

Monitorización estructural continua del viaducto de Tremor

País

España

Industria

Transporte

Áreas de aplicación

Geotécnica
Estructural
Medioambiental

Contexto

El Viaducto de Tremor está situado sobre la A6 sobre el río Tremor en León (España). Tiene una longitud total de 470 m repartidos en 11 vanos isostáticos con luces de entre 39 y 45 metros. El tablero está formado por dos vigas sección cajón de hormigón con 3 m de canto, una para cada calzada, apoyándose ambos cajones sobre una misma pila en sus extremos. Por tanto, en realidad se trata de dos viaductos separados. Los vanos están construidos mediante dovelas con un sistema de postesado exterior independiente para cada vano (Figura 1). Este discurre por el interior del cajón y se ancla en los diafragmas situados en los extremos de cada vano sobre las pilas.



Figura 1. Interior de la viga sección cajón del viaducto de Tremor.

Dentro de los trabajos de inspección especial, evaluación del nivel de seguridad y obras de rehabilitación del viaducto del Tremor promovidos por el Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible de España se encuentra la implementación de un sistema de monitorización continuo orientado a la evaluación de la seguridad estructural del viaducto, tanto en las fases de reparación como de servicio. El sistema está centrado en el comportamiento del postesado exterior y el control continuo de los movimientos de los diafragmas, así como flechas y estimación de la rigidez de varios vanos. El término “continuo” hace referencia a la necesidad de evaluar el estado estructural de forma continua y con intervalos de -

valoración muy reducidos, permitiendo adelantarse a anomalías estructurales y/o tomar decisiones guiadas en actuaciones de reparación.

Dentro de la licitación para la realización de Trabajos de inspección especial y evaluación del nivel de seguridad del Viaducto de Tremor, la empresa LRA INFRASTRUCTURES CONSULTING, S.L. fue la adjudicataria principal y responsable de la evaluación de la seguridad del viaducto. En este sentido se plantearon varios sistemas a distintos niveles. Dentro de estos, se encontraba la monitorización continua del sistema de postesado y de unos puntales que se situaron entre la parte inferior del tablero y los diafragmas con objeto de controlar los movimientos relativos de los mismos, así como la medida continua de algunos vanos.

El Grupo de Ingeniería Estructural (GIE) de la ETSI de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Madrid junto con la empresa LRA diseñaron e implementaron los dos sistemas anteriormente mencionados. El equipo de trabajo está liderado por los profesores Jaime García Palacios e Iván Muñoz Díaz, además de los investigadores Luis Chillitupa Palomino, Belen Vecino Muñoz, Javier Naranjo Pérez, Carlos Martín de la Concha Renedo y Christian Barrera Vargas, por parte del grupo GIE, y por Tomás Ripa Alonso y Mario Martín Aguilera, por parte de LRA.

Los requisitos del proyecto indicaban que la monitorización debía integrar, por un lado, un sistema de acelerometría orientado al sistema de postesado exterior, así como un sistema de extensometría orientado a la estimación de la carga de los puntales metálicos situados en interior de los cajones (Figura 2). El número elevado de puntos de medida (88 puntales), la distancia entre ellos (aproximadamente 500 m entre los más alejados) y su ubicación en el interior de dos cajones de hormigón independientes hacían que una solución clásica, basada en galgas extensométricas y dataloggers tradicionales cableados y sincronizados, fuera difícilmente adoptable en este caso.

Además, el sistema debía presentar una frecuencia de muestreo suficientemente alta para capturar de forma eficaz los efectos térmicos y discriminar si la variabilidad de la carga estimada es debida a estos efectos o a otro tipo de anomalías estructurales. Por tanto, no bastaba con una medida de la temperatura global, sino que era necesario disponer de medidas locales, teniendo en cuenta las distancias elevadas entre los puntales y el grado significativamente distinto de exposición ambiental de cada vano. También era requisito del proyecto la emisión de alarmas en tiempo real cuando se sobrepasaran los niveles pre establecidos en las cargas de los puntales.



Figura 2. Disposición de los puntales en el viaducto.

Los sensores que se utilizan para la medida de las deformaciones son extensómetros de cuerda vibrante (Figura 3), que presentan gran estabilidad a largo plazo, permitiendo medir las microdeformaciones debidas a los efectos térmicos, así como las deformaciones próximas a las del límite elástico de los puntales. En la configuración adoptada, cada nodo digitaliza 4 medidas procedentes de los 4 puntales situados en la zona de cada pila o estribos (Figura 4) a ambos lados de los diafragmas. Los datos de todos los nodos llegan a la gateway y se envían remotamente a una base de datos mediante un protocolo MQTT donde las deformaciones se transforman en carga y se emiten las correspondientes señales de alarma si fuera preciso.



Figura 3. Extensómetros de cuerda vibrante instalados en los puntales..

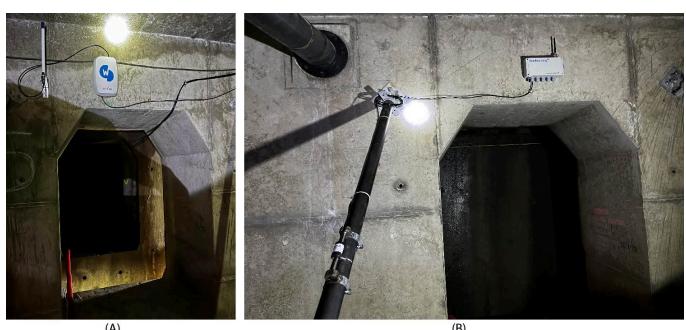


Figura 4. (a) Disposición de una GW con la antena en el viaducto. (b) Disposición de un nodo y situación de los extensómetros de cuerda vibrante en el viaducto.

Previamente a la instalación, el cliente recibió dos nodos y una gateway para la familiarización y entrenamiento con los dispositivos y hacer pruebas en el laboratorio (Figura 5) contando con el soporte técnico de Worldsensing.

Solución

Dados los requisitos del proyecto, se decidió adoptar una solución con equipos inalámbricos de Worldsensing de bajo consumo y comunicación LoRaWAN que permitiera la comunicación en grandes distancias. El sistema se ha llevado a cabo usando 24 nodos inalámbricos LS-G6-VW-5, para cuerda vibrante y termistor con 5 canales interrogados de forma simultánea, y 2 gateways (una de ellas configurada como secundaria). Además, se ha contado con el software de gestión Connectivity Management Tool (CMT) Edge, integrado en una de las gateways.

Así, el sistema mide la deformación de los puntales con galgas de cuerda vibrante, que se traduce en términos de carga de forma continua, junto con las variaciones térmicas. La medida de la carga instantánea de todos los puntales se realiza con una frecuencia de muestreo que permite detectar y notificar variaciones inusuales, i.e. no debidas a la temperatura. Para ello, se toma un dato cada dos minutos junto a la temperatura local de cada puntal.



Figura 5. Pruebas previas de los dispositivos en laboratorio.

La instalación del sistema de monitorización de los puntales concluyó en diciembre de 2023. Esto ha permitido el control de la carga de los puntales durante este periodo y la identificación de los diafragmas que experimentan deformaciones mayores. Además, se emiten informes periódicos cada mes y se analizan las tendencias anuales.

Durante este tiempo, se han detectado y avisado de forma puntual eventos consistentes en variaciones repentinas de la carga de los puntales, ocasionadas por la realización de labores de mantenimiento y reparación dentro del viaducto. Se ha comprobado que el sistema funciona de forma satisfactoria, ya que ha identificado de forma adecuada estos cambios.

En general, las medidas de la carga de los puntales son estables a largo plazo y presentan correlación con la temperatura. En la Figura 6 se muestra un ejemplo de la evolución de la carga de los puntales y la temperatura obtenidos durante el mes de diciembre de 2024. También se ha podido identificar la correlación entre la temperatura y la carga, destacando el caso de los puntales SP093 y SP094 de la pila 9 en el vano 10, que se muestran muy sensibles a los cambios térmicos.

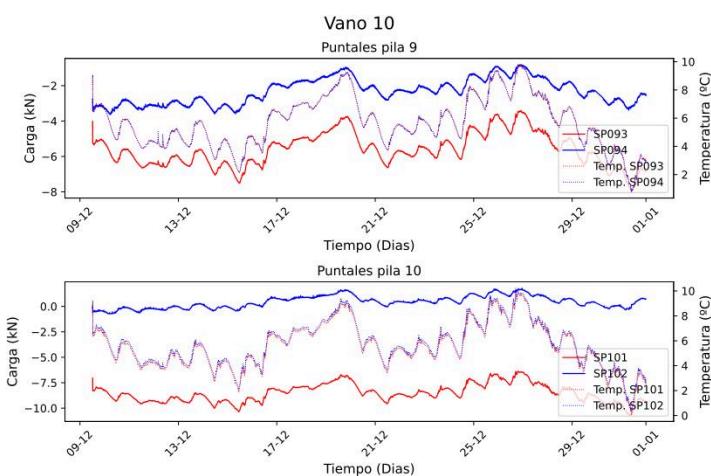


Figura 6. Evolución de la carga de los puntales y la temperatura en el vano 10, pilas 9 y 10 durante el mes de diciembre.

De la misma forma, en la Figura 7 se muestra la evolución de la carga de los puntales y su correlación con la temperatura en el vano 7 durante casi un año de medición, desde febrero 2024 a enero 2025, es decir, todo el periodo en el que el sistema ha estado funcionando.

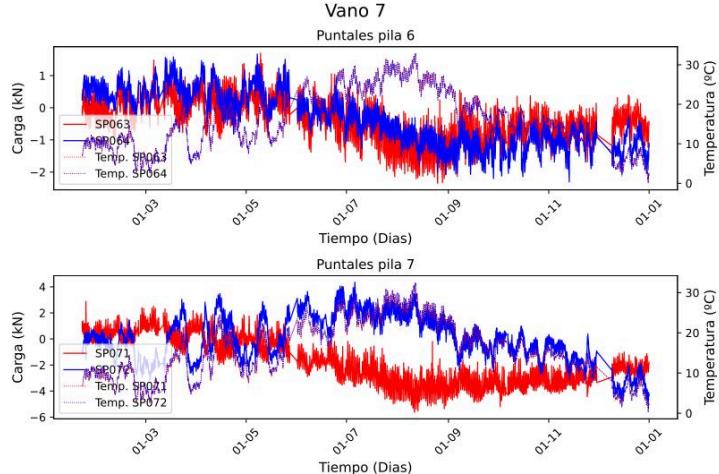


Figura 7. Evolución de la carga de los puntales y la temperatura en el vano 7, pilas 6 y 7 durante el año 2024.

Beneficios

El sistema de monitorización continuo ha permitido realizar un seguimiento del estado de la carga de los puntales y verificar así el comportamiento de los diafragmas del viaducto. Esto, añadido a la monitorización dinámica del sistema de postesado exterior mediante acelerometría, ofrece la capacidad de detección de situaciones anómalas que pueden comprometer la seguridad estructural del puente y ha permitido guiar de forma más precisa las labores de mantenimiento y reparación.

De forma general, se puede afirmar que la monitorización continua posibilita la detección inmediata de anomalías, evitando que estas evolucionen hacia problemas mayores, cuyo desenlace más grave podría ser el colapso del viaducto, y la detección de tendencias degenerativas que indiquen la toma de decisiones relativas a acciones de mantenimiento, optimizándose los recursos y permitiendo la adopción de planes de mantenimiento preventivo (en lugar de correctivo), conllevando así ahorros económicos a largo plazo y aumentando la vida útil de la infraestructura.

"El sistema de monitorización continua ofrece la capacidad de detección de situaciones anómalas que pueden comprometer la seguridad estructural del puente y permite guiar de forma más precisa las labores de mantenimiento y reparación"

Iván Muñoz Díaz, Jaime García Palacios, Luis Chillitupa Palomino, Belén Vecino Muñoz,

Javier Naranjo Pérez, Carlos Martín de la Concha Renedo and Christian Barrera Vargas

Investigadores

Grupo de Ingeniería Estructural, Universidad Politécnica de Madrid

Tomás Ripa Alonso, Mario Martín Aguilera

LRA Infrastructures Consulting

DISCLAIMER:

All Content published or distributed by Worldsensing is made available for the purposes of general information. You are not permitted to publish our content or make any commercial use of our content without our express written consent. This material or any portion of this material may not be reproduced, duplicated, copied, sold, resold, edited, or modified without our express written consent.