

Monitorización para la evaluación de estructuras

Monitoring for the Evaluation of Structures

Fernando Díaz-Roncero González ^{1a}, Mario Martín Aguilera ^{2b}, Noemí Corral

Moraleda ^c, Tomás Ripa Alonso ^d

^a Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. LRA Infrastructures Consulting. Ingeniero de estructuras. fernandodiaz@lraingenieria.es

^b Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. LRA Infrastructures Consulting. Jefe de proyecto. mariomartin@lraingenieria.es

^c Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. LRA Infrastructures Consulting. Directora de Departamento de Rehabilitación.

noemicorral@lraingenieria.es

^d Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. LRA Infrastructures Consulting. Socio-Director. tomasripa@lraingenieria.es

RESUMEN

Este artículo aborda la monitorización de estructuras utilizando el Viaducto de Tremor como caso de estudio. Se describen las técnicas de medición implementadas, que incluyen dispositivos para medir las flechas en el centro de los vanos, las aceleraciones de los cables y las deformaciones de los mamparos, así como las condiciones ambientales en las que son tomados los datos.

El documento pretende describir de forma general la metodología y el análisis llevado a cabo en Tremor, tomándolo como referencia de una monitorización extensa y de los diferentes retos que implica la monitorización de estructuras.

ABSTRACT

This article addresses structural monitoring using the Tremor Viaduct as a case study. It describes the measurement techniques implemented, which include devices for measuring deflections at the center of the spans, cable accelerations, and bulkhead deformations, as well as the environmental conditions under which the data is collected.

The document aims to provide a general description of the methodology and analysis carried out in Tremor, using it as a reference for extensive monitoring and the various challenges involved in structural monitoring.

PALABRAS CLAVE: Rehabilitación, monitorización, parámetros, medidas, control.

KEYWORDS: Rehabilitation, monitoring, parameters, measurements, control.

1. Introducción. Objeto.

Existe un amplio patrimonio de estructuras dentro de la Red de Carreteras del Estado, las cuales son sometidas a inspecciones y seguimientos rutinarios. Una de las vías disponibles para realizar la evaluación, vigilancia y control estructural es la monitorización, que constituye una vía única para el conocimiento

eficaz, fiable y continuo del estado de una estructura.

La monitorización eficaz de las estructuras debe pasar por conocer su respuesta estructural, para verificar si los parámetros de comportamiento reales están dentro de un rango adecuado. Siendo esto así, una buena estrategia de monitorización debe implantar sistemas con

objetivos claros que justifiquen el porqué de cada uno de los parámetros controlados, definiendo a su vez qué características técnicas deben cumplir los aparatos de toma de datos y dónde colocarlos. Para ello, resulta primordial entender la tipología, comportamiento y forma en que trabaja la estructura.

Una vez decidido los parámetros a monitorizar, los dispositivos de medición y la ubicación de los mismos (qué, cómo y dónde) de forma meditada, es posible realizar una óptima interpretación de los datos obtenidos y la correlación de las medidas entre unos dispositivos y otros.

Como norma general, hay tres motivos por los cuales se inicia un proyecto de monitorización en una estructura existente: se quiere monitorizar el comportamiento de una estructura de tipología singular, se quiere controlar el comportamiento de una estructura ante un procedimiento concreto de reparación o se quiere controlar el comportamiento de una estructura con una problemática determinada.. En todos los casos es necesario conocer los valores normales de comportamiento con los que poder comparar los resultados obtenidos en la monitorización. En este sentido, en el caso de estructuras existentes no se suele disponer de esta información, por lo que, conforme se va ampliando la cantidad de datos registrados se amplía la base de conocimiento, lo permite el ajuste de los umbrales (rango aceptable de los valores normales de comportamiento) y la optimización de la monitorización proyectada.

Así pues, la presente ponencia pretende, a partir del desarrollo de un caso práctico singular como es el Viaducto de Tremor, exponer la metodología para la implantación de un sistema de monitorización exitoso, profundizar en la labor que LRA está llevando a cabo para el análisis de los datos y plasmar las conclusiones obtenidas en este proceso.

1.1 Descripción e introducción de la estructura del Viaducto de Tremor.

El Viaducto de Tremor se localiza en el P.K. 355+800 de la autovía A-6, a su paso sobre el cauce del río Tremor y la carretera L-460, en el término municipal de Torre del Bierzo (León).

La estructura presenta un trazado en planta curvo de 469.30 m de longitud, distribuido en 11 vanos Isostáticos de 44,7+39,1+39,1+39,1+44,7+39,1+5x44,7 m de sección doble cajón de hormigón postesado.

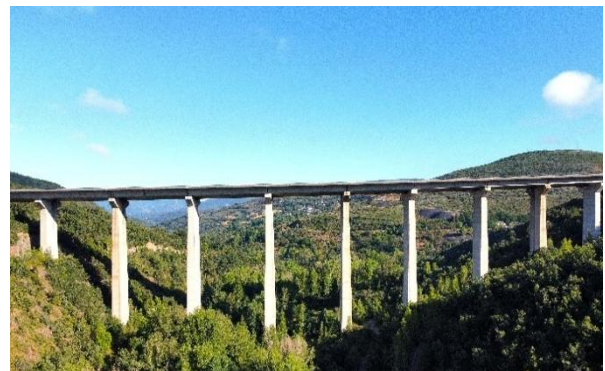


Figura 1. Vista general del Viaducto de Tremor.

Los cajones de los tableros están compuestos por dovelas conjugadas con cables de pretensado exterior anclados a los mamparos situados en los extremos de cada vano isostático. El ancho superior de cada cajón es de 13,35 m, mientras que el ancho inferior es de unos 4 m.

El tablero se sustenta sobre 10 pilas, con una altura máxima de 70 m. Las pilas son de hormigón armado, compuestas por un fuste de sección rectangular cuya sección se amplía en su parte superior mediante un capitel con el fin de permitir el apoyo de los cajones en sus extremos. Estos descansan sobre dos aparatos de apoyo de neopreno zunchado por cajón. Las pilas disponen además de un postesado transversal en su capitel, para la flexión de las ménsulas.



Figura 2. Vista inferior del tablero.

Los estribos E-1 y E-2 son abiertos y presentan una altura máxima 10 m. Como elementos de contención de tierras se localizan muros frontales y laterales de tierra reforzada.

La plataforma tiene una anchura total de 26.00 m, y está compuesta por 2 calzadas de dos carriles de circulación cada una y arceles.

En cuanto al sistema de contención, este está formado por un pretil mixto con barandilla metálica. Por su parte, en la mediana, se localizan dos barreras de hormigón, situada cada una sobre uno de los cajones.

Las juntas de dilatación son de mástico bituminoso y se encuentran sobre los estribos y sobre las pilas P-3, P-6 y P-9. En las pilas restantes no existen juntas de calzada, ya que en estas se ha ejecutado una losa de continuidad entre estos vanos.

A raíz de las inspecciones realizadas se determina que la estructura presenta una problemática con afección al comportamiento estructural, lo que da pie, entre otras actuaciones, a la implantación de un sistema de monitorización en continuo que permita controlar en todo momento la respuesta estructural. Este sistema de monitorización responde a la siguiente estrategia:

- Medición de la flecha de los vanos mediante la instalación de sistema de medida de movimientos verticales (BridgeGuard). La medición de la flecha es un parámetro fundamental a monitorizar, ya que es reflejo de muchas de las patologías que pueden

afectar a la estabilidad de una estructura, por lo que el seguimiento de este parámetro permite controlar de forma sencilla la evolución del comportamiento global de la estructura.

- Medición de las tensiones de los cables a partir de la instalación de sensores acelerométricos. El Viaducto de Tremor presenta cables envueltos en una vaina global e inyectados con lechada. Esta tipología de cables puede presentar oquedades que, unido a las filtraciones de agua, aceleran los procesos de corrosión de los cordones. Apoyados en las inspecciones realizadas, se decide monitorizar la fuerza de tesado de los cables como parámetro de control de estos deterioros.
- Medición de los movimientos de los mamparos a partir de la variación de deformaciones en unos puntales instalados en los mamparos del viaducto con galgas extensométricas. Al tratarse un puente isostático, estos mamparos representan uno de los elementos estructurales más sensibles de la estructura. Lo anterior, unido a la existencia de deterioros en estos, evidencia la necesidad de controlar sus movimientos.

Los datos registrados por los distintos sensores se envían a un servidor web y son analizados con el fin de identificar comportamientos anómalos de la estructura y sus implicaciones estructurales.

2. Monitorización en continuo de la flecha en los vanos de Tremor.

La monitorización de la flecha se realiza con el sistema BridgeGuard, este consiste en un dispositivo medidor anclado a la pila del puente, este dispositivo apunta a una diana situada en el centro del vano de la cara inferior del cajón, la medida descenso-ascensional del puente tomada en continuo y es registrada con una precisión de $\pm 0,5$ milímetros.

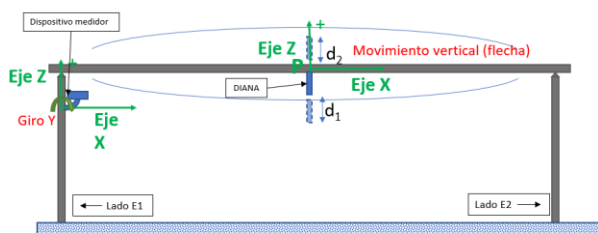


Figura 3. Croquis del dispositivo medidor.

El dispositivo medidor de la flecha incluye un inclinómetro que permite corregir la flecha medida en función de la inclinación que la pila tiene en el momento en que la lectura es tomada, evitando y corrigiendo así errores en la medición debidos al giro de la pila.



Figura 4. Dispositivo medidor de la flecha.

El inclinómetro instalado tiene una precisión de $0,001^\circ$; a su vez cumple una doble función: por un lado, como se ha mencionado, se utiliza para corregir el cabeceo del dispositivo al registrar la flecha en centro de vano, pero aporta también el dato del giro longitudinal en cabeza de pila.

También se ha incluido un sensor de temperatura que permite conocer la temperatura ambiente con una precisión de $\pm 0,5^\circ\text{C}$, dando cabida al posterior análisis e interpretación de la interacción estructural con la temperatura.

2.1 Ubicación de los dispositivos.

Se ha instalado la monitorización en continuo de la flecha en 10 de los 22 vanos de tremor. Estos vanos han sido elegidos priorizando la monitorización en los vanos donde se han encontrado una mayor presencia de deterioros.

Se ha dispuesto de un sensor de temperatura y un inclinómetro por cada uno de los dispositivos de vigilancia de la flecha.

En la estructura derecha, siguiendo el sentido creciente del P.K., se encuentran monitorizados los vanos V-2, V-3, V-4, V-8 y V-9. En cada uno de estos vanos, el dispositivo medidor se encuentra situado en la pila de mayor P.K., apuntando sentido P.K. decreciente a la diana.

En la estructura izquierda, se monitorizan los vanos V-2, V-3, V-4, V-6 y V-10, la ubicación de esta monitorización sigue el mismo criterio que en la estructura derecha, salvo para su vano 10, donde el dispositivo medidor se ubica en la pila P-9 apuntando en la dirección P.K. creciente al centro del vano.

2.2 Umbrales de admisibilidad

El sistema monitoriza la flecha activa, es decir, la producida después de la aplicación de las cargas permanentes y, por lo tanto, estará definida por las sobrecargas de uso y acciones climáticas.

Con objeto de facilitar la interpretación de los resultados de los movimientos registrados por el sistema de monitorización de la flecha, se han establecido unos umbrales de valores normales de comportamiento de la estructura frente a una serie de hipótesis de carga (sobrecargas de tráfico, gradiente térmico, etc.). A partir de estos umbrales se puede determinar si los valores registrados por el sistema de monitorización reflejan una respuesta normal de la estructura o, por el contrario, se han excedido los valores normales de comportamiento. En caso de que se excedan estos valores, se establecerá a partir de estos umbrales un sistema de alertas.

2.3 Representación e interpretación de resultados

La representación de los resultados debe realizarse en función de lo que se quiera analizar.

Es fundamental elegir unas escalas adecuadas que permitan la correcta visualización de los eventos. La escala temporal puede ir desde segundos, minutos, horas, hasta incluso un ciclo

diario, semanal, mensual, anual o el histórico de los datos registrados.

Se expone como ejemplo la representación de la flecha elástica instantánea del vano 4 de la calzada izquierda, con una escala temporal de 48 horas y resolución de toma de datos cada 3 segundos.

En la gráfica se muestra:

- En color verde, la flecha vertical en centro de vano, en mm.
- En naranja, la temperatura ambiente, en grados centígrados.
- En marrón, el giro longitudinal del inclinómetro integrado en el dispositivo.

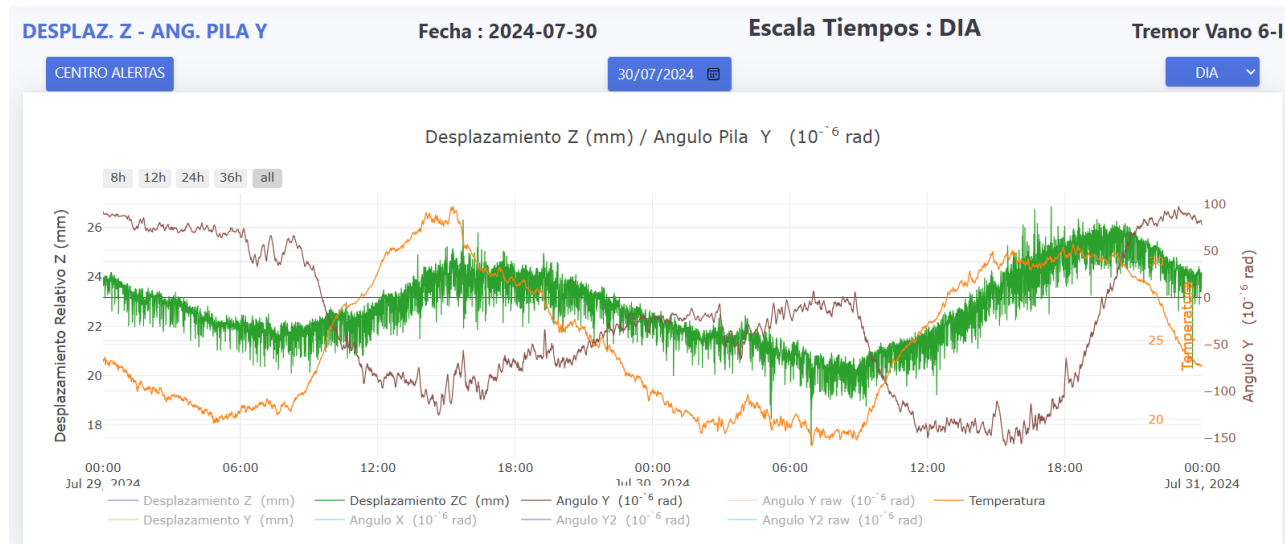


Figura 5. Gráfica tipo para análisis de la flecha instantánea.

2.4 Registro de eventos

Los eventos que se registran en la estructura, si están correctamente documentados se pueden emplear para la calibración del sistema de monitorización o para la corroboración y validación de las medidas que se están tomando. En este sentido, los días 23 y 24 de enero del 2024 se realizó en la estructura de Tremor una prueba de carga estática, dicha prueba de carga quedó perfectamente registrada, por lo que se pudo contrastar con la medida tomada por el dispositivo medidor de la flecha que LRA tenía dispuesto en la estructura.

Para el registro de la prueba de carga se utilizó un nivel digital de alta precisión.



Figura 6. Nivel digital de alta precisión.

La prueba de carga estática consistió en una primera lectura en vacío, es decir, sin camiones. Posteriormente, se procedió a colocar los camiones donde se tomó una lectura que registró el descenso del vano, esto se repitió en el resto de vanos de la estructura.

Los datos registrados por la topografía se usaron para compararlos con los registrados por la monitorización de la flecha.

En las tablas expuestas a continuación se compara la flecha registrada por la topografía en la prueba de carga con la flecha registrada por la monitorización.

Tabla 1. Registro prueba de carga calzada Madrid.

REGISTROS DE LA PRUEBA DE CARGA. TREMOR. CI. SENTIDO MADRID					
	Vano 2-I	Vano 3-I	Vano 4-I	Vano 6-I	Vano 10-I
Flecha topografía (mm)	-4,4	-4,9	-3,8	-5,1	-5
Flecha monitorización (mm)	-4	-5	-4	-5	Sin datos
Comienzo de la carga	14:33	14:24	14:16	13:40	Sin datos
Comienzo de la descarga	14:39	14:33	14:24	14:02	Sin datos

Tabla 2. Registro prueba de carga calzada A Coruña.

REGISTROS DE LA PRUEBA DE CARGA. TREMOR. CD. SENTIDO A CORUÑA					
	Vano 2-D	Vano 3-D	Vano 4-D	Vano 8-D	Vano 9-D
Flecha topografía (mm)	-5,8	-5,9	-5,2	-7,7	-8,3
Flecha monitorización (mm)	-5	-5	-4	-6	-7
Comienzo de la carga	12:12	12:28	12:48	13:41	13:50
Comienzo de la descarga	12:28	12:48	13:02	13:50	14:00

No se disponen de los datos del vano 10 de la calzada izquierda ya que se produjo un error en la lectura de estos en el momento de la prueba de carga.

A continuación, se adjunta el registro de la flecha del vano 6 de la calzada izquierda en el momento de la prueba de carga con una escala temporal de dos horas.

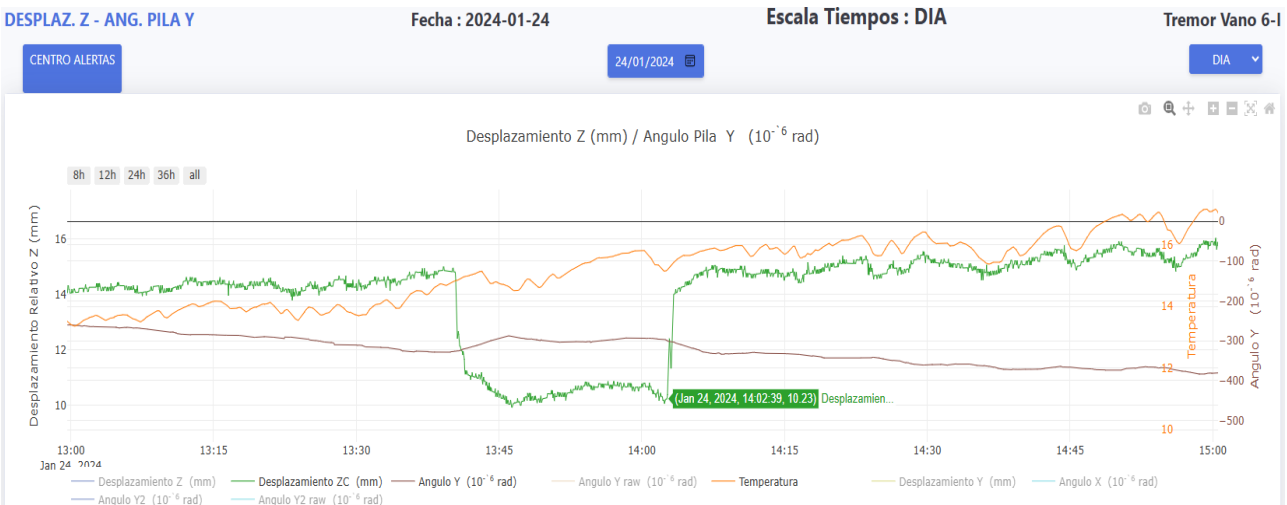


Figura 7. Registro del vano 6 calzada izquierda

2.5 Conclusiones de la monitorización de la flecha.

Del análisis de las gráficas de flecha elástica realizado a lo largo de la monitorización se ha ido observando lo siguiente:

La respuesta de flechas elásticas instantáneas de la estructura se mantiene dentro de los órdenes de magnitud previstos (valores umbrales de flecha elástica):

- La flecha vertical tiene una oscilación diaria debida al gradiente térmico, acompañada con la variación térmica ambiental diaria.
- Sobre este ciclo diario de la flecha se superponen las flechas elásticas instantáneas al paso de la sobrecarga. Se observa la sollicitación de cargas en

los periodos diurnos, reduciéndose significativamente en el periodo nocturno entre las 24.00 y las 06.00.

- Las flechas elásticas en general son del orden de unos 3-5 mm, registrando eventos puntuales con valores mayores.
- El giro en cabeza de pila exhibe igualmente un ciclo de oscilación diaria asociado a la dilatación térmica del tablero.
- Se han registrado episodios de flecha vertical elástica que superan los valores umbrales calculados. Estos episodios de flecha vertical elástica parecen deberse a un efecto dinámico de vibración del vano al paso de vehículos pesados, no necesariamente de carga excepcional; el efecto

dinámico amplifica los movimientos frente a los producidos para esa misma carga aplicada de forma estática.

3. Monitorización continua de la fuerza de los cables de pretensado.

El segundo sistema de monitorización que se ha instalado en el Viaducto de Tremor es el sistema de control de la fuerza de los cables de pretensado mediante la monitorización dinámica basada en sensores acelerométricos junto con la medida de la humedad y temperatura del interior del cajón.

3.1 Ubicación de los dispositivos

El sistema se ha instalado en las dos calzadas de la estructura y se han colocado un total de 24 acelerómetros piezoeléctricos de altas prestaciones en los cables de pretensado exterior, 12 por tablero, además de 2 acelerómetros dispuestos en el propio tablero del puente (vano 9 de la calzada Coruña y vano 5 de la calzada Madrid).

Se disponen de dos acelerómetros por vano en ambas calzadas V-2,V-3,V-4,V-8,V-9 y V-10, a L/8 del vano, en los cables superiores próximos al eje de simetría de la sección cajón, empleando abrazaderas para sujetarlos a los cables.

3.2 Umbrales de admisibilidad

Como dato de referencia en los cables de pretensado se ha usado la pérdida de tesado esperables para el tipo de cables y estructura, este dato se ha comparado la fuerza medida por la monitorización.

Los umbrales de alerta se han establecido a partir de la lectura de los primeros datos de monitorización y se han ido ajustando en función que se ha ido recibiendo una mayor cantidad de datos, pautando un umbral de

desviación de confianza que permite absorber los ciclos térmicos.

Las señales de alarma se activan cuando uno o varios parámetros están fuera del intervalo de confianza.

3.3 Representación e interpretación de resultados.

Como ya se ha comentado en el apartado 2.3

Representación e interpretación de resultados, la elección de una escala adecuada es esencial para el correcto análisis de los resultados, marcando esta elección el evento o incidencia que se quiera observar.

La lectura de los datos que se muestran a continuación representa los resultados registrados para el mes de junio del acelerómetro 2.2.

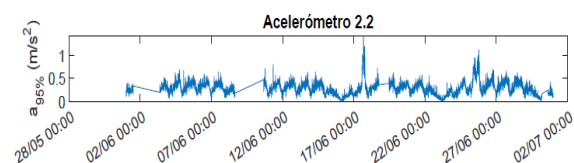


Figura 8. Aceleración del acelerómetro 2.2.

De las medidas dinámicas de los tendones se obtienen las siete primeras frecuencias de calibración y con ellas, se lleva a cabo una calibración en línea de gemelo digital de cada tendón empleando algoritmos genéricos. Como resultado se obtiene una estimación continua de la tensión del tendón (fuerza efectiva), parámetro que permite una mejor interpretación al tener un orden de magnitud.

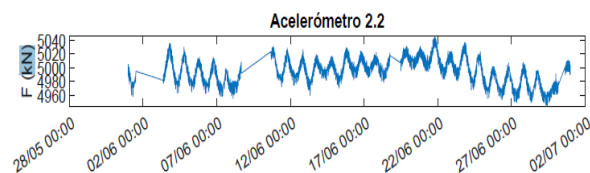


Figura 9. Fuerza (kN) del acelerómetro 2.2.

3.5 Conclusiones de la monitorización de los cables.

En la mayor parte de los cables de pretensado de la calzada Coruña la estimación de la fuerza se encuentra entre unas pérdidas en torno al 17-18%, por lo que se encuentran dentro de los rangos de magnitud para los cables. En algunos cables se han observado fuerzas inferiores pero estables, sin que se produzca variación diferencial de fuerzas significativas entre los cables que tienen menor fuerza de tesado y el resto de cables monitorizados.

Se observa como la fuerza de tesado está relacionada con la temperatura ambiente, con la llegada del invierno y la bajada de las temperaturas la fuerza de tesado se incrementa del orden de 50-100 kN, fuerza que desciende con el aumento de las temperaturas, por lo que probablemente esté asociada a los fenómenos térmicos estacionales.

En el transcurso de la monitorización se ha comprobado cómo los tendones eslingados arrojan diferentes resultados, por lo que no se pueden extraer conclusiones con respecto al comportamiento de los demás. No obstante, el seguimiento de los valores permite valorar la evolución del tendón. Observando si los valores de la frecuencia como de la carga presentan valores estables.

4. Sistema de monitorización de los mamparos.

El tercer sistema de monitorización que se ha instalado en el Viaducto de Tremor tiene como objeto conocer los movimientos de los mamparos del viaducto.

El sistema de monitorización inalámbrico consta de sensores de deformación de cuerda vibrante soldados en los puntales.

4.1 Ubicación de los dispositivos

Se ha planteado un sistema indirecto de monitorización en continuo mediante la instalación de una pareja de puntales en cada uno de los mamparos (un total de 88 puntos de medida). Estos puntales se encuentran anclados en uno de sus extremos al mamparo y en el otro a la cara inferior del interior del cajón. La monitorización se ha instalado en cada uno de los puntales y mide en continuo las deformaciones de los mismos mediante un extensómetro de cuerda vibrante, que se traduce posteriormente en términos de fuerza. También se mide en continuo en cada puntal la temperatura mediante un termistor.

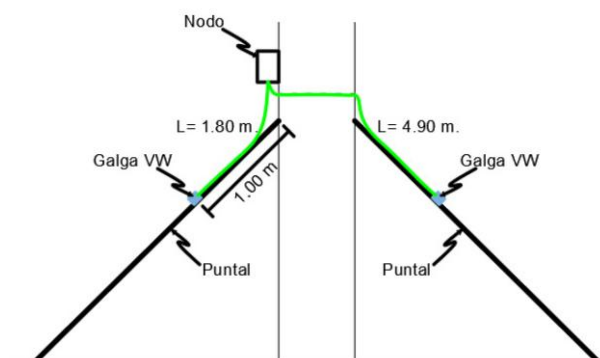


Figura 10. Alzado del sistema de monitorización de los puntales.



Figura 11. Foto detalle de los puntales instalados.

4.2 Umbrales de admisibilidad

Los datos se procesan junto con el resto de los datos del sistema de acelerometría y se incorporan a un módulo de alarmas.

Los umbrales se han establecido de acuerdo a las lecturas obtenidas en los primeros meses de monitorización, dichos umbrales se

han ido actualizando y ajustando conforme se iban recibiendo más datos.

4.3 Representación e interpretación de resultados.

Con la monitorización en continuo se obtienen las deformaciones instantáneas junto con la temperatura de cada puntal. Conociendo el gradiente térmico del material de los puntales instalados se obtiene de manera directa la fuerza en kN.

A continuación, se expone los resultados para el mes de junio de los puntales situados en el vano 4, pila 3 de la calzada norte.

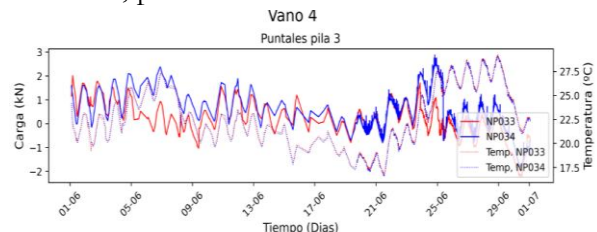


Figura 12. Gráfico V-4, P-3 mes de enero 2024.

En la gráfica se muestra:

- En línea continua, color rojo, la carga en kN del puntal 3 de la pila 3, vano 4.
- En línea continua, color azul, la carga en kN del puntal 4 de la pila 3, vano 4.
- En línea discontinua, color rojo, la temperatura del puntal 3 de la pila 3, vano 4.
- En línea discontinua, color azul, la temperatura del puntal 4 de la pila 3, vano 4.

4.4 Eventos registrados.

En el transcurso de la monitorización de los puntales de los mamparos se han registrado una serie de eventos, como el de la prueba de carga, el cual se desarrolla a continuación.

A continuación, se va a exponer el registro que presentaron los mamparos en la monitorización tras el evento sucedido los días 23 (Calzada norte) y 24 (Calzada sur) de enero del 2024.

El puntal NP023, pila 2, vano 3 se ha detectado un salto el día de la prueba de carga, del orden de 1,7 kN permanente.

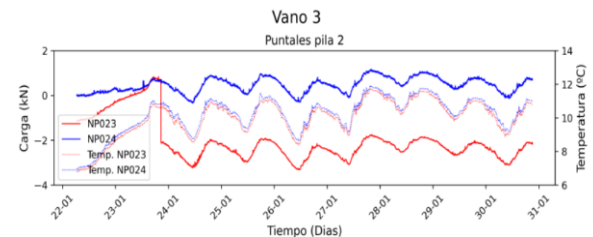


Figura 13. Gráfico V-3, P-2 mes de enero 2024.

El puntal NP041, pila 4, vano 4 se ha detectado un salto el día de la prueba de carga, del orden de 0,5 kN permanente.

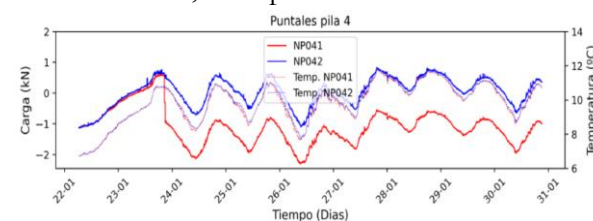


Figura 14. Gráfico V-4, P-4 mes de enero 2024.

Tras estos saltos, los comportamientos de los puntales han sido estables. Por otro lado, la monitorización registrada en el resto de mamparos los días de la prueba de carga no han presentado eventos significativos.

4.5 Conclusiones de la monitorización de los puntales

Los mamparos monitorizados a través de los extensómetros instalados en los puntales reflejan de forma general las siguientes conclusiones:

- La carga de los puntales es sensible a la variación térmica, existiendo una clara correlación entre las variaciones de fuerza y los cambios de temperatura.
- Existen una serie de puntales que presentan una mayor sensibilidad a las variaciones de carga, si bien no se aprecia una evolución significativa respecto a meses anteriores.

5. Conclusiones.

La monitorización del Viaducto de Tremor se trata de un claro ejemplo de un correcto planteamiento, donde se ha recopilado una cantidad de datos suficientes que permite la toma de decisiones.

Se ha mostrado en el análisis de cada una de las conclusiones correspondientes al sistema de monitorización dispuesto (medición de la flecha en centro de vano, medición de las tensiones de los cables y el movimiento de los mamparos), cómo una correcta interpretación y correlación de los resultados permite conocer el comportamiento de una estructura, las causas que le llevan a comportarse de esa forma y su evolución a lo largo del tiempo.

Por tanto, a partir del ejemplo anterior, podemos afirmar que la monitorización es una herramienta eficaz para el seguimiento y vigilancia de estructuras.

La monitorización debe ir unida a un correcto planteamiento, un análisis y evaluación adecuados. Por ello, de forma previa, es preciso conocer la forma en la que trabaja la estructura e ir acompañado de una inspección visual que permita conducir y optimizar el abanico de herramientas que presenta la monitorización.

Para realizar un correcto análisis de una estructura, se requiere la recopilación de datos durante un periodo de tiempo determinado, que por comparación y contraste permiten discernir y establecer unos umbrales adecuados. Todo ello permite detectar situaciones o comportamientos que se desvían del esperable de la estructura y puedan indicar la presencia de deterioros o la merma de las propiedades. Registrando de forma temprana una alerta y aviso de la necesidad de una actuación que lleve a su rehabilitación.

Agradecimientos

Al grupo de investigación consolidado por Grupo de Ingeniería estructural, en especial a Iván Muñoz, a Jaime García por el soporte prestado en la toma de datos y en el procesamiento de la señal en las aceleraciones de los cables y en los puntales de los mamparos.

También agradecer a Fernando Allona y a Luis Ramírez de la empresa ISMSensing, por dar soporte a LRA Infrastructures Consulting con el dispositivo medidor de la flecha (Bridge Guard), así como el trabajo realizado en la toma de datos y procesamiento de la señal.

Por último, agradecer en especial a Pilar Crespo, José Vidal, Carlos López y Sergio Agulló ya que gracias a su implicación han hecho posible la monitorización de la estructura de Tremor.