

MONITORIZACIÓN Y ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE APARATOS DE VÍA FRENTE A EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS

Pablo Martínez Fernández

Universitat Politècnica de València, Departamento de Ingeniería e Infraestructura de los
Transportes

Ignacio Villalba Sanchís

Universitat Politècnica de València, Departamento de Ingeniería e Infraestructura de los
Transportes

Pablo Salvador Zuriaga

Universitat Politècnica de València, Departamento de Ingeniería e Infraestructura de los
Transportes

Ricardo Insa Franco

Universitat Politècnica de València, Departamento de Ingeniería e Infraestructura de los
Transportes

Víctor Manuel Viñas Olmo

AZVI, S.A.U.

Juan Pineda-Jaramillo

University of Luxembourg, Department of Engineering

RESUMEN

El cambio climático y el previsible aumento de los fenómenos climáticos extremos, tales como olas de calor o lluvias torrenciales, supone un gran desafío para la sociedad en su conjunto y para los medios de transporte en particular. El ferrocarril, cuya infraestructura se extiende por todo el territorio, debe afrontar dicho desafío y adaptarse a su entorno para mantener su sostenibilidad y fiabilidad en el futuro.

En este contexto, y como parte del proyecto de investigación MINFECLIMA (fruto de la colaboración entre AZVI, S.A.U. y SIER en el marco de una Convocatoria de Cooperación Internacional, con financiación del CDTI proveniente del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades), se pretende monitorizar ciertos aparatos de vía especialmente críticos y vulnerables (como pueden ser desvíos o aparatos de dilatación) mediante sensores in situ, buscando un sistema sencillo que sea capaz de recopilar y transmitir datos regularmente. Entre otros, se pretende recoger información sobre temperaturas en carril y desplazamientos.

Posteriormente, estos datos se podrán analizar para evaluar el comportamiento de dichos puntos críticos de la infraestructura ferroviaria, y determinar su posible vulnerabilidad frente a fenómenos extremos que se prevén más adversos y habituales en el futuro. En última instancia, se pretende contribuir a lograr un ferrocarril más resiliente y fiable.

1. INTRODUCCIÓN

Durante las últimas décadas se ha venido observando cómo las infraestructuras de transporte se ven cada vez más afectadas por fenómenos meteorológicos extremos. Olas de calor, heladas o lluvias torrenciales pueden afectar seriamente a las redes de transporte, provocando graves daños e interrumpiendo servicios esenciales para el buen funcionamiento de nuestra sociedad. De acuerdo a las previsiones más recientes, estos fenómenos no harán sino agravarse en el futuro debido al cambio climático, por lo que se prevé necesaria una gran inversión para aumentar la resiliencia de todas las infraestructuras de transporte (IPCC, 2014).

Centrándonos en las redes ferroviarias, existen todavía ciertas carencias a la hora de cuantificar los efectos de los fenómenos climáticos extremos sobre la infraestructura y el servicio, debido en parte a las incertidumbres asociadas a la propia evolución del clima en las próximas décadas. No obstante, se han llevado a cabo algunos estudios en diferentes países para tratar de poner cifras al impacto del clima sobre las redes ferroviarias. Así, por ejemplo, Duinmeijer y Bouwknecht (2004) determinaron que los factores climáticos son responsables de entre un 5 y un 10% de los fallos en los ferrocarriles de los Países Bajos, cifra que Thornes y Davis (2002) elevan hasta el 20% en el caso del Reino Unido.

Son diversos los impactos que el clima puede tener sobre la infraestructura ferroviaria. Las olas de calor, por ejemplo, pueden provocar un fallo por pandeo, un fenómeno brusco de inestabilidad de carril que altera por completo la geometría de la vía y eleva el riesgo de descarrilo (Esveld, 2001). Según datos de la Agencia Europea del Ferrocarril (ERA), sólo en el año 2018 se produjeron más de 6000 episodios de pandeo en toda la red de la UE28, y esta cifra sigue una tendencia ascendente en la última década (Villalba et al., 2020). Según Dobney et al. (2009, 2010), el coste anual de los eventos de pandeo en la red ferroviaria del Reino Unido supera los 9 millones de libras, y Quinn et al. (2017) predice que esta cifra podría doblarse hacia el año 2080. Otros estudios como los de Baker et al. (2010), Palin et al. (2013) o Villalba et al. (2020) también predicen un aumento significativo de eventos de pandeo en el futuro. Respecto a los aparatos de vía, estos elementos son el componente principal de la infraestructura ferroviaria que afecta la disponibilidad del sistema (Morant et al., 2016), donde casi el 33% de los costes totales de mantenimiento es dedicado a los desvíos y cruces (Wang et al., 2017).

Otro impacto sobre la infraestructura ferroviaria digno de mención es la inestabilidad de taludes debidas a las lluvias torrenciales. Esta clase de fallo catastrófico depende en gran medida de la distribución espaciotemporal de las precipitaciones (Corominas et al., 2005), distribución que es de prever que se modifique notablemente en los próximos años a causa del cambio climático (Manning et al., 2008).

De ahí que diversos estudios sobre resiliencia de las infraestructuras ferroviarias (Quinn, 2017; UITP, 2016) destaquen la inestabilidad de taludes y los desprendimientos provocados por lluvias como uno de los principales fenómenos a tener en cuenta en el futuro.

En este contexto, es evidente que resulta imprescindible adaptar la infraestructura ferroviaria a las condiciones cambiantes del clima. Así, organismos internacionales tales como la UIC (Quinn, 2017), la UITP (2016) o la Agencia Europea del Medioambiente (EEA, 2014) ya han establecido recomendaciones generales de adaptación al cambio climático. También es de destacar en España el informe de necesidades de adaptación al cambio climático de la red troncal de infraestructuras de transporte elaborado por el CEDEX y el Ministerio de Fomento (2013). Sin embargo, a pesar de estos esfuerzos aún no existe, a día de hoy, un marco general o metodología unificada para afrontar estos problemas, y salvo algún caso aislado (siendo Network Rail en Reino Unido el más notable), ningún gestor de infraestructura ferroviaria ha adaptado todavía sus protocolos de monitorización y mantenimiento de acuerdo a las previsiones de cambio climático, o en todo caso no ha pasado de establecer algunas líneas o principios generales.

El proyecto MINFECLIMA nace precisamente con el objetivo de contribuir a un mejor mantenimiento de la infraestructura ferroviaria para adaptarla al cambio climático. Se trata de un proyecto de investigación desarrollado por AZVI S.A.U. y SIER en colaboración con la Universitat Politècnica de València en el marco de una Convocatoria de Cooperación Internacional con financiación del CDTI proveniente del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades. Una de las principales tareas del proyecto se centra en monitorizar durante un largo período de tiempo ciertos elementos de la vía especialmente críticos y vulnerables, tales como desvíos o aparatos de dilatación.

Los trabajos presentados en esta ponencia se centran en la metodología de monitorización de un aparato de dilatación, detallando el montaje realizado, el tipo de datos a recopilar y una primera aproximación a la clase de análisis que se espera aplicar sobre los mismos.

2. METODOLOGÍA

En el marco del proyecto MINFECLIMA, antes explicado, se planea monitorizar durante un largo período de tiempo varios puntos críticos de la infraestructura ferroviaria, para poder recopilar un gran volumen de datos que permita determinar con mayor precisión los impactos provocados por los fenómenos climáticos extremos.

Este plan de monitorización incluye la instalación de sensores en un aparato de dilatación para determinar su comportamiento frente a los cambios de temperatura. En este apartado se exponen las principales características del equipo de monitorización a instalar.

2.1 Sección a monitorizar

El aparato de dilatación escogido (y su junta de dilatación asociada) se encuentran en el PK 62+000 de la vía del Corredor Mediterráneo (Figura 1). El principal motivo para escoger este aparato en concreto es que se trata de un diseño bastante representativo del tipo de aparatos de dilatación instalados en la red ferroviaria de Adif.



Fig. 1 – Aparato y junta de dilatación. Fuente: elaboración propia.

Concretamente se trata de un aparato con una carrera de 500 mm, situado a la entrada de un puente ferroviario, en un tramo entre las estaciones de L'Enova Manuel y Xàtiva, en la provincia de Valencia (España). Por esta línea circulan tanto trenes de pasajeros (incluyendo cercanías y media y larga distancia) como mercancías.

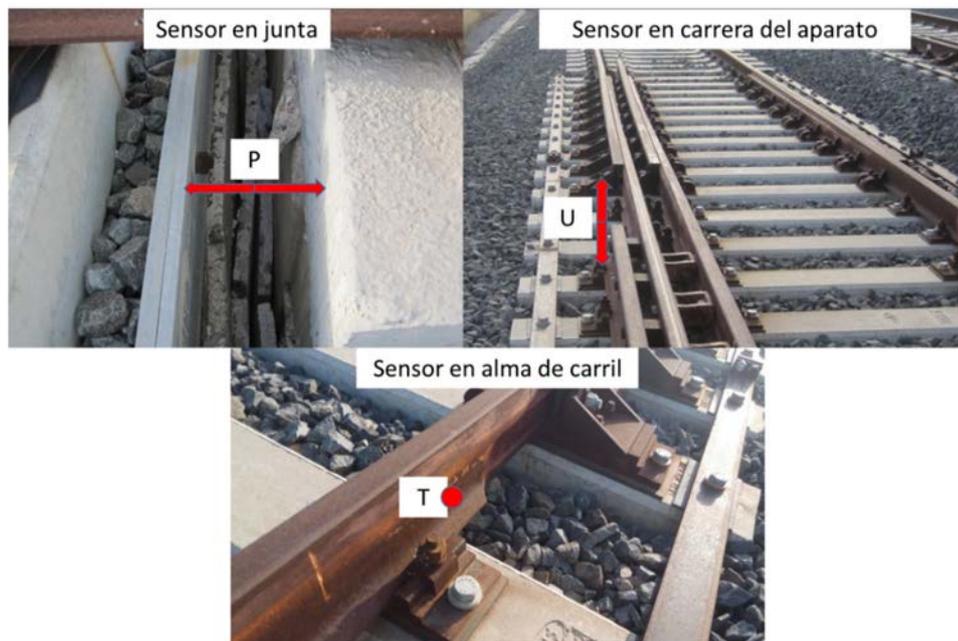
2.2 Equipo de medida

Para monitorizar el aparato de dilatación mostrado en la Figura 1 se ha optado por un sistema sencillo basado en sensores de fácil adquisición y un microordenador tipo Raspberry Pi 4. Mediante este equipo se pretenden monitorizar tres variables, tal y como se recoge en la Tabla 1.

Variable	Sensores
Temperatura en carril	2 sensores de temperatura en alma de carril
Separación entre estribo y tablero del puente	2 potenciómetros de desplazamiento en junta de dilatación
Desplazamiento en puntas del aparato de dilatación	2 sensores de ultrasonidos en las puntas del aparato

Tabla 1 – Variables a monitorizar en el aparato de dilatación

Como se aprecia en la Tabla 1, para medir la temperatura de carril se sitúan dos sensores de temperatura adheridos al alma mediante un adhesivo especial. Estos sensores son simples sondas de temperatura de 5 mm de tamaño con un rango de medición de -55°C a 125°C . Por otra parte, para medir la apertura de la junta de dilatación se emplean dos potenciómetros de desplazamiento lineal de 100 mm de carrera. Por último, para medir los desplazamientos de las puntas del aparato de dilatación se emplean dos sensores de ultrasonidos con un rango efectivo de medición de 25 a 450 cm. La Figura 2 muestra un croquis de la localización de estos sensores, mientras que sus principales características se recogen con mayor detalle en la Tabla 2.



Sensor de temperatura	
Rango de operación	-55°C a 125°C
Error (-30°C a 100°C)	± 1°C
Tensión de alimentación	3-5,5 V
Dimensiones	4,95x4,95x3,94 mm
Potenciómetro de desplazamiento	
Carrera	100 mm
Linealidad	± 0,075%
Resistencia a vibraciones / impactos	15 g / 50 g
Temperatura de operación	-10°C a 65°C
Dimensiones	21x25x230 mm
Sensor de ultrasonidos	
Distancia de detección	25 a 450 cm
Ángulo del sensor	< 70°
Precisión	5 mm
Peso	54 g
Dimensiones	41x28,5 mm

Tabla 2 – Características de los sensores

Estos sensores se conectan a un microordenador Raspberry Pi 4 (Figura 3), que es el encargado de almacenar las señales de los sensores y enviarlas a un servidor mediante un módulo modem con antena GNSS.

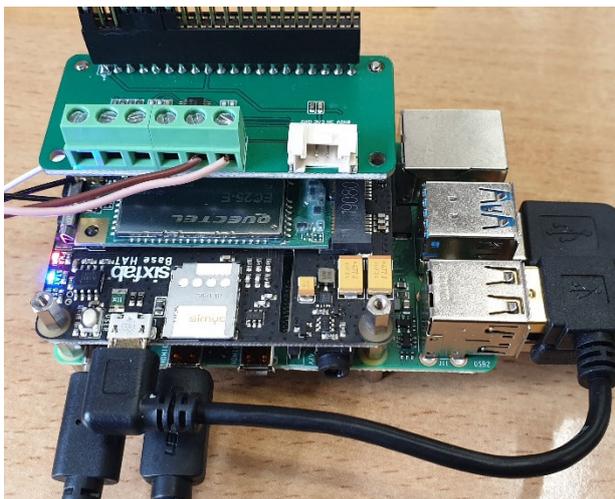


Fig. 3 – Microordenador para captación de datos

El conjunto del sistema se alimenta con una batería, que se recarga mediante paneles solares para garantizar su autonomía en campo.

2.3 Plan de monitorización

Una vez instalado el equipo, se procede a recopilar datos durante un período no inferior a 12 meses, si bien sería recomendable llegar a los 18 meses. La monitorización se realiza de forma automática de acuerdo al esquema mostrado en la Figura 4.

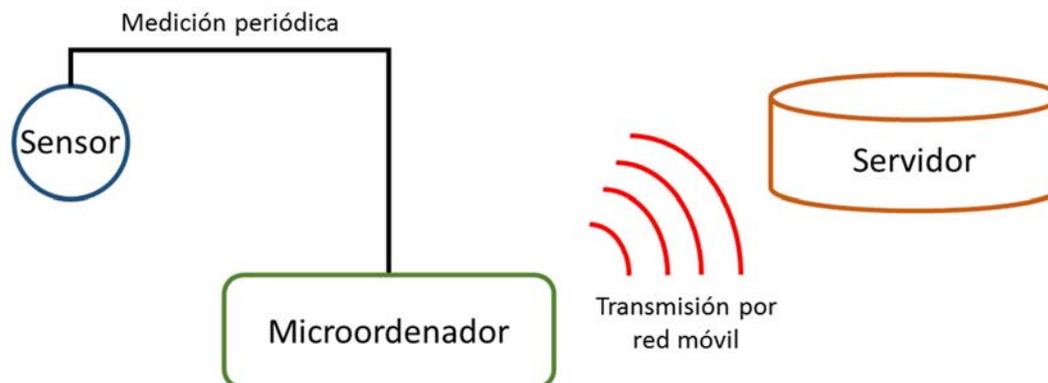


Fig. 4 – Esquema del proceso de medición. Fuente: elaboración propia.

Los sensores realizan una medición cada hora, registrando niveles de temperatura en carril, apertura de junta y desplazamiento de puntas. Estos datos se almacenan en el microordenador y se sincronizan regularmente con una base de datos habilitada a tal efecto mediante conexión 4G.

3.RESULTADOS

En este apartado se exponen los resultados que se esperan obtener a partir del montaje descrito en el apartado anterior. Cabe destacar que la labor de monitorización cubre un período extenso de un mínimo de 12 meses entre los años 2021 y 2022, por lo que se irán acumulando registros en la base de datos hasta alcanzar un volumen elevado que permita realizar un análisis exhaustivo del comportamiento del aparato de dilatación y la junta. En esta ponencia sólo se exponen, a título ilustrativo, la estructura de datos a obtener y el potencial que ofrece para futuros análisis.

3.1 Estructura de base de datos

Una vez instalado el equipo en vía, comenzará a tomar datos de forma regular siguiendo el esquema mostrado en la Figura 4. Los datos se almacenarán en una base de datos local en el propio microordenador, que se sincronizará a intervalos regulares con otra base de datos en la nube mediante la conexión 4G del sistema. Los datos se estructuran, en ambos casos, siguiendo el esquema mostrado en la Tabla 3.

Campo	Tipo de dato	Descripción
id	integer	Identificador del microordenador
tipo	string	Tipo de sensor (temperatura, distancia, etc.)
num_sens	integer	Número de sensor
dato	float	Valor de la medida
hora	float	Fecha y hora (expresada en tiempo UNIX)
synced	integer	Estado de sincronización.

Tabla 3 – Estructura de datos almacenados.

Así pues, cada registro tomado tendrá un identificador ‘id’ que indica desde qué microordenador se ha tomado (en el caso de que se realicen varios montajes en diversos puntos, tal y como está planificado en el proyecto MINFECLIMA), un indicador del tipo de sensor, una numeración de sensor (para distinguir entre varios sensores del mismo tipo), el valor de medición tomado, la fecha y hora en la que dicha medición se produjo (expresado en tiempo UNIX) y un indicador de sincronización con la base de datos en la nube (que tomará valores de 0 y 1 según la medición se haya o no sincronizado).

3.2 Volumen de datos y posibles análisis

Con una periodicidad de toma de datos de un registro por segundo, y asumiendo un período de toma de datos de dieciocho meses, se espera recopilar, para cada sensor instalado en vía, un total de 13150 registros. Evidentemente, este valor podría incrementarse notablemente si se aumenta la frecuencia de muestreo, cosa que se podría llevar a cabo si se estima oportuno para capturar fenómenos climáticos de evolución más rápida.

En todo caso, resulta claro que, gracias al montaje descrito en el apartado 2, será posible recopilar un extenso volumen de datos relativos al comportamiento del aparato de dilatación durante un período muy extenso, lo que permitirá plantear un análisis masivo de los mismos e identificar patrones, asociándolos a los diferentes fenómenos climáticos que se produzcan. Para analizar la información climática, se realizará una integración con los datos proporcionados por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), principalmente de las estaciones climatológicas más cercanas a cada uno de los montajes de monitorización del proyecto.

Extendiendo este proceso a otros puntos singulares de la vía férrea, será posible llevar a cabo una labor concienzuda de recopilación de datos que permitirá estudiar nuevas opciones de mantenimiento que incluyan las variables climáticas y su evolución como factores fundamentales, contribuyendo así a un ferrocarril más sostenible y resiliente frente al cambio climático.

4. CONCLUSIONES

En el marco del proyecto MINFECLIMA, desarrollado por AZVI S.A.U. y SIER con la colaboración de la Universitat Politècnica de València, se pretende contribuir a mejorar la resiliencia y el mantenimiento de la infraestructura ferroviaria, aportando datos que permitan evaluar el comportamiento de puntos singulares de la vía frente a los fenómenos climáticos extremos.

En este contexto, la presente ponencia recoge un sistema sencillo y autónomo de adquisición de datos, diseñado para monitorizar temperaturas de carril y desplazamientos en un aparato y junta de dilatación. Se han expuesto las principales características del sistema, los sensores a emplear y su instalación en vía, y se ha detallado el plan de medición a aplicar, la estructura de datos que se va a generar y su sincronización automatizada con una base de datos en la nube

Está previsto que este montaje se aplique en breve y se inicie la recopilación de datos, que se extenderá durante un período de entre 12 y 18 meses entre los años 2021 y 2022. Conforme se vayan acumulando registros, será posible llevar a cabo un análisis exhaustivo de los mismos que permita identificar patrones novedosos y relacionarlos con los fenómenos climáticos extremos que se produzcan durante dicho período de medición.

En suma, la metodología descrita en esta ponencia es una de las herramientas mediante las que el proyecto MINFECLIMA aspira a aportar nuevos conocimientos y metodologías para un mantenimiento ferroviario adaptado a los desafíos del cambio climático.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento a Adif, por su permiso para instalar sensores en sus vías en el marco del proyecto MINFECLIMA y por su inestimable colaboración durante las labores de montaje de los equipos.

REFERENCIAS

BAKER C.J., CHAPMAN L., QUINN A. y DOBNEY K. (2010). Climate change and the railway industry: A review. *Journal of Mechanical Engineering Science* 224(3), pp. 519-528.

CEDEX (2013). Necesidades de adaptación al cambio climático de la red troncal de infraestructuras de transporte en España. Informe final.

COROMINAS J., AYALA F.J., CENDRERO A., CHACÓN J., DÍAZ DE TERÁN J.R., GONZÁLEZ A., MOYA J. y VILAPLANA J.M. (2005). Impactos sobre los riesgos naturales de origen climático. Riesgo de Inestabilidad de Ladera. En: Ministerio de Medio Ambiente. Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático.

DOBNEY K., BAKER C.J., QUINN A.D. y CHAPMAN L. (2009). Quantifying the effects of high summer temperatures due to climate change on buckling and rail related delays in south-east United Kingdom. *Meteorological Applications* 16, pp. 245-251.

DOBNEY K., BAKER C.J., CHAPMAN L. y QUINN A.D. (2010). The future cost to the United Kingdom's railway network heat-related delays and buckles caused by the predicted increase in high summer temperatures owing to climate change. *Journal of Rail and Rapid Transit* 224(1), pp. 25-34.

DUINMEIJER A.G.P. y BOUWKNEGT R. (2004). *Betrouwbaarheid Railinfrastructuur 2003. Reliability Rail Infrastructure 2003*. Prorail, Utrecht.

EEA (2014). *Adaptation of transport to climate change in Europe. Challenges and options across transport modes and stakeholders*. EEA Report.

ESVELD C. (2001). *Modern railway track*, 2^a ed., MRT, Zaltbommel.

IPCC (2014). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA, pp. 1150.

MANNING L.J., HALL J.W., KILSBY C.G., GLENDINNING S. y ANDERSON M.G. (2008). Spatial analysis of the reliability of transport networks subject to rainfall induced landslides. *Hydrological Processes* 22, pp. 3349-3360.

MORANT, A., LARSSON-KRAIK, P. O. y KUMAR, U. (2016). Data-driven model for maintenance decision support - A case study of railway signalling systems. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part F Journal of Rail & Rapid Transit* 230(1), pp. 220-234.

PALIN E.J., THORNTON H.E., MATHISON C.T., MCCARTHY R.E., CLARK R.T. y DORA J. (2013). Future projections of temperature-related climate change impacts on the railway network of Great Britain. *Climatic Change* 120, pp. 71-93.

QUINN A., JACK A., HODGKINSON S., FERRANTI E., BECKFORD J. y DORA, J. (2017). *Rail Adapt. Adapting the railway for the future*. UIC Report.

THORNES J.E. y DAVIS B.W. (2002). Mitigating the impact of weather and climate on railway operations in the UK. *Proceedings of the 2002 ASME/IEEE Joint Rail Conference*, 23-25 April 2002. Washington DC.

UITP (2016). *Urban rail, climate change and resilience*. A joint report by the Metro Committee, the Light Rail Committee and the Regional and Suburban Railways Committee.

VILLALBA SANCHÍS V., INSA FRANCO R., MARTÍNEZ FERNÁNDEZ P. SALVADOR ZURIAGA, P. y FONT TORRES J.B. (2020). Risk of increasing temperature due to climate change on high-speed rail network in Spain. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 82.

WANG G., XU T., TANG T., YUAN T. y WANG H. (2017). A Bayesian network model for prediction of weather-related failures in railway turnout systems. *Expert Systems with Applications* 69, pp. 247-256.