

I+D+I Inspección + De túneles + Inteligente

Un consorcio de empresas, entre ellas Adif, ha desarrollado con éxito un prototipo de vehículo no tripulado de inspección automatizada de túneles ferroviarios que, basado en la integración de tecnologías y la inteligencia artificial, mejora la fiabilidad de las inspecciones manuales y optimiza el mantenimiento de estas infraestructuras críticas, contribuyendo así a una mayor seguridad del tráfico. El prototipo es la culminación del proyecto Tunnel Curiosity, una de las primeras soluciones del I+D+i español dentro del proceso de transformación digital que vive el sistema ferroviario global.

La Red Ferroviaria de Interés General del Estado que administran Adif y Adif Alta Velocidad tiene un total de 1.648 túneles que suman unos 884 kilómetros (el 5,7% de la red). Como elemento crítico de esta red, dado que la falta de operatividad de uno solo puede dejar sin servicio un tramo completo de una línea, los túneles son los elementos de paso que requieren la máxima atención desde el punto de vista de la seguridad, tanto de la estructura como del correcto funcionamiento de sus instalaciones. Por ello, en el marco de los trabajos de mantenimiento preventivo de la red, uno de los cometidos de los administradores de infraestructuras ferroviarias es llevar a cabo de forma periódica inspecciones de los túneles, y de todos los elementos que los componen, para garantizar tanto su seguridad como su nivel de servicio y, en definitiva, la operatividad de toda la línea.

Este tipo de inspecciones, pese a que se han modernizado con la aparición de nuevas tecnologías de robotización, tienen un bajo grado de automatización y dependen en gran medida del factor humano. Las

lleva a cabo personal de mantenimiento que recorre el túnel a pie, realizando las mediciones con dispositivos manuales –la validez de las calibraciones de estos equipos que rápidamente tienen que ser montados sobre la vía no es fiable de una inspección a otra–, con el apoyo puntual de vehículos especiales. El tratamiento de la información obtenida con las tecnologías actuales es lento, lo que retrasa en gran medida la toma de decisiones sobre las acciones de mantenimiento, y además se gestiona de forma fragmentada al inspeccionarse los elementos de forma individual, lo que reduce la eficacia.

Objetivos del proyecto

Ante lo que consideran «una necesidad existente en la inspección rápida y mantenimiento predictivo de túneles», se agruparon en 2015 un grupo de empresas en un consorcio con objeto de dar una respuesta innovadora que mejore la eficiencia de las inspecciones. El consorcio reúne a seis socios

Proyecto de vehículo no tripulado para el mantenimiento preventivo de subterráneos ferroviarios



► Prototipo del proyecto Tunnel Curiosity desplegado sobre el terreno.

(las empresas Alstom Transporte –líder–, Vías y Construcciones, Ferroviaria Agromán, Adif, Ingeniería Insitu y Tinámica) y tres centros de investigación (Centro Tecnológico CEIT-IK4 y las universidades de Vigo y Politécnica de Valencia), y el proyecto de I+D que desarrollan, bautizado como Tunnel Curiosity, ha sido financiado con 1,5 M€ (de un total 3,3 M€) por el Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI) y por la Unión Europea a través del programa Feder Interconnecta. El proyecto se enmarca en la apuesta por la automatización de los procesos de inspección para túneles de la UE realizada por Shift2Rail –la iniciativa europea de I+D+i para el desarrollo del ferrocarril del futuro–, que ha sido asumida y es potenciada por Adif y, en general, por la mayor parte de los administradores ferroviarios europeos.

El proyecto ha consistido en el desarrollo de un vehículo no tripulado de inspección automatizada de túneles que integra un sistema embarcado de inspección y captación de datos y un sistema de

inteligencia artificial para el tratamiento de la copiosa información obtenida, que es digitalizada. La combinación de estas tecnologías permite analizar todos los elementos de la infraestructura y la superestructura de un túnel e identificar patologías o fallos previamente caracterizados y tendencias, anticipando la detección de posibles averías. En palabras de un responsable de innovación de Adif Alta Velocidad, «es como pasar un gran escáner por un túnel, almacenar la información y luego compararla con la obtenida un mes o un año antes para identificar los elementos fuera de tolerancia». La información recopilada, una vez procesada y jerarquizada por algoritmos, es enviada a la nube, quedando a disposición del administrador de la infraestructura para que adopte las decisiones oportunas sobre mantenimiento.

Las principales aportaciones de Tunnel Curiosity, por tanto, son la integración en una única plataforma de las distintas metodologías de inspección actuales y el montaje de los sistemas a bordo de un



► El prototipo, de tipología bivial, ante la boca del túnel de Quejigares, en la línea de alta velocidad Antequera-Granada.

vehículo autónomo. También son especialmente relevantes la digitalización de los datos obtenidos y la implementación de algoritmos novedosos que facilitan la selección de la información más relevante para la toma de decisiones. Desde el consorcio se afirma que a día de hoy no existe ningún sistema único capaz de inspeccionar de forma automatizada todas las exigencias de datos para inspección de túneles, lo que convierte este proyecto «en un importante hito tecnológico para el sector ferroviario a nivel mundial».

Dentro del objetivo general de optimizar las inspecciones, el consorcio ha marcado para el proyecto una serie de objetivos que, de alcanzarse en la práctica, supondrán un paso relevante en el camino hacia un sistema de mantenimiento inteligente para túneles, que es hacia el que tiende la estrategia de los gestores de infraestructuras. Por un lado, la reducción en un 15% del mantenimiento correctivo, gracias a la detección temprana de necesidades, y el consiguiente aumento del mantenimiento predictivo-preventivo (con el importante ahorro que eso implica). Por otro, la reducción en un 80% de los tiempos de inspección de todos los elementos y variables del túnel. Y ligada a la anterior, la reducción en un 35% del tiempo de

toma de decisiones sobre acciones preventivas/correctivas a adoptar en elementos inspeccionados, lo que a su vez aumentará la calidad de dicha toma de decisiones. Otro objetivo relevante es la mejora de la fiabilidad en el diagnóstico de patologías en túneles mediante un mejor uso de la información recopilada al combinar los datos obtenidos por distintos sistemas. En suma, con Tunnel Curiosity se espera alcanzar mayor rapidez y fiabilidad en las inspecciones, un menor tiempo de respuesta para aplicar la acción de mantenimiento y la reducción de los costes del proceso.

Fases del proyecto

Los socios del consorcio han desarrollado el proyecto en seis fases. En la primera se definieron las especificaciones y requisitos principales, abordando los procedimientos de inspección, la normativa, los umbrales de seguridad y la obtención de datos de contraste mediante sistemas clásicos. En esta fase también se determinaron los elementos de la infraestructura y la superestructura del túnel (salvo la catenaria) susceptibles de inspección. Esto incluye, por un lado, la propia estructura del túnel, los elementos electromecánicos, los sistemas anti-

►Detalle de la cámara panorámica 360° instalada en la parte superior del prototipo.



incendios y los equipos de iluminación y, por otro, la vía, principalmente los carriles de rodadura (se analizan las variables de alineamiento horizontal y vertical, elevación y curvatura). Asimismo, se elaboró una caracterización de patologías o fallos habituales en estos elementos (humedades, filtración de agua, desgaste de carril...) y se incluyó el análisis de aspectos operativos como el gálibo, el estado del balasto, la caída de rocas o incluso el estado de las salidas de emergencia, entre otros.

En una segunda fase se definieron las características del vehículo de inspección no tripulado y posteriormente se procedió a su diseño y fabricación. El resultado de esta fase es un prototipo basado en un camión Mercedes Axor 1829, de 8,40 metros de longitud y 2,50 metros de altura, de tipología bivial, característica que le permite desplazarse indistintamente por carretera y por vía férrea, con capacidad de adaptarse a los tres tipos de ancho de vía. En el modo convencional, el vehículo es manejado por un conductor, pero ha sido específicamente adaptado para dotarle de la opción de

conducción autónoma (sin conductor al volante) mediante un sistema de radiocontrol que es manejado de forma remota. Esta opción es especialmente interesante para túneles de gran longitud.

En la tercera fase se desarrollaron los sistemas de captación de datos a incorporar en el vehículo, así como su adaptación al mismo. Como principales tecnologías embarcadas destacan un sistema GPS de posicionamiento global, cámaras de visión 360°, cámara térmográfica, un equipo de láser con tecnología Lidar, sensores para la inspección de la vía y equipos magnéticos, entre otros. Todo este equipamiento actúa de forma simultánea y, según avanza el vehículo por la vía, permite obtener una imagen integral digitalizada y muy precisa del estado del túnel, de sus instalaciones y de la vía en un momento determinado, que al compararse con otra imagen previa hace aflorar las variaciones en esos elementos.

Terminada esta fase se iniciaron los trabajos para integrar sobre el prototipo todos los sistemas de

►Detalle del equipamiento y los sensores en la parte inferior del vehículo.

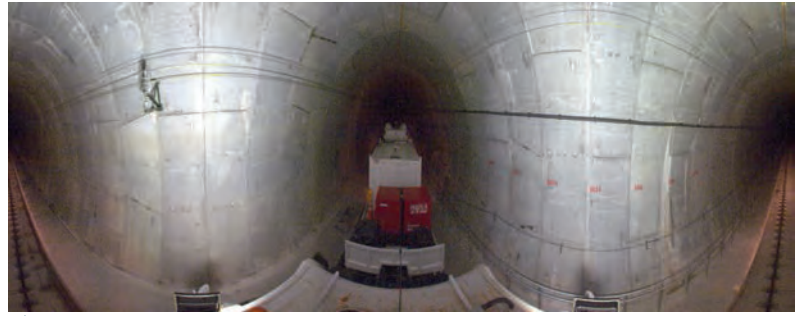


captación de datos, que se han montado en la cabina, en el remolque posterior y en la parte inferior del vehículo, incluidos los ejes. También se ha desarrollado el procesado de datos para la geolocalización del vehículo, así como la validación general del sistema. La quinta fase se centró en el desarrollo de un sistema de inteligencia artificial para el tratamiento de los datos obtenidos por los equipos de captación. Esta fase ha incluido como actividades principales la integración de todas las medidas en un *software*, el análisis de la ingente cantidad de datos obtenidos (*Big Data*), la creación de algoritmos para la toma de decisiones en tiempo real, el procedimiento de ejecución de tareas preventivas/correctivas y la aplicación y uso efectivo de los algoritmos desarrollados.

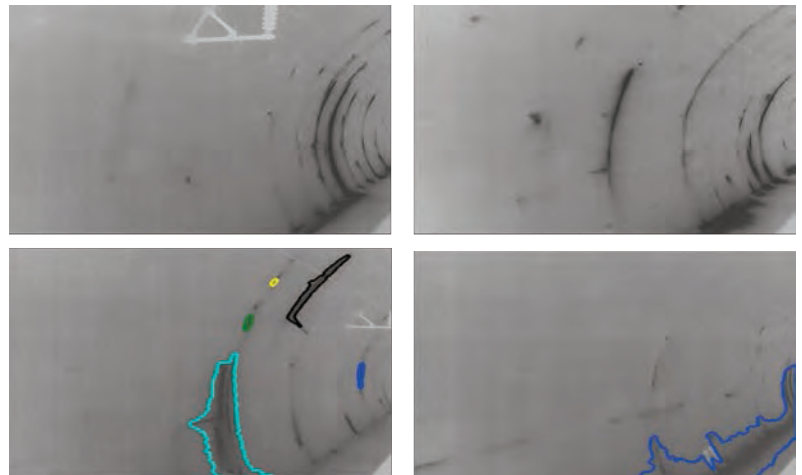
Finalmente, el proyecto entró en la última fase: las pruebas para verificar su validez, tanto en laboratorio (todo lo relativo al tratamiento de datos) como a escala real. Algunos ensayos parciales se han realizado en la base de mantenimiento de Olmedo (Valladolid), para catalogar fallos en el carril, y el túnel de A Pobra de San Xiao (Lugo), para inspeccionar el revestimiento. La prueba de validación del prototipo se realizó en el verano de 2017 en la línea de alta velocidad Antequera-Granada –en fase de pruebas–, concretamente en sus dos túneles principales: Quejigares (3.362 metros en vía derecha y 3.379 metros en vía izquierda) y Archidona (1.100 metros). Con ello se ha podido probar el vehículo en dos túneles de distinta tipología (bitubo, con sección de 55 m² y ejecutado con tuneladora el primero, y monotubo, de 85 m² y construido con métodos convencionales el segundo). Más recientemente, en diciembre de 2018, el prototipo ha realizado un ensayo de demostración de los resultados del proyecto en los túneles urbanos de Madrid de la conexión Atocha-Chamartín (Recoletos y Sol).

Etapa precomercial

El ensayo de demostración ha culminado cerca de cuatro años de trabajos a cargo del consorcio, alcanzado el principal objetivo del proyecto: el desarrollo y validación de un vehículo «plenamente operativo y viable» para su uso en el mantenimiento de túneles, según fuentes del consorcio. Finalizada la fase de desarrollo, el prototipo ha entrado en la fase precomercial –el plan de actividades del consorcio para esta fase contempla jornadas demostrativas de los resultados obtenidos e inspecciones en algunos túneles de la red española–, y el consorcio está eva-



► Imagen panorámica del interior del túnel.



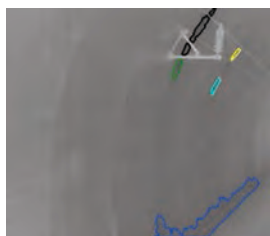
► Humedades detectadas por la cámara termográfica.

luando la posibilidad de lanzarlo al mercado. Desde Adif y Adif Alta Velocidad, empresas públicas que han iniciado una nueva etapa de transformación digital de su actividad, se ha mostrado gran interés por disponer de un sistema de mantenimiento avanzado de estas características.

El prototipo de Tunnel Curiosity se ha diseñado especialmente para la inspección de túneles de gran longitud, pero es capaz de examinar cualquier tipo de túnel ferroviario. No obstante, fuentes del consorcio señalan que su concepto puede ser «fácilmente extrapolable» a otros elementos de la red ferroviaria (catenaria, equipo de señalización en vía, viaductos...), e incluso a vías de tráfico no guiado, lo que abre la puerta al diseño de una innovadora familia de vehículos autónomos para la inspección y mantenimiento de los distintos sistemas de las infraestructuras ferroviarias.

Javier R. Ventosa / Fotos: Adif

Equipamiento del vehículo



► Humedades detectadas por la cámara termográfica.

El prototipo de Tunnel Curiosity incorpora distintas tecnologías de inspección y captación de datos que luego serán explotados por la inteligencia artificial para el correcto mantenimiento del túnel. Estas tecnologías son las siguientes:

- ✓ Cámara de 360° (capta una imagen completa de todo lo que la rodea) y sistema de iluminación asociado, que permite obtener imágenes panorámicas RGB (iniciales en inglés de los colores primarios de la luz, rojo, verde y azul).
- ✓ Cámara termográfica. Mide la radiación calorífica que emite un cuerpo. Sus imágenes permiten localizar, aplicando algoritmos de detección, las zonas del túnel que presentan humedades, flujos de agua o aislamientos deficientes.
- ✓ Láser con tecnología Lidar (*Laser Imaging Detection and Ranging*). Mediante la aplicación de algoritmos, permite obtener información del estado del túnel hasta un nivel muy detallado (juntas, anillos, sujeción de las dovelas...). Permite realizar representaciones del túnel en 3D.
- ✓ Sistema de posicionamiento GPS. Permite georreferenciar los datos de las imágenes panorámicas, las imágenes termográficas y la información del Lidar.
- ✓ Odómetro. Dispositivo para determinar la distancia recorrida para la situación de un tren en un trayecto.
- ✓ Sistema TGMS (*Track Geometry Measuring System*). Realiza el control geométrico de la vía, uno de los parámetros cruciales para averiguar el estado del carril, relacionado con varios fenómenos de degradación.
- ✓ Sistema PMFL (*Pulsed Magnetic Flux Leakage*). Basado en la técnica de dispersión de flujo magnético pulsado, es el sistema más novedoso del proyecto. Inspecciona el carril y detecta defectos superficiales y sub-superficiales a una velocidad de 5 a 10 km/h.



► Imagen de la prueba de validación del prototipo, en el verano de 2017.