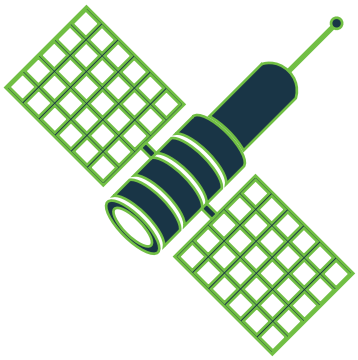
ADIF PARTICIPA EN DIVERSOS PROYECTOS DE I+D+I PARA EL USO DE SATÉLITES EN LA GESTIÓN Y EL MANTENIMIENTO DE INFRAESTRUCTURAS

Tecnologías satelitales: el espacio al servicio del sector ferroviario



Texto: Subdirección de Innovación Estratégica de Adif

El desarrollo de tecnologías basadas en el uso de satélites ofrece nuevas perspectivas al sector ferroviario, particularmente en la gestión, supervisión y mantenimiento de las infraestructuras. Adif siempre ha mostrado interés en el uso de estas tecnologías y durante los últimos años ha participado en varios proyectos europeos y nacionales que se han aproximado a sus aplicaciones en la infraestructura ferroviaria y su explotación. El proyecto ERSAT GGC, ya finalizado, y su continuación, RAILGAP, que utilizan la constelación de satélites europeos Galileo; y el proyecto SMAN SATELLITE, que usa el radar SAR embarcado en el satélite español PAZ, son algunos de los más destacados.

► Icono de portada<ahref="https://www.freepik.es/vectores/icono">Vector de Icono creado por macrovector - www.freepik.es

Las tecnologías de posicionamiento por satélite GNSS (Global Navigation Satellite System) están cobrando una relevancia especial en el sector ferroviario, especialmente en el sistema de gestión de tráfico europeo ERTMS (European Railway Traffic Management System). Pero el desarrollo de las tecnologías basadas en el uso de satélites abre al transporte ferroviario posibilidades en nuevos campos, como el de la gestión y el mantenimiento de la infraestructura.

El propósito general de los proyectos de tecnología satelital aplicados al ferrocarril es investigar la viabilidad técnica y comercial de utilizar los activos espaciales europeos para vigilar, inspeccionar y controlar la geometría de las infraestructuras y su entorno. El aumento del tráfico pone a los gestores de las infraestructuras frente al reto de garantizar la disponibilidad de la red con la máxima seguridad y fiabilidad en la explotación, lo que requiere sistemas de supervisión continua.

Los satélites con tecnologías GNSS permiten el posicionamiento y la localización en cualquier lugar del globo terrestre. Pero para el ferrocarril son de gran interés también los satélites dotados con tecnologías INSAR y DINSAR, que permiten detectar y medir deformaciones del terreno. La interferometría SAR, con sus variantes INSAR y DINSAR, es un conjunto de técnicas basadas en el proceso y el análisis de imágenes de Radar de Apertura Sintética (SAR). Los SAR son sensores de los denominados activos, que registran imágenes de alta resolución espacial. Su aplicación principal es la medición de subsidencias o elevaciones del terreno.

La inspección de las infraestructuras ferroviarias se hace por procedimientos visuales y con trenes de servicio, que proporcionan datos para planificar el mantenimiento. Pero el alcance y la frecuencia de estas inspecciones es mejorable y se buscan soluciones de supervisión continua más eficientes que mejoren el rendimiento, la disponibilidad y la fiabilidad. Se trata de analizar y controlar las incidencias y las deformaciones inesperadas, identificar los puntos conflictivos y mejorar las técnicas de análisis y los modelos de predicción con que definir regímenes de mantenimiento adecuados que eviten costosas penalizaciones y limitaciones operativas para los gestores de la infraestructura. Las tecnologías satelitales pueden modificar decisivamente los sistemas de gestión y supervisión del mantenimiento de la infraestructura y ser claves para el futuro del transporte ferroviario.

Adif participa en proyectos europeos basados en tecnologías satelitales con GNSS y SAR (INSAR, DINSAR).

Antecedentes

Adif ha seguido con atención proyectos europeos como RAILSAT, ASTRAIL, y ha participado en GRAIL y GRAIL-2 para analizar el uso de satélite como elemento sustitutivo o complementario de la odometría tradicional del ERTMS. Así, ha identificado las posibles aplicaciones de la tecnología GNSS para su implantación en la Red Ferroviaria de Interés General (RFIG), con un planteamiento práctico centrado en el despliegue de un proyecto piloto en España, financiado por la European GNSS Agency (GSA).

En 2016, el Mitma analizó junto con el Cedex, Renfe, Ineco y Adif la aplicación de satélites en el ámbito ferroviario, especialmente el sistema de navegación por satélite europeo Galileo (EGNSS). Ahí se vio la conveniencia de que cada organización analizase las posibles aplicaciones prácticas en su ámbito de competencia. Adif identificó las siguientes:

- **Reguladas.** Uso del satélite para el control de tráfico ferroviario en las líneas con bloqueo telefónico, de baja densidad de tráfico y equipamiento limitado, que suponen unos 3.000 kilómetros de la RFIG. Estas aplicaciones están sujetas al cumplimiento de la normativa nacional e internacional y, además, deben estar alineadas con el ERTMS, y no con los sistemas de clase B. Las ventajas apuntan a la mejora de la seguridad en la circulación y a la reducción de los costes asociados al despliegue de equipamiento y su posterior mantenimiento.
  Para el control del tráfico en este tipo de líneas, se plantean dos tipos de proyecto piloto:
  - configuración de un ERTMS *de bajo coste* que requiera un equipamiento mínimo en la infraestructura.
  - desarrollo de un sistema específico basado en GNSS.
- **No reguladas.** Uso de GNSS en todos aquellos sistemas no relacionados con el control de tráfico ferroviario, con implantación en toda la RFIG:
  - apoyo a la conducción
  - apoyo al mantenimiento
  - localización de mercancías peligrosas

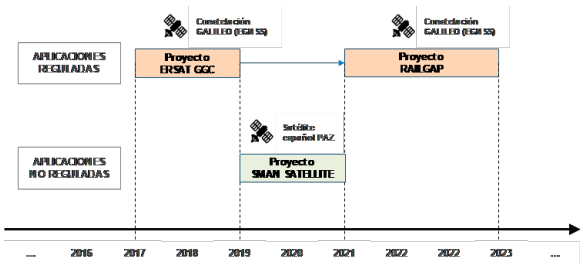
- gestión de la flota de mantenimiento

De acuerdo con las medidas de actuación número 6, *Profundizar en la posible instalación de un sistema satelital para trenes como refuerzo a los sistemas de señalización*, de las promovidas por Mitma para mejorar la seguridad del transporte ferroviario, Renfe solicitó la colaboración de Adif para el suministro de datos de la infraestructura georreferenciados con coordenadas GPS. Adif dispone de un sistema con la información georreferenciada que utiliza como referencia la vía y el kilómetro asociado a cada punto de interés; pero la precisión actual del sistema GPS no satisface las necesidades requeridas. Para implementar este sistema de apoyo a la conducción embarcado, sería necesario desarrollar un proyecto piloto basado en dos actividades:

- Implementación de una base de datos GNSS de la RFIG, tanto de las dependencias de circulación contenidas en libros horarios como de los diferentes puntos del trazado, destacando especialmente los puntos significativos de transición de velocidad.
- Desarrollo de aplicaciones móviles para el personal de mantenimiento que permitan localizar de manera inequívoca los diferentes elementos inventariados y actualizar los datos de las intervenciones en la base de datos correspondiente.

Estas aplicaciones reportarían ventajas notables para Adif:

- Disponer de un inventario georreferenciado.
- Disponer de una única base de datos georreferenciada para todos los grupos de interés.
- Disponer de un terminal GNSS embarcado en determinados tipos de carga y herramientas centralizadas en los puestos de mando para el seguimiento de los trenes con mercancías peligrosas.
- Gestión de la flota de mantenimiento de Adif.



► Aplicaciones reguladas y no reguladas en proyectos Adif.

La tecnología satelital en proyectos ferroviarios

Adif participa en proyectos europeos basados en estas tecnologías. ERSAT GGC, ya finalizado y RAILGAP, su continuación, hacen uso de la constelación de satélites europeos Galileo (European GNSS o EGNSS) y se encuadran en el grupo de las aplicaciones reguladas.

Por otro lado, el proyecto SMAN SATELLITE está en el grupo de las no reguladas. Su objetivo es ensayar una monitorización no invasiva de un tramo de vía mediante imagen satelital para conocer la deformación del terreno a la que está sometida la vía y sus alrededores durante un período determinado. La tecnología de base es el radar de apertura sintética (SAR) embarcado en el satélite español PAZ, propiedad de la empresa Hisdesat.

El proyecto ERSAT GGC ha representado un paso más para la aplicación del sistema ERTMS a las líneas locales y regionales, mediante la introducción del posicionamiento satelital GNSS y redes públicas de radiocomunicaciones. Es una continuación del programa lanzado en 2012 por el administrador ferroviario italiano RFI (Rete Ferroviaria Italiana) para la integración de tecnologías satelitales en la plataforma ERTMS.

Si bien el estándar ERTMS ha experimentado un empleo considerable en líneas principales, su adopción en las líneas regionales y locales ha sido más limitada, debido a los costes asociados y a la dificultad de garantizar la compatibilidad con los equipos ya instalados en tales líneas. Para superar este problema, la Comisión Europea, las agencias pertinentes (GSA, ERA, ESA) y las empresas de ferrocarriles, industrias ferroviarias y organismos notificados, han definido un plan para la aplicación del estándar ERTMS en el posicionamiento por satélite GNSS, aprovechando los sistemas europeos Galileo y EGNOS, ya puestos en servicio por la Unión Europea (EGNSS).

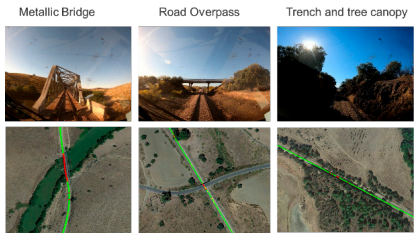
El proyecto ERSAT GGC ha desarrollado un amplio conocimiento técnico en este campo, materializado en veintiséis entregables técnicos. Destacan los siguientes resultados:

- Nueva arquitectura ERTMS funcional capaz de utilizar tecnologías EGNSS y de comunicaciones TLC (es una mejora de la arquitectura ya desarrollada en proyectos anteriores).
- Definición de los escenarios operativos ERTMS que definen los procedimientos para implementar la arquitectura a los sistemas operativos reales.
- Análisis de riesgos de la nueva arquitectura.

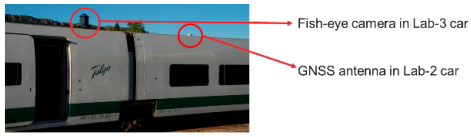
Además, se ha definido un proceso para evaluar la calidad de la señal EGNSS en la infraestructura ferroviaria como ayuda para posicionar las balizas virtuales, el elemento central de la arquitectura, que reemplazaría las balizas físicas ERTMS actuales. El resultado ha sido el desarrollo de varias herramientas de software validadas por el Cedex, el centro de investigación de tecnologías aeronáuticas y espaciales de Alemania (DLR) y el gestor de infraestructuras ferroviarias de Italia (RFI) Se hicieron ensayos en entorno real en Italia, Francia y España. Adif utilizó la línea de Córdoba a Almorchón, en un tramo de 94 kilómetros entre las estaciones de Almorchón y Alhondiguilla, con el tren laboratorio BT-02 equipado con varios receptores GNSS, una cámara de ojo de pez, sistema de odometría y cámara de video. Las imágenes situadas en la esquina superior derecha de esta página muestran el resultado gráfico obtenido. Las zonas verdes indican las localizaciones posibles de una baliza virtual; las rojas, donde no es posible colocarlas; y las amarillas, aquellas que requieren un estudio más profundo de los resultados.

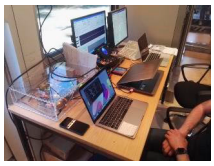
RAILGAP está enmarcado en la llamada del Programa Horizonte 2020 de la European GNSS Agency (GSA), y se centra en el desarrollo de nuevas soluciones de alta precisión para la obtención de los datos básicos del terreno y mapas digitales de las líneas ferroviarias, elementos esenciales para el posicionamiento de los trenes con una fiabilidad y eficiencia mayores que las actuales.

El proyecto ERSAT GGC demostró la posibilidad de localizar el tren con precisión en puntos con buena cobertura (aunque no en todos), donde es posible establecer una baliza virtual satelital. Para cubrir todos esos puntos es necesario combinar diferentes tecnologías de modo que cada una de ellas cubra las limitaciones de las otras. RAILGAP continuará estos trabajos complementando la localización satelital con otros sensores. Se pretende



► Resultados obtenidos en la línea piloto de Adif. En rojo, las zonas sin recepción adecuada de señal satelital, lo que hace inviable el uso de balizas virtuales: puente metálico, paso superior y zona arbolada.

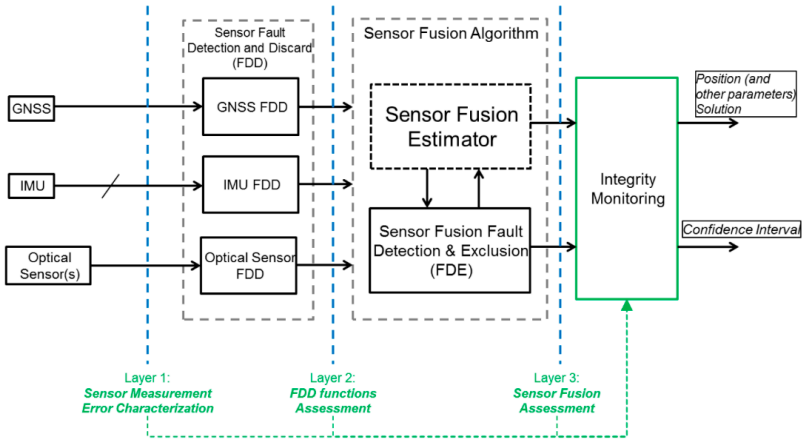




► Equipamiento empleado en los ensayos ERSAT GGC: posición de la cámara de pez y el receptor EGNSS en el tren, equipamiento en laboratorio embarcado, cámara y receptor EGNNS.

emplear sensores inerciales como los usados en aviación y sensores de imagen con cámaras, tecnología de radar o lidar. Uno de los objetivos es disponer de un mapa digital de la línea, que será definido mediante la realización de múltiples tomas de datos. El mapa digital consistirá en la combinación estadística de las grabaciones de los diferentes sensores, de manera que un equipo a bordo pueda comparar lo que está captando con la realidad. Así, mediante una imagen de vídeo o una captura de lidar se podrá reconocer un objeto (por ejemplo, una señal) y saber el punto exacto donde se encuentra el tren.

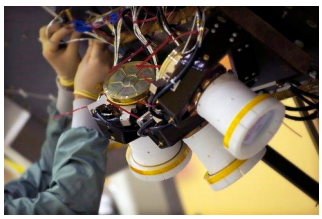
Esta metodología arroja como resultado la localización del tren con unas condiciones de precisión y fiabilidad suficientes como para que una de sus aplicaciones primarias sea el control de tráfico como posicionamiento de los trenes para los sistemas de señalización ERTMS. Además, existen aplicaciones muy interesantes en las áreas de mantenimiento y gestión de activos. Por un lado, la posición del tren así determinada permitiría prescindir de los sistemas de odometría, que son extremadamente costosos de adquirir y mantener. Por otro lado, es evidente la utilidad que los mapas digitales pueden tener para la planificación y la ejecución de las tareas de mantenimiento y también para el inventario de los activos de la infraestructura.



▸ Esquema de bloques del proyecto RAILGAP. El sistema GNSS se complementará con nuevos sistemas que permitirán cubrir por completo la posición del tren, sin recurrir a balizas físicas ERTMS.

El proyecto SMAN SATELLITE busca soluciones predictivas de bajo coste y mínimamente intrusivas para detectar y controlar automáticamente los movimientos inesperados en los taludes. El caso de uso escogido se apoya en la tecnología radar del satélite PAZ para comprobar las posibilidades de prever con detalle los gradientes de deformación detectados.

PAZ es un satélite radar de observación de la Tierra de altas prestaciones. La propiedad y explotación comercial corresponde a Hisdesat Servicios Estratégicos. Esta empresa es un partenariado público-privado entre el Ministerio de Defensa y las principales empresas de la industria espacial española, y su misión es la de proporcionar servicios gubernamentales de satélite y de aplicaciones civiles a clientes nacionales e internacionales.



▸ Satélite Paz con radar de apertura sintética (SAR).

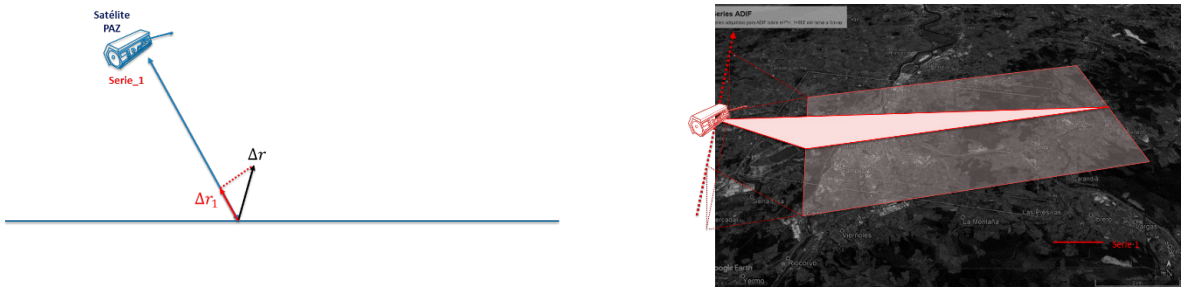
PAZ está dotado con un radar de apertura sintética (SAR) que trabaja en banda X, capaz de adquirir imágenes de día o de noche y en cualquier condición meteorológica, con una resolución de hasta 25 cm y una precisión de geolocalización inferior a 1 metro. Además, es el primero de su tipo que incorpora un receptor AIS, y puede operar en constelación con otros satélites.

Tecnología SAR: una de las principales ventajas de la interferometría SAR (INSAR o DINSAR) es la capacidad de medir desplazamientos del terreno y tendencias de deformación con precisión milimétrica (mm/año). Este tipo de información es de suma importancia en la vigilancia de infraestructuras críticas para monitorizar la estabilidad del terreno donde se asientan. La alta resolución permite obtener una mayor densidad de puntos de medida y asociarlos de manera más sencilla a puntos concretos de la infraestructura. El satélite PAZ, con sus modos SpotLight y StripMap, cumple con todos los requisitos de resolución y geolocalización exigidos a este tipo de servicio.

Proyecto de monitorización mediante el uso del satélite PAZ

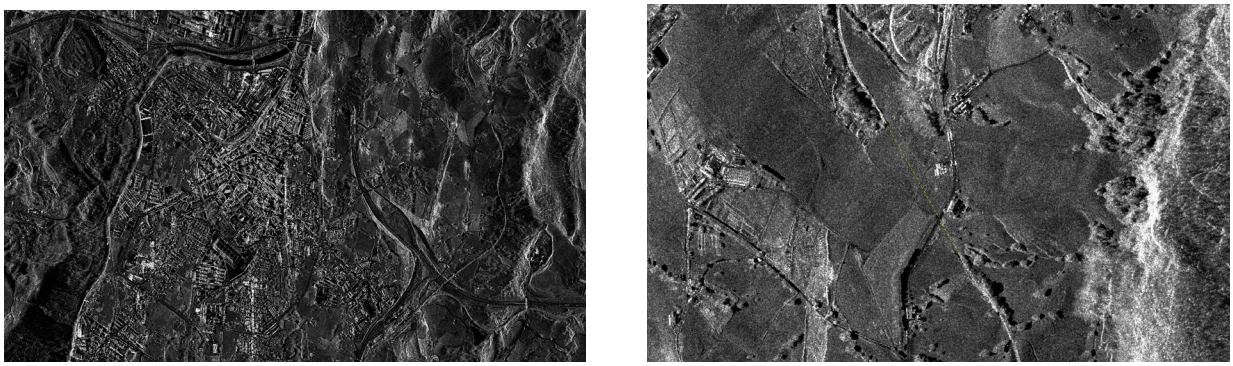
Entre 2019 y 2020, Hisdesat realizó una prueba de monitorización no invasiva de un tramo de vía mediante imagen satelital, con el objetivo de conocer la deformación del terreno a la que estaba sometido ese tramo de vía y sus alrededores. Este tipo de estudios se realizan por lo general en dos fases. En la primera se toma un mínimo de 25 imágenes con las que se configura un histórico y se genera el modelo de deformación. Con el satélite PAZ este proceso puede durar unos nueve meses. En la segunda fase se lleva a cabo la vigilancia recurrente del terreno y se actualiza el modelo con una cadencia temporal determinada por las necesidades de cada escenario.

Para el estudio de subsidencias del terreno se aplican técnicas avanzadas de interferometría diferencial. Estas técnicas trabajan fundamentalmente con la información de fase de la señal radar y son capaces de obtener la deformación que sufre el terreno a partir de las diferencias de fase de la señal entre dos instantes de observación. Pero esta estimación no es posible sin corregir ciertas contribuciones de ruido a la fase de naturaleza aleatoria (especialmente de la atmósfera). Para eliminar estas contribuciones, se trabaja con series multitemporales de imágenes SAR tratadas con complejos modelos estadísticos, que permiten extraer información precisa. De ahí la necesidad de contar con al menos 25 imágenes por serie. El resultado es un modelo de deformación del terreno para cada punto de la imagen. Cada serie se caracteriza por una determinada geometría de adquisición, es decir, todas las imágenes de una misma serie se adquieren desde una misma posición orbital (en pases sucesivos) y con un mismo ángulo de toma. Cuando se trabaja con una única serie, la deformación medida se obtiene en la dirección de vista del satélite tal y como se muestra en la imagen.



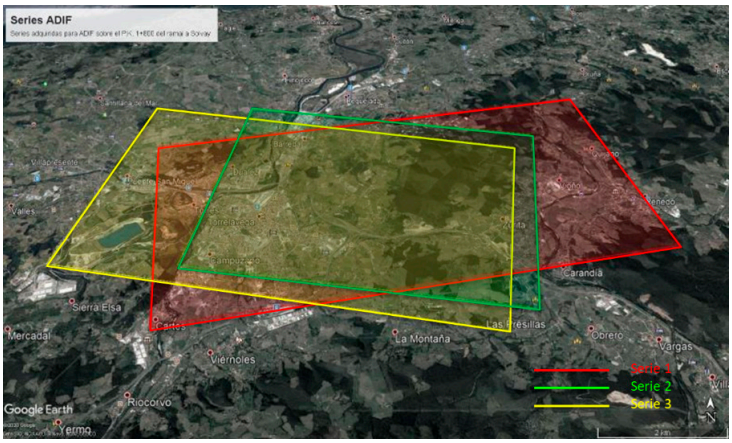
► Geometría de adquisición asociada a una de las series. A la izquierda, modelo de formación de la imagen conforme el satélite se desplaza en su órbita. A la derecha, representación del vector de deformación medido (Δr1) como la proyección de la deformación real (Δr) en la dirección de vista del satélite.

El ensayo de Hisdesat se limitó a la primera fase, y se desarrolló entre agosto de 2019 y junio de 2020. Durante ese período el satélite PAZ tomó 75 imágenes de un tramo próximo a Torrelavega. El modo de adquisición elegido fue *High Resolution Spot-Light 300MHz* con una resolución media de píxel de 1 metro, cubriendo un área aproximada de 5 km^2.



► Imagen satélite PAZ del área de interés considerada: Torrelavega y detalle del ramal a Solvay, julio - diciembre 2019. Fuente: Hisdesat Servicios Estratégicos, 2020.

El resultado fue tres series de unas 25 imágenes distintas cada una. En la imagen se puede ver el área cubierta en cada serie.

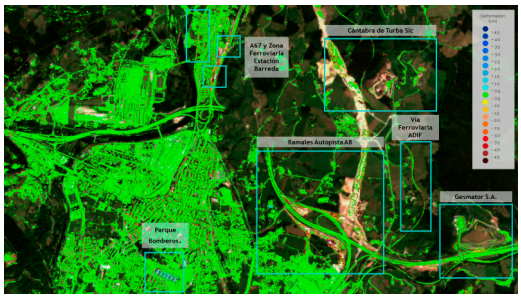


► Área cubierta por el satélite PAZ, sobre la que se realiza el análisis de subsidencias. En rojo, verde y amarillo, el área cubierta por cada una de las series adquiridas.

Una vez adquiridas estas primeras imágenes, se construyó el modelo de deformación de referencia o histórico.

En este proyecto se analizó la deformación de toda el área cubierta por las imágenes PAZ, prestando una atención especial a aquellos puntos que pudieran ser de interés para Adif, pero sin dejar de lado otras infraestructuras existentes dentro de la zona de estudio. En esta área, y para todos aquellos puntos que presentan un comportamiento estable, se midió la evolución temporal de la deformación. La magnitud de la deformación total se obtuvo a partir de sus componentes horizontal y vertical.

En las imágenes se representa con un código de colores la deformación total acumulada durante el período de monitorización considerado. Todos aquellos puntos a los que se les ha asignado un código de color sobre la imagen óptica son puntos de medida con comportamiento de fase estable.



▸ Representación de la deformación total acumulada.

La posición determinada por satélite tiene aplicaciones en control de tráfico, mantenimiento y gestión de activos.

Este ensayo probó la idoneidad del satélite PAZ para el análisis de deformaciones del terreno en infraestructuras ferroviarias. Esta tecnología se reveló especialmente útil para la monitorización no invasiva de puntos críticos de vía. Quedó demostrado también el factor diferenciador de la muy alta resolución a la hora de trabajar con infraestructuras críticas. El uso de imágenes de muy alta resolución permitió obtener una gran densidad de puntos de medida y además acceder a estructuras lineales artificiales en medio de zonas con vegetación. Finalmente, y gracias a la combinación de imágenes adquiridas con diferente ángulo, fue posible obtener la magnitud del movimiento y también modelar el movimiento 2D a partir de sus componentes vertical y horizontal. ■