LA APLICACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS 4.0 OPTIMIZA LOS PROCESOS DE MANTENIMIENTO FERROVIARIO

Comunicación Adif

El mantenimiento de la infraestructura mira a lo digital

Adif

▸ Cada tipo de infraestructura tiene unos procesos de mantenimiento adecuados a sus características y con tecnologías específicas.

La transformación digital impregna ya todos los sectores económicos y también los distintos ámbitos de la vida social. El ferrocarril no puede quedar fuera de este salto tecnológico. Aunque de forma más tardía que en los sectores de automoción y aeronáutica, las nuevas tecnologías de la industria 4.0 están probándose en proyectos que pueden reducir la brecha digital existente en los procesos de mantenimiento y de gestión de la infraestructura. Adif, en colaboración con empresas de base tecnológica, está desarrollando proyectos nacionales e internacionales enfocados a alcanzar un mantenimiento inteligente de las infraestructuras ferroviarias.

Adif y Adif Alta Velocidad gestionan una red ferroviaria de más de 15.500 km, entre líneas convencionales y de Alta Velocidad. El mantenimiento de esta extensa red que garantiza la movilidad de los ciudadanos y la cohesión territorial es una de las tareas más importantes encomendadas al administrador ferroviario. Como corresponde a su posición de vanguardia en el sector, Adif lleva años experimentando con las nuevas tecnologías para aplicarlas al ámbito del mantenimiento de la infraestructura ferroviaria, una actividad que sin duda se potenciará en el futuro dada la constante evolución de las nuevas tecnologías de la industria 4.0. La introducción de la digitalización en el mantenimiento del ferrocarril es un gran salto que requiere una intensa actividad de I+D.

El mantenimiento es un concepto muy amplio, una abstracción que se concreta en la forma de procedimientos muy complejos y costosos, tanto más cuanto mayor es el grado de prestaciones de la infraestructura. No es lo mismo mantener una línea de alta velocidad que una de cercanías o un tramo de ancho métrico, por ejemplo. Cada tipo de infraestructura tiene unos procesos de mantenimiento adecuados a sus características y con tecnologías específicas.

“El mejor rendimiento de la infraestructura se obtiene con estrategias asociadas a un mantenimiento predictivo o basado en la condición.

No obstante, puede afirmarse en términos generales que Adif ha mejorado notablemente sus estrategias de mantenimiento, evitando en todo lo posible el mantenimiento de tipo correctivo, aquel que se realiza tras producirse una avería, que tiene como objetivo reparar el fallo para restablecer el servicio.

El mantenimiento que suele aplicarse en la actualidad es un mantenimiento preventivo periódico (o TBM), que tiene por finalidad adelantarse a la avería actuando sobre el propio componente de la infraestructura, siempre respetando un plan de mantenimiento preestablecido con el fabricante del componente.

Sin embargo, el mejor rendimiento de la infraestructura se obtiene con estrategias asociadas a un mantenimiento predictivo o basado en la condición (CBM). Este mantenimiento se fundamenta en el uso de herramientas con el fin de adquirir información del deterioro de los elementos y crear una base de conocimientos que permita inferir riesgos de fallo, y desarrollar estrategias que permitan decidir el momento indicado para realizar la intervención. Este proceso monitorizado tiene como objetivo disponer de la máxima cantidad de datos. El mantenimiento predictivo es el ámbito en el que la inclusión de nuevas tecnologías tiene un mayor recorrido futuro por las prestaciones que ofrecen. Se trata de pasar de un conocimiento resultado de la observación directa al uso de herramientas de captación y análisis basadas en tecnologías digitales.

Un cambio de modelo impulsado por múltiples tecnologías

Este cambio de modelo hacia un mantenimiento predictivo (o inteligente) viene dado por las nuevas necesidades del ferrocarril del siglo XXI. No solo se trata de incorporar tecnología a la infraestructura para

mejorar su mantenimiento, sino de utilizar las tecnologías disponibles para adquirir y explotar toda la información relevante que permita mantener la infraestructura en las mejores condiciones posibles y con el menor coste. Y junto a ello es fundamental un cambio de mentalidad en las organizaciones que conceda más importancia al dato como fuente y origen del proceso.

Adif está adentrándose en el mantenimiento inteligente de la mano de un elenco de tecnologías en las que lleva tiempo investigando: almacenamiento de energía, *big data*, computación en la nube, conectividad 5.0, drones, satélites, inteligencia artificial, internet de las cosas, sensores de última generación, *machine learning*... Estas tecnologías, correctamente combinadas, permiten llevar a cabo tres procesos diferenciados: adquisición de la información, tratamiento de la información y toma de decisiones y actuación.

Entre los proyectos de Adif más avanzados en este campo se encuentran los explicados a continuación.

Tunnel Curiosity

Este proyecto, que se encuentra ya en fase de transferencia tecnológica para su aplicación a corto y medio plazo, tiene como objetivo el desarrollo de un vehículo no tripulado de inspección automatizada para túneles ferroviarios. Por sus propias características constructivas, el mantenimiento del túnel y de los elementos que lo conforman es una de las operaciones más complejas en la fase de explotación de una línea ferroviaria. Se trata de zonas confinadas que no permiten compatibilizar los trabajos de mantenimiento con la circulación de trenes, por lo que las bandas de mantenimiento -es decir, el tiempo dedicado a las actividades diarias de conservación y mantenimiento de las infraestructuras- son muy reducidas, sobre todo en el caso de líneas con alta densidad de tráfico. La problemática para el mantenimiento de los túneles es aún más compleja en el caso de los de mayor longitud. La red ferroviaria española cuenta con 1.697 túneles, que suponen aproximadamente el 6,2% de la longitud total. Además, unos 170 disponen de una longitud superior a un kilómetro. España tiene en explotación comercial el sexto túnel de mayor longitud de Europa y el noveno del mundo, el túnel de Guadarrama, con 28 km de longitud.

Dadas estas limitaciones, lo habitual es realizar inspecciones de tipo manual que implican el recorrido a pie de todo el túnel por parte del personal de mantenimiento. En el caso de Adif y Adif Alta Velocidad, se emplean puntualmente vehículos especiales según la naturaleza de los trabajos que hay que desarrollar, si bien no existe de manera específica un tipo de vehículo especializado para este fin.

▸ El vehículo desarrollado por Tunnel Curiosity reduce el mantenimiento correctivo de los túneles en un 15%.

> **El proyecto Tunnel Curiosity ha dado lugar a un vehículo para inspección de túneles que reduce la inspección manual y mejora la toma de datos.**

Por estos motivos, hace unos años Adif comenzó a evaluar qué características debería reunir un vehículo específico para la inspección de túneles, que permitiera adquirir información de la mejor manera posible, reduciendo la inspección manual y mejorando la toma de datos.

Este es el origen del proyecto Tunnel Curiosity, desarrollado por un consorcio que integra a cuatro grandes empresas –Adif, Alstom como líder del consorcio, Ferrovial y Vías- y dos pymes -Tinámica e Insitu-, con el apoyo de tres organismos de investigación: la Universidad Politécnica de Valencia, la

Universidad de Vigo y el Centro de Estudios e Investigaciones Técnicas de Guipúzcoa. El proyecto fue presentado a la convocatoria del programa nacional Innterconecta 2015 del Centro para el Desarrollo Tecnológico e Industrial (CDTI), con un presupuesto de 3,3 millones de euros, y obtuvo la concesión de un incentivo en forma de ayuda Feder de 2,6 millones de euros.

El proyecto ha dado lugar al desarrollo del prototipo Tunnel Curiosity, que se ha validado con ensayos en la base de mantenimiento de Adif en Olmedo (Valladolid), en los túneles de Archidona y Quejigares (en la línea de Alta Velocidad Antequera-Granada) y en los túneles urbanos de Madrid (entre Atocha y Chamartín). Este prototipo de vehículo de inspección de túneles ferroviarios es bivial, dado que está dotado de ruedas neumáticas para circulación por carretera y ruedas de acero con pestaña para circulación por vía, para una mayor flexibilidad de uso, y no es invasivo para las instalaciones. Su dotación integra todas aquellas tecnologías que permitan inspeccionar al mismo tiempo diferentes subsistemas del túnel: tecnologías ópticas de sensorización como lidar, cámaras termográficas, cámaras 360, sistemas de inspección del perfil del carril con medida de la dispersión del flujo magnético, etc. Además, el vehículo posibilita la operación opcional sin conductor, algo especialmente interesante en túneles de gran longitud (túneles de base), en los que el vehículo puede operar de manera autónoma entre el portal de entrada y de salida sin tener apenas que movilizar a operarios.

De este modo, el vehículo puede ser empleado en las operaciones de mantenimiento y permitir la detección de patologías propias del túnel (fisuras, humedades, filtraciones,

EL EFECTO TRACTOR DE LA INNOVACIÓN EN ADIF

La introducción de innovaciones en la infraestructura ferroviaria no es un proceso sencillo. Dado que pueden existir condicionantes de seguridad y de disponibilidad de operativa, esta introducción debe realizarse de manera pausada y habiendo desarrollado previamente un proceso de validación completo. En el período 2018-2020, en el que se ha redefinido la nueva estrategia de innovación de Adif, se han desarrollado proyectos con cámaras dotadas de visión artificial orientadas al reconocimiento de patrones diversos de la infraestructura (por ejemplo, existencia de obstáculos en la vía), así como proyectos que, muy focalizados en la parte de adquisición de la información, han tenido como objetivo la prueba de nuevos sistemas de sensorizado. En este ámbito, destaca el uso de la fibra óptica tendida en las canalizaciones de cables de las líneas ferroviarias como sensor distribuido, que permite la detección y la adquisición de información para múltiples aplicaciones. Asimismo, se han desarrollado redes de sensores concentradas en puntos específicos de la línea, que se comunican mediante protocolo *wireless* con un nodo central para el reporte de información y la emisión de alarmas.

Recientemente se ha finalizado un proyecto orientado al empleo de un satélite para la observación periódica de la infraestructura, que permite identificar, en su caso, posibles variaciones en la evolución de determinados parámetros. Por ejemplo, el asentamiento de determinados puntos del terreno o la propagación de vegetación en el entorno de la vía.

Estos proyectos son el fruto de la colaboración con agentes externos del sector. Y es que nadie innova solo, y menos aún en el sector ferroviario. De hecho, Adif es un motor de la innovación que dinamiza la tecnología y la industria españolas. Universidades, centros tecnológicos y de investigación, empresas de todo tipo son socios habituales de Adif en proyectos consorciales, o bien colaboran de formas diversas. El efecto tractor de la innovación en Adif es muy relevante. Durante estos años, Adif ha invertido 41 millones de euros en innovación, 11 de los cuales corresponden a proyectos en colaboración con entidades públicas y privadas. La inversión del sector ha sido de 224 millones de euros, de lo que se deduce que por cada euro invertido por Adif, el sector ha invertido 20.

La manera que tiene Adif de relacionarse con el sector para producir este efecto es determinante para su eficacia. No solo hay que innovar en tecnología, sino también en la manera de vincular las necesidades tecnológicas del ferrocarril con la capacidad de los sectores para aportar soluciones válidas. Adif lo ha resuelto identificando dichas necesidades y planteándolas como retos de innovación, que presenta a tecnólogos e industriales como desafíos a su propia capacidad, de modo que estimula la generación de tecnologías tanto como la activación de los mecanismos industriales para ofrecer soluciones en forma de propuestas que finalmente se plasman en una Compra Pública Innovadora. En el área de mantenimiento, la estrategia de Adif incluye dos retos específicos de digitalización: reducir riesgos en la explotación mediante la introducción del mantenimiento predictivo inteligente y digitalizar los procesos productivos mediante la inspección automática de la infraestructura.

etc.), la inspección del estado de la vía -principalmente de los carriles de rodadura- y de la línea aérea de contacto, así como el reconocimiento de distintos aspectos operativos (gálibo, estado de las puertas de emergencia, etc.) y de otros elementos auxiliares (luminarias, señalización lateral fija y luminosa, etc.). El gran volumen de información recopilada por los sistemas se somete a un tratamiento holístico con herramientas especializadas para este tipo de procesos, lo que redunda en un mejor diagnóstico de las posibles patologías.

Entre las ventajas que puede aportar el proyecto se encuentran las siguientes:

- Reducir el mantenimiento correctivo de los túneles en un 15%, gracias a la detección temprana de las necesidades.
- Reducir el tiempo de inspección de las distintas variables en un 80%.
- Reducir el tiempo de toma de decisiones sobre acciones preventivas/correctivas en elementos inspeccionados en un 35% y aumentar la calidad de dicha toma de decisiones, optimizando los recursos económicos dedicados a la conservación de los túneles.
- Garantizar la seguridad del tráfico en túneles ferroviarios y en los procesos de inspección.
- Mejorar la fiabilidad en el diagnóstico de patologías en túneles, gracias a la combinación simultánea de varias técnicas de medida no destructivas. Esta combinación permite depurar las diferentes hipótesis que plantee cada técnica de medida de manera independiente.

Transforming Transport

El objetivo general del proyecto Transforming Transport ha sido demostrar de una forma real, medible y comprobable, la utilidad que el procesamiento de grandes volúmenes de datos puede tener en los sectores de transporte y logística. Se trata de un proyecto colaborativo, con un presupuesto final de 19 millones de euros y desarrollado al amparo del Programa Horizon 2000 de la Unión Europea. El consorcio que lo ha impulsado está formado por 49 empresas pertenecientes a los distintos ámbitos del transporte y la logística europea y lideradas por Indra, y ha recibido una ayuda económica de 15 millones de euros.

“*Big data*, computación en la nube, drones, inteligencia artificial, internet de las cosas... son algunas de las tecnologías aplicables al mantenimiento.

Adif

El intento de comprobar el potencial de las tecnologías de *big data* se ha llevado a cabo mediante 13 pilotos distribuidos por Europa. De ellos, dos pilotos están centrados en el ámbito del mantenimiento proactivo de la infraestructura ferroviaria y se han realizado en sendos tramos de ensayo en España y Reino Unido. El piloto español lo han desarrollado Adif, Ferrovial, Indra y el Centro de Innovación de Infraestructuras Inteligentes.

Adif participó con el objetivo específico de analizar la aplicación del procesamiento masivo de datos en el mantenimiento predictivo de la vía y los desvíos. El trabajo de investigación, realizado en la Línea de Alta Velocidad Córdoba-Málaga, consistió en analizar cómo diferentes variables identificadas (y sin relación aparente) pueden influir en el mantenimiento de estos elementos. Partiendo de diferentes modalidades de datos heterogéneos (datos del estado técnico, de planificación de los trabajos de mantenimiento, de información meteorológica, de las características del tráfico, etc.), se aplicaron técnicas *big data* para predecir el comportamiento dinámico y geométrico de una vía y la evo-

▸ Los datos de auscultación del Séneca, entre otros, se usaron en la investigación en la LAV Córdoba-Málaga para el proyecto Transforming Transport.

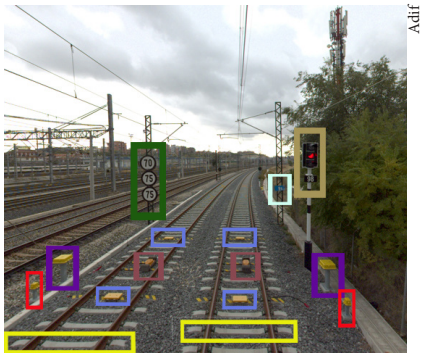
lución de las posibles incidencias futuras.

En este trabajo, Adif utilizó todos los datos de infraestructura disponibles: las series históricas de la meteorología en el tramo, los datos de auscultación del tramo del tren laboratorio Séneca, etc. El uso de todos estos datos históricos a gran escala de la explotación de un tramo ferroviario permitió identificar las variables que tienen impacto en el mantenimiento y en las prestaciones futuras de la infraestructura.

Sentinel

El proyecto Sentinel, conducido por un consorcio del que forman parte Adif, Ferrovial (como líder), Alstom e Insitu, buscaba desarrollar un nuevo prototipo de sistema inteligente de gestión de infraestructuras ferroviarias mediante el uso de datos masivos estructurados para optimizar las operaciones de mantenimiento . Con este fin se integró en vehículos de mantenimiento un dispositivo de captura de datos que alimentaba una base de datos relacionada con un sistema de información geográfica. Así se conseguía realizar un inventario automático o semiautomático de los activos ferroviarios, al mismo tiempo que se interpretaban y caracterizaban los elementos de la vía.

Este inventario de activos automatizado permite conformar una panorámica rápida, dinámica y conjunta de todas las infraestructuras y elementos de la red: carril, tirafondos, traviesas, balizas, señales, etc. Las características del sistema son la continuidad y la precisión, de modo que la actualización constante del inventario posibilita el análisis y el seguimiento de la evolución de los elementos de la infraestructura. Así se pueden predecir cambios, fallos o situa-



Adif

▸ Con Sentinel se consigue realizar un inventario gracias a sus posibilidades de identificación de activos.

ciones de emergencia, y llevar un seguimiento de la inspección y el mantenimiento digital.

Para el desarrollo de Sentinel se han utilizado las siguientes tecnologías 4.0: *big data, machine learning,* inteligencia y visión artificial, modelizado y simulación, GNSS europeo y satélites. El sistema ya es un producto precomercial, en fase de prueba de prototipo para su aplicación a la explotación a medio plazo. El proyecto tuvo un presupuesto de 1,5 millones de euros, la mayor parte de los cuales (1,2 millones) fue financiada con cargo a los fondos Feder a través del programa Interconnecta 2016.

Las pruebas de validación del prototipo se han realizado entre Madrid-Chamartín y Torrejón de Velasco, parte de la conexión de las líneas de alta velocidad del norte y el sur peninsular, todavía en construcción. Consistieron en integrar en un vehículo de mantenimiento sistemas diversos (lidar, GPS, cámaras y grabadores de alta precisión e iluminación...) y digitalizar esta nueva infraestructura circulando a 80 km/h.

Lidar

La experimentación de Adif con las tecnologías asociadas a los sistemas lidar (emisión de un haz láser para determinar la distancia a un objeto) ha consistido en digitalizar la infraestructura de la línea Cercedilla-Cotos, de 18 kilómetros de longitud.

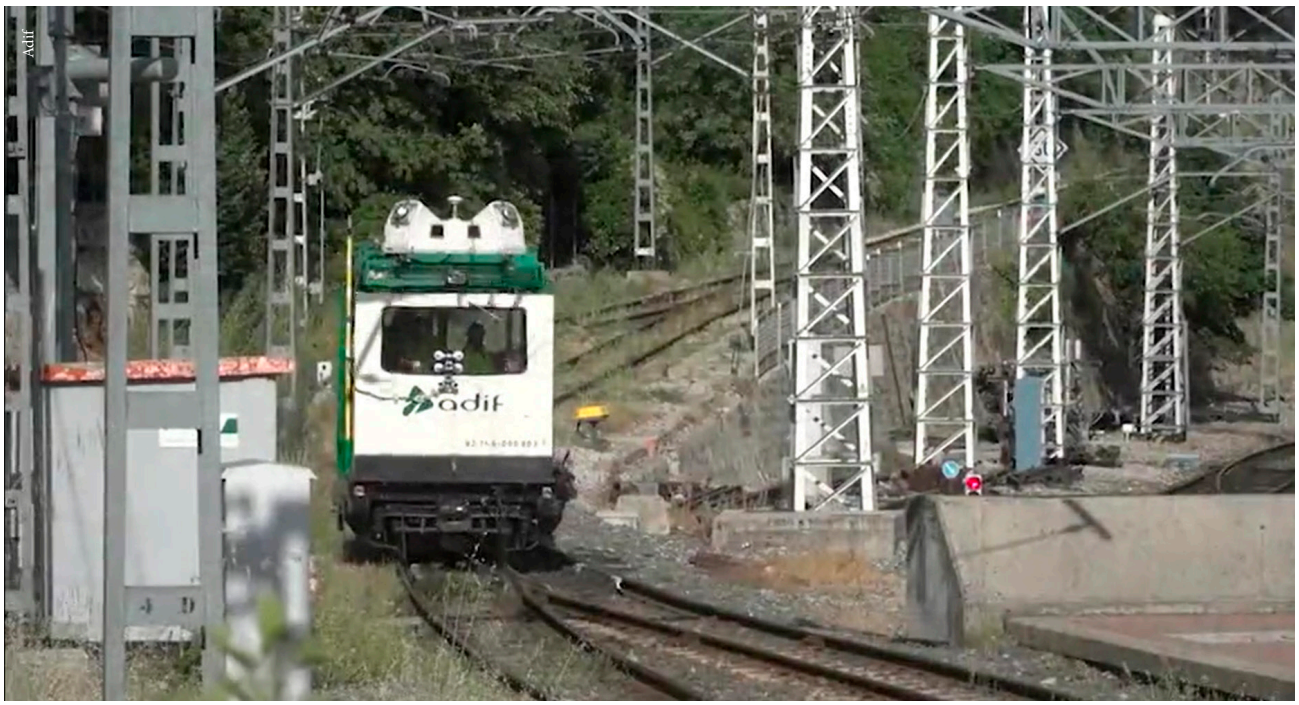
La tecnología lidar tiene una aplicación práctica de extrema importancia como herramienta fundamental de la digitalización de la información de la infraestructura ferroviaria. El punto de partida del proyecto era llevar a cabo la digitalización de una línea con una adquisición de datos única y un análisis posterior, según necesidades, en una única plataforma de gestión. De este modo, se obtuvo una geometría 3D e imágenes de vía a partir del escaneo dinámico mediante la tecnología denominada *mobile mapping system* y se consiguió inventariar los elementos de la infraestructura a partir de la información escaneada. El fin último de todo el proceso era mejorar la gestión de los activos ferroviarios, particularmente con la medición de gálibos y la comparación contra un patrón de referencia, además de obtener la constatación de la validez del contorno de referencia del gálibo.

Artificial Intelligence for Remote Monitoring (AI-RMonitoring)

Este proyecto lo desarrollan en el seno de la Unión Internacional de Ferrocarriles (UIC, por sus siglas en francés) diversos administradores ferroviarios europeos: Adif, Infraestructuras de Portugal, SNCF y BaneNOR, con un presupuesto de 0,3 millones de euros, cofinanciado por todos los miembros de forma proporcional a su cuota en la UIC.

Sus objetivos principales apuntan en tres direcciones. En primer lugar, busca mejorar la eficiencia del ferrocarril actual aplicando e introduciendo las tecnologías de internet de las cosas e inteligencia artificial. La segunda línea se refiere a facilitar a los administradores

▸ Adif ha utilizado tecnologías lidar para digitalizar la infraestructura de la línea Cercedilla-Cotos.



la gestión de sus activos mediante una monitorización remota eficaz, con el fin de pasar de los ciclos de mantenimiento preventivo *in situ* a la supervisión remota de la disponibilidad de los activos y reducir así las operaciones de mantenimiento. Por último, la tercera línea apunta a la monitorización remota con almacenamiento de datos de las señales de los sensores y un tratamiento de inteligencia artificial de estas señales, que serán esenciales para establecer nuevas reglas y patrones que impulsen el mantenimiento predictivo.

Con este planteamiento, el objetivo último del proyecto es permitir un seguimiento continuo de los activos existentes y poder extraer en tiempo real información útil para reducir su indisponibilidad, aumentar la sensibilidad dinámica de los activos existente en algunos casos para evitar falsas alarmas, monitorizar los datos útiles, almacenar toda la información contextual para un postanálisis de mantenimiento predictivo, y enviar información útil para la operación y el mantenimiento en tiempo real.

El resultado del proyecto permitirá a los miembros de la UIC contar con guías de referencia para el uso de estas nuevas tecnologías y con recomendaciones para su instalación progresiva y su aplicación al mantenimiento predictivo de la infraestructura.

▸ El uso de drones y tecnología 5G evita el desplazamiento de personal y permite observar lugares inaccesibles.

La aportación del 5G: los drones al servicio del mantenimiento ferroviario

Las aplicaciones de mantenimiento predictivo tienen un gran aliado en las redes 5G, que ofrecen importantes ventajas como la baja latencia y la alta capacidad. Un ejemplo reciente de lo que estas redes pueden aportar es el proyecto desarrollado por Adif junto a Telefónica, Ineco y Huawei, consistente en el uso de drones, en combinación con la tecnología 5G, para facilitar y mejorar las tareas de inspección y mantenimiento ferroviario mediante su digitalización. Esta iniciativa, que ha finalizado recientemente, fue una de las elegidas en la primera convocatoria de ayudas al desarrollo de pilotos 5G convocada por el Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital, a través de Red.es.

El proyecto ha consistido en la utilización de un dron para la inspección de determinados activos de la infraestructura, como taludes y estructuras. Así, en el marco del piloto, un dron pilotado en remoto y equipado con cámaras de alta resolución ha recogido imágenes de las vías de Adif a su paso por las localidades de Barra do Miño (Ourense), Os Peares (Ourense) y Filgueira (Pontevedra), y las ha transmitido en tiempo real gracias a las características de la nueva tecnología 5G. Además, las imágenes se han procesado con inteligencia artificial, lo que permite la automatización de la inspección de la vía.

Para el desarrollo del caso de uso se ha desplegado cobertura 5G en dos trayectos de unos 10 km cada uno (Monforte de Lemos-Ourense y Ourense-Guillarei), y se ha equipado un dron con conectividad 5G y varias cámaras: una de visión 360 grados, otra para la inspección con resolución 4K y un potente zoom, y una tercera para el pilotaje remoto BVLOS (Beyond Visual Line Of Sight).

La baja latencia y el alto ancho de banda que proporciona el 5G son fundamentales para obtener una respuesta inmediata en el control remoto del dron, así como para el envío de flujos de vídeo de alta calidad. Además, el algoritmo de inteligencia artificial es capaz de detectar diferentes elementos de la vía registrando su posición.

La inspección remota y en tiempo real que permite la tecnología 5G posibilita la reducción de costes al no tener que desplazarse el personal técnico, permite la observación de lugares inaccesibles y proporciona información adicional a la de una inspección visual, al tiempo que agiliza la toma de decisiones y la rapidez de actuación en caso de imprevistos. ■