigue and Fracture of Engineering Materials and Structures*, 46(4), 1256-1299. <https://doi.org/10.1111/ffe.13931>.
- International Organization for Standardization. (2021). ISO 1143:2021 Metallic materials — Rotating bar bending fatigue testing. 2021.
- Kepka, M., Kepka, M., & Minich, R. (2024). A case study on fatigue life assessment of an electric bus bodywork. *International Journal of Fatigue*, 179. <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2023.108040>.
- Lee, Y. L., Pan, J., Hathaway, R. B., & Barkey, M. E. (2004a). Fatigue testing and analysis: Theory and practice. En *Fatigue Testing and Analysis: Theory and Practice*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-7506-7719-6.X5000-3>.
- Molina-Viedma, Á. J., López-Alba, E., Felipe-Sesé, L., & Díaz, F. A. (2018). Modal identification in

- an automotive multi-component system using HS 3D-DIC. *Materials*, 11(2). <https://doi.org/10.3390/ma11020241>.
- Molina-Viedma, Á. J., López-Alba, E., Felipe-Sesé, L., Díaz, F. A., Rodríguez-Ahlquist, J., & Iglesias-Vallejo, M. (2018). Modal Parameters Evaluation in a Full-Scale Aircraft Demonstrator under Different Environmental Conditions Using HS 3D-DIC. *Materials*, 11(2). <https://doi.org/10.3390/ma11020230>.
- Niezrecki, C., Baqersad, J., & Sabato, A. (2018). Digital Image Correlation Techniques for NDE and SHM. En *Handbook of Advanced Non-Destructive Evaluation*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-30050-4_47-1.
- Oberreiter, M., Horvath, M., Stoschka, M., & Fladischer, S. (2023). Effect of Surface Finishing State on Fatigue Strength of Cast Aluminium and Steel Alloys. *Materials*, 16(13). <https://doi.org/10.3390/ma16134755>.
- Palanca, M., Tozzi, G., & Cristofolini, L. (2016). The use of digital image correlation in the biomechanical area: A review. En *International Biomechanics* (Vol. 3, N. 1, pp. 1-21). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/23335432.2015.1117395>.
- Pan, B. (2011). Recent Progress in Digital Image Correlation. *Experimental Mechanics*, 51(7), 1223-1235. <https://doi.org/10.1007/s11340-010-9418-3>.
- Pan, B., Qian, K., Xie, H., & Asundi, A. (2009). Two-dimensional digital image correlation for in-plane displacement and strain measurement: a review. *Measurement Science and Technology*, 20(6), 62001. <https://doi.org/10.1088/0957-0233/20/6/062001>.
- Rastogi, V., & Kumar, C. (2009). A brief review on dynamics of a cracked rotor. *International Journal of Rotating Machinery*, 2009. <https://doi.org/10.1155/2009/758108>.
- Sánchez, M., Mallor, C., Canales, M., Calvo, S., & Núñez, J. L. (2021). Digital Image Correlation parameters optimized for the characterization of fatigue crack growth life. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 174. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2021.109082>.
- Smith, R. A., & Hillmansen, S. (2004). A brief historical overview of the fatigue of railway axles. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 218(4), 267-277. <https://doi.org/10.1243/0954409043125932>.
- Suresh, S. (1998). *Fatigue of materials* (2.a ed.). Cambridge University Press.
- Sutton, M. A., Orteu, J. J., & Schreier, H. (2009a). Image correlation for shape, motion and deformation measurements: Basic concepts, theory and applications. En *Image Correlation for Shape, Motion and Deformation Measurements: Basic Concepts, Theory and Applications*. Springer US. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-78747-3>.
- Sutton, M., Yan, J., Tiwari, V., Schreier, H., & Orteu, J.-J. (2008). The Effect of Out of Plane Motion on 2D and 3D Digital Image Correlation Measurements. *Optics and Lasers in Engineering*, 46, 746-757. <https://doi.org/10.1016/j.optlaseng.2008.05.005>.
- Tong, J. (2018). Full-field characterisation of crack tip deformation and fatigue crack growth using digital image correlation—a review. En *Fatigue and Fracture of Engineering Materials and Structures* (Vol. 41, N. 9, pp. 1855-1869). Blackwell Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1111/ffe.12859>.
- Tridello, A., Boursier Niutta, C., Rossetto, M., Berto, F., & Paolino, D. S. (2022). Statistical models for estimating the fatigue life, the stress-life relation, and the P-S-N curves of metallic materials in Very High Cycle Fatigue: A review. *Fatigue and Fracture of Engineering Materials and Structures*, 45(2), 332-370. <https://doi.org/10.1111/ffe.13610>.
- Tridello, A., Boursier Niutta, C., Rossetto, M., Berto, F., & Paolino, D. S. (2025). *Fatigue Design Curves for Industrial Applications: A Review*. En *Fatigue and Fracture of Engineering Materials and Structures* (Vol. 48, N. 3, pp. 1001-1021). John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1111/ffe.14545>.
- Vanlanduit, S., Vanherzeele, J., Longo, R., & Guillaume, P. (2009). A digital image correlation method for fatigue test experiments. *Optics and Lasers in Engineering*, 47(3-4), 371-378. <https://doi.org/10.1016/j.optlaseng.2008.03.016>.
- Vasco-Olmo, J., Díaz, F., García-Collado, A., & Dorado, R. (2013). Experimental evaluation of crack shielding during fatigue crack growth using digital image correlation. *Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures*, 38. <https://doi.org/10.1111/ffe.12136>.

Revisión de la potencia eléctrica en baja tensión con los cambios producidos por los vehículos eléctricos

Forecast of low-voltage electrical power with the changes produced by electric vehicles

Dr. Pablo Zapico Gutiérrez¹ y María Zapico Gómez-Collantes²

Resumen

El artículo analiza la actualización del cálculo de previsión de potencia eléctrica en edificios, motivada por la ITC-BT-52 (recarga de vehículos eléctricos) y la Directiva UE 2024/1275 (eficiencia energética). Esta nueva normativa incrementa significativamente la potencia prevista al exigir más infraestructura de recarga para vehículos eléctricos. Como solución, se introduce el sistema de protección de línea (SPL), que mediante la gestión de la carga permite moderar este aumento, aunque con la limitación de requerir equipos de un único fabricante. La transposición de la directiva en mayo de 2026 hará obligatoria la actualización de estos cálculos.

Palabras clave

Potencia eléctrica, previsión, instalación eléctrica, vehículo eléctrico y cálculo de potencia.

Abstract

This article analyses the update to the electrical power estimation calculation in buildings, driven by ITC-BT-52 (electric vehicle charging) and EU Directive 2024/1275 (energy efficiency). This new regulation significantly increases the estimated power demand by requiring more electric vehicles charging infrastructure. As a solution, the line protection system is introduced, which through load management allows moderating this increase, albeit with the limitation of requiring equipment from a single manufacturer. The transposition of the directive in May 2026 will make updating these calculations mandatory.

Keywords

Electric power, demand forecast, electrical installation, electric vehicle, power calculation.

Recibido/received: 25/02/2025

Aceptado/accepted: 10/02/2026

¹ Jefe de Sección de Energía de la Junta de Castilla y León, en León, colaborador del Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad de León, España.

² École Nationale Supérieure des Ingénieurs en Arts Chimiques et Technologiques (ENSIACET), Toulouse (Francia).

Autor para correspondencia: Dr. Pablo Zapico Gutiérrez, e-mail: diepzig@unileon.es.



Foto: Shutterstock.

La previsión de potencia eléctrica de una instalación es el pilar sobre el que se fundamenta su desarrollo posterior. Por ello, es importante basarlo en una previsión reglamentaria y coherente con las necesidades reales de la potencia que demandará el suministro, adaptándose a las particularidades de cada caso concreto. La publicación del Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprobó el actual Reglamento electrotécnico para baja tensión, sentó las bases del actual y vigente sistema de cálculo de dicha potencia. Sin embargo, la publicación del Real Decreto 1053/2014, de 12 de diciembre, por el que se aprobó la instrucción técnica complementaria (ITC)-BT-52, sobre recarga de coches eléctricos y la publicación de la Directiva UE 2024/1275, relativa a la eficiencia energética de los edificios, suponen un cambio importante del sistema que llevaba vigente desde el año 2002. De acuerdo con el artículo 35.1 de dicha directiva, el 29 de mayo de 2026 se habrá traspuesto a la legislación española. Por ello, es preciso repasar de nuevo el sistema de cálculo de la previsión de potencia y actualizarlo.

La Directiva UE 2024/1275 choca frontalmente con el RD 842/2002, pues este considera renovación de importancia cualquier obra que afecte a más del 50% de la potencia de la instalación, s/ITC-BT-04.3.2. Dicha directiva, en su artículo 2.22 ya considera reforma de importancia la que supere el 25% del valor del edificio o de la superficie de la envolvente. Este criterio contradictorio entre la Directiva 2024/1275 y el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (RBT) dará problemas. El Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE, R.D. 1027/2007, de 20-VII), sin embargo, ya adopta el criterio del 25% en su artículo 24.11.

La importancia que tiene el cálculo de la potencia eléctrica demandada por una instalación viene dada por varios motivos:

- Constituye el paso previo para calcular las líneas de alimentación de la compañía suministradora y las interiores del suministro.
- Resulta indispensable para dimensionar el centro de transformación del que se alimentará la instalación, si es preceptivo. No hay que olvidar

que de acuerdo con el Real Decreto 1048/2013, de 27 de diciembre, en su artículo 25.1, las instalaciones de nueva extensión de red, en baja tensión, de más de 100 Kw, pueden requerir la instalación de un nuevo centro de transformación. Que pagará íntegramente el promotor del edificio y cederá, obligatoriamente, a la empresa distribuidora de la zona.

- Garantiza que mientras se utilicen los receptores normales y hasta la máxima potencia prevista, no se va a producir una caída de tensión superior a la reglamentaria, ni una sobrecarga de la instalación.
- Asegura que los aumentos de potencia, previsibles, no van a obligar a realizar modificaciones en la instalación general del edificio o en la instalación individual del usuario final.

La previsión de cargas queda regulada en el artículo 12 del reglamento, en la Instrucción Técnica ITC-BT 10 y en la ITC-BT 52, en el que se detalla la cuestión en lo relativo a la potencia de los suministros en baja tensión. En el articulado se fijan unos criterios muy generales y se remite a las instrucciones técnicas complementarias

para normalizar los detalles técnicos de forma exhaustiva. Se trata del único sistema legal y reglamentario válido para realizar el cálculo, y no son admisibles los cálculos efectuados por las empresas distribuidoras, en función de programas de su factura y que no sigan fielmente las normas que se exponen. Conviene realizar la comprobación caso a caso.

A continuación, se analiza al detalle la normativa. Para empezar, hay que ver lo que el reglamento considera lugares de consumo. A continuación, hay que tener en cuenta los coeficientes de simultaneidad que considera el reglamento, para, posteriormente, añadir las cargas de los servicios generales, garajes, locales, cargadores de coches eléctricos, oficinas y los edificios industriales, si proceden.

a) Lugares de consumo

La ITC-BT 10 del Reglamento considera lugares de consumo a:

- Los edificios destinados principalmente a viviendas.
- Los edificios comerciales o de oficinas.
- Los edificios destinados a una industria específica.
- Los edificios destinados a una concentración de industrias.
- Aparcamientos o estacionamientos dotados de infraestructuras para la recarga de vehículos eléctricos.

Grados de electrificación de las viviendas

La ITC-BT 10 del reglamento incluye dos grados de electrificación de las viviendas, denominados “básico” y “elevado”.

En la tabla 1 se resumen los tipos de electrificación con sus respectivas particularidades en cuanto a superficies y potencias.

El artículo 4 del reglamento establece las tensiones nominales en los parámetros de 230 V y 400 V, en función de si la alimentación es monofásica o trifásica. Al aplicar estos valores de tensión, se puede ver perfectamente que 5.750 w corresponden a 25 A y 9.200 w a 40 A, ambos valores en suministros monofásicos. Estos valores son los mínimos posibles, pero pueden ser superiores. Ello condicionará las secciones de los conductores, no solamente por caída de tensión, sino también por la intensidad máxima admisible de estos.

Los grados de electrificación del nuevo reglamento se adaptaban exactamente a los escalones de potencia normalizados de los interruptores de control de potencia (ICP) de las compañías suministradores de energía eléctrica. Esto ha devenido obsoleto con la publicación del Real Decreto Ley 15/2018, de 5 de octubre, que, en su artículo 16, autoriza a contratar, por debajo de 15.000 w, la potencia en escalones de 100 w, mucho más favorable para los usuarios. Las potencias normalizadas tenían su excusa en los ICP y sus escalones de fabricación, pero actualmente con los contadores electrónicos programables, han quedado obsoletos y, además, la curva de limitación de los contadores electrónicos no es tan sensible como la curva de los ICP.

La clasificación de una vivienda en el grado de electrificación elevado se realiza no solo por su superficie construida, sino también en función de que se prevea instalación de calefacción eléctrica, aire acondicionado, electrodomésticos de gran consumo como una secadora, carga de un vehículo eléctrico o si se incorporan o duplican algunos circuitos como se detalla a continuación. Solamente con que se incorpore uno de los elementos de consumo citados o que se duplique uno de los circuitos, la instalación cambia directamente de grado de electrificación básico hacia el de mayor potencia y se trata de un valor mínimo; es la cifra que el proyectista o instalador autorizado debe tener en cuenta para la previsión de cargas y el dimensionamiento de la derivación individual, pero, en función de los consumos previstos, puede ser superior. El usuario final es libre de contratar la potencia que considere, hasta el máximo de diseño del grado de electrificación previsto.

En el caso de que la vivienda disponga de más de 30 puntos de alumbrado el circuito C_1 , se desdobra en dos. Este circuito se denomina de *iluminación* en la tabla 1 de la Instrucción Técnica ITC-BT 25. El segundo circuito creado, que pasa a denominarse C_6 , es otro circuito de alumbrado gemelo del C_1 . La vivienda, en este caso, pasa directamente al grado de electrificación elevado.

Si tiene más de 20 tomas de corriente de uso general, el circuito se desdobra en dos. El circuito C_2 se denomina

Reglamento de BT de 2002		
m ²	Categoría	Potencia W
< 160	Básica	≥ 5.750
≥ 160	Elevada	≥ 9.200
> 200	Elevada	Libre (> 9.200)
> 200	Elevada	Libre (> 9.200)

Tabla 1. Grados de electrificación.

de *tomas de corriente de uso general* en la tabla 1 de la Instrucción Técnica ITC-BT 25. Este segundo circuito pasa a denominarse C_7 , y, como en el caso anterior, la vivienda cambia de grado de electrificación.

Cuando la vivienda disponga de un sistema domótico de automatización, gestión de la energía y de seguridad (circuito C_{11} según la ITC-BT 25.2.3.2) pasa, sin más, al grado de electrificación elevado.

En cualquiera de los casos en que se duplica alguno de los circuitos de alimentación de cocina y horno (circuito C_3), de distribución interna destinado a lavadora, lavavajillas y termo (circuito C_4) o de alimentación de cocina y baños (circuito C_5), la vivienda se considera de electrificación elevada.

Si hay una toma o cargador de vehículo eléctrico (circuito C_{13}), pasa directamente a ser de electrificación elevada, con la potencia mínima que conlleva.

Todo esto se incluye en el documento número 10 de la guía técnica, que redunda en lo regulado por la ITC-BT 25 del nuevo reglamento. Estos supuestos no son más que una trasposición de lo prescrito en el punto 2.3.2 de la ITC-BT 25, en el que se describen los circuitos adicionales de una vivienda de electrificación elevada respecto de otra con un grado de electrificación básico.

Si se conoce el valor de la carga real de los elementos de consumo, se deberá utilizar ese dato, si es mayor que el mínimo teórico. En el caso de viviendas y en función de los consumos reales que haya, se puede aumentar la potencia de la instalación. Se deben añadir para ello más circuitos, siguiendo los criterios básicos de la ITC-BT 25 y los generales de la técnica del sector.

Con respecto a la potencia de un edificio de viviendas, la tabla 1 de la ITC-BT 10 establece el coeficiente de simultaneidad en función del número de viviendas. Pero con la salvedad de que dicha previsión no es aplicable

a las viviendas ni edificios con tarifa nocturna donde no hay simultaneidad, pues toda la potencia nocturna (acumuladores y ACS) se conecta a la vez y a la misma hora. No obstante, y como se verá más adelante, la guía técnica de la ITC-BT 52 estudia este tema con mayor profundidad.

Los coeficientes de simultaneidad reglamentarios son de aplicación a todas las instalaciones eléctricas en baja tensión, de acuerdo con el artículo 2 del Real Decreto 842/2002, de 2 de

Número de viviendas	Coefficiente
1	1
2	2
3	3
4	3,8
5	4,6
6	5,4
7	6,2
8	7
9	7,8
10	8,5
11	9,2
12	9,9
13	10,6
14	11,3
15	11,9
16	12,5
17	13,1
18	13,7
19	14,3
20	14,8
21	15,3
22	15,8
23	16,3
24	16,8
25	17,3
26	17,8
27	18,3
28	18,8
29	19,3
30	19,8
31	20,3
32	20,8

Tabla 2. Coeficientes de simultaneidad

agosto. Esta norma tiene carácter básico y, por ello, regula las bases mínimas

de la totalidad de las instalaciones eléctricas en todo el territorio nacional, derogando cualquier norma particular de las empresas suministradoras, aunque hayan sido aprobadas por el Ministerio de Industria o por el órgano competente en dicha materia de la comunidad autónoma correspondiente, en lo que se opongan a ella (Tabla 2).

En la ITC-BT 52.4.1 se establece el nuevo sistema de cálculo de la potencia del edificio. La fórmula prevista admite un coeficiente de simultaneidad, unitario sin SPL y de 0,3 con SPL. En la guía de la ITC-BT 52 se aclara que el SPL es un sistema de protección de la línea general de alimentación (LGA), que en la ITC se obvia.

Dicha fórmula es:

$$P_{edificio} = (P_1 + P_2 + P_3 + P_4) + 0,3 * P_5 \text{ (se instala SPL)} \quad (1)$$

$$P_{edificio} = (P_1 + P_2 + P_3 + P_4) + P_5 \text{ (no se instala SPL)} \quad (3)$$

Donde:
 P_1 = Carga correspondiente al conjunto de viviendas obtenida como el número de viviendas por el coeficiente de simultaneidad de la tabla 1 de la ITC-BT-10.

P_2 = Carga correspondiente a los servicios generales.

P_3 = Carga correspondiente a locales comerciales y oficinas.

P_4 = Carga correspondiente a los garajes distinta de la recarga del vehículo eléctrico.

P_5 = Carga prevista para la recarga del vehículo eléctrico.

La diferencia está en el coeficiente de simultaneidad de 0,3 que se aplica cuando hay SPL y unitario si no lo hay, al término P_5 , solamente a la parte de la carga correspondiente a los vehículos eléctricos.

El SPL tiene que medir la intensidad en la LGA del edificio y comunicarse con los cargadores de todos los vehículos eléctricos, mediante un sistema de control, un router, un switch (si procede), para concentrar la llegada de los cables UTP, si son más que las salidas del router y cables UTP a cada cargador, de manera que se simultaneen y coordinen los ciclos de recarga, sin sobrepasar nunca la intensidad máxima admisible de diseño. El SPL es un equipo que requiere transformadores toroidales en la entrada del edificio, colocados sobre cada fase de la LGA o

sobre las barras de la centralización de contadores. Solamente si, en origen, desde el inicio del edificio, se colocan todos los cargadores de una única marca y con el sistema de comunicaciones del mismo fabricante, se puede instalar y conseguir que funcione. Los protocolos de comunicaciones impiden, de facto, utilizar equipos genéricos o de varios productores. Ello tiene ventajas e inconvenientes. Como ventajas destacan:

- Optimiza la utilización de la instalación del edificio. Recordemos que la LGA está protegida por los fusibles de la caja general de protección, que protegen contra cortocircuitos, pero poco frente a sobrecargas.

- Admite una instalación menos onerosa (descontando el precio del SPL y de la instalación) y de menor potencia.

Entre los inconvenientes están los siguientes:

- Obliga a instalar un sistema completo del mismo fabricante; es la única forma de asegurar que las comunicaciones funcionen.

- En caso de ampliaciones se tienen que realizar también con equipos del mismo fabricante y si han pasado unos años, es posible que su compatibilidad ya no esté asegurada.

- Puede retrasar o impedir la carga completa de los vehículos eléctricos, durante el ciclo de carga normal, por exceso de consumo simultáneo.

La Guía Técnica del Ministerio de la ITC-BT 52 estudia este tema con mayor detalle y, aunque no sea de obligado cumplimiento, conviene estudiarla a los efectos de diseño de las instalaciones. Así la guía técnica de aplicación de la ITC-BT 52 limita la potencia del circuito C13 en monofásico a 9.200 w (32 A), para limitar los desequilibrios.

En su anexo 2, que desarrolla la previsión de cargas, introduce detalles que no incluye la ITC-BT 52. Distingue entre potencia diurna y nocturna, y a esta última le aplica un coeficiente de 0,5 que toma de los datos de consumo agregados publicados por REE. En consecuencia, disminuye el valor de P_1 en un 50 % y las fórmulas (1) y (3) quedarían de la siguiente forma:

$$P_{edificio} \text{ (nocturno)} = (0,5 * P_1 + P_2 + P_3 + P_4) + 0,3 * P_5 \text{ (se instala SPL)} \quad (4)$$

$$P_{edificio} \text{ (nocturno)} = (0,5 * P_1 + P_2 + P_3 + P_4) + P_5 \text{ (no se instala SPL)} \quad (5)$$

1. A partir de la vivienda nº 22 se aplica la fórmula siguiente: $P = 15,3 + (n-21) * 0,5$.

Este coeficiente de 0,5 puede servir para tener una idea, lo más aproximada posible, de las posibilidades de uso de los cargadores, pero en ningún caso para ajustar, a la baja, la potencia prevista del edificio.

Se excluye expresamente el caso de las viviendas con tarifa nocturna (no se les puede aplicar el coeficiente de 0,5).

Este sistema, que puede servir como indicativo, puesto que guía técnica no modifica reglamento, ni siquiera tiene rango de legal, no puede utilizarse, en ningún caso, para justificar una previsión de potencia inferior en el edificio. Ni es su función, ni tiene soporte legal.

Hay una particularidad en el Reglamento de Baja Tensión que conviene destacar. El punto 3.1 de la ITC-BT 10 al referirse a la carga de un conjunto de viviendas dice textualmente, refiriéndose a la previsión de cargas:

“Se obtendrá multiplicando la media aritmética de las potencias máximas previstas en cada vivienda por el coeficiente de simultaneidad indicado en la tabla 1 según el número de viviendas.”

Para ilustrar lo anterior, se plantea el caso de un edificio de 20 viviendas: 10 viviendas de 180 m², por tanto de electrificación elevada, y otras 10 de 100 m² y con grado de electrificación básico. La media aritmética de la potencia eléctrica de la totalidad de las viviendas del edificio será:

$$\frac{(10 \cdot 9.200 + 10 \cdot 57.500)}{(10+10)} = \frac{(92.000 + 575.000)}{20} = 7.375 \text{ w} \quad (6)$$

A esta potencia media hay que aplicarle el coeficiente de simultaneidad de la tabla 1 de la ITC-BT 10, con lo que la potencia total del conjunto de viviendas, no del total del edificio, sería de:

$$P = 7.375 \cdot 14,8 = 108.950 \text{ w} \quad (7)$$

En el supuesto de que todas las viviendas tuviesen el mismo grado de electrificación, la solución es directa. Se multiplica la potencia según su grado de electrificación (o la superior que proceda si hay circuitos suplementarios) por el coeficiente de simultaneidad y se obtiene directamente el resultado del cálculo. Hay que recordar que esto no es aplicable cuando hay calefacción con tarifa nocturna.

Electrificación de los servicios generales de un edificio de viviendas

Los servicios generales del edificio como el portal, las escaleras, los ascensores, los grupos de presión y bombeo, las salas de calor y frío y otros usos generales eléctricos se computarán por su potencia prevista y sin aplicar ningún coeficiente de simultaneidad.

Para estimar la potencia eléctrica de los portales y escaleras, la guía técnica del reglamento, en el caso de que no se conozcan los consumos reales, sugiere una potencia de cálculo, para el alumbrado del portal, de 15 W/m² si las lámparas son incandescentes y 8 W/m² si son de fluorescencia. Para las escaleras, estima 7 W/m² en el caso de incandescencia y 4 W/m² si el alumbrado es fluorescente. Estos valores se pueden utilizar como indicativos, aunque prácticamente supone el mismo trabajo diseñar la instalación que determinar las superficies y hacer después la estimación de potencia. Tanto el alumbrado incandescente como el fluorescente han quedado obsoletos, los equipos led lo han sustituido todo y son de menor potencia (aproximadamente, el 50% de la potencia fluorescente). De todas maneras, y hasta que el Ministerio actualice, como es su obligación, dichos parámetros, hay que tomar el menor de los valores reglamentarios previstos, aunque el consumo led será inferior.

Electrificación de los garajes

En el reglamento, se establece una potencia mínima por m² de garaje. En esta norma, para calcular la previsión de potencia de los garajes que tienen ventilación natural, se establece un valor de cálculo mínimo por superficie de 10 W/m² y de 20 W/m² para los garajes que precisan ventilación forzada. Se fija también un valor mínimo de 3.450 W, con independencia de la superficie del garaje y del sistema de ventilación, lo que no tiene nada que ver con la potencia de carga de los cargadores de los vehículos eléctricos, que se determina aparte.

La Directiva UE 2024/1275, relativa a la eficiencia energética de los edificios, considera insuficiente el criterio del actual Código Técnico de la Edificación (CTE), de un punto de recarga por cada 40 plazas de garaje. Distingue, en su artículo 14, entre edificios residenciales y no residenciales. Entre estos últimos realiza una nueva clasificación:

- Edificios residenciales nuevos o con renovaciones importantes que, si disponen de más de cinco plazas, deberán de tener:

- Sistemas de conducción de cables para el 100% de las plazas (tubos o bandejas).
- Cables para, al menos, el 50% de las plazas.
- Al menos un punto de recarga para cada cinco plazas y si el edificio es de oficinas, un punto por cada dos plazas.

- Edificios no residenciales existentes:

- Sistemas de conducción de cables para al menos el 50% de las plazas.
- Al menos un punto de recarga por cada 10 plazas.

- Si el edificio es de uso residencial nuevo o con una renovación importante y tiene más de tres plazas, se instalarán:

- Sistemas de conducción de cables para el 100% de las plazas.
- Cables para, al menos, el 50% de las plazas.
- Al menos un punto de recarga (solo en nuevos edificios).

La situación actual es que el RD 450/2022 (CTE) solo prescribe disponer de sistema de conducción de cables para el 100% de las plazas, sin cableado. Pero a este criterio le queda, como mucho, hasta mayo de 2026.

Electrificación de locales comerciales y de oficinas

Para locales comerciales y oficinas se toman 100 W/m², con un mínimo de 3.450 w por local (independientemente de su superficie) y un coeficiente de simultaneidad unitario.

Electrificación en edificios industriales

En el reglamento, la carga de los edificios destinados a industrias o a concentración de industrias se toma con un valor de 125 W/m² de la norma anterior. Se establece, además, una potencia mínima de 10.350 W por local, independientemente de la superficie de la industria. Dado que el reglamento es de mínimos, se considera que la citada potencia es la más baja posible, independientemente de que el consumo real pueda ser inferior. Esta potencia es la que se debe utilizar para dimensionar la instalación, su acometida y la red de baja tensión, a no ser que se

conozca la potencia real y sea superior o la superficie del local supere los 82,8 m², en cuyo caso el cálculo por área arroja un resultado mayor.

Una vez expuestos los datos de partida y los detalles de la reglamentación vigente, se realizan una serie de casos prácticos. Se han ordenado de la letra A a la E y corresponden a un grupo de naves industriales, edificios de viviendas de electrificación elevada y media o básica, un edificio de oficinas y otro destinado a la concentración de industrias, respectivamente. En cada apartado se presentan tablas, una según el reglamento de 2002, otra que combina el reglamento anterior con la Directiva 2024/1275 y una última según la guía técnica de la ITC-BT 52, de manera que se puedan apreciar claramente las diferencias.

A) Conjunto de naves industriales

Como primer supuesto, se plantea la previsión de potencia de un grupo de naves industriales que cuentan con un grupo de presión común que les suministra agua potable, un grupo de bombeo de agua común para todas las naves, un alumbrado exterior de la calle particular donde se encuentran y unos cargadores obligatorios ubicados en la vía pública. La potencia será la que se

expresa en la tabla 3. Aunque las naves no están dotadas inicialmente de garajes, hay que tener en cuenta, al desarrollar el suelo industrial y sus espacios comunes, el Real Decreto Ley 29/2021, de 21 de diciembre, que en su artículo 4 obliga a todos los estacionamientos existentes, con más de 20 plazas, a disponer una estación de recarga cada 40 aparcamientos, o fracción. Suponiendo unas 20 plazas de aparcamiento por nave y contando con ocho naves, salen cuatro cargadores por ubicar en la vía pública. La siguiente pregunta es, ¿de qué potencia?

La potencia de cada cargador y su simultaneidad no están detalladas en la ITC-BT 52. Solamente prescribe que utilicen los esquemas de carga 3 o 4. Sin embargo, el mínimo valor prudente que se puede tomar es variable. Reglamentariamente, cumpliría con un mínimo de 2.300 w, potencia muy adecuada para cargar un patinete eléctrico, o una moto eléctrica equivalente y la mínima posible para conectar un coche híbrido enchufable (los fabricantes recomiendan unos 7 Kw). Con un coche eléctrico puro no hay casi ni para empezar a recargar. Los cargadores normalizados que se venden para sistemas domésticos son de 16 y 32 A (3.680 y 7.360 w). También se denomi-

nan modos 1 y 2, s/UNE-HD 60364-7-722.3 puntos 3 y 4. Si se utilizan para carga particular, sin SPL, no es necesario un cable de datos. Si se ubican en edificios de oficinas, industrias, centros comerciales o similares, hay que comunicar cada cargador mediante un cable UTP conectado a un router, switch y un SPL, que supone unos 600 € + IVA adicional. Lo normal es que los cargadores se configuren como TPV o Electromaps y para cualquiera de las dos opciones es preciso disponer de datos.

Para ver la potencia media de los cargadores que se instalan en las calles, se ha tomado el listado de cargadores autorizados en la provincia de León. El resultado es una media de potencia de cada equipo de 57,93 Kw y su distribución se incluye al pie en la figura 1.

Si se toman estos valores como indicativos, cada cargador de la calle debería de ser de unos 50 Kw. Con un valor muy inferior se cumpliría la normativa, pero no sería real. Por ello se asume el valor de 50 Kw por equipo para que sea operativo.

Para estimar la potencia de una bomba se puede aplicar la siguiente fórmula:

$$P=C*Q*H \quad (8)$$

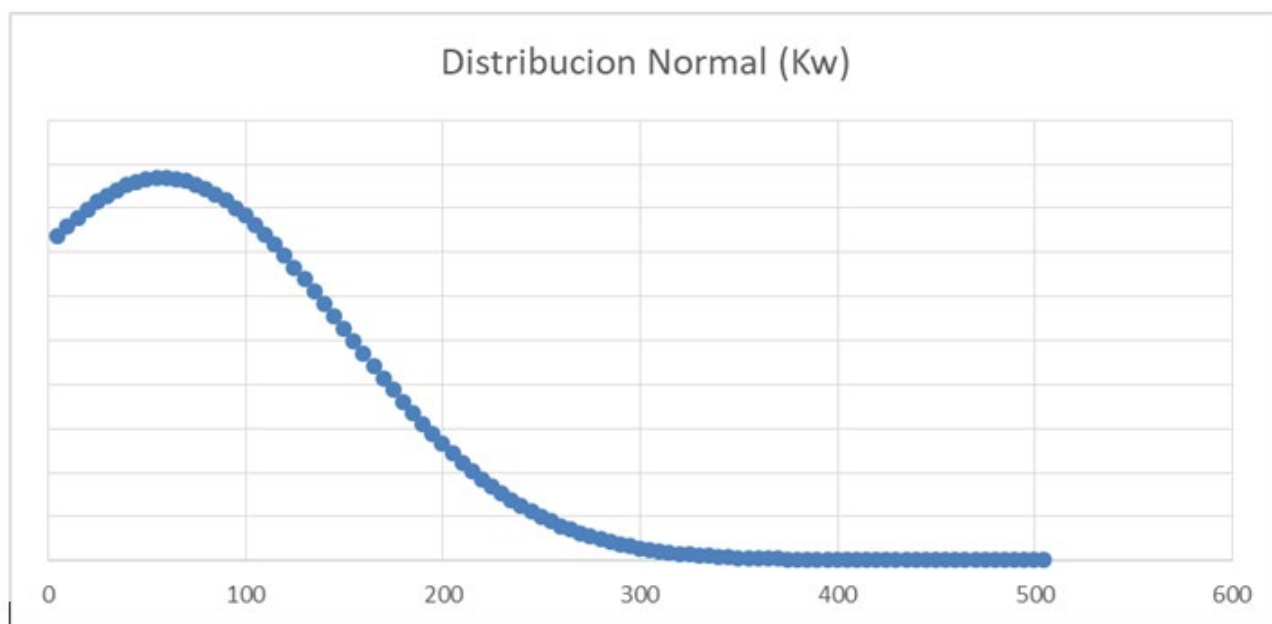


Figura 1. Distribución de potencias de cargadores eléctricos ubicados en la vía pública.

Receptor	Superficie M ²	N°	DIRECTIVA+RBT				N°	KW	RBT 2002		
			KW	Potencia prevista w	Coefficiente de simultaneidad	Total			Potencia prevista w	Coefficiente de simultaneidad	Total
Naves	680	8	680	125	1	680		680	125	1	680
Grupo de presión	--	1	1,5	Carga real	1	1,5		1,5	Carga real	1	1,5
Grupo de bombeo	--	1	1	Carga real	1	1		1	Carga real	1	1
Alumbrado exterior	--	1	10	Carga real	1	10		10	Carga real	1	10
Cargadores de vehículos eléctricos		4	200	50	1	200					
Total = 892,5							Total = 692,5				
Diferencia = 200 Kw											

Tabla 3. Grupo de naves industriales

Donde:

P = Potencia de la bomba en kW.

C = Constante aproximadamente igual a 8 (incluye g [9,81 m/s²] y los rendimientos de motor, bomba, cables, etc.).

Q = Caudal en m³/s.

H = Altura manométrica en metros de columna de agua (si se tiene el valor de la presión en kg/cm² hay que convertirlo en metros de columna de agua, 1 kg/cm² ≈ 10 metros de columna de agua).

De esta forma, se puede estimar la potencia de la bomba con una precisión suficiente, a nivel de previsión de potencia eléctrica.

B) Edificio de viviendas de electrificación elevada

Como segundo supuesto, se calcula la previsión de carga de un edificio de viviendas de electrificación elevada y dotado naturalmente de los demás servicios comunes, como ascensor, locales comerciales, portal, escaleras, garaje, sala de calderas y grupos de presión y bombeo. La potencia de los locales se calcula aplicando los valores máximos por superficie. La de las viviendas en función de su grado de electrificación (que también depende de la superficie) y de los coeficientes de simultaneidad reglamentarios. En el caso de portales y grupos de elevación y bombeo, se han tomado los valores de carga real para uniformizar la

comparación.

Hay que recordar también que de acuerdo con la ITC-BT-52.2.3.2 párrafo 10°, cada cinco circuitos se protegerán mediante un interruptor diferencial diferente y el circuito C₁₃ de recarga de vehículo eléctrico se protegerá con un relé diferencial independiente (s/ITC-BT-25.2.3.2) de clase A, comúnmente llamados superinmunizados o protegidos contra disparos intempestivos por armónicos, corrientes pulsantes, etc., e, incluso, considera la posibilidad de que sea de rearme automático. El único problema es su precio y si, además, es rearmable es todavía más caro (unos 500 €). Dicho circuito se protegerá aguas arriba mediante un interruptor automático de curva C (s/ITC-BT-52.6.3).

Para estimar la potencia de los ascensores se puede acudir, de manera indicativa, a la NTE-ITA, teniendo en cuenta que en un edificio de viviendas la capacidad típica es de cinco personas y la velocidad no suele superar 1 m/s, por lo que la potencia del ascensor rara vez excede los 11,5 kW. Las potencias y velocidades más usuales se pueden ver en la tabla 8. Véase la tabla 6.

Se ha añadido, en las tablas 4 y 5, una columna a la derecha, en la que se calcula la potencia según el método expuesto en la guía técnica de la ITC-BT 52. Como se puede ver, aplicando dicho cálculo, la potencia es inferior a la estipulada en

el reglamento. Este valor puede ser útil para disponer de una potencia de carga nocturna indicativa mayor. En ningún caso se puede utilizar para minorar la potencia total prevista para el edificio.

La diferencia está en el número de cargadores previstos, que en función del CTE es de uno y, sin embargo, de acuerdo con la Directiva UE 2024/1275 es de cinco, como mínimo.

C) Edificio de viviendas de electrificación media o básica

Se producen muy pocas diferencias entre los cálculos realizados de una y otra forma, principalmente a causa de los redondeos de potencia de las viviendas y a la mayor carga del garaje (Tabla 5).

La diferencia está en el número de cargadores previstos, que, en función del CTE, es de uno y, sin embargo, de acuerdo con la Directiva UE 2024/1275, es de cinco, como mínimo.

D) Edificio de oficinas

Para calcular la potencia de los ascensores se puede recurrir de nuevo a la NTE-ITA. La potencia según que el número de personas sea de 8 o 15 puede llegar a 18,5 o 29,5 kW o incluso más en casos aislados. Los ascensores de este tipo de edificios tienen más capacidad, suelen ser más rápidos y su número de maniobras es mucho mayor, por lo que su potencia es más elevada.

Norma	Directiva + RBT		DIRECTIVA+RBT				RBT 2002					S/guía + D.
	Receptor	Superficie M ²	Nº	KW	Potencia prevista w	Coefficiente de simultaneidad	Total	Nº	KW	Potencia prevista w	Coefficiente de simultaneidad	
Viviendas	170	20	184	9.200	0,74	136,16		184	9.200	0,74	136,16	92
Garaje ventilación forzada (25 plazas)	1.000	1	20	20	1	20		20	20	1	20	20
Locales	500	1	50	100	1	50		50	100	1	50	50
Portal y escaleras	--	1	2	Carga real	1	2		2	Carga real	1	2	2
Ascensores	--	2	12	Carga real	1	12		12	Carga real	1	12	12
Grupo de presión	--	1	2	Carga real	1	2		2	Carga real	1	2	2
Sala de calderas	--	1	4	Carga real	1	4		4	Carga real	1	4	4
Grupo de bombeo	--	1	1,5	Carga real	1	1,5		1,5	Carga real	1	1,5	1,5
Cargador de vehículos eléctricos		5	18,25	3.650	1	18,25	1	3,65	3.650	1	3,65	18,25
Total = 243,91							Total = 227,66					183,5
Diferencia entre montar SPL o no = 14,6 K kW												

Tabla 4. Edificio de viviendas de electrificación elevada

Receptor	Superficie M ²	Nº	KW	Potencia prevista w	Coefficiente de simultaneidad	Total	Nº	KW	Potencia prevista w	Coefficiente de simultaneidad	Total	KW
Viviendas	120	20	115	5.750	0,74	85,1		115	5.750 (3)	0,74	85,1	57,5
Garaje ventilación forzada (25 plazas)	1.000	1	20	20	1	20		20	20	1	20	20
Locales	500	1	50	100	1	50		50	100	1	50	50
Portal y escaleras	--	1	2	Carga real	1	2		2	Carga real	1	2	2
Ascensores	--	2	10	Carga real	1	10		10	Carga real	1	10	10
Grupo de presión	--	1	1	Carga real	1	1		1	Carga real	1	1	1
Sala de calderas	--	1	2	Carga real	1	2		2	Carga real	1	2	2
Grupo de bombeo	--	1	1	Carga real	1	1		1	Carga real	1	1	1
Cargador de vehículos eléctricos		5	18,25	3.650	1	18,25	1	3,65	3.650	1	3,65	18,25
Total = 189,35							Total = 174,75					161,75
Diferencia entre montar SPL o no = 14,6 kW												

Tabla 5. Edificio de viviendas de electrificación básica

Para facilitar el cálculo de la potencia de los ascensores, se incluyen en la tabla 6 parte de los datos de la norma tecnológica de la edificación NTE-ITA. Es muy raro encontrar ascensores de tipo superior al ITA-4 en edificios de viviendas donde normalmente se instalan los tipos 1 y 2. Los ascensores de tipos superiores son más frecuentes en los edificios de oficinas o centros comerciales (Tabla 7).

Tipo	Carga (kg)	Nº de personas	Velocidad (m/s)	Potencia (Kw)
ITA-1	400	5	0,63	4,5
ITA-2	400	5	1	7,5
ITA-3	630	8	1	11,5
ITA-4	630	8	1,6	18,5
ITA-5	1.000	13	1,6	29,5
ITA-6	1.000	13	2,5	46
ITA-7	1.600	21	2,5	73,5
ITA-8	1.600	21	3,5	103

Tabla 6. Características de los ascensores s/NTE-ITA.

E) Construcción destinada a la concentración de industrias

Las diferencias entre los resultados obtenidos obedecen a la mayor potencia prevista para los cargadores. La diferencia está en el número de cargadores pre-

vistas. De acuerdo con el CTE, se colocarán dos y en función de la Directiva UE 2024/1275 es de 25, como mínimo, lo que incrementa mucho la potencia del

edificio. Si se coloca un SPL, la potencia es un poco superior, pero no tanto. Probablemente compense la inversión (Tabla 8).

Receptor	Superficie M ²	Nº	DIRECTIVA+RBT				Nº	KW	RBT 2002		
			KW	Potencia prevista w	Coefficiente de simultaneidad	Total			Potencia prevista w	Coefficiente de simultaneidad	Total
Oficinas A	30	20	69	3.450	1	69		69	3.450 (2)	1	69
Oficinas B	50	15	75	100	1	75		75	100	1	75
Locales	430	1	43	100	1	43		43	100	1	43
Garaje ventilación forzada (50 plazas)	1.000	2	40	20	1	40		40	20	1	40
Portal y escalera	--	1	2	20	1	2		2	Carga real	1	2
Ascensores	--	2	10	20	1	10		10	Carga real	1	10
Grupo de presión	--	1	1	20	1	1		1	Carga real	1	1
Grupo de bombeo	--	1	1	20	1	1		1	Carga real	1	1
Sala de calderas	--	1	5	20	1	5		5	Carga real	1	5
Cargador de vehículos eléctricos		25	91,25	3,65	1	91,25	2	7,3	3,65	1	7,3
Total = 337,25							Total = 253,3				
Diferencia entre montar SPL o no = 83,95 Kw Si se coloca SPL, la nueva potencia pasa a ser de 273,375 Kw; la diferencia se minimiza.											

Tabla 7. Edificio de oficinas.

Receptor	Superficie M ²	N°	DIRECTIVA+RBT				N°	KW	RBT 2002		
			KW	Potencia prevista w	Coefficiente de simultaneidad	Total			Potencia prevista w	Coefficiente de simultaneidad	Total
Locales industriales	80	20	207	10.350 (5)	1	207	20	207	10.350 (5)	1	207
Local comercial	2.000	1	200	100	1	200	1	200	100 (1)	1	200
Garaje ventilación natural (50 plazas)	2.000	1	1	Carga real	1	1	1	20	10	1	20
Portal y escalera	--	1	2	Carga real	1	2	1	2	Carga real	1	2
Ascensores	--	2	14	Carga real	1	14	2	14	Carga real	1	14
Grupo de presión	--	1	2	Carga real	1	2	1	2	Carga real	1	2
Cargadores de vehículos eléctricos		25	92	3,68	1	92	2	7,36	3,68	1	7,36
Total = 518							Total = 452,36				
Diferencia entre colocar SPL o no = 65,6 Kw. Si se coloca SPL, la nueva potencia pasa a ser de 454 Kw; la diferencia casi desaparece.											

Tabla 8. Edificio de concentración de industrias

Todos estos cálculos pueden arrojar un valor de potencia que, al solicitársela a la compañía distribuidora de la zona, la deniegue por ser muy elevada. En los últimos meses, estas empresas han denegado multitud de solicitudes, alegando falta de potencia o de capacidad en la red. Sin embargo, queda una última solución: aplicar el cálculo de potencia de las normas particulares de las propias empresas distribuidoras, aprobadas por el Ministerio de Industria y disponibles en la web. Dicho cálculo viene a dividir entre dos el cálculo anterior y es la potencia que realmente implementan en sus redes, aunque al promotor le cobren otra diferente. De momento, es la última solución posible ante el monopolio territorial.

CONCLUSIONES

El sistema de cálculo de la previsión de la potencia eléctrica de los nuevos suministros se ha modificado para adaptarlo a las necesidades de los vehículos eléctricos.

La potencia de los edificios aumenta

considerablemente con la obligatoriedad de colocar los cargadores de los vehículos eléctricos. Sin embargo, si se instala un SPL, dicha potencia prevista se mueve en unos valores mucho más contenidos, aun a pesar de que la instalación será más compleja.

La instalación de un SPL obliga a montar un sistema completo del mismo fabricante; es la única forma de asegurar que las comunicaciones funcionen.

En caso de ampliaciones, se tienen que realizar también con equipos del mismo productor y, si han pasado unos años, su compatibilidad ya no está asegurada.

El sistema de reparto del SPL puede retrasar o impedir la carga completa de los vehículos eléctricos durante el ciclo de carga normal, por exceso de consumo simultáneo.

No se puede pretender modificar una ITC mediante una guía técnica; esa no es su finalidad.

Se pueden utilizar las normas particulares, aprobadas por el Ministerio de

Industria, de las empresas distribuidoras, para minorar la potencia total del suministro.

BIBLIOGRAFÍA

Guía Técnica de aplicación del Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión, publicada por el Ministerio de Industria y Turismo. <https://industria.gob.es/Calidad-Industrial/seguridadindustrial/instalacionesindustriales/baja-tension/Paginas/guia-tecnica-aplicacion.aspx>

Llorente Anton, M. Comentarios al Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión. Profepro, Madrid; 2002.

Orden del Ministerio de la Vivienda de 21 de marzo de 1973, por la que se aprueba la Norma Tecnológica de la Edificación sobre instalaciones de transporte, ascensores, NTE-ITA (BOE 31-III-1973).

Prysmian Cables Spain SLU. El libro blanco de la instalación.

- Manual técnico y práctico de cables y accesorios. Baja tensión. Barcelona; 2022.
- Fuentes normativas
- Directiva (UE) 2024/1275 del Parlamento Europeo y del Consejo de 24 de abril de 2024 relativa a la eficiencia energética de los edificios (refundición, DOUE 1275, de 8 de mayo, ref. DOUE-L-2024-80664).
- Ley 19/2009, de 23 de noviembre, de medidas de fomento y agilización procesal del alquiler y de la eficiencia energética de los edificios.
- Ministerio de Industria y Turismo. Guía técnica de aplicación de la ITC-BT 52, edición septiembre 2024, revisión 2.
- Norma UNE 60364.
- Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios.
- Real Decreto 1048/2013, de 27 de diciembre, por el que se establece la metodología para el cálculo de la retribución de la actividad de distribución de energía eléctrica.
- Real Decreto 1053/2014, de 12 de diciembre, por el que se aprueba una nueva Instrucción Técnica Complementaria (ITC) BT 52 "Instalaciones con fines especiales. Infraestructura para la recarga de vehículos eléctricos", del Reglamento electrotécnico para baja tensión, aprobado por Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, y se modifican otras instrucciones técnicas complementarias del mismo.
- Real Decreto 184/2022, de 8 de marzo, por el que se regula la actividad de prestación de servicios de recarga energética de vehículos eléctricos.
- Real Decreto 2177/1996, de 4 de octubre, por el que se aprueba la Norma Básica de la Edificación NBE-CPI/96, Condiciones de protección contra incendios en los edificios.
- Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.
- Real Decreto 450/2022, de 14 de junio, por el que se modifica el Código Técnico de la Edificación, aprobado por el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo.
- Real Decreto 647/2011, de 9 de mayo, por el que se regula la actividad de gestor de cargas del sistema para la realización de servicios de recarga energética.
- Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión.
- Real Decreto-ley 15/2018, de 5 de octubre, de medidas urgentes para la transición energética y la protección de los consumidores.
- Real Decreto-ley 29/2021, de 21 de diciembre, por el que se adoptan medidas urgentes en el ámbito energético para el fomento de la movilidad eléctrica, el autoconsumo y el despliegue de energías renovables.

Técnica Industrial, fundada en 1952 y editada por la Fundación Técnica Industrial, se define como una publicación técnica de periodicidad cuatrimestral en el ámbito de la ingeniería industrial. Publica tres números al año (marzo, julio y noviembre) y tiene una versión digital accesible en www.tecnicaindustrial.es. Los contenidos de la revista se estructuran en torno a un núcleo principal de artículos técnicos relacionados con la ingeniería, la industria y la innovación, que se complementa con información de la actualidad científica y tecnológica y otros contenidos de carácter profesional y humanístico.

Técnica Industrial. Revista de Ingeniería, Industria e Innovación pretende ser eco y proyección del progreso de la ingeniería industrial en España y Latinoamérica, y, para ello, impulsa la excelencia editorial tanto en su versión impresa como en la digital. Para garantizar la calidad de los artículos técnicos, su publicación está sometida a un riguroso sistema de revisión por pares (*peer review*). La revista asume las directrices para la edición de revistas científicas de la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (Fecyt) y las del International Council of Scientific Unions (ICSU), con el fin de facilitar su indización en las principales bases de datos y ofrecer así la máxima visibilidad y el mayor impacto científico de los artículos y sus autores.

Técnica Industrial considerará preferentemente para su publicación los trabajos más innovadores relacionados con la ingeniería industrial. Todos los artículos técnicos remitidos deben ser originales, inéditos y rigurosos, y no deben haber sido enviados simultáneamente a otras publicaciones. Sus autores son los únicos responsables de las afirmaciones vertidas en los artículos. Todos los originales aceptados quedan como propiedad permanente de *Técnica Industrial*, y no podrán ser reproducidos en parte o totalmente sin su permiso. El autor cede, en el supuesto de publicación de su trabajo, de forma exclusiva a la Fundación Técnica Industrial, los derechos de reproducción, distribución, traducción y comunicación pública (por cualquier medio o soporte sonoro, audiovisual o electrónico) de su trabajo.

Tipos de artículos La revista publica artículos originales (artículos de investigación que hagan alguna aportación teórica o práctica en el ámbito de la revista), de revisión (artículos que divulguen las principales aportaciones sobre un tema determinado), de innovación (artículos que expongan nuevos procesos, métodos o aplicaciones o bien aporten nuevos datos técnicos en el ámbito de la ingeniería industrial) y de opinión (comentarios e ideas sobre algún asunto relacionado con la ingeniería industrial). Además, publica un quinto tipo de artículos, el dossier, un trabajo de revisión sobre un tema de interés encargado por la revista a expertos en la materia.

Redacción y estilo El texto debe ser claro y ajustarse a las normas convencionales de redacción y estilo de textos técnicos y científicos. Se recomienda la redacción en impersonal. Los autores evitarán el abuso de expresiones matemáticas y el lenguaje muy especializado, para así facilitar la comprensión de los no expertos en la materia. Las mayúsculas, negritas, cursivas, comillas y demás recursos tipográficos se usarán con moderación, así como las siglas (para evitar la repetición excesiva de un término de varias palabras se podrá utilizar una sigla a modo de abreviatura, poniendo entre paréntesis la abreviatura la primera vez que aparezca en el texto). Las unidades de medida utilizadas y sus abreviaturas serán siempre las del sistema internacional (SI).

Estructura Los trabajos constarán de tres partes diferenciadas:

1. Presentación y datos de los autores. El envío de artículos debe hacerse con una carta (o correo electrónico) de presentación que contenga lo siguiente: 1.1 Título del artículo; 1.2 Tipo de artículo (original, revisión, innovación y opinión); 1.3 Breve explicación del interés del mismo; 1.4 Código Unesco de cuatro dígitos del área de conocimiento en la que se incluye el artículo para facilitar su revisión (en la página web de la revista figuran estos códigos); 1.5 Nombre completo, correo electrónico y breve perfil profesional de todos los autores (titulación y posición laboral actual, en una extensión máxima de 300 caracteres con espacios); 1.6 Datos de contacto del autor principal o de correspondencia (nombre completo, dirección postal, correo electrónico, teléfonos y otros datos que se consideren necesarios). 1.7 La cesión de los derechos al editor de la revista. 1.8 La aceptación de estas normas de publicación por parte de los autores.

2. Texto. En la primera página se incluirá el título (máximo 60 caracteres con espacios), resumen (máximo 250 palabras) y 4-8 palabras clave. Se recomienda que el título, el resumen y las palabras clave vayan también en inglés. Los artículos originales deberán ajustarse en lo posible a esta estructura: introducción, material y métodos, resultados, discusión y/o conclusiones,

que puede reproducirse también en el resumen. En los artículos de revisión, innovación y opinión se pueden definir los apartados como mejor convenga, procurando distribuir la información entre ellos de forma coherente y proporcionada. Se recomienda numerar los apartados y subapartados (máximo tres niveles: 1, 1.2, 1.2.3) y denominarlos de forma breve.

1.1 Introducción. No debe ser muy extensa pero debe proporcionar la información necesaria para que el lector pueda comprender el texto que sigue a continuación. En la introducción no son necesarias tablas ni figuras.

1.2 Métodos. Debe proporcionar los detalles suficientes para que una experiencia determinada pueda repetirse.

1.3 Resultados. Es el relato objetivo (no la interpretación) de las observaciones efectuadas con el método empleado. Estos datos se expondrán en el texto con el complemento de las tablas y las figuras.

1.4 Discusión y/o conclusiones. Los autores exponen aquí sus propias reflexiones sobre el tema y el trabajo, sus aplicaciones, limitaciones del estudio, líneas futuras de investigación, etcétera.

1.5 Agradecimientos. Cuando se considere necesario se citará a las personas o instituciones que hayan colaborado o apoyado la realización de este trabajo. Si existen implicaciones comerciales también deben figurar en este apartado.

1.6 Bibliografía. Las referencias bibliográficas deben comprobarse con los documentos originales, indicando siempre las páginas inicial y final. La exactitud de estas referencias es responsabilidad exclusiva de los autores. La revista adopta el sistema autor-año o estilo Harvard de citas para referenciar una fuente dentro del texto, indicando entre paréntesis el apellido del autor y el año (Apple, 2000); si se menciona más de una obra publicada en el mismo año por los mismos autores, se añade una letra minúscula al año como ordinal (2000a, 2000b, etcétera). La relación de todas las referencias bibliográficas se hará por orden alfabético al final del artículo de acuerdo con estas normas y ejemplos:

1.6.1 Artículo de revista: García Arenilla I, Aguayo González F, Lama Ruiz JR, Soltero Sánchez VM (2010). Diseño y desarrollo de interfaz multifuncional holónica para audioguía de ciudades. *Técnica Industrial* 289: 34-45.

1.6.2 Libro: Roldán Vilorio J (2010). *Motores trifásicos. Características, cálculos y aplicaciones*. Paraninfo, Madrid. ISBN 978-84-283-3202-6.

1.6.3 Material electrónico: Anglia Ruskin University (2008). University Library. Guide to the Harvard Style of Referencing. Disponible en: http://libweb.anglia.ac.uk/referencing/files/Harvard_referencing.pdf. (Consultado el 1 de diciembre de 2010).

3. Tablas y figuras. Deben incluirse solo las tablas y figuras imprescindibles (se recomienda que no sean más de una docena). Las fotografías, gráficas e ilustraciones se consideran figuras y se referenciarán como tales. El autor garantiza, bajo su responsabilidad, que las tablas y figuras son originales y de su propiedad. Todas deben ir numeradas, referenciadas en el artículo (ejemplo: tabla 1, figura 1, etc.) y acompañadas de un título explicativo. Las figuras deben ser de alta resolución (300 ppp), y sus números y leyendas de un tamaño adecuado para su lectura e interpretación. Con independencia de que vayan insertas en el documento del texto, cada figura debe remitirse, además, en un fichero aparte con la figura en su formato original para que puedan ser editados los textos y otros elementos.

Extensión Para los artículos originales, de revisión y de innovación, se recomienda que la extensión del texto no exceda las 15 páginas de 30 líneas a doble espacio (letra Times de 12 puntos; unas 5.500 palabras, 32.000 caracteres con espacios). No se publicarán artículos por entregas.

Entrega Los autores remitirán sus artículos a través del enlace *Envío de artículos* de la página web de la revista (utilizando el formulario de envío de artículos técnicos), en el que figuran todos los requisitos y campos que se deben rellenar; de forma alternativa, se pueden enviar al correo electrónico cogiti@cogiti.es. Los autores deben conservar los originales de sus trabajos, pues el material remitido para su publicación no será devuelto. La revista acusará recibo de los trabajos remitidos e informará de su posterior aceptación o rechazo, y se reserva el derecho de acortar y editar los artículos.

Técnica Industrial no asume necesariamente las opiniones de los textos firmados y se reserva el derecho de publicar cualquiera de los trabajos y textos remitidos (informes técnicos, tribunas, información de colegios y cartas al director), así como el de resumirlos o extraerlos cuando lo considere oportuno. Los autores de las colaboraciones garantizan, bajo su responsabilidad, que las fotos, tablas y figuras son originales y de su propiedad.

Reducing fuel consumption: Biofuels and high efficiency engines are becoming a real solution to mitigate transport emissions

Reducir el consumo de combustibles: Los biocombustibles y los motores de gran eficiencia pueden ser una solución real para ayudar a mitigar las emisiones en el sector del transporte

Sofía Morán¹ y Xiomar Gómez²

Resumen

Este documento ofrece una revisión exhaustiva de las estrategias y tecnologías actuales destinadas a descarbonizar el sector del transporte, con especial atención a los desafíos y oportunidades que plantean las nuevas regulaciones, los avances tecnológicos y los factores socioeconómicos. Examina las limitaciones de depender exclusivamente de la electrificación, y destaca la importancia continua de los vehículos híbridos y los combustibles alternativos como el biogás, el bioetanol y el biodiésel para lograr reducciones significativas en las emisiones de gases de efecto invernadero. El análisis subraya la necesidad de soluciones pragmáticas y multitecnológicas que consideren las limitaciones del mundo real, como la disponibilidad de infraestructura, el poder adquisitivo y la edad promedio de las flotas de vehículos. En el presente documento se destaca la importancia de la acción coordinada entre los responsables políticos, los fabricantes y los consumidores, y se aboga por marcos de políticas que incentiven la adopción de vehículos eficientes con base en su desempeño real en materia de emisiones. Conseguir un enfoque equilibrado y flexible, respaldado por la innovación, incentivos específicos y clasificaciones ambientales precisas es esencial para avanzar hacia la neutralidad climática, manteniendo al mismo tiempo la movilidad y la estabilidad económica.

Palabras clave

Descarbonización, biocombustibles, hibridación, motores y eficiencia.

Abstract

This document provides a comprehensive review of current strategies and technologies aimed at decarbonizing the transport sector, with a particular focus on the challenges and opportunities posed by new regulations, technological advancements, and socioeconomic factors. It examines the limitations of relying solely on electrification, highlighting the continued importance of hybrid vehicles and alternative fuels such as biogas, bioethanol, and biodiesel to achieve meaningful reductions in greenhouse gas emissions. The analysis underscores the need for pragmatic, multi-technology solutions that account for real-world constraints, including infrastructure availability, purchasing power, and the average age of vehicle fleets. In the present document it is stressed the importance of coordinated action among policymakers, manufacturers, and consumers, and calls for policy frameworks that incentivize the adoption of efficient vehicles based on actual emissions performance. A balanced, flexible approach—supported by innovation, targeted incentives, and accurate environmental classifications—is essential for advancing toward climate neutrality while maintaining mobility and economic stability.

Keywords

Decarbonization, biofuels, hybridization, engines, and efficiency.

Recibido/received: 03/10/2025

Aceptado/accepted: 10/02/2026

¹ Student of Electronic Engineering, Universidad de Zaragoza: School of Engineering, C. María de Luna, 3, 50018 Zaragoza, Spain.

² Department of Chemistry and Applied Physics, Chemical Engineering Area, Campus de Vegazana s/n, University of León, 24071 León, Spain.

Corresponding author: Xiomar Gómez; e-mail: xagomb@unileon.es



Imagen cedida por los autores del artículo.

1. INTRODUCTION

The ongoing rise in greenhouse gases (GHG) and their negative impacts on the global climate exert substantial pressure on politicians and policy-makers to implement regulations to decrease fossil fuel consumption and increase energy efficiency. Different strategies can be implemented to reduce fossil fuel demand, such as promoting renewable energy sources, investing in advanced technologies, developing sustainable transportation options, encouraging the use of hybrid and electric vehicles, and enhancing public transportation systems. By fostering a conservation culture and supporting policies that prioritize environmental sustainability, a more sustainable energy future, one that decreases our reliance on fossil fuels, seems an achievable goal. However, the transition to a decarbonized economy presents numerous challenges, making the goal of achieving net-zero emissions increasingly difficult. The elimination of GHG emissions associated with the industrial sector, such as the cement industry, metal refining, and steel production, is not currently possible. The freight transport sector lacks a viable alternative to diesel fuel for trucks, and the electrification of heavy-duty vehicles over long distances is not currently feasible. Although some strategies, such as the attenuation of CO₂ emissions through reforestation and carbon capture and storage, help

avoid the accumulation of CO₂ in the atmosphere, greater efforts are needed globally to achieve a significant impact on the climate. Recognizing the existing problem that some CO₂ emissions are difficult to abate, the goal of achieving climate neutrality appears to be an aspirational target rather than a realistic objective. Technologies such as carbon capture and storage, as well as carbon utilization, are required to offset atmospheric CO₂ from the carbon balance (Schenuit et al., 2023) but are linked to a higher energy demand and therefore an increase in the price of goods.

Data reported from Statista in 2024 (Statista, 2024) indicated that more than 80% of the global energy demand was covered by coal, oil, and gas, accounting for a total value of 301.1 MMboe daily, giving a clear idea of the challenge to be faced when considering the substitution by renewable sources if nuclear power is not brought into the scene. Real possibilities of attaining decarbonization may be blown off by reality. One of the most aggressive European measures established for reducing carbon emissions is the Fit for 55 package, which is a set of regulations intended to reduce greenhouse gas emissions by at least 55% by 2030, using as a base those produced in 1990, thus initiating a route towards climate neutrality by 2050 (Council of the European Union, n.d.). The goals of the package are ambitious and may

be considered overly optimistic. In addition, a fact that should not be disregarded is the high cost associated with decarbonization technologies, and that many of them are not yet mature enough to assume that a fast and smooth transition will occur in the short term (González & Gómez, 2024). The package addresses restrictions in the transport sector by regulating CO₂ emissions for passenger cars and vans, implementing new rules for alternative fuel infrastructure, and introducing new legislation applicable to the maritime and aviation sectors (Erbach & Jensen, 2024).

Regulation (EU) 2019/631 (European Parliament & Council of the European Union, 2019) is an example of the strict measures implemented to limit CO₂ emissions in the transport sector. New passenger cars and vans must comply with new CO₂ emission performance standards, with targets being continuously strengthened until 2030, and a 100% reduction in emissions is expected to be reached by 2035. Target levels for the period 2020–2024 were set at 95 g CO₂/km for cars and 147 g CO₂/km for vans, as measured by the NEDC emission test procedure. For the following years, that is, between 2025 and 2034, it was expected that these targets (measured on the WLTP cycle [Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure]) reached a value of 93,6 g CO₂/km (2025–2029) and reduced to 49,5 g CO₂/km (2030–

2034) in the case of passenger cars (European commission, n.d.). The recent delay in applying this regulation to give a “breathing space” to car manufacturers is clear evidence of the intricate connections between the economy and GHG emissions (France24, 2025), demonstrating the need for careful assessment when implementing excessively aggressive targets that may risk one of the basic principles of the Fit for 55 package, which is based on a just transition. Efforts are being made by car manufacturers, as exemplified by the decrease in mean CO₂ emissions of passenger cars registered yearly in Spain, which has dropped from 173 g CO₂/km in 2009 to 116 g CO₂/km in 2024 (ANFAC, 2024a).

The electrification of the transport sector will unfold at a different pace in the global north, based on the availability of subsidies, public acceptance, and the mean income of citizens. Solutions for reducing fuel consumption must be global and consider all variables and parameters of the equations without focusing on regions with specific characteristics that are not easily extrapolated. Therefore, electric vehicles (EVs) may be an excellent mobility option, but they are far from being considered an adequate global solution (Morán et al., 2024). Car manufacturers are making significant efforts to reduce fuel consumption and increase security for drivers and pedestrians by introducing safety driving devices in new passenger cars. These efforts, along with the devices required for pollution control, result in an unavoidable increase in car prices. These higher prices are likely one of the primary reasons for the ongoing increase in the average age of vehicle fleets worldwide. In the case of Spain, this age has increased from 8 years in 2007 to 14.5 years in 2024, one of the oldest in the European Union (ANFAC, 2024a). But the Spanish fleet is just following the same trend experienced by other countries. The average age of the U.S. fleet has increased from 11.2 years in 2012 to 14 years in 2024 (Fitzgerald, 2024). Despite the different explanations behind this phenomenon, the evident conclusion is that any efforts to implement stricter regulations have the

risk of being offset by the aging of the circulating fleet.

The adoption of electric vehicles in Spain is discouraging if compared with neighbouring countries, such as Portugal. In this latter country, the market shares of EVs sold in December 2024 reached an impressive value of 25.4% and the share of PHEV accounted for 12.3% (total of 37.7%) (European Alternative Fuels Observatory), whereas in Spain, the total share of EV + PHEV was 11.4% for the same month (ANFAC, 2024b). There are several causes for the low passenger car electrification rate of Spain, and many have been widely recognized and are common with those already reported by Boulanger et al. (2011), just right at the beginning of the introduction of the electric vehicle, such as range, charging access, and lack of public awareness about the availability and practicality of these vehicles. Back in 2016, Junquera et al. (2016) performed a study to analyse the purchasing intentions of the Spanish population regarding electric vehicles, reporting that price and charging times are the main adverse factors for the willingness to buy an EV, with these motives being replicated worldwide (Pamidikukka et al., 2024). However, prices have been decreasing considerably since the date of this study. The charging infrastructure has been improved, and charging times have decreased significantly. In fact, depending on the type of EV, the sum of up-front costs, financial aids, and maintenance may currently result in a better economic balance, but EV adoption still experiences slow increments. Therefore, other reasons are behind this slow adoption and are fully complex. A possible explanation may be the aversion to financial risk and the influence exerted by the decisions made by others within the same social group (Cabeza-Ramírez et al., 2025). The rapid advances in technology may also incline the balance toward other propulsion systems, also characterized by low fuel demand. Another factor worth mentioning is the average age of the population and mean income, as reported in the study by Yang et al. (2023). The study found that younger people with higher incomes were more likely to

be involved in EV purchase than the elderly population, who have lower needs for daily travel.

Given these complex challenges and the evolving landscape of decarbonization strategies in the transport sector, it is essential to assess practical solutions that can bridge the gap between current fossil fuel reliance and long-term electrification. The aim of the present document is to review current technologies capable of achieving a significant reduction in fuel consumption, which may serve as a transition towards electrification and facilitate easier extrapolation to emerging economies, thereby increasing the potential for a global decrease in transport CO₂-associated emissions.

2. EFFORTS PERFORMED BY CAR MANUFACTURERS TO REDUCE FUEL CONSUMPTION AND CO₂ EMISSIONS

Car manufacturers have made significant efforts and advances in developing new propulsion systems aimed at reducing fuel consumption. Probably one of the efforts having less awareness by the population is the difficulties associated with the loss of profitability when starting a new production plant for EVs. The transition towards an electrified vehicle fleet implies that the car manufacturer must dismantle a profitable combustion assembly line to start up an expensive EV assembly plant, which is full of uncertainties and initially operates at minimum capacity (Hancké & Mathei, 2024). Alternatives currently competing with electric vehicles include those capable of using dual fuels and hybridization, which incorporate batteries.

The development of systems based on the use of gaseous fuels such as natural gas, liquid petroleum gases and hydrogen aids in reducing fuel consumption. The use of compressed natural gas has the advantage that shares compatibility with biogas, which is derived from the anaerobic digestion of organics such as waste streams and fermentable biomass. Some examples of the technology are the Skoda Octavia model and the Skoda Scala model (Skoda, n.d.; Skoda-storyboard, n.d.), with CO₂ emissions being about 25% lower when running on natural

gas. The additional advantage is the lower price of fuelling. Based on the information provided by the Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, the price of fuelling with natural gas is about 4.53 € per 100 km; in contrast, this value goes up to 7.35 € for fast electric charging, and up to 9.26 € when using gasoline (Ministerio para la Transición Ecológica, n.d.).

Other fuels frequently used as alternatives in internal combustion engines include liquid petroleum gases (LPG). The acceptance of this option has been much wider than that of using compressed natural gas due to the high availability of recharging points and the ease of modification when the vehicle does not incorporate this feature directly from manufacturing. Dacia offers several models with this characteristic (Dacia, n.d.), reducing CO₂ emissions per kilometer by approximately 12-15%. H₂ is another alternative available in the market, and even though the price of vehicles has decreased in recent years, with models in the range of 75,000 and 82,000 €, such as the Toyota Mirai (Toyota.es, n.d.), the availability of recharging points is limited. However, this issue has not stopped other car manufacturers from designing and developing H₂-based models. Hyundai presented its Nexu model in 2023, which is based on a fuel cell and a powertrain using electric motors, with a price starting from approximately 73,500 € (Hyundai, n.d.). Honda is the third car manufacturer that incorporates this technology in its stock, initially with the Honda Clarity fuel cell and currently with the Honda CR-V e:FCEV, which is a plug-in vehicle (Automobiles Honda, n.d.). Despite the variety of options, the number of vehicles with hydrogen technology purchased in Spain increased to 21 units in 2023 and 62 units in 2024, with only 7 units of Hyundai Nexu purchased in 2024 (ANFAC, 2024a). The technology appears promising, but the amount of energy and water required to produce hydrogen through water electrolysis seems excessive for running a fleet based on this technology. Mansuri et al. (2020) estimated the need for a 4 MW capacity solar photovoltaic plant to serve a 100

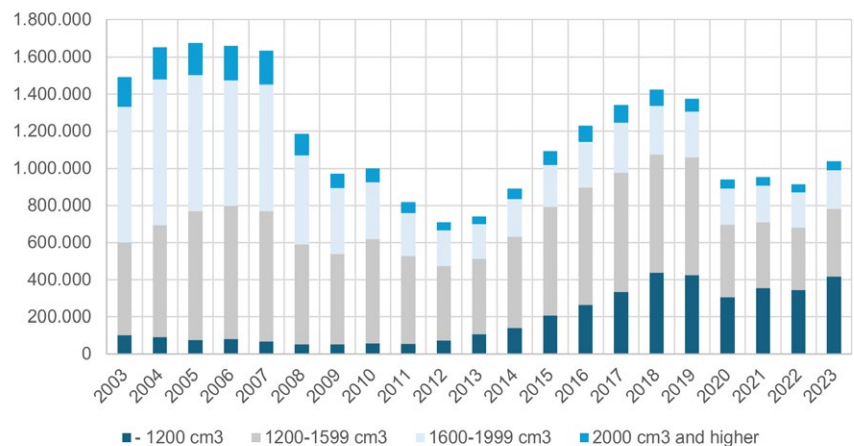


Figure 1. Distribution of engine cylinder volume in the Spanish fleet annually registered and CO₂ average emission of yearly registered vehicles.

vehicle fleet (50% being cars and the remaining being 2-wheel motorcycles) and a demand for water of 3.3 m³ water/day. The high costs of installing H₂ refuelling stations, along with the cost of producing hydrogen from electrolyzers, restrict the deployment of the technology (installation costs for PEM electrolyzers are about 1,812 \$/kW updated to 2023) (Badgett et al., 2024).

Electrification will likely be the main key player in future mobility in the global north, but the global trend is for combustion vehicles to continue dominating the market due to the intrinsic difficulty for emerging economies to adopt a completely different charging infrastructure. Therefore, the development of high-efficiency engines will be a key driver for reducing global CO₂ emissions in the transport sector. This trend has also been observed in the Spanish fleet, where a general reduction in engine size has been accompanied by a significant decrease in average CO₂ emissions (Fig. 1). The reduction in fuel consumption is steeper than it may initially seem, because the decrease in emissions has been achieved with an increase in average vehicle weight and power (Hu et al., 2020). The car manufacturing sector has great influence in a country gross domestic product (GDP), thereby regulation regarding emission and transport limitation should carefully evaluate the real environmental benefits gained. For this reason, lacks any sense the intended Spanish future

regulation banning publicity of cars having a diesel or a gasoline engine which do not count with any type of hybridization (Ministerio de Derechos Sociales, Consumo y Agenda 2030, n.d.) when the urgent aim to achieve is reducing fuel consumption and avoiding high levels of pollutant emissions.

Another striking issue is the population's commitment to the environment. A Eurobarometer survey conducted in 2010 indicated that consumers intended to purchase smaller vehicles to mitigate CO₂ emissions, but this intention was not realized, as sales of sport utility vehicles (SUVs) actually increased from 8.5% in 2009 to approximately 40% in 2020 (Vilchez et al., 2023). A similar behaviour may be observed in the population's intention to acquire an electric vehicle and the realization of the purchase. Intention may not be an adequate predictor of willingness to pay, because consumers may consider other issues to have more impact in their final decision when the purchasing moment finally arrives, thus making clear the inconsistency of what people say they will do and what they actually do (Cabeza-Ramírez et al., 2025; Bishop and Barber., 2014). Interestingly, the fuel consumption of SUVs is often comparable to, or even lower than, that of van-type family vehicles. As a result, car manufacturers are meeting consumer demand by offering vehicles that satisfy both versatile mobility requirements and personal aspirations. This approach

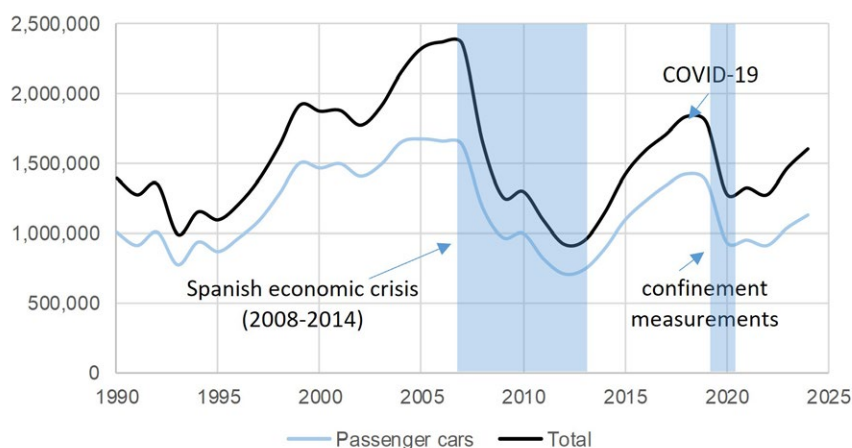


Figure 2. Evolution of car registration for the 1990-2024 period. Spanish economic crisis and confinement period are also represented.

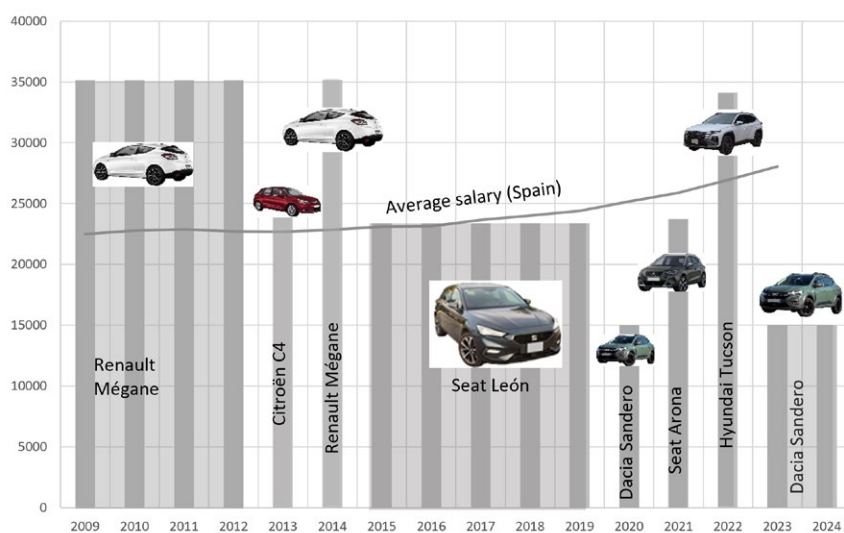


Figure 3. Most sold vehicles for the period 2009-2024 in Spain. The graph represents also the price of the vehicle (as of 2024) and average Spanish salary.

appeals to customers' preferences for vehicles that align with their lifestyle choices, rather than simply providing utilitarian family transportation.

One factor that should not be disregarded and has a significant influence on emissions is the evolution of the economy and the purchasing capacity of citizens for new vehicles. This issue is relevant since it affects the mean age of the passenger car fleet, with an increase in this value having an adverse impact on fuel consumption and pollutant emissions. The Spanish crisis period and the confinement measures associated with the pandemic are shown in figure 2, coincident with a significant decrease in the number of new vehicle transactions.

A noticeable increase in vehicle transactions occurred around 2012;

however, pandemic-related restrictions later caused significant market disruption. From 2020 to 2024, vehicle registrations have once again trended upward, yet the most sold models during this period tend to be lower-priced vehicles. This trend is illustrated in figure 3, which presents both the average salary in Spain and the price (as of 2024) of the top-selling vehicle for each year from 2009 to 2024. Despite a nominal rise in average salaries, the data clearly suggest that families' purchasing power has declined, influencing the types of vehicles being bought.

3. BIOFUELS AS ALTERNATIVES FOR REDUCING CO₂ EMISSIONS FROM FOSSIL FUELS

The traditional biofuels market has been dominated by bioethanol and biodiesel. The first one is obtained from the fermentation of rich sugar-containing crops, such as sugar cane, and recently from maize crops and cereals, provided a saccharification stage is introduced, with the aim of releasing fermentable sugars. The United States and Brazil are the countries that dominate the ethanol production market (US Department of Energy, 2024), and therefore they also have a high presence in their vehicle fleets capable of using high ethanol content blends, reaching values close to 85% ethanol or even running on 100% ethanol. These vehicles are known as flex-fuel, and the preference for using either gasoline or ethanol highly depends on the user, based on the market prices of ethanol and gasoline. Despite the controversy surrounding ethanol production due to its impact on the food market, global ethanol production has maintained an upward trend over the last 18 years, with minor exceptions made during the pandemic period and the subsequent market distortions experienced worldwide (US Department of Energy, 2024).

The evolution of this technology towards processing lignocellulosic materials has not been an easy journey, with several challenges encountered when operating demonstration plants. Saad and Gonçalves (2024) examined the difficulties associated with producing ethanol from lignocellulosic materials and reported that the main issues were biomass handling and pre-treatment technologies, where high wear had been experienced by the equipment, thus excessively increasing operational costs. However, some exceptional stories of success are found, one in Norway with the case of the Borregaard biorefinery (Borregaard, n.d.) which produces ethanol from soft woods, and the companies Raízen and GranBio located in Brazil, which currently produce 2G ethanol at a commercial scale using as raw materials sugarcane bagasse and straw, this feature enables increasing ethanol productivity up to 50% per hectare of crop (Raízen, n.d.; GranBio, n.d.). The use of flex-fuel vehicles offers additional advantages over the simple substitu-

tion of a fraction of gasoline by ethanol. The higher oxygen content in ethanol improves flame propagation and reduces the trend of soot formation, reducing as well the emission of particles and volatile compounds in direct injection fuel engines, although emissions of oxygenated compounds (formaldehyde and acetaldehyde) are increased (Yang et al., 2019; Jin et al., 2017).

The use of biodiesel has shown a parallel trajectory to that of gasoline blends. This alternative fuel is compatible with conventional diesel, and unlike ethanol, the traditional fabrication process is based on a chemical process known as transesterification. In this case, diesel blends exhibit compatibility constraints, thus limiting the biodiesel content to up to 20% in many countries. Similar to the case of ethanol production, biodiesel fabrication has not been free of controversy because vegetable oils are also used for human and animal consumption. However, the development of new technologies has enabled the use of residual oils and animal fats through a technology based on the hydrotreatment of oils, where 100% compatibility is now achieved with this new biodiesel (Neste, n.d.; Repsol, n.d.; Moeve, n.d.). Therefore, the newly developed fuel meets all criteria related to sustainability and the circular economy, as it allows for the recycling of materials by valorising local waste streams and also achieves the goal of producing renewable fuels.

It is particularly striking that a fully compatible diesel fuel has emerged as one of the most effective alternatives for attaining decarbonization. The significant development of the diesel engine in passenger cars allows achieving substantial fuel efficiency and enjoyed excellent public acceptance in the European market, as well as in Spain, as observed in figure 4, with a notable introduction of this type of propulsion into the Spanish car fleet. The negative perception caused by the “Dieselgate” scandal, which garnered global attention in 2015, harmed the reputations of prestigious car manufacturers such as Volkswagen, Daimler, and BMW (Jong & van der Linde, 2022). The damage to reputation and the deve-

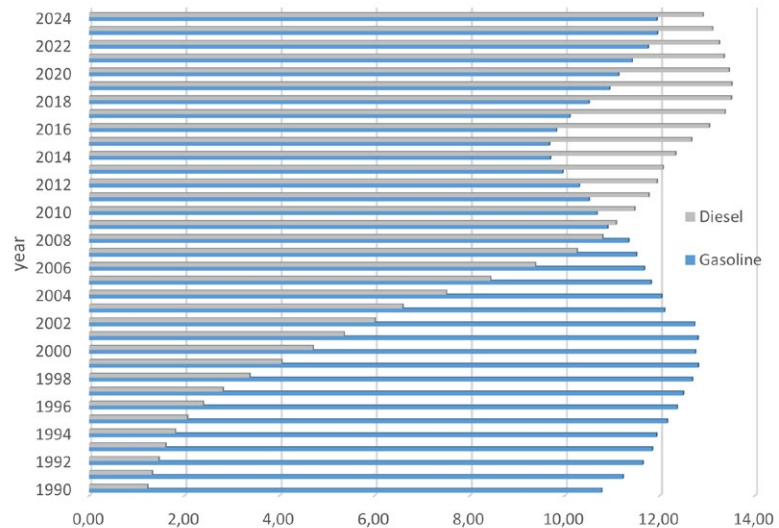


Figure 4. Data obtained from: Parque de vehiculos-Series históricas 2024, data available on DGT, 2024.

lopment of novel technologies, such as the hybridization of propulsion systems with batteries or LPG, have contributed to the decline in sales of diesel vehicles in recent years, promoting the resurgence of gasoline engines. However, the irruption of HVO fuels and electric hybridization in diesel engines has placed this type of propulsion system as the greenest alternative currently available in the passenger car segment. Mercedes offers GLC Plug-in Hybrid vehicle with a diesel engine, allowing a significant reduction in fuel consumption (Mercedes-benz.es, n.d.) and Kia offers a mild hybrid version of the Sportage also with diesel propulsion (Kia, n.d.), which reduces the consumption but it does not increase significantly the price of the vehicle due to the smaller size of the battery when compared with similar vehicles in the C segment.

Biogas is another fuel that can be used in the passenger car sector. Biogas is produced from the anaerobic digestion of easily degradable materials. Waste and energy crops can serve as raw materials for the process. Biogas is primarily composed of a mixture of methane (approximately 60%) and CO_2 (approximately 40%). Contrary to ethanol and biodiesel, which have been widely accepted by the general public, biogas faces two opposing conceptions: one is the public acceptance of being a renewable fuel considered environmentally friendly, and the other is the rejection caused when attempting to install

biogas plants. Although it is recognized that biogas production from waste and biomass has a great potential (Bertasini et al., 2023), the widespread application of the technology is limited by the intrinsic constraints in scale increase due to the long distance involved in material transport (Bumharter et al., 2023) and the discomfort this may create to the local population. Another factor that has been clearly overlooked is the social rejection experienced by local communities that face the development of a biogas project. This phenomenon was studied by Bourdin and Chassy (2023), indicating that most homeowners prefer no changes to their status quo, with a limited willingness to endorse biogas plants. In contrast, young people showed a greater propensity to support environmental initiatives. The rejection effect encompasses not only changes in living conditions in nearby areas, but also uncertainty about environmental issues related to digestate management, which may raise public concerns regarding biogas plants. Digestate is a valuable by-product of the digestion process, and if land application of this material is not feasible, then other strategies need to be searched for valorising this organic product, as it may be thermal processes (Abdelfatah-Aldayyat et al., 2024; Abdelfatah-Aldayyat & Gómez, 2025).

One approach to circumvent this problem may be the adoption of hybrid approaches, whereby partial decentralization is implemented,

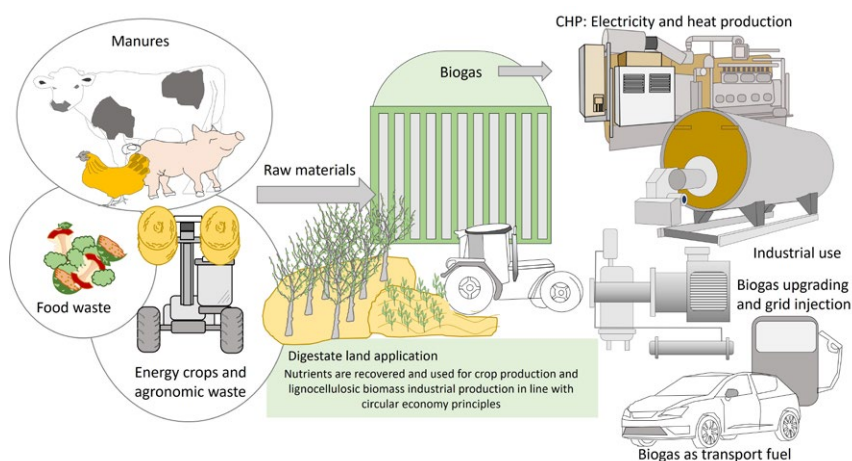


Figure 5. Schematization of raw materials used in anaerobic digestion and main technologies available for valorising biogas.

allowing for the local treatment of wastes in small digestion plants while centralizing the upgrading of biogas in large-scale systems (González et al., 2023), which may be less susceptible to social rejection. Even though the technology still needs to face the high installation cost associated with gas stations. The future implementation of biogas as a transportation fuel is closely linked to the further deployment of compressed natural gas (CNG) technology in vehicles and the installation of CNG stations, which currently face high financial investment, thereby hindering the wider adoption of these vehicles by the population. A similar situation to that experienced by electric vehicles, but in this case, it is less noticed by the national administration.

The high amount of CO_2 in biogas makes it imperative to apply upgrading technologies if this gas is to be used as a transport fuel or injected into the natural gas grid. Not only is CO_2 removed with this procedure, but other trace contaminants, such as water, hydrogen sulphide, trace amounts of oxygen, nitrogen, and hydrogen, are also eliminated (Ella-curriaga et al., 2021; Sevillano et al., 2021). The most common applications of biogas are the production of electricity from combined heat and power (CHP) engines or its use in industrial settings for heat production (Fig. 5).

Despite several years of experience, the widespread application of the

technology has not been easy. Germany is the European country with the highest biogas production (87,100 GWh/year). Other countries, such as Denmark and Sweden, are recognized for having a significant share of biogas utilization in their energy mix; but the total amount of biogas produced is significantly lower than that produced by France (IEA Bioenergy, 2024). However, one particularity of the Swedish biogas sector is the high implementation of biogas in transport, although this feature is accompanied by a high dependence on policy incentives (IEA Bioenergy, 2024).

There is a recognized demand for increasing the share of renewable energy in the energy mix, and biogas should be one of the leading technologies. Therefore, the recent trend is to upgrade biogas to serve as a substitute for natural gas. The use of biogas has a substantial impact on rural economies by creating jobs, maintaining stable electrical infrastructure, and providing support to rural businesses (Barasa-Kabeyi et al., 2025). In addition to biogas, an organic slurry is also obtained as a by-product. The land application of this material enables the recycling of nutrients, primarily nitrogen and phosphorus, thereby reducing the demand for mineral fertilizers and increasing the circularity of the economy. Although digestion technology is considered environmentally friendly (Appels et al., 2011), one of the major objections

to installing biogas plants is the risk of producing offensive odours associated with digestate management. However, this latter stream is the factor that ensures sustainability to the global process. Digestate contains recalcitrant material to the anaerobic microflora and concentrates nutrients and mineral components, thereby the application to land results in soil benefits as long as the organic quality of the digestate is high (digested material should be stable and matured) and application rates are controlled based on crop demands (Estrada et al., 2006; Panuccio et al., 2021). The biogas technology is not new. In fact, most biogas applications in the energy production sector and industry are related to the presence of digesters operating in wastewater treatment plants (WWTPs) and landfills. Recovering biogas from these facilities enables the conversion of waste into useful energy while also preventing uncontrolled emissions resulting from organic matter decomposition. The many years of large-scale application of digestion technology have built a strong foundation of operational experience, which should further strengthen public confidence in its reliability and benefits.

Other biofuels currently available but with less widespread applications are hydrogen and syngas. The first one can be categorized as a biofuel when produced through water electrolysis, with energy derived from renewable sources. However, the technology has high installation and operating costs. These factors along with the low acceptance of hydrogen vehicles and excessive increments in costs when intended as a replacement of some specific processes in industrial applications, relegates the use of hydrogen mainly to the industrial sector whereas in the case of transportation projects are at an experimental stage (Nikolamotor, n.d.; Sustainable Bus, 2025; Nordex Electrolizers, n.d.). Currently there is a low share of hydrogen passenger cars circulating. In the case of syngas, its direct use in transportation dates back to the gasoline shortage during World War II period (Inayat et al., 2024). Current efforts are focusing on the chemical conversion of syngas components into valuable fuels, mainly

through Fischer-Tropsch synthesis or catalytic processes for producing methanol (Topsoe, n.d.; Technip Energies, n.d.). As long as syngas is derived from biomass, the fuels obtained may be catalogued as biofuels. The adoption of this technology may help revitalize regions by promoting the growth of lignocellulosic crops, thereby creating local job opportunities in low-income agricultural areas. However, the technological feasibility is limited by high energy demand and installation costs.

Ammonia can also be considered an alternative fuel, gaining biofuel connotations when produced using green hydrogen (González & Gómez, 2024). The main advantage of this gas is that the technology, storage, and transport infrastructure are already developed and mature, and several companies have successfully tested its use as a fuel or as a fuel supplement in combustion engines (including marine ship applications and gas turbines). Toyota is also improving its developed ammonia combustion engines for use in passenger cars, with the aid of GAC (Kable, 2023). Furthermore, technologies for controlling NO_x emissions are well established, which further supports the practical deployment of ammonia as a fuel. While ammonia does present certain safety concerns, these are generally less significant than those associated with hydrogen, particularly regarding handling and flammability risks.

4. HYBRID VEHICLES ARE THE GLOBAL KEY PLAYERS IN EFFICIENT TRANSPORT SYSTEMS

Currently, the market offers different types of hybridizations ranging from the use of different fuels, that is, LPG or CNG, and conventional fuels, and those commonly recognized as battery hybrid vehicles where the energy stored in the battery can aid in vehicle propulsion at some specific moments or can provide full propulsion depending on the configuration of the system and size of the battery. These vehicles are categorized into mild hybrid vehicles where a small battery of usually 48 V aids (or even smaller, as that of Nissan Qashqai (12 V)) in reducing fuel con-

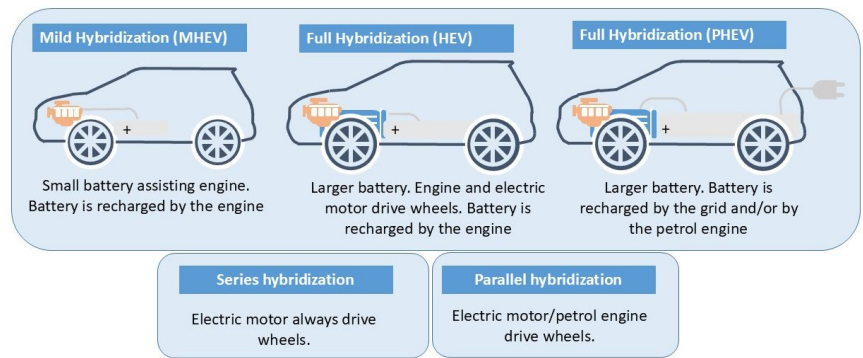


Figure 6. Description of hybridization types.

sumption thanks to regenerative braking. Full hybridization, or simply hybrid electric vehicles, incorporates a larger battery size, allowing the vehicle to run on electric power alone, combustion, or in parallel propulsion using both engines. In this case, the combustion engine can recharge the battery in addition to regenerative braking. Plug-in hybrid vehicles allow for charging the battery directly from the electric grid (Fig. 6). The technology has evolved, so Honda currently offers the CR-V e: PHEV model with an electric autonomy of 80 km. However, the combustion engine can recharge the battery while driving, allowing the vehicle to run in electric mode after the “charge mode” is activated (Honda.es, 2024).

Hybridization configuration can be classified as series or parallel hybridization. In the first case, the electric motor drives the wheel, while the combustion engine is used for continuously recharging the battery; therefore, the engine power is provided by the electric motor. In the case of parallel hybridization both engines collaborate in vehicle propulsion. Therefore, the power of the vehicle is determined by an approximate summation of both engines, but the final output depends on different factors such as the point of maximum power of individual engines which is located at different RPM and smoothness and efficiency while driving which needs to be prioritized explaining the lower output of the parallel configuration, which does not come from the simple summation of engines individual power (Toyota, n.d.).

One significant advantage of hybrid vehicles is the feature of regenerative braking, which allows for a

substantial reduction in particulate matter (PM 10 and PM 2.5 particles) during braking compared to conventional combustion vehicles. As a result, these vehicles offer threefold environmental benefits: they emit less CO₂ thanks to lower fuel consumption, generate fewer pollutants during braking, and use smaller batteries than fully electric vehicles—thus reducing the demand for raw material extraction. Hybrid and mild hybrid vehicles have a significant impact on lowering global CO₂ emissions. These vehicles are fully compatible with the existing transport infrastructure, enabling easy deployment in both developed and developing countries. Given these advantages, it is worth considering whether directing public funding toward incentives for hybrid vehicle adoption might be a more effective strategy for reducing global greenhouse gas emissions than current approaches.

Adding any type of battery to combustion vehicles increases manufacturing costs which is translated as an increase in the selling price of the vehicle. Therefore, causing a disincentive in the acquisition of a new vehicle and adversely affecting the fleet average age of any country. The aim of reducing fuel consumption, should consider not only the factor of electric hybridization but also the total fuel consumption of a vehicle, given that Euro 6d emission regulation is complied, there is no reason for assigning a lower environmental category to a vehicle adapted to Euro 6d regulation with a lower fuel consumption, that to another one with higher fuel consumption but having a battery in this case (Fig. 7). None should be penalized and both should

	
Seat Ibiza 2025. WLTP: 5.4 L/100 Spanish environmental category: C	Nissan X-trail: 5.8 - 6.7 L/100 17 Spanish environmental category: ECO

Figure 7. Example of combustion vehicles with C and ECO category.

be suitable candidates for receiving positive environmental categorizations.

5. CONCLUSIONS

This document highlights the multifaceted challenges and opportunities in decarbonizing the transport sector, emphasizing that a successful transition requires a combination of advanced technologies, pragmatic policy measures, and social acceptance. While regulatory frameworks such as the Fit for 55 package and ambitious emissions targets steer progress, their implementation must account for economic realities, technological maturity, and the risk of unintended consequences, such as the aging of vehicle fleets.

No single solution—whether electrification, alternative fuels, or hybridization—can independently achieve the required reductions in greenhouse gas emissions. Instead, progress will depend on a balanced approach that leverages the strengths of each technology. Hybrid vehicles, with their compatibility with existing infrastructure and significant reductions in emissions, emerge as a particularly effective bridge technology, especially for regions where full electrification is not immediately feasible.

Biofuels, including biogas, bioethanol, and biodiesel, offer viable alternatives for reducing fossil fuel dependence, especially when produced from waste streams. However, their wider adoption is constrained by infrastructure, cost, and social acceptance. Socioeconomic factors—such as purchasing power, consu-

mer preferences—and the average age of vehicle fleets should be considered in policy design. Incentivizing the adoption of efficient vehicles, regardless of their propulsion system, and ensuring that environmental classifications accurately reflect their true emissions performance will be critical to achieving meaningful reductions. Decarbonizing transport demands coordinated action among policymakers, manufacturers, and consumers. A flexible, multi-technology strategy—supported by sound regulation, targeted incentives, and ongoing innovation—will be essential to advance toward climate neutrality while maintaining mobility, economic stability, and public acceptance.

REFERENCES

- Abdelfatah-Aldayyat E, Gómez X (2025). Hydrothermal Treatment of Digestates: Challenges and Perspectives. *Environments* 12: 347. <https://doi.org/10.3390/environments12100347>.
- Abdelfatah-Aldayyat E, González-Rojo S, Gómez X (2024). Reviewing Digestate Thermal Valorization: Focusing on the Energy Demand and the Treatment of Process Water. *Environments* 11: 239. <https://doi.org/10.3390/environments11110239>.
- ANFAC, 2024a. Informe anual 2024. Available on: <https://anfac.com/publicaciones/informe-anual-2024/> (accessed on 30th August 2025).
- ANFAC, 2024b. la movilidad del futuro. Available on: [\[anfac.com/los-turismos-tiran-del-mercado-electrificado-en-2024-que-cierra-con-125-185-vehiculos-vendidos/\]\(https://anfac.com/los-turismos-tiran-del-mercado-electrificado-en-2024-que-cierra-con-125-185-vehiculos-vendidos/\) \(accessed on 30th August 2025\).](https://</p>
</div>
<div data-bbox=)

Appels L, Van Assche A, Willems K, Degreè J, Van Impe J, Dewil R (2011). Peracetic acid oxidation as an alternative pre-treatment for the anaerobic digestion of waste activated sludge. *Bioresource Technology* 102(5): 4124-4130. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.12.070>.

Automobiles Honda (n.d.) CR-V e-FCEV. Available on: <https://es.automobiles.honda.com/cr-v-fcev> (accessed on 4th September 2025).

Badgett A, Brauch J, Thatte A, Rubin R, Skangos C, Wang X, Ahluwalia R, Pivovar B, Ruth M (2024). Updated manufactured cost analysis for proton exchange membrane water electrolyzers (No. NREL/TP-6A20-87625). National Renewable Energy Laboratory (NREL), Golden, CO (United States). <https://doi:10.2172/231114>.

Barasa-Kabeyi MJ, Akpan J, Olanrewaju OA (2025). Electricity generation and multi-purpose applications from biogas and biomethane. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems* 16(2): 1325-1340. <https://doi.org/10.11591/ijpeds.v16.i2.pp1325-1340>.

Bertasini D, Battista F, Rizzioli F, Frison N, Bolzonella D (2023). Decarbonization of the European natural gas grid using hydrogen and methane biologically produced from organic waste: A critical overview. *Renewable Energy* 206: 386-396. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.02.029>.

Bishop MM, Barber NA (2014). Putting your money where your mouth is: the value of low purchase intention consumers to product pricing. *Journal of Product Innovation Management* 31(5): 908-923. <https://doi.org/10.1111/jpim.12131>.

Borregaard (n.d.). Lignin & Lignosulfonates. Available on: https://www.borregaard.com/product-areas/lignin?utm_term=lignin%20

- biopolymer&utm_campaign=Product+Area+%7C+Lignin+Biopolymers+%7C+Global&utm_source=adwords&utm_medium=ppc&hsa_acc=3642184401&hsa_cam=13555587785&hsa_grp=126240300920&hsa_ad=655182154449&hsa_src=g&hsa_tgt=t=kw-d-1371649915331&hsa_kw=lignin%20biopolymer&hsa_mt=p&hsa_net=adwords&hsa_ver=3&gad_source=1&gclid=Cj0KCQ-jwhMq-BhCFARIsAGvo0Kdj2MwX-9COmiEgAcjot4SX2O6wWkG-m2fN1g8PxEBAllyluykrEez8Ia-AlfhEALw_wcB (accessed on 4th September 2025).
- Boulanger AG, Chu AC, Maxx S, Waltz DL (2011). Vehicle electrification: Status and issues. *Proceedings of the IEEE* 99(6): 1116-1138. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2011.2112750>.
- Bourdin S, Chassy A (2023). Are citizens ready to make an environmental effort? A study of the social acceptability of biogas in France. *Environmental Management* 71(6): 1228-1239. <https://doi.org/10.1007/s00267-022-01779-5>.
- Bumharter C, Bolonio D, Amez I, Martínez MJG, Ortega MF (2023). New opportunities for the European Biogas industry: A review on current installation development, production potentials and yield improvements for manure and agricultural waste mixtures. *Journal of Cleaner Production* 388: 135867. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.135867>.
- Cabeza-Ramírez LJ, Rosales-Tristancho A, Sánchez-Cañizares SM, Palacios-Florencio B (2025). Rational and normative determinants in electric vehicle adoption: Willingness to pay and moderating variables. *Technology in Society* 81: 102842. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2025.102842>.
- Council of the European Union (n.d.). Fit for 55. Available on: <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/fit-for-55/#:~:text=for%2055%20package%3F-,What%20is%20the%20Fit%20for%2055%20package%3F,just%20and%20socially%20fair%20transition> (accessed on 20th March 2025).
- Dacia (n.d.). Coches GLP Dacia Eco-G: muévete libre por tu ciudad. Available on: <https://www.dacia.es/dacia-glp.html> (accessed on 4th September 2025).
- DGT (2024). Available on: <https://www.dgt.es/menusecundario/dgt-en-cifras/dgt-en-cifras-resultados/dgt-en-cifras-detalle/Parque-de-vehiculos-Series-historicas-2024/> (accessed on 4th September 2025).
- Ellacuriaga M, García-Cascallana J, Gómez X (2021). Biogas Production from Organic Wastes: Integrating Concepts of Circular Economy. *Fuels* 2: 144-167. <https://doi.org/10.3390/fuels2020009>.
- Estrada IB, Gomez E, Aller A, Moran A (2006). Microbial monitoring of the influence of the stabilization degree of sludge when applied to soil. *Bioresource Technology* 97(11): 1308-1315. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.05.024>.
- Erbach G, Jensen L (2024). BRIEFING Towards climate neutrality: Fit for 55 package. Available on: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2022/733513/EPRS_BRI\(2022\)733513_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2022/733513/EPRS_BRI(2022)733513_EN.pdf) (accessed on 20th March 2025).
- European Alternative Fuels Observatory. Portugal: Record EV Sales in 2024. Available on: <https://alternative-fuels-observatory.ec.europa.eu/general-information/news/portugal-record-ev-sales-2024> (accessed on 30th August 2025).
- European commission (n.d.). CO emission performance standards for cars and vans. Available on: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/transport/road-transport-reducing-CO2-emissions-vehicles/co2-emission-performance-standards-cars-and-vans_en#:~:text=registered%20in%202017.-,Penalties%20for%20excess%20emissions,g%2Fkm%20of%20target%20exceedance (Accessed on 5th November 2024).
- European Parliament & Council of the European Union (2019). Regulation (EU) 2019/631 of the European Parliament and of the Council of 17 April 2019 setting CO2 emission performance standards for new passenger cars and for new light commercial vehicles, and repealing Regulations (EC) No 443/2009 and (EU) No 510/2011 (recast) (Text with EEA relevance). Available on: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2019/631/oj/eng> (accessed on 20th September 2025).
- Fitzgerald J (2024). Average Age of Vehicles in U.S. Continues to Rise. available on: <https://www.caranddriver.com/news/a60882953/average-age-us-cars-trucks-suvs-rises/> (accessed on 30th August 2025).
- France24 (2025). EU proposes emission rule delay to spare carmakers from fines. <https://www.france24.com/en/live-news/20250303-eu-chief-offers-carmakers-more-time-on-emission-rules-to-avoid-fines> (accessed on 30th April 2025).
- González R, García-Cascallana J, Gómez X (2023). Energetic valorization of biogas. A comparison between centralized and decentralized approach. *Renewable Energy* 215: 119013. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.119013>.
- González R, Gómez X (2024). Ammonia Can Be Currently Considered One of the Best Green Energy Allies. *Sustainable Chemistry* 5: 163-195. <https://doi.org/10.3390/suschem5020012>.
- GranBio (n.d.). Enabling Net Zero. Available on: <https://www.granbio.com.br/en/our-technology/bioflex/> (accessed on 4th September 2025).
- Hancké B, Mathei L (2024). Varieties of just transitions in the European car industry. *Contemporary Social Science* 19:(1-19) 135-153. <https://doi.org/10.1080/21582041.2024.2317389>.
- Honda.es (n.d.). Available on: [Técnica Industrial, marzo 2026, 343: 68-79 | doi: 10.23800/10579](https://www.honda.es/cars/new/cr-v-hybrid-suv/overview.html?gad_source=1&gad_campaign_id=15238954013&gbruid=0A A A A D p u T - 8 Q X F o i D a D R T M g O - qMS793od0Q&gclid=Cj0KCQ-</p>
</div>
<div data-bbox=)

- jw953DBhCyARIsANhIZoYtE-Vw9B1_kMd-iTBAG5LdzWF-t1U96BxbxgXJRya_KiRH-FWapzrfeMaAvz4EALw_wcB&gclsrc=aw.ds (accessed on 14th September 2025).
- Hu Z, Zhang J, Sjöberg M, Zeng W (2020). The use of partial fuel stratification to enable stable ultra-lean deflagration-based Spark-Ignition engine operation with controlled end-gas autoignition of gasoline and E85. *International Journal of Engine Research* 21(9): 1678-1695. <https://doi.org/10.1177/1468087419889702>.
- Hyundai (n.d.). Nexo. Available on: <https://www.hyundai.com/es/es/modelos/nexo.html> (accessed on 4th September 2025).
- IEA Bioenergy. 2024. A perspective on the state of the biogas industry in 12 member countries of IEA Bioenergy Task 37. Available on: https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2024/10/IEA_Bioenergy_T37_CountryReportSummary_2024.pdf (accessed on 4th September 2025).
- Inayat A, Jamil F, Rocha-Meneses L, Abdellatif TM (2024). Introductory Chapter: Synthesis Gas Production—History and Current Scenario. In *Research Advances in Syngas*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.1004367>.
- Jin D, Cho K, Myun CL, Lim Y, Lee J, Park S (2017). The impact of various ethanol-gasoline blends on particulates and unregulated gaseous emissions characteristics from a spark ignition direct injection (SIDI) passenger vehicle. *Fuel* 209: 702-712. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.08.063>.
- Jong W, van der Linde V (2022). Clean diesel and dirty scandal: The echo of Volkswagen's dieselgate in an intra-industry setting. *Public Relations Review* 48(1): 102146. <https://doi.org/10.1016/j.pubrev.2022.102146>.
- Junquera B, Moreno B, Álvarez R (2016). Analyzing consumer attitudes towards electric vehicle purchasing intentions in Spain: Technological limitations and vehicle confidence. *Technological Forecasting and Social Change* 109: 6-14. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.05.006>.
- Kable G (2023). GAC and Toyota develop ammonia engine for 90% CO₂ reduction. Available on: <https://www.autocar.co.uk/car-news/new-cars/gac-and-toyota-develop-ammonia-engine-90-co2-reduction> (accessed on 14th September 2025).
- Kia (n.d.). Configurador KIA. Available on: https://www.kia.com/es/quiero-un-kia/configurador.HW-W5-*/#/Versi%C3%B3n (Accessed on 4th September 2025).
- Mansuri MF, Saxena BK, Mishra S (2020). Shifting from Fossil Fuel Vehicles to H₂ based Fuel Cell Electric Vehicles: Case Study of a Smart City. In *2020 International Conference on Advances in Computing, Communication & Materials (ICACCM)* (pp. 316-321). IEEE. doi: 10.1109/ICACCM50413.2020.9213043.
- Mercedes-benz.es (n.d.). GLC. Available on: <https://www.mercedes-benz.es/passengercars/models/suv/glc/overview.html?srsrltid=AfmBOooD10D1AfsCehYEfSbFMih1HhIUjGIEdpOFERQ3f5ipOglza0vw> (accessed on 4th September 2025).
- Ministerio de Derechos Sociales, Consumo y Agenda 2030. La Ley de Consumo Sostenible prohíbe la publicidad de los vuelos cortos, de los combustibles fósiles y de los vehículos más contaminantes. (2025). Available on: <https://www.dsca.gob.es/es/comunicacion/notas-prensa/ley-consumo-sostenible-prohibe-publicidad-vuelos-cortos-combustibles> (Accessed on 4th September 2025).
- Ministerio para la Transición Ecológica. Información comparativa sobre el coste de los combustibles de automoción en €/100km. Available on: <https://eurosport100km.energia.gob.es/Paginas/coste%E2%82%AC100km.aspx#consulta-marca> (accessed on 4th September 2025).
- Moeve, Cepsa (n.d.). Available on: <https://www.moeve.es/es/empresa/biocombustibles/hvo> (accessed on 4th September 2025).
- Morán I, González R, Cascallana JG, Gómez X (2024). The hard route towards vehicle electrification and decarbonization. *Técnica Industrial* 338: 58-69.
- Neste (n.d.). Available on: <https://www.neste.com/> (accessed on 4th September 2025).
- Nikola. Available on: <https://www.nikolamotor.com/tre-feev> (accessed on 14th September 2025).
- Nordex Electrolyzers. A project is launched to boost the decarbonization of industrial processes through electrolyzers that generate green hydrogen. Available on: <https://www.nordex-online.com/nordex-electrolyzers/2024/10/a-project-is-launched-to-boost-the-decarbonization-of-industrial-processes-through-electrolyzers-that-generate-green-hydrogen/> (accessed on 14th September 2025).
- Schenuit F, Boettcher M, Geden O (2023). "Carbon Management": Opportunities and risks for ambitious climate policy. Available on: <https://www.swp-berlin.org/10.18449/2023C29/> (accessed on 20th September 2025).
- Skoda. Tecnología del Skoda Scala G-Tec. Available on: <https://www.skoda.es/modelos/scala/scala-gtec/tecnologia-gtec> (accessed on 4th September 2025).
- Skoda-Storyboard. Eco-friendly and cost-effective alternative: the new ŠKODA OCTAVIA G-TEC (2020). Available on: <https://www.skoda-storyboard.com/en/press-releases/eco-friendly-and-cost-effective-alternative-the-new-skoda-octavia-g-tec/> (accessed on 4th September 2025).
- Statista (2024). Share of fossil fuels in primary energy consumption worldwide from 1965 to 2024. Available on: <https://www.statista.com/statistics/1302762/fossil-fuel-share-in-energy-consumption-worldwide/> (accessed on 20th September 2025).
- Pamidimukkala A, Kermanshachi S, Rosenberger JM, Hladik G (2024). Barriers and motivators to the adoption of electric vehicles: A global review. *Green Energy and Intelligent Transportation* 3(2): 100153. <https://doi.org/10.1016/j.geits.2024.100153>.
- Panuccio MR, Romeo F, Mallamaci

- C, Muscolo A (2021). Digestate application on two different soils: agricultural benefit and risk. *Waste and Biomass Valorization* 12: 4341-4353. <https://doi.org/10.1007/s12649-020-01318-5>.
- Raizen (n.d.). Available on: <https://www.raizen.com.br/en/our-business/renewables#ethanol> (accessed on 4th September 2025).
- Repsol (n.d.). Available on: <https://www.repsol.com/es> (accessed on 4th September 2025).
- Saad MB, Gonçalves AR (2024). Industrial pretreatment of lignocellulosic biomass: A review of the early and recent efforts to scale-up pretreatment systems and the current challenges. *Biomass and Bioenergy* 190: 107426. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2024.107426>.
- Sevillano CA, Pesantes AA, Peña Carpio E, Martínez EJ, Gómez X (2021). Anaerobic digestion for producing renewable energy—the evolution of this technology in a new uncertain scenario. *Entropy* 23(2): 145. <https://doi.org/10.3390/e23020145>.
- Sustainable Bus, editorial staff (2025). Fuel cell bus projects in the spotlight: fleets, manufacturers, trends. Available on: <https://www.sustainable-bus.com/fuel-cell-bus/fuel-cell-bus-hydrogen/> (accessed on 14th September 2025).
- Technip Energies. Available on: <https://www.ten.com/en/markets/sustainable-aviation-fuels-saf> (accessed on 14th September 2025).
- Topsoe. Available on: <https://www.topsoe.com/processes/syngas> (accessed on 14th September 2025).
- Toyota (n.d.). 2025 RAV4 Plug-in Hybrid Full Specs. Available on: https://www.toyota.com/rav4plug-inhybrid/features/mpg_other_price/4544/4550 (accessed on 14th September 2025).
- Toyota.es (n.d.). Toyota Mirai. Available on: <https://www.toyota.es/coches/mirai> (accessed on 4th September 2025).
- US Department of Energy, Office of Critical Minerals and Energy Innovation (2024). Global ethanol production by country or region. Available on: <https://afdc.energy.gov/data/10331> (accessed on 4th September 2025).
- Vilchez JJG, Pasqualino R, Hernandez Y (2023). The new electric SUV market under battery supply constraints: Might they increase CO emissions? *Journal of Cleaner Production* 383: 135294. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135294>.
- Yang A, Liu C, Yang D, Lu C (2023). Electric vehicle adoption in a mature market: A case study of Norway. *Journal of Transport Geography* 106: 103489. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2022.103489>.
- Yang J, Roth P, Durbin TD, Shafer MM, Hemming J, Antkiewicz, DS, Asa-Awuku A, Karavalakis G (2019). Emissions from a flex fuel GDI vehicle operating on ethanol fuels show marked contrasts in chemical, physical and toxicological characteristics as a function of ethanol content. *Science of The Total Environment* 683: 749-761. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.279>.

La Fundación Técnica Industrial entrega el IV Premio a la Innovación Tecnológica, Empresarial y Sostenibilidad a la empresa Tecozam

Este IV Premio de la Fundación y el I Premio MUPITI se entregaron el pasado 27 de marzo, en un acto celebrado en el salón de actos del Colegio de Graduados e Ingenieros Técnicos Industriales de Madrid (COGITIM), en formato híbrido (presencial y telemático).

El acto comenzó con las palabras de bienvenida del presidente de la Fundación Técnica Industrial y el Consejo General de la Ingeniería Técnica Industrial de España (COGITI), José Antonio Galdón Ruiz, que destacó, un año más, la calidad de los trabajos presentados a estos premios. “El año pasado se cumplieron los 175 años de la profesión y nuestros orígenes están basados en el tejido industrial. Siempre hemos tenido herramientas poderosas: la Administración, las universidades, el propio tejido industrial, y los profesionales en sí, todos trabajando al unísono para conseguir lo que anhelamos, como es la sostenibilidad, ser capaces de generar las máximas capacidades en el momento actual, utilizando con eficiencia todos los recursos actuales, pero siempre pensando en los que vienen detrás de nosotros, y es que esa es la verdadera sostenibilidad. Esto lo tenemos siempre muy presente en la Fundación Técnica Industrial, que tiene el apoyo de muchas personas que hay detrás de ella”, señaló.

“Hoy es un día de celebración y quiero trasladar que sigamos, entre todos, tratando de conseguir los objetivos que nos hemos marcado, y continuemos trabajando en los próximos premios de la Fundación”, expresó. Además, agradeció a MUPITI su participación y colaboración, este año por primera vez, en los Premios de la Fundación, con la convocatoria de un premio.

A continuación, el gerente de la Fundación Técnica Industrial, Miquel Darnés Cirera, tomó la palabra para

presentar al siguiente invitado en intervenir en el acto: Manuel Campo Vidal, Ingeniero Técnico Industrial, periodista, y fundador, presidente y profesor de Next Educación, que además ha participado en el libro editado por la Fundación Técnica Industrial en conmemoración del 175 aniversario de la profesión, junto a otros “compañeros ilustres”, en el apartado de “Reflexiones sobre la profesión”.

Manuel Campo compartió en este acto de la Fundación una “reflexión sobre la importancia de la comunicación en la profesión de la Ingeniería Técnica Industrial”, con su conferencia “La comunicación, asignatura pendiente de la ingeniería”. Durante su intervención, subrayó que en su vida ha estado siempre presente “la huella de la Ingeniería”, que está en el “sistema de pensar y ordena el cerebro, por lo que partir de una ingeniería es muy positivo”. Y lanzó un mensaje a los ingenieros: “Invito a todos a que conectemos con la comunicación, en muchas ocasiones una asignatura pendiente. Una buena comunicación es ganar productividad y tiempo. Con una buena comunicación, esta profesión brillará más, el Colegio y la Fundación serán más relevantes y, en definitiva, el país funcionará mejor”.

Entrega del Premio de la FTI al Grupo Tecozam

Seguidamente, se dio paso a la entrega de los premios de la Fundación. Para explicar la motivación de este premio, entregado por primera vez en 2022, se invitó a su “propulsor”, el anterior gerente de la Fundación Técnica

Industrial, Santiago Crivillé Andreu. En sus palabras, “hay que poner en valor el trabajo que realizan las empresas y hay que ayudarlas en esto. La finalidad del premio, como se recoge en sus bases, es precisamente la promoción, incentivación y divulgación de este esfuerzo de las empresas, muchas veces ignorado y no suficientemente valorado”. También felicitó a todas las empresas que han presentado su candidatura al Premio de la Fundación, desde su creación, tanto a las ganadoras como al resto de las participantes.

La Fundación Técnica Industrial quiso homenajear también a Santiago Crivillé, que dejó el cargo a finales de 2025, después de cinco años al frente de la Gerencia de la FTI, por su “magnífica labor” desarrollada durante este periodo, con la entrega de un galardón.

El secretario de la Fundación Técnica Industrial, Jesús Eugenio García Gutiérrez, leyó el acta del Premio, anunciando la empresa ganadora del Premio de la Fundación Técnica Industrial a la Innovación Tecnológica Empresarial y Sostenibilidad: TECOZAM ESTRUCTURAS Y DRENAJES S.L., que fue seleccionada por un jurado calificador, entre las ocho candidaturas que se presentaron, valorando especialmente su carácter innovador, su aplicación práctica en el ámbito empresarial y su contribución al desarrollo industrial sostenible.

El jurado estaba compuesto por José Antonio Galdón Ruiz, presidente de la Fundación Técnica Industrial; Alberto Ruiz Rodríguez, director ge-



Entrega del IV Premio de la Fundación Técnica Industrial al Grupo Tecozam.

neral de Programas Industriales del Ministerio de Industria y Turismo; José Manuel Prieto Barrio, subdirector general de Calidad y Seguridad Industrial del citado Ministerio, y José Miguel Guerrero Sedano, presidente de CONFEMETAL.

El director general de Programas Industriales del Ministerio de Industria y Turismo, Alberto Ruiz Rodríguez, acompañado del presidente de la Fundación Técnica Industrial, José Antonio Galdón, hizo entrega del premio a los representantes de Tecozam, cuyo presidente, Iván José Gómez Rojo, presentó al público asistente el proyecto que les ha hecho ganar este premio: "Solución de máquina AUTOCIMBRA MSS 90 Zamora II".

El proyecto del Viaducto de Sabiñánigo, construido con la autocimbra MSS 90 ZAMORA II es una infraestructura clave para la Autovía Mudéjar A-23 en Huesca, y en la aplicación pionera de una tecnología industrial de un medio auxiliar para la construcción de tableros de viaductos, denominado autocimbra, por parte de GRUPO TECOZAM.

Este proyecto, ejecutado para la UTE Sabiñánigo (Rover y Aldesa) y cuyo promotor es la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Transportes, no solo representa un logro monumental en la ingeniería civil y técnica industrial española, sino que también ha establecido un nuevo estándar internacional al superar desafíos técnicos sin precedentes.

El viaducto, con una longitud de 934 metros y una altura máxima de 50 metros sobre el terreno, se distingue por la ejecución de su primer gran vano lateral de 90 metros de luz, una hazaña que ostenta el récord mundial para un tablero construido mediante la técnica de autocimbra.

Concesión de dos accésits del Premio de la Fundación

Debido a la calidad de los proyectos presentados a este premio por parte de las empresas candidatas, el jurado calificador decidió entregar este año dos accésits: a la empresa ASG Architecture, por su proyecto "SM-KsDirect Method y SM-KsDirect® Software: método de cálculo directo y seguro

del coeficiente de balasto para cimentaciones superficiales eficientes y sostenibles → visión 360º: técnica, normativa, económica, ambiental y social", y a la empresa GLOBAL VIRTUALIZZA INGENIEROS S.L., por su "Proyecto de Clasificación y Optimización de Recursos Hidrológicos para Producción Sostenible de Hidrógeno Verde".

El director y fundador del estudio ASG Architecture, Antonio Sánchez Garrido, asistió al acto para recoger el correspondiente diploma de reconocimiento, que le entregó el subdirector general de Calidad y Seguridad Industrial del Ministerio de Industria y Turismo, José Manuel Prieto Barrio.

Premio MUPITI

Otro momento clave del acto fue la entrega del Premio MUPITI, dedicado a la "Ingeniería para las personas", cuya motivación explicó el presidente de la Mutualidad de Previsión Social de Peritos e Ingenieros Técnicos Industriales (MUPITI), José Carlos Pardo García, quien destacó el momento en que decidió que "MUPITI tenía que estar en estos premios". En 2025, en colaboración con la Fundación Técnica Industrial, se instituyó la I Convocatoria del Premio MUPITI "Ingeniería para las personas", que tiene como finalidad poner en valor el papel de la aplicación de la ingeniería en buscar soluciones para mejorar las condiciones de seguridad y bienestar en las personas particularmente desfavorecidas o en riesgo de exclusión social.

"El premio Mupiti ha nacido con la vocación de apoyar estas maravillosas iniciativas en el seno del colectivo de la ingeniería y con la ilusión de aportar su granito de arena durante muchos años", expresó José Carlos Pardo.



Entrega del Accésit a ASG Architecture.



Entrega del Premio MUPITI a la Cátedra MEDIALAB, de la Universidad de Oviedo.

La candidatura premiada por el jurado calificador de este premio ha sido la Cátedra MEDIALAB, de la Universidad de Oviedo. Recogieron el premio María González García, responsable del proyecto y profesora de Enfermería de citada universidad, y Claudia García Canelo, estudiante de Ingeniería Mecánica y líder del equipo de estudiantes voluntarios del proyecto, que llevó a cabo una presentación del proyecto ganador, denominado “Superhéroes”, entregado por el presidente de MUPITI, José Carlos Pardo García.

El Jurado estuvo formado por José Antonio Galdón Ruiz, presidente de la Fundación Técnica Industrial; Mar López Almagro, vocal de la Fundación Técnica Industrial; Antonio Miguel Rodríguez Hernández, vicepresidente de MUPITI, y Francisco Javier Sanz Fernández, director General de MUPITI.

El jurado destacó especialmente el enfoque social de la iniciativa, orientada a mejorar la calidad de vida de las personas mediante soluciones innovadoras basadas en la ingeniería.

El proyecto premiado, “Superhéroes”, es una iniciativa de innovación social orientada al diseño y fabricación de prótesis personalizadas mediante tecnologías de fabricación digital e impresión 3D. La iniciativa reúne a estudiantes, investigadores y profesionales de diferentes disciplinas que trabajan de forma colaborativa para desarrollar soluciones adaptadas a personas con amputaciones o malformaciones congénitas, especialmente niños. El premio está dotado con 2.000 euros, otorgados por MUPITI.

Presentación del “Libro conmemorativo de la profesión”

Dejando atrás el apartado de los premios, en el acto de la Fundación se quiso hacer también un homenaje al 175 aniversario de la profesión, y para ello se llevó a cabo la presentación oficial del libro conmemorativo “175 años de Ingeniería Técnica Industrial en España: construyendo futuro”, editado por la Fundación Técnica Industrial.

La directora de la revista Técnica Industrial, Mónica Ramírez, fue la encargada de presentar esta obra, en la que se repasa la evolución de la profesión, desde la aprobación de la enseñanza industrial, mediante Real Decreto, en 1850, hasta nuestros días, así como de las instituciones colegiales, y la historia de cada uno de los Colegios de Graduados e Ingenieros Técnicos Industriales.

“La aprobación de dicho Real Decreto responde a una necesidad muy concreta en ese momento: impulsar la industrialización del país mediante la formación de profesionales cualificados. En la actualidad, la Ingeniería Técnica Industrial sigue siendo un pilar fundamental para el desarrollo económico y tecnológico del país”, señaló.

Y concluyó: “En definitiva, este libro conmemora 175 años desde aquel momento fundacional de 1850, cuando España apostó por la formación técnica como motor de desarrollo. Hoy, ese legado sigue plenamente vigente, y nos recuerda que el futuro de la industria y del progreso sigue pasando por la ingeniería. Sigamos, entre todos, construyendo futuro”.

Clausura del acto

La clausura del acto estuvo a cargo del director general de Programas Industriales del Ministerio de Industria y Turismo, Alberto Ruiz Rodríguez, que tuvo palabras de “reconocimiento a la Fundación Técnica Industrial por su labor constante de promover la excelencia técnica, impulsar la innovación y fundamentalmente visibilizar el talento industrial. Actos como el de hoy reconocen no solo proyectos destacados, sino que contribuyen también a reforzar el prestigio de las profesiones técnicas en nuestra sociedad”.

Asimismo, destacó la “calidad de los proyectos que se han presentado, reflejo directo de la buena formación que tenemos en las escuelas industriales y del compromiso de todos los que forman parte de ellas. Los ingenieros técnicos industriales destacamos por nuestra capacidad de adaptación y nuestra contribución directa a la actividad productiva. Por eso, en muchos casos somos el nexo entre la innovación tecnológica y la aplicación real en la industria, para que sea más competitiva”.

“El futuro de la industria en España se está construyendo hoy, y se construye sobre tres pilares fundamentales: el conocimiento técnico, la innovación y el compromiso con una industria que tiene que ser a la vez más competitiva, más sostenible y más humana. Los premiados en este acto representan, sin duda, estos valores. Por todo ello, les reitero mi enhorabuena y a la Fundación mi felicitación por organizarlo”, señaló. Más información en www.fundaciontindustrial.es.



Participantes en el acto de la entrega de los Premios de la Fundación Técnica Industrial, el pasado 27 de marzo.

El Parlamento Europeo solicita a la Comisión Europea que se investigue en profundidad la exclusión de los ingenieros en la elaboración de los Informes de Evaluación de Edificios

El pasado 26 de febrero, el presidente de COGITI, José Antonio Galdón Ruiz, realizó una exposición ante la Comisión de Peticiones del Parlamento Europeo, sobre la vulneración sistemática del mercado único y las directivas de servicios y cualificaciones, sustentada por la propia doctrina previa de la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia (CNMC).

En su comparecencia, el presidente denunció el reciente cambio de criterio jurisprudencial de la Sala Tercera del Tribunal Supremo de España, que, desde diciembre de 2021, ha consolidado una doctrina que viene a establecer una reserva profesional exclusiva en favor de arquitectos y arquitectos técnicos para la emisión de Informes de Evaluación de Edificios (IEE) en el ámbito residencial. Mantener esta reserva profesional sin base legal expresa no solo lesiona los derechos de cientos de miles de ingenieros, sino que fractura la unidad del mercado europeo al imponer criterios restrictivos que la propia autoridad de competencia española ha tachado de injustificados.

Durante su exposición, el presidente argumentó el objeto de la petición realizada por el COGITI, pues la citada vulneración afecta a más de medio millón de ingenieros españoles, y de forma indirecta a los ingenieros europeos, pero, sobre todo, en gran medida a la calidad y al precio de los Informes de Evaluación de Edificios, previstos en la Ley 8/2013 (posteriormente Ley 7/2015 T.R.L. del Suelo y rehabilitación urbana), que emana de la directiva 27/2012 sobre la eficiencia energética de edificios. Estos informes incluyen aspectos como el estado de conservación del edificio (mediante inspección visual), condiciones de accesibilidad y una certificación energética del edificio.

Esta interpretación excluye a los ingenieros de una actividad para la que

la ley no establece reserva profesional, cuestionando sin base sus competencias y vulnerando principios de necesidad, proporcionalidad e interés general. Carece, por tanto, de sustento legal y supone un giro jurisprudencial injustificado, ya que los ingenieros han realizado anteriormente estos informes con total calidad y eficacia, sin que existan evidencias de daños a la seguridad o salud pública que justifiquen su exclusión actual.

En este sentido, ninguna norma legal de ámbito estatal español contempla una atribución de competencias excluyente para la elaboración de dichos informes a favor de determinadas titulaciones, y manifiesta que en la mayoría de los países de la Unión Europea los profesionales de la Ingeniería son

reconocidos como técnicos competentes para evaluar los riesgos potenciales para la salud y la seguridad derivados de las deficiencias identificadas en las viviendas, por lo que esta práctica judicial vulnera el derecho a la libre circulación en su modalidad de libertad de prestación de servicios y establecimiento.

La actual práctica judicial española supone un incumplimiento flagrante del Derecho de la Unión, puesto que contraviene los pilares del mercado interior y tres directivas fundamentales: Directiva de Servicios (2006/123/CE), la Directiva de Cualificaciones Profesionales (2005/36/CE y 2013/55/UE), y la Directiva sobre el Test de Proporcionalidad (UE 2018/958).



José Antonio Galdón Ruiz, presidente de COGITI, durante su exposición ante la Comisión de Peticiones del Parlamento Europeo.

Dictámenes favorables de la CNMC

En el contexto de los litigios que dieron lugar a la sentencia objeto de la petición, la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia (CNMC) de España ha elaborado dos dictámenes que ponen en evidencia la posición del Tribunal Supremo. Como se resalta en dichos dictámenes, la CNMC subraya que la reserva de actividad a favor de los arquitectos y arquitectos técnicos no solo carece de una justificación suficiente en términos de interés general, sino que además supone una restricción desproporcionada que afecta tanto a los ingenieros como al mercado y los consumidores.

Tras la exposición del presidente de COGITI en la Comisión de Peticiones, intervinieron varios eurodiputados apor-

tando su valoración y opinión al respecto, y acordaron por unanimidad aceptar que la petición siga adelante, y que la Comisión Europea actualice su respuesta, una vez haya investigado los hechos expuestos y estudiado los dictámenes elaborados por la CNMC.

José Antonio Galdón se ha mostrado muy satisfecho “por conseguir que el Parlamento Europeo solicite a la Comisión Europea una investigación sobre el incumplimiento de la normativa comunitaria en relación a determinadas reservas de actividad, que en el ámbito de los IEE estaban quedando reservadas a arquitectos y arquitectos técnicos incumpliendo directivas comunitarias, de servicios, directiva de reconocimiento de cualificaciones, mercado único europeo, y sobre

todo, con el aval de la CNMC, que es la que viene a refrendar, a través de los artículos 101 y 102 del Tratado de Funcionamiento de la Unión Europea que, efectivamente, había dicho también que se estaba incumpliendo esa normativa”.

“Hoy damos un paso importante para seguir afianzando esa competitividad en el ámbito de la ingeniería y que se vayan eliminado esas barreras, que al final acaban produciendo perjuicio, tanto económico como de calidad para los trabajos profesionales. Por ello, vamos a seguir trabajando, junto con la Comisión Europea, para que se dé solución a este problema”, concluyó. Más información y video de la exposición del presidente de COGITI en la Comisión de Peticiones en www.cogiti.es.

Julio Galván

CEO de ADA Sistemas

¿Qué es ADA y qué ofrece a la ingeniería?

ADA Sistemas marcó un hito en la transformación digital del sector colegial al desarrollar el primer sistema de visado electrónico en España para COPITIBA. Más de 25 años después, seguimos liderando la evolución tecnológica con soluciones avanzadas para la gestión integral de colegios profesionales. Nuestra plataforma, adoptada por más de 130 Colegios —incluyendo más de 100 del ámbito de la ingeniería—, incorpora herramientas inteligentes y procesos automatizados que optimizan la operativa diaria y potencian la experiencia de los colegiados. En ADA Sistemas, la innovación no es solo un valor: es el motor que nos impulsa a ofrecer soluciones seguras, escalables y adaptadas a los retos del futuro.

¿Cómo ves a los Colegios?

Durante más de dos décadas he trabajado estrechamente con colegios profesionales, actores clave en el desarrollo y garantía de la práctica profesional; su compromiso con la excelencia y la seguridad ha impulsado la evolución del sector.

La reducción de visados obligatorios supuso un reto que muchos Colegios afrontaron reinventando sus servicios, incorporando propuestas de alto valor para sus colegiados. Hoy, la oportunidad está en seguir avanzando y creciendo.



Julio Galván

En este contexto, ADA Sistemas actúa como catalizador de innovación, compartiendo de forma anónima el conocimiento y las mejores prácticas entre colegios profesionales, para que todos puedan beneficiarse de la experiencia colectiva y afrontar los desafíos del futuro con soluciones tecnológicas de vanguardia.

¿Cuál es vuestro proyecto clave?

E-gestión se ha consolidado como la herramienta esencial para la transformación digital de los colegios profesionales. Se trata de un software vertical en constante evolución, diseñado para ser una solución robusta y escalable, capaz de adaptarse a las necesidades presentes y futuras. Hoy, más de 27 sectores profesionales confían en e-gestión para garantizar una administración eficiente,

segura y libre de obsolescencia, permitiendo que los Colegios se centren en lo que realmente importa: ofrecer el mejor servicio a sus colegiados. En ADA Sistemas, seguimos impulsando la innovación para fortalecer la ingeniería y otras profesiones a través de soluciones tecnológicas que marcan la diferencia.



Luis Romero Pérez, propietario y director general del grupo FULTON: “En el crecimiento de nuestra empresa, la ingeniería juega un papel muy importante”

En el Grupo Fulton están de aniversario. En 2026 tanto la empresa matriz, Fulton, S.A. como Fulton Servicios Integrales cumplen años. La primera de ellas, fundada en 1966, hace 60 años, mientras que la más reciente, creada en 2001, sopla 25 velas. Una trayectoria exitosa plagada de retos que comenzó como una pequeña empresa especializada en climatización, y que en este tiempo se ha convertido en un referente a nivel nacional en construcción, ingeniería e instalaciones con altos componentes tecnológicos.

Su propietario y director general, Luis Romero Pérez, analiza las claves de esta trayectoria. “Es una cuestión de constancia, tenacidad y trabajo, y luego de tratar de reunir a un equipo profesional que pueda llevar a buen puerto las ideas que se generan en la empresa, ese es el éxito o la virtud de este proyecto. Nunca me he planteado como un objetivo el cumplir años. Las cosas las hago porque creo en ellas, si estoy convencido le pongo toda la ilusión, el trabajo y la voluntad para conseguirlo y esa fórmula generalmente funciona”.

Un camino en el que ha habido que sortear numerosos obstáculos y, sobre todo, en los últimos años. “La vida, en general, y la vida, a nivel empresarial, en particular, es una carrera de obstáculos. Pensar que una em-



Luis Romero Pérez

presa se pone en marcha como si le dieras cuerda a un reloj es un error. Hay que hacer frente a situaciones tanto imprevisibles – DANA, pandemia – como a otras que sí dan señales - crisis económicas -, como se dice en el argot futbolístico: partido a partido. En cada momento hay que tomar decisiones para combatir la incertidumbre”.

Con esa fórmula se ha conseguido un crecimiento sostenible basado en la ejecución de proyectos significativos, como la gestión del mantenimiento de centros como La Moncloa o el Palacio de la Zarzuela o reformas como la del Colegio Mayor Luis Vives y la Comisaría de la Policía Nacional de Zapadores, la segunda más grande de España, en Valencia.

“Somos una empresa mediana-grande, pero tenemos el trato y la misma cercanía con el cliente que cuando éramos 8-10 personas. Eso es un valor añadido. Tenemos una presencia significativa en el sector porque cada vez nos marcamos retos más ambiciosos y de mayor envergadura. En este crecimiento, la ingeniería juega un papel muy importante. Fulton no sería lo que es si no tuviésemos dentro de la organización un departamento y una estructura con un nivel alto de ingeniería. Nosotros realizamos y ejecutamos proyectos”.

El futuro se ve con optimismo, aunque seguir cumpliendo años depende en parte de un entorno que debe reducir el elevado nivel de incertidumbre actual.

“El futuro de las empresas va ligado al futuro del país. En estos momentos, la falta de presupuestos lastra el crecimiento de las empresas que como nosotros participamos en licitaciones públicas”.

Jornada sobre el Programa en Formación de Competencias Digitales en el ámbito de los Colegios Profesionales – Upro

Unión Profesional, Banco Sabadell y Sabadell Hub Empresa celebraron, el pasado 24 de febrero, en el Auditorio Banco Sabadell, la jornada «IA aplicada a tu realidad profesional», organizada en colaboración con el Programa en Formación de Competencias Digitales en el ámbito de los Colegios Profesionales, Upro.

El evento reunió a profesionales de distintos ámbitos para reflexionar sobre la importancia de adquirir competencias digitales como motor de desarrollo profesional y personal, así como garantía de un servicio de calidad a la ciudadanía.

La primera mesa redonda, moderada



por Charo Fernández Álvarez, directora segmento Sabadell Professional de Banco Sabadell, contó con la participación de José Antonio Galdón Ruiz,

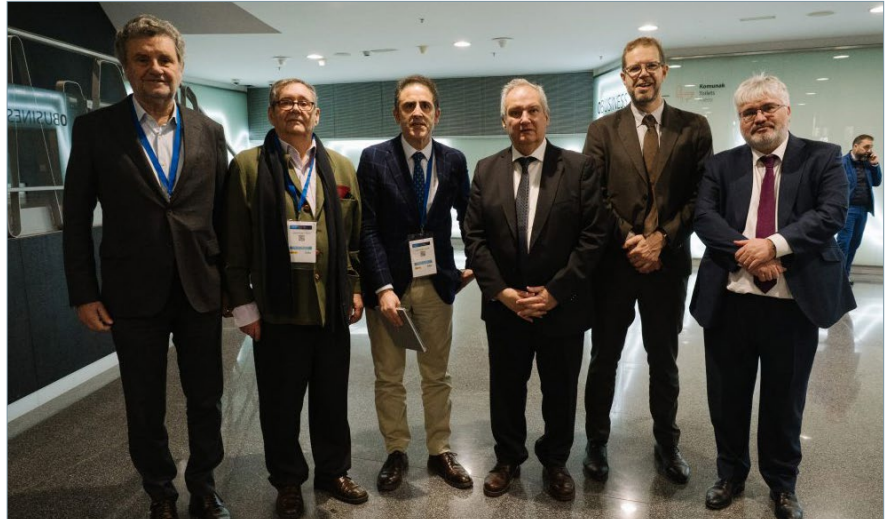
presidente de COGITI y vicepresidente de Unión Profesional, y Antonio Saravia, director adjunto de Economía Digital en Red.es.

El VIII Congreso Nacional de Industria reunió en Bilbao a los referentes del sector

El VIII Congreso Nacional de Industria, organizado por el Ministerio de Industria y Turismo, se celebró los pasados 4 y 5 de febrero en el Palacio Euskalduna de Bilbao. La "Calidad Industrial", en su máxima expresión, fue el eje vertebrador del Congreso, donde se puso en valor el papel de este sector como motor económico, social y cultural de España.

Desde esta visión, esta octava edición se ha consolidado como un espacio integrador y de referencia para toda la industria, reuniendo a líderes de alto nivel, instituciones, empresas, asociaciones, clústeres y profesionales comprometidos con el presente y el futuro de nuestra industria. El Consejo General de la Ingeniería Técnica Industrial de España (COGITI) estuvo representado por su presidente, José Antinío Galdón, quien, en un momento dado, tuvo la oportunidad de charlar con el ministro de Industria y Turismo, Jordi Hereu Boher, y con el secretario de Estado de Industria, Jordi García Brustenga, sobre la actualidad del sector industrial y acerca de temas de interés para la profesión y el colectivo profesional.

Galdón manifestó su agradecimiento al ministro por "haberles hecho un hue-



El presidente de COGITI, José Antonio Galdón, acompañado del secretario del Consejo General, Jesús Eugenio García, y del gerente de la Fundación Técnica Industrial, Miquel Darnés, conversó con el ministro de Industria y Turismo, Jordi Hereu, y con el secretario de Estado de Industria, Jordi García.

co" para poder conversar y, sobre todo, por "su sensibilidad con el gran problema generado con las titulaciones de grado en ingeniería no habilitantes y por escuchar nuestras propuestas y soluciones".

A lo largo de los dos días que duró el Congreso, se sucedieron conferencias magistrales, mesas redondas, visitas a empresas, networking y casos de éxito.

El ministro de Industria y Turismo, Jordi Hereu, destacó que "la colaboración entre las políticas públicas y la fuerza del sector privado empresarial, social y sindical nos hace crecer. La industria está creciendo en ocupación y valor añadido", por lo que "el cambio productivo de la economía española tiene un componente estructural, no coyuntural".

EL INGENIOSO INGENIERO/Pablo Saorín



Charo Fernández Álvarez, directora de segmento de Sabadell Professional: “La colaboración entre industria, profesionales y entidades financieras es esencial para avanzar hacia un modelo económico más competitivo, responsable y sostenible”

Banco Sabadell mantiene desde hace años una relación muy estrecha con los colegios profesionales. ¿Qué papel juega este ámbito dentro de la estrategia del Banco?

Los colegios profesionales forman parte esencial del tejido económico y social de nuestro país. Representan a profesiones altamente cualificadas que sostienen ámbitos esenciales para nuestra sociedad, desde la sanidad o el ámbito jurídico, hasta la ingeniería, la arquitectura, la economía o la gestión empresarial.

Para Banco Sabadell, acompañar a estos colectivos no es solo una línea de negocio, es parte de nuestra identidad. De hecho, el origen de Sabadell Professional está muy ligado precisamente al ámbito de la ingeniería técnica industrial. Iniciativas pioneras como TecnoCredit, impulsada conjuntamente por el Colegio de Ingenieros Técnicos Industriales de Cataluña y Banco Sabadell hace ya 35 años, marcaron una forma distinta de relacionarnos con las profesiones.

Aquella experiencia nos dejó una enseñanza muy clara: para acompañar realmente a un profesional hay que entender su actividad, escuchar sus necesidades y trabajar de la mano de sus organizaciones representativas.

Esta filosofía sigue plenamente vigente hoy. Por eso mantenemos una relación estrecha y continuada con los colegios profesionales y sus Consejos Generales. Participamos en sus iniciativas, en sus jornadas técnicas, en sus actividades formativas y en los espacios donde se debate el futuro de cada profesión.

Los ingenieros técnicos industriales desempeñan un papel clave en sectores estratégicos. ¿Cómo percibe Banco Sabadell la evolución de esta profesión?

La ingeniería técnica industrial ha estado históricamente vinculada al progreso y al desarrollo económico de nuestro país, y hoy probablemente lo esté más que nunca. Los ingenieros técnicos industriales están en el centro de retos fundamentales



Charo Fernández Álvarez

como la transición energética, la modernización de la industria, la eficiencia energética, la electrificación o la digitalización de los procesos productivos.

La digitalización y la inteligencia artificial están transformando todas las profesiones. ¿Cómo cree que impactarán en el ámbito de la ingeniería técnica industrial?

La tecnología está ampliando de forma extraordinaria las capacidades de los ingenieros, y en realidad, de cualquier profesional. Es algo que todos estamos viviendo en primera persona en nuestro día a día.

Herramientas como la inteligencia artificial o el análisis de datos permiten diseñar soluciones más eficientes, optimizar procesos, anticipar escenarios y tomar decisiones más informadas.

Pero hay un aspecto clave: cuanto más avanza la tecnología, más importante se vuelve el criterio profesional. La interpretación técnica, el rigor, la responsabilidad y la capacidad de evaluar riesgos siguen siendo esenciales en profesiones como la ingeniería. En este sentido, la tecnología no sustituye al ingeniero, sino que amplía su capacidad para diseñar soluciones más eficientes y seguras.

Y ahí el papel de los colegios profesionales es fundamental.

Precisamente, hablando de acompañar a los profesionales en la adap-

tación a las nuevas herramientas y competencias, recientemente se ha puesto en marcha el programa de competencias digitales impulsado por Unión Profesional. ¿Qué importancia cree que tiene este tipo de iniciativas? Iniciativas como esta son especialmente relevantes en el momento actual. La transformación digital exige a los profesionales actualizar sus conocimientos y desarrollar nuevas competencias. En este sentido, que una organización como Unión Profesional impulse un programa sólido, accesible y orientado específicamente a los colegiados es una gran oportunidad.

Además, el hecho de que los propios consejos generales y colegios profesionales lideren este tipo de proyectos demuestra su capacidad de anticipación a los cambios y su compromiso con el futuro de las profesiones.

La formación continua ya no es solo una necesidad individual, es también un factor estratégico para la competitividad de todo el tejido productivo. Desde Banco Sabadell compartimos plenamente esa visión. Por eso hemos tenido la oportunidad de colaborar con Unión Profesional y con distintos colegios profesionales en la organización de jornadas para divulgar este programa y facilitar que llegue al mayor número de profesionales posible.

¿Qué importancia tienen para Banco Sabadell las alianzas con organizaciones profesionales como el Consejo General de Ingenieros Técnicos Industriales?

Para Banco Sabadell, estas alianzas son claramente estratégicas. Los colegios y consejos son interlocutores privilegiados, porque conocen a la perfección la realidad de su colectivo, sus necesidades, sus retos y también sus oportunidades.

Trabajar con el COGITI nos permite desarrollar propuestas realmente útiles para los ingenieros técnicos industriales, porque parten de una comprensión profunda de su actividad y de su entorno.

Concepción Alicia Monje Micharet

Investigadora en Robótica y Catedrática en la UC3M

“Los avances en robótica suelen ser el resultado de muchos intentos, pruebas y errores, pero también de una gran ilusión por descubrir y crear cosas nuevas”

Mónica Ramírez

Hablar de robótica en España es hablar de innovación, compromiso y excelencia, valores que conoce muy bien Concepción Alicia Monje Micharet, catedrática de la Universidad Carlos III de Madrid e investigadora de referencia internacional en el ámbito del control automático y la robótica blanda.

Con una trayectoria científica consolidada y más de dos décadas dedicadas a la investigación, nuestra ingeniera técnica industrial entrevistada en esta ocasión ha contribuido al desarrollo de tecnologías robóticas orientadas a mejorar la calidad de vida de las personas, desde articulaciones robóticas blandas hasta una innovadora órtesis cervical activa destinada a pacientes con enfermedades neurodegenerativas. Su trabajo, desarrollado en colaboración con centros punteros de Europa y Estados Unidos, combina excelencia científica, transferencia tecnológica y una firme vocación divulgativa.

Concepción Alicia forma parte del elenco de las profesionales que han sido elegidas para participar en la iniciativa «Mujeres ingenieras de éxito y su impacto en el desarrollo industrial», el programa que hace varios años puso en marcha la Unión de Asociaciones de Ingenieros Técnicos Industriales y Graduados en Ingeniería de la rama industrial de España (UAITIE), y que incluye la exposición itinerante «Mujeres ingenieras de éxito», que recorre los distintos Colegios Oficiales de Graduados e Ingenieros Técnicos Industriales de España.

Premiada en numerosas ocasiones por su labor investigadora y su impulso a la presencia de las mujeres en la ingeniería, representa una generación de científicas que conciben la tecnología como una herramienta al servicio de la sociedad. En esta entrevista reflexiona



Concepción Alicia Monje Micharet

sobre su trayectoria, los avances más prometedores en robótica y el papel de la ingeniería en los grandes retos del futuro.

Ingeniera Técnica Industrial en Electrónica Industrial, Ingeniera Electrónica y Doctora en Ingeniería Industrial, ¿qué le hizo decantarse por esta Ingeniería?

Mi pasión por la tecnología se ha forjado de forma muy natural y ha ido creciendo conmigo desde pequeña. A una edad muy temprana, mi padre me regaló un ordenador para jugar a videojuegos, uno de aquellos famosos MSX. Venía con un libro de programación que yo no entendía, pero conseguí ejecutar uno de sus códigos y aparecieron en la pantalla del ordenador unos círculos de colores en movimiento. Ese momento fue clave para mí, desde entonces comenzó mi interés por conocer aquel lenguaje de programación, y casi sin darme cuenta, la ciencia y la tecnología me fueron cautivando, incluida la robótica. A esto hay que unirle que mi padre ha sido profesor de Formación Profesional en Electrónica durante toda

su vida, y gracias a él crecí rodeada de televisores y emisoras de radio que él construía y reparaba, así como de visitas a las aulas en las que impartía clase. Ese mundo me ha parecido siempre mágico y fascinante, y terminé cayendo en sus redes.

¿Cómo fueron sus inicios y su evolución hasta llegar al momento actual?

Mis inicios se remontan a la finalización de mi tesis doctoral en 2006 en la Universidad de Extremadura, donde fui reconocida con Premio Extraordinario de Doctorado y Mención Europea, lo que me permitió incorporarme al grupo de investigación RoboticsLab de la Universidad Carlos III de Madrid. Desde entonces, he evolucionado de trabajar en el desarrollo del robot humanoide TEO y en controladores fraccionarios, a liderar proyectos de robótica blanda y órtesis robóticas inteligentes, colaborando con centros internacionales de Estados Unidos, Francia, Italia, Alemania y Singapur, así como con empresas. A lo largo de casi veinte años, he combinado investigación, docencia y divulgación, consolidando una trayectoria multidisciplinar con impacto científico, tecnológico y social.

La robótica avanza a pasos agigantados. Desde su perspectiva, como investigadora en el RoboticsLab de la UC3M, ¿qué tecnologías o aplicaciones cree que marcarán el futuro próximo de la robótica en nuestra vida cotidiana?

Desde mi experiencia en el RoboticsLab UC3M, creo que el futuro próximo de la robótica estará marcado por la combinación de inteligencia artificial, sensores avanzados y conectividad. Los robots serán cada vez más autónomos, capaces de adaptarse a entornos

cambiantes y de interactuar de forma segura con las personas. Esto se traducirá en aplicaciones muy concretas en nuestra vida cotidiana: desde robots colaborativos en la industria y la logística, hasta sistemas de asistencia en el hogar y la salud, pasando por vehículos autónomos o robots de ayuda en agricultura y mantenimiento de infraestructuras.

Otra tendencia clave es la robótica centrada en el ser humano, donde los sistemas no solo realizan tareas, sino que también comprenden las necesidades y preferencias de las personas, trabajando de forma complementaria y segura. La integración con tecnologías como la visión por computador, la percepción sensorial avanzada y el aprendizaje automático permitirá que los robots aprendan de la experiencia y se anticipen a situaciones complejas. En conjunto, estas innovaciones no solo harán más eficientes muchos procesos, sino que también abrirán nuevas oportunidades para mejorar la calidad de vida, la seguridad y la sostenibilidad en nuestra sociedad.

Desde hace años actúa como Evaluadora Experta de la Comisión Europea para los Programas H2020 y Horizon Europe, y como evaluadora del Programa Nacional de Investigación del Ministerio de Industria y Competitividad. ¿Qué tendencias observa en la financiación de proyectos en robótica y hacia dónde se orientan los intereses europeos en este ámbito?

En los últimos años, la financiación europea en robótica, especialmente a través de programas como Horizon 2020 y Horizon Europe, muestra una clara orientación hacia el desarrollo de sistemas robóticos cada vez más inteligentes, autónomos y conectados con otras tecnologías digitales.

Se observa una tendencia creciente a integrar la robótica con la inteligencia artificial, el análisis de datos y otras tecnologías avanzadas para crear soluciones más adaptativas y capaces de operar en entornos complejos. Al mismo tiempo, la Comisión Europea prioriza proyectos con aplicaciones prácticas en ámbitos como la industria, la logística, la agricultura, la salud o el mantenimiento de infraestructuras, donde la automatización puede mejorar la eficiencia, la seguridad y la productividad. Otro aspecto destacado es el impulso a la

robótica colaborativa y centrada en el ser humano, es decir, robots diseñados para interactuar y trabajar junto a las personas de forma segura. En conjunto, estas tendencias reflejan el interés europeo, y con ello el nacional, por fortalecer su competitividad tecnológica y su autonomía estratégica, promoviendo proyectos que combinen innovación científica, impacto industrial y contribución a retos sociales y económicos.

¿Cuáles son los proyectos más destacados que lidera en la actualidad?

Actualmente lidero proyectos que versan sobre robótica blanda, que se basa en emplear materiales blandos y elásticos para diseñar y fabricar robots. Estos materiales otorgan una serie de ventajas a los dispositivos robóticos: absorben el impacto que pueda producirse entre el robot y el usuario o el entorno, y dotan a dicho robot de altas capacidades de deformación y gran versatilidad de movimientos. Todo ello contribuye al desarrollo de sistemas robóticos altamente seguros y adaptables a las tareas que deben realizar.

Pretendemos que los robots que diseñamos tengan un impacto en la sociedad, concretamente en la atención a personas que tengan necesidades especiales. A modo de ejemplo, actualmente lidero un proyecto en el que estamos desarrollando una órtesis cervical activa inteligente que permita adaptarse a las necesidades de movilidad cervical de diversos pacientes, como por ejemplo pacientes de ELA. La órtesis permitiría acompañar al paciente en todas las fases de la enfermedad, dotando de una movilidad natural al cuello en aquella fase final en la que dicha movilidad se ha perdido por completo. También hemos patentado una articulación robótica blanda con la que podemos diseñar brazos y manos robóticas que permitan una interacción más segura y dinámica entre el robot y las personas a las que asiste. El impacto de estos desarrollos es indudable y estamos trabajando en mejorar los diseños para favorecer su transferencia a la sociedad.

Para todas aquellas personas que sueñan con dedicarse a la investigación, ¿cuál es el mensaje más desta-

"Los robots serán cada vez más autónomos, capaces de adaptarse a entornos cambiantes y de interactuar de forma segura con las personas. Esto se traducirá en aplicaciones muy concretas en nuestra vida cotidiana: desde robots colaborativos en la industria y la logística, hasta sistemas de asistencia en el hogar y la salud, pasando por vehículos autónomos o robots de ayuda en agricultura y mantenimiento de infraestructuras"

cado que desea transmitirles, desde su experiencia y pasión por la robótica?

A quienes sueñan con dedicarse a la investigación les diría que mantengan siempre viva la curiosidad y la pasión por aprender. Investigar significa hacerse preguntas constantemente y no desanimarse cuando las respuestas no llegan a la primera. En campos como la robótica, los avances suelen ser el resultado de muchos intentos, pruebas y errores, pero también de una gran ilusión por descubrir y crear cosas nuevas.

También les animaría a ser perseverantes y a trabajar en equipo. La investigación hoy en día es cada vez más colaborativa e interdisciplinar, y compartir ideas con otras personas enriquece enormemente los proyectos. Y, sobre todo, que no pierdan de vista el impacto que puede tener su trabajo: la robótica y la tecnología tienen un enorme potencial para mejorar la vida de las personas. Si se trabaja con esa motivación y con compromiso, el camino de la investigación puede ser exigente, pero también profundamente estimulante y gratificante.

"Se observa una tendencia creciente a integrar la robótica con la inteligencia artificial, el análisis de datos y otras tecnologías avanzadas para crear soluciones más adaptativas y capaces de operar en entornos complejos"

Dada su implicación en la divulgación científica, al haber participado en más de un centenar de actividades de divulgación, entre las que destaca su colaboración en el programa de radio "Julia en la Onda", de Onda Cero. ¿Cómo ha sido la experiencia? ¿Qué papel cree que debe desempeñar la ciencia en los medios de comunicación?

Participar en actividades de divulgación, y en particular colaborar con programas como "Julia en la Onda", dirigido por Julia Otero, ha sido una experiencia muy enriquecedora y estimulante. La ciencia, y especialmente campos como la robótica, a veces pueden parecer complejos o alejados de la vida cotidiana, y los medios de comunicación ofrecen una oportunidad única para acercarlos a la sociedad de manera clara y cercana. Me ha permitido aprender a comunicar conceptos técnicos de forma sencilla, contar historias que despierten curiosidad y mostrar cómo la investigación tiene un impacto directo en nuestra vida diaria.

Creo que la ciencia en los medios debe desempeñar un papel de puente entre la investigación y la sociedad. No se trata solo de difundir resultados, sino de fomentar pensamiento crítico, despertar interés por la innovación y ayudar a que las personas comprendan cómo la tecnología puede transformar su entorno de manera ética y responsable. La divulgación científica contribuye a que la sociedad valore el conocimiento, participe en debates informados y apoye decisiones basadas en evidencia, y esa conexión es algo que personalmente considero fundamental y muy gratificante.

También ha trabajado como asesora científica en la película "Autómata",

protagonizada por Antonio Banderas. ¿Qué lecciones se pueden aprender cuando la ciencia y el cine se cruzan?

Trabajar como asesora científica en la película "Autómata", protagonizada por Antonio Banderas, fue una experiencia fascinante porque me permitió ver la ciencia desde un ángulo muy diferente: el creativo y narrativo. Una de las lecciones más importantes es que el cine tiene el poder de inspirar curiosidad y despertar el interés por la ciencia de una manera inmediata y emocional, incluso antes de entrar en los detalles técnicos. Los espectadores pueden conectar con ideas complejas a través de historias, personajes y dilemas éticos, lo que amplía la comprensión pública de la tecnología y sus implicaciones.

Además, es miembro del Jurado de los Premios Princesa de Asturias en la Categoría de Investigación Científica y Técnica, y ha sido reconocida con premios como el Ada Byron a la Mujer Tecnóloga y el Premio a la Mejor Científica Contemporánea, entre otros. ¿Qué significan para usted estos reconocimientos en un campo como la ingeniería?

Para mí, estos reconocimientos tienen un significado muy especial, no solo a nivel personal, sino también en el contexto de la ingeniería y la ciencia, en general. Ser miembro del Jurado de los Premios Princesa de Asturias o recibir distinciones como el Ada Byron a la Mujer Tecnóloga o el Premio a la Mejor Científica Contemporánea es un reflejo del trabajo colectivo de muchos años, de la dedicación a la investigación y de la colaboración con equipos excepcionales.

Además, estos premios representan un reconocimiento al valor de la ciencia y la tecnología en la sociedad, y en particular en campos como la ingeniería, donde la visibilidad de las mujeres aún necesita impulso. Para mí, son una oportunidad para inspirar a nuevas generaciones, mostrar que la pasión por la innovación puede abrir caminos y reforzar la idea de que la excelencia científica debe ir acompañada de compromiso ético y social. En definitiva, más allá del honor personal, estos galardones sirven para visibilizar la importancia de la investigación, la innovación tecnológica y el papel de la diversidad en la ciencia.

Hace algún tiempo, participó en la exposición "Mujeres Ingenieras de Éxito", organizada por UAITIE, en cola-

boración con la Asociación de Peritos e Ingenieros Técnicos Industriales de Badajoz (APITIBA). ¿Qué valores piensa que aporta a la sociedad este tipo de iniciativas? ¿Qué cree que hace falta para que más niñas y mujeres se animen a estudiar carreras STEM?

Iniciativas como la exposición "Mujeres Ingenieras de Éxito" son fundamentales porque visibilizan modelos a seguir y demuestran que las mujeres pueden desempeñar un papel destacado en la ingeniería y en otras disciplinas STEM. Creo que muestran a niñas y jóvenes que la ciencia y la tecnología no son territorios exclusivos de unos pocos, sino espacios abiertos donde la creatividad, la curiosidad y el esfuerzo son los principales motores del éxito. Además, transmiten valores como la perseverancia, la innovación y la colaboración, que son esenciales tanto en la vida profesional como en la personal.

Para que más niñas y mujeres se animen a estudiar carreras STEM, es clave combinar educación temprana con ejemplos inspiradores. Hay que ofrecer oportunidades de acercarse a la ciencia desde pequeñas, derribar estereotipos y mostrar que las habilidades técnicas y el pensamiento lógico no tienen género. También es importante crear entornos de apoyo, mentores y redes profesionales que acompañen a las estudiantes, y les den confianza para seguir carreras que tradicionalmente han estado masculinizadas. En mi experiencia, la combinación de visibilidad, educación y acompañamiento puede marcar la diferencia, y animar a muchas más mujeres a perseguir sus sueños científicos y tecnológicos.

"A quienes sueñan con dedicarse a la investigación les diría que mantengan siempre viva la curiosidad y la pasión por aprender. Investigar significa hacerse preguntas constantemente y no desanimarse cuando las respuestas no llegan a la primera"

Tribuna

Seguridad ferroviaria: la investigación técnica como servicio público

Domingo Villero Carro

Hay un momento —silencioso, casi siempre invisible para el gran público— en el que la tragedia deja de ser titular y pasa a ser, por fin, **materia de verdad**. Cuando el ruido mediático se retira y la emoción colectiva se repliega, empieza la parte más difícil: la del **trabajo técnico, metódico y paciente**. Es ahí donde los ingenieros forenses, con la serenidad de quien sabe que cada milímetro cuenta, se convierten en custodios de algo que la sociedad necesita con urgencia: un **relato sustentado en evidencias**.

Porque la verdad, en seguridad ferroviaria, no nace de la intuición ni del comentario apresurado. Nace de una cadena de pruebas: registros, restos, trazas, documentación, inspecciones, mantenimientos, procedimientos, comunicaciones y compatibilización de hipótesis con hechos. Y esa cadena es tan fuerte como su eslabón más débil. Por eso el método forense exige una disciplina casi austera: preservar, documentar, clasificar, medir, contrastar, reproducir y, sobre todo, **no contaminar**.

Quienes no han trabajado nunca en una investigación técnica desconocen los riesgos que se asumen —y los obstáculos que se sortean— para llegar a conclusiones sólidas. El primero es el más humano: **el sesgo**. La mente, incluso la más entrenada, busca patrones

rápidos. Por eso el ingeniero forense se obliga a un ejercicio de humildad intelectual: no enamorarse de una hipótesis, no interpretar un indicio como certeza, no convertir una correlación en causa. La prudencia, aquí, no es una virtud retórica: es una herramienta de precisión.

El segundo riesgo es material: el propio escenario del suceso, con restos expuestos, deformaciones, fragmentos que se desplazan, obras de restitución necesarias y legítimas, y una presión social —comprensible— por recuperar la normalidad. Cada intervención posterior, aunque imprescindible, altera el “texto” que la evidencia escribe. De ahí la importancia de una documentación temprana, robusta y técnicamente impecable, capaz de “congelar” el estado del lugar antes de que el tiempo y la logística lo transformen.

El tercero es organizativo: las investigaciones de esta naturaleza son, por definición, **multidisciplinares**. Infraestructura, material rodante, señalización, energía, comunicaciones, geotecnia, estructuras, procedimientos operativos, factores humanos... Y, entre todo ello, la necesidad de integrar piezas heterogéneas sin caer en simplificaciones. La sociedad suele pedir una “causa”; la ciencia suele entregar una **secuencia**: un mecanismo, unas condiciones, unas barreras que funcionaron y otras que no, y una serie de recomendaciones para que el sistema aprenda.

Y aquí llegamos a un punto que, por institucional que suene, merece ser dicho con claridad y respeto: el valor de la investigación técnica depende también de la **confianza pública**. En España, la investigación técnica de accidentes e incidentes ferroviarios se articula bajo un marco normativo específico y se encomienda a la Comisión de Investigación de Accidentes Ferroviarios (CIAF). Esta Comisión está **adsrita** al Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible, como se refleja en su pro-

pia información institucional.

Es cierto —y debe reconocerse— que el modelo prevé una investigación técnica con vocación de rigor. Pero también es legítimo señalar, desde una perspectiva de buena gobernanza, un elemento delicado: **la apariencia de independencia importa casi tanto como la independencia real**. Cuando el organismo investigador depende orgánicamente de un ministerio que, directa o indirectamente, forma parte del ecosistema regulador y decisor del sector, siempre queda un poso de sospecha: la idea —aunque no deba ser así— de que alguien podría ser juez y parte. Esa sospecha no se combate con discursos, sino con garantías: transparencia, trazabilidad, publicación íntegra de metodología, acceso a datos, y una pedagogía pública que explique por qué las conclusiones son las que son.

Por eso, hoy, cuando aún no existe un informe final respaldado por una cadena completa de evidencias, la posición más responsable —y, en realidad, la más exigente— es ésta: **esperar el dictamen técnico definitivo** sin renunciar a una convicción profunda. Que se investigue hasta el último detalle, que se proteja el método y que se respete a quienes lo ejecutan. Porque el ingeniero forense no trabaja para el aplauso ni para el titular; trabaja para que el sistema aprenda, para que la seguridad se fortalezca y para que, en adelante, la infraestructura que sostiene la vida cotidiana de millones de personas merezca plenamente el nombre de segura.

Cuando el foco se apaga, empieza lo importante. Y en ese silencio, si hacemos las cosas bien, se construye algo más que un informe: se construye **confianza**.

Domingo Villero Carro es Ingeniero Técnico Industrial, Doctor en Ingeniería Forense y vicepresidente del Consejo General de la Ingeniería Técnica Industrial de España (COGITI).



Henry Ford: el ingeniero que diseñó la fábrica del siglo XX con la introducción de la cadena de montaje móvil

Pocas figuras han influido tanto en la ingeniería industrial como Henry Ford. Ingeniero autodidacta, inventor y empresario, Ford transformó el automóvil en un producto de masas y revolucionó los sistemas de producción con la cadena de montaje móvil. Sus innovaciones no solo cambiaron la industria automovilística, sino que establecieron los principios de la manufactura moderna y redefinieron la relación entre tecnología, organización del trabajo y sociedad.

Mónica Ramírez

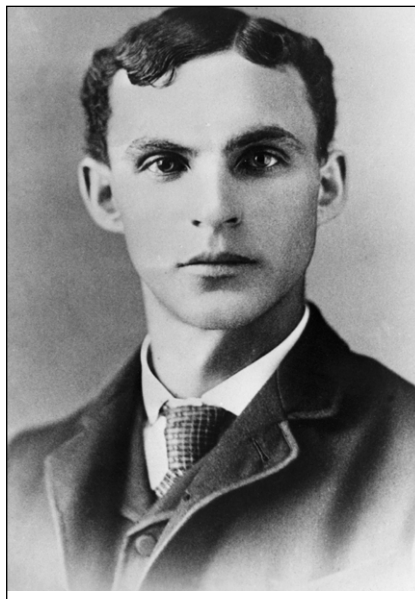
La historia de la ingeniería industrial moderna está profundamente ligada a la figura de Henry Ford. Nacido el 30 de julio de 1863 en Dearborn, Michigan, Ford fue mucho más que el fundador de Ford Motor Company. Ingeniero autodidacta, inventor y visionario industrial, fue el principal impulsor de un sistema de producción que transformó la industria mundial durante el siglo XX.

Ford registró más de 160 patentes en Estados Unidos y desarrolló innovaciones que redefinieron la fabricación industrial. Sin embargo, su contribución más influyente no fue un vehículo ni una máquina concreta, sino un sistema completo de organización industrial basado en la estandarización, la producción en masa y la optimización del trabajo.

Este modelo, conocido como “fordismo”, se convirtió en el paradigma industrial dominante durante décadas y sentó las bases de la ingeniería de producción moderna. Henry Ford no solo transformó el automóvil, también revolucionó la manera en que la ingeniería concebía la producción, demostrando que la verdadera innovación no está únicamente en la máquina, sino en el sistema que la hace posible.

La vocación mecánica de un ingeniero autodidacta

Henry Ford creció en una granja en las afueras de Detroit, en una familia de origen irlandés. Aunque su padre esperaba que continuara con la explotación agrícola familiar, desde muy joven Ford mostró una inclinación clara hacia la mecánica.



Henry Ford en 1888, con 25 años. Fuente: Dominio público, vía Wikimedia Commons.

Uno de los momentos decisivos de su infancia ocurrió cuando vio por primera vez una máquina de vapor utilizada para trabajos agrícolas. Aquella tecnología despertó en él una fascinación inmediata por los motores y los sistemas mecánicos.

Durante su adolescencia comenzó a desmontar relojes para comprender su funcionamiento. A los quince años ya tenía reputación en su comunidad como reparador de mecanismos de precisión. Aquella práctica temprana fue una auténtica escuela de ingeniería aplicada: engranajes, transmisiones, ajustes mecánicos y tolerancias.

A los 16 años abandonó la granja familiar y se trasladó a Detroit para trabajar como aprendiz de maquinista en talleres industriales. Allí

adquirió experiencia en procesos de fabricación, maquinaria y metalurgia.

En el plano personal, Henry Ford mantuvo una vida relativamente estable y discreta. En 1888 contrajo matrimonio con Clara Jane Bryant, hija de un agricultor del condado de Wayne, quien sería una figura clave de apoyo durante toda su trayectoria profesional. El matrimonio tuvo un único hijo, Edsel Bryant Ford, nacido en 1893, que más tarde se convertiría en presidente de Ford Motor Company y desempeñaría un papel importante en la evolución de la empresa durante el periodo de expansión internacional. A pesar de su intensa dedicación a la ingeniería y a los negocios, Ford mantuvo una fuerte vinculación con su familia y con su entorno en Dearborn, donde estableció su residencia en la finca de Fair Lane. Tras la muerte de Edsel en 1943, a causa de un cáncer de estómago, Ford retomó temporalmente el control de la compañía hasta que su nieto, Henry Ford II, asumió la dirección en 1945, garantizando así la continuidad familiar en la empresa.

Detroit: el laboratorio de un ingeniero industrial

En 1891 Ford ingresó como ingeniero en la Edison Illuminating Company de Detroit. Dos años después fue ascendido a ingeniero jefe, lo que le permitió dedicar tiempo y recursos a sus propios experimentos.

En ese entorno conoció a Thomas Edison, quien se convirtió en mentor y apoyo para sus investigaciones sobre motores de combustión interna. En 1893 Ford construyó su primer motor

de gasolina sobre una mesa de madera en su casa. A partir de ese prototipo desarrolló su primer vehículo experimental: el cuadríciclo, terminado en 1896.

El vehículo era extremadamente simple, con un chasis ligero, un motor pequeño y un sistema de transmisión básico. Sin embargo, representaba una idea radical: el automóvil podía diseñarse para ser simple, robusto y potencialmente fabricado en grandes cantidades.

Antes de alcanzar el éxito, Ford atravesó varios fracasos empresariales que resultaron decisivos para su evolución como ingeniero. En 1899 participó en la creación de la Detroit Automobile Company. El proyecto fracasó porque Ford dedicaba más tiempo a mejorar los prototipos que a fabricar vehículos comercializables.

Posteriormente fundó la Henry Ford Company, pero nuevamente surgieron conflictos con los inversores. Estos buscaban una producción inmediata, mientras Ford seguía centrado en el desarrollo técnico.

La empresa terminó reorganizándose bajo otro liderazgo y acabaría convirtiéndose en Cadillac. Estas experiencias enseñaron a Ford una lección fundamental: la ingeniería debía integrarse con la organización industrial y la producción eficiente.

El nacimiento de Ford Motor Company

En 1903, Ford fundó finalmente Ford Motor Company junto con once inversores y una inversión inicial de 28.000 dólares. Desde el principio, Ford entendió la importancia de demostrar la superioridad técnica de sus vehículos. Construyó coches de competición como el famoso Ford 999, que ganó diversas carreras y sirvió como herramienta de promoción tecnológica.

Estas victorias ayudaron a consolidar la reputación de la empresa y a atraer inversores y clientes. Pero el verdadero salto industrial llegaría con el desarrollo de un automóvil diseñado específicamente para el gran público.

El 1 de octubre de 1908 apareció en el mercado el Ford Modelo T, uno de los productos industriales más influyentes de la historia. Desde el punto de vista técnico, el vehículo incorporaba soluciones ingeniosas: motor de cuatro cilindros en un único bloque,



Henry Ford conduce su Cuadríciclo, en 1896. Fuente: Spooner & Wells, Inc. Dominio Público, via Wikimedia Commons.

transmisión cerrada, chasis robusto y flexible, suspensión mediante muelles semielípticos y diseño mecánico extremadamente sencillo.

Ford aplicó un principio clave de la ingeniería industrial, que consistía en simplificar el diseño para facilitar la fabricación. El Modelo T era fácil de conducir, resistente y sencillo de reparar. Pero su característica más revolucionaria fue su precio. Inicialmente costaba 825 dólares, una cifra que se reduciría progresivamente gracias a las mejoras productivas.

La revolución de la cadena de montaje

Sin embargo, el gran salto tecnológico no se produjo en el automóvil, sino en la fábrica. En 1913, en la planta de Highland Park, Ford introdujo la cadena de montaje móvil un sistema que transformaría para siempre la ingeniería de producción: el producto se movía a lo largo de la línea de fabricación mientras cada operario realizaba una tarea específica. De este modo, Ford incorporó a sus fábricas las cintas de ensamblaje móviles.

Este sistema permitió dividir el trabajo en operaciones simples, reducir desplazamientos innecesarios, aumentar la eficiencia, estandarizar componentes e incrementar la velocidad de producción.

El tiempo necesario para fabricar un automóvil pasó de más de 12 horas a aproximadamente 90 minutos. La

producción se disparó, y ya en 1914 se vendieron más de 250.000 unidades del Modelo T.

Fordismo: el origen de un modelo industrial

El sistema desarrollado por Ford dio origen al “fordismo”, un modelo industrial basado en la producción masiva y la estandarización. El fordismo se apoyaba en tres principios fundamentales: producción en masa, organización científica del trabajo e integración vertical de procesos industriales. Uno de los ejemplos más destacados de este enfoque fue el complejo industrial del River Rouge, en Michigan.

En esta gigantesca planta entraban materias primas como hierro y carbón, y salían automóviles completamente terminados. El complejo incluía acerías, fundiciones, talleres mecánicos y líneas de ensamblaje. Este nivel de integración representaba uno de los sistemas industriales más avanzados del mundo en su época.

Ford comprendió que la eficiencia industrial dependía también de la estabilidad de la fuerza laboral. En este sentido, en 1914 anunció una medida revolucionaria: un salario mínimo de cinco dólares diarios, más del doble de lo habitual en la industria. También introdujo la jornada laboral de ocho horas y posteriormente la semana laboral de cinco días y cuarenta horas.

Estas decisiones tenían un fuerte

componente estratégico, como mejorar la productividad, reducir la rotación laboral y crear una clase trabajadora capaz de consumir los productos que fabricaba.

Durante las décadas siguientes, Ford expandió su sistema productivo por todo el mundo. La empresa abrió fábricas en Reino Unido, Canadá, Alemania, Francia, Australia e India. En 1932 Ford producía aproximadamente un tercio de los automóviles del planeta.

El sistema fordista se convirtió en modelo de referencia para industrias de todo tipo, desde la producción textil hasta la electrónica. Ford también impulsó proyectos tecnológicos fuera de la industria automotriz. Durante la Primera Guerra Mundial participó en la fabricación de motores aeronáuticos y, posteriormente, desarrolló el Ford Trimotor, uno de los primeros aviones

comerciales de pasajeros. Este avión metálico podía transportar a doce pasajeros y representó un importante avance en la aviación civil de la década de 1920.

La continuidad del legado familiar

Henry Ford murió el 7 de abril de 1947 a los 83 años, a causa de una hemorragia cerebral. Su legado no fue únicamente el automóvil de producción masiva. Fue, sobre todo, el diseño de un sistema industrial completo basado en eficiencia, estandarización y organización científica.

El liderazgo de la compañía quedó en manos de su nieto Henry Ford II, quien había asumido la presidencia dos años antes, a la edad de 28 años. A diferencia de su abuelo, cuya figura estuvo profundamente ligada a la

ingeniería y a la innovación técnica, Henry Ford II no era ingeniero, sino un gestor empresarial. Su principal contribución fue reorganizar y modernizar Ford Motor Company en la posguerra, profesionalizando la dirección y adoptando nuevos métodos de gestión industrial y financiera. Gracias a esta transformación, la empresa pudo adaptarse a la compleja industria automovilística de la segunda mitad del siglo XX y consolidar el legado industrial iniciado por su abuelo.

Las fábricas modernas, la producción en serie y muchos de los principios de la ingeniería industrial actual siguen inspirándose en las ideas que Ford ayudó a desarrollar hace más de un siglo. En definitiva, Henry Ford no solo puso el mundo sobre ruedas: enseñó a la industria cómo fabricar el futuro.



Los trabajadores de la primera línea de montaje móvil ensamblaban magnetos y volantes para los automóviles Ford de 1913. Highland Park, Michigan. Fuente: Autor desconocido. Dominio Público, via Wikimedia Commons.

UAITIE impulsa su actividad institucional y refuerza su compromiso con la igualdad, la participación y el talento joven

Movilización nacional por el 11 de febrero para impulsar vocaciones STEM femeninas

Con motivo del Día Internacional de la Mujer y la Niña en la Ciencia, la UAITIE ha desarrollado una acción coordinada en todo el territorio nacional, implicando activamente a sus asociaciones territoriales en una iniciativa educativa dirigida a fomentar vocaciones STEM femeninas.

La actividad ha consistido en la realización de talleres y acciones divulgativas en centros educativos, acercando la ingeniería a estudiantes de distintas etapas formativas. Esta movilización conjunta ha permitido amplificar el impacto del mensaje, reforzando la importancia de la igualdad en el acceso a las profesiones técnicas.

La iniciativa pone de manifiesto la capacidad de la UAITIE para articular proyectos de alcance nacional, apoyándose en su estructura territorial y en la implicación de sus asociaciones, que desempeñan un papel fundamental en la difusión y ejecución de este tipo de actuaciones.

Vilanova i la Geltrú impulsa el talento femenino en la ingeniería.

La exposición "Mujeres Ingenieras de Éxito" ha hecho escala en Vilanova i la Geltrú, consolidándose como una herramienta eficaz para fomentar vocaciones STEM entre las jóvenes. La iniciativa, desarrollada en colaboración con entidades locales y educativas, ha puesto el foco en la visibilización del talento femenino en el ámbito de la ingeniería.

El acto inaugural, celebrado el pasado 19 de marzo en la Nave Panorámica del Museu del Ferrocarril de Catalunya, congregó a representantes institucionales, profesionales del sector y miembros de la comunidad educativa, consolidando este proyecto como una de las acciones más relevantes en el impulso de vocaciones STEM en nuestro país.

La participación de centros educativos ha permitido, además, facilitar el contacto directo del alumnado con trayectorias profesionales inspiradoras, reforzando el vínculo entre la ingeniería y la comunidad educativa.

La Junta General Ordinaria celebrada en Madrid refuerza la estrategia institucional

El pasado 27 de marzo, la UAITIE celebró su Junta General Ordinaria en Madrid, un encuentro clave para el desarrollo de su hoja de ruta institucional. Durante la sesión se



Imagen de la campaña del Día Internacional de la Mujer y la Niña en la Ciencia.



Desarrollo de la Junta General Ordinaria 2026 celebrada en Madrid.

abordaron los principales ejes estratégicos de la organización, centrados en el fortalecimiento del asociacionismo, la mejora de los servicios al colectivo y la proyección social de la ingeniería.

Entre los asuntos tratados destacaron la aprobación de las líneas de actuación para el presente ejercicio, el seguimiento del plan estratégico y el impulso de iniciativas orientadas a incrementar la visibilidad de la profesión.

Asimismo, se puso en valor la importancia de la coordinación entre las asociaciones territoriales como elemento esencial para consolidar el crecimiento y la cohesión de la organización.

Este foro reafirma el papel de la Junta General como órgano de participación y decisión, donde se definen las prioridades que guiarán la actividad de la UAITIE en los próximos meses.

El XI Premio Nacional de Iniciación a la Investigación Tecnológica consolida su crecimiento y alcance estatal

La UAITIE ha cerrado la convocatoria de la XI edición del Premio Nacional de Iniciación a la Investigación Tecnológica con un total de 40 proyectos presentados, una de las cifras más elevadas registradas desde la creación del certamen.

Este dato supone un crecimiento acumulado cercano al 90 % en los dos últimos



Autoridades, profesionales y representantes institucionales durante el acto inaugural de la Exposición Mujeres Ingenieras de Éxito, en Vilanova i la Geltrú.



Panorámica de la sesión de la Junta General Ordinaria.



Distribución territorial de los proyectos presentados en la XI edición del Premio Nacional de Iniciación a la Investigación Tecnológica de UAITIE.

años, reflejo de la creciente implantación y proyección del Premio en el conjunto del territorio nacional y de su consolidación como una de las principales iniciativas impulsadas por UAITIE para fomentar las vocaciones STEM en edades tempranas.

La convocatoria ha contado con representación de once comunidades autónomas, reflejo del creciente alcance territorial del Premio y de su progresiva implantación en el ámbito educativo nacional. Los trabajos presentados abarcan las distintas categorías establecidas en las bases del concurso: Educación Secundaria Obligatoria, Bachillerato, Ciclos Formativos de Grado Medio y Ciclos Formativos de Grado Superior.

Una vez cerrado el plazo de presentación, el jurado iniciará el proceso de evaluación de las propuestas recibidas. Los trabajos ganadores se darán a conocer en el acto institucional de entrega de premios, previsto para el próximo mes de junio.

El frenado en los vehículos ferroviarios. Teoría y práctica

José Luis Arques Patón
Editorial Garceta. 396 págs.
ISBN: 978-84-1903-476-2



El libro muestra una amplia y detallada visión del mundo del frenado ferroviario, su evolución, los retos que se ha ido encontrando a medida que los vehículos aumentaban su velocidad y los avances para conseguir que el frenado de los vehículos sea en su conjunto un sistema cada vez más seguro y eficiente.

El contenido del libro se desglosa en nueve capítulos, en los que se describen los diferentes tipos de vehículos y se enumeran los requisitos que debe cumplir el subsistema de frenado de todo vehículo ferroviario, y los aspectos relativos a la dinámica del vehículo ferroviario durante el frenado, con especial atención a la naturaleza de las distintas fuerzas externas que actúan durante su movimiento. También se analiza la importancia de la adherencia rueda-carril, los factores que la afectan y los dispositivos de control utilizados en la práctica, entre otros contenidos específicos.

RAT. 2025. Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en Instalaciones Eléctricas de Alta Tensión

Editorial Garceta. 298 págs.
ISBN: 978-84-1903-496-0

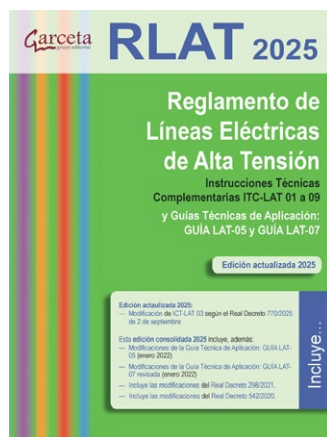


Novedades de la edición 2025: modificaciones de la ITC-RAT 02 según el Resolución de 18 de septiembre de 2025 de la Dirección General de Estrategia Industrial y de la Pequeña y Mediana Empresa, por la que se actualiza el listado de normas de la ITC RAT-02, y modificaciones de la ITC-RAT 21 según el Real Decreto 770/2025 de 2 de septiembre.

El Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en Instalaciones Eléctricas de Alta Tensión, Real Decreto 337 de 9 de mayo, establece los requisitos técnicos y administrativos aplicables a centrales eléctricas, subestaciones y centros de transformación, para garantizar un alto nivel de seguridad para las personas y una elevada calidad del suministro eléctrico. Todo ello, de acuerdo con los principios de equilibrio y respeto con la naturaleza y el medio ambiente.

RLAT 2025. Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en Líneas Eléctricas de Alta Tensión

Editorial Garceta. 320 págs.
ISBN: 978-84-1903-497-7



El Novedades de la edición 2025: modificaciones de la ITC-LAT 03 publicadas por el Real Decreto 770/2025 de 2 de septiembre. El Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en Líneas Eléctricas de Alta Tensión, y sus instrucciones técnicas complementarias ITC-LAT 01 a 09, fue promulgado por el Real Decreto 223/2008, de 15 de febrero.

Este Reglamento establece los requisitos técnicos y administrativos necesarios para adaptar las líneas eléctricas de alta tensión al crecimiento del consumo eléctrico, garantizando un

alto nivel de seguridad para las personas, así como la fiabilidad y calidad en el suministro eléctrico. En este libro se recoge toda la información normativa vigente referente a Líneas Eléctricas de Alta Tensión, de forma que se facilite su consulta a los profesionales del sector.

Los colegiados/as de algún Colegio de Graduados e Ingenieros Técnicos Industriales disponen de un **descuento del 15%** en los libros de la **Editorial GARCETA** (www.garceta.es) durante todo 2026, y los gastos de envío son gratuitos. Para ello, deben acceder a la página web de la editorial e introducir el código **COGITI2026** cuando se vaya a realizar la compra del ejemplar.

Colección de 150 prácticas de instalaciones eléctricas automatizadas realizadas con Cade_Simu comentadas

José García Terrés
Editorial Caligrama. 640 págs.
ISBN-13: 9788419267030



El autor del libro, que consta de dos partes, es Ingeniero Técnico Industrial (electricidad). En la primera parte hay 100 esquemas de montaje (potencia y maniobra) de instalaciones básicas, algunas con diferentes variantes. La segunda parte consta de 50 esquemas (potencia y mando) de aplicaciones prácticas a instalaciones reales (semáforos, puertas automáticas, riego automático, grúas, etc.). En ambos casos hay un comentario del funcionamiento, ecuaciones lógicas y un presupuesto de las instalaciones para su montaje en taller. Se puede simular su funcionamiento con el programa de Cade_Simu. El libro está disponible en LibrosCC, www.libros.cc (plataforma online de venta de libros).

➤ *Campus Virtual: Oferta formativa - Selección de cursos*

Formas jurídicas y fiscalidad.

MS Project.

Inventor 2020. Diseño Paramétrico e Iniciador al Análisis De Tensiones.

Planes de Autoproyección.

Realización de Expedientes de Marcado CE de maquinaria y productos de construcción.

Automatismos eléctricos industriales. Elementos y simulación práctica.

Autómatas programables PLC en aplicaciones de automatización industrial.

Eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior.

Experto en gestión y negociación de contratos de energía.

Electricidad industrial.

Proyectos de reforma y completado de vehículos.

Diseño de la infraestructura de recarga del Vehículo Eléctrico según la ITC 52 del REBT.

Esto es tan sólo una muestra del catálogo de cursos técnicos que encontrará en nuestra Plataforma online. Los cursos son constantemente renovados y adaptados a las necesidades actuales.

www.ingenierosformacion.com

Convocatoria 2026

V Edición

Premio Fundación Técnica Industrial

Innovación tecnológica empresarial
y sostenibilidad



Participa hasta el
30 de septiembre de 2026

*Reconociendo proyectos
que impulsan el futuro de la ingeniería*

Consulta las bases:

www.fundaciontindustrial.es