

t **tramos**

nº 759 / junio 2025

Revista del Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible

**Ferrocarriles españoles:
estado actual y retos del futuro**



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE TRANSPORTES
Y MOVILIDAD SOSTENIBLE

Grupo Transportes



*Sostenibles
para ti*



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE TRANSPORTES
Y MOVILIDAD SOSTENIBLE

Contenido

nº 759 / junio 2025

- 2 **Presente sólido con retos pendientes**
- 14 **Nuevotramos**
- 26 **Alternativa junto al embalse**
- 36 **Siempre conectadas**
- 44 **El Servicio de Posicionamiento GNSS en Tiempo Real del IGN**
- 56 **La educación azul como génesis de una Administración Marítima estable**
- 64 **Torres Quevedo, el pionero de los transbordadores aéreos**
- 72 **Tramos ejemplares**



Créditos

Edición y coordinación de contenidos:

Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible.

Página web: www.transportes.gob.es

Colaboran en este número: Javier Rodríguez-Ventosa; Álvaro Parrilla Alcaide; Pilar Crespo Rodríguez; José Manuel Serna Puente; José Antonio Sánchez Sobrino; Christian Palomar Pozo; Francisco Javier Benítez y M. Carmen Moreno Herrero.

Fotografía: Adif; DCE en Aragón; Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible; Shutterstock.

Comité de Redacción: Presidencia: Rafael Guerra Posadas (Subsecretario).

Vicepresidencia: Alejandra González Madrid (Secretaría General Técnica).

Vocales: Pere Rostoll Fernández (Director de Comunicación), Ainhoa Morondo Quintano (Directora del Gabinete de la Secretaría de Estado); Aida Joaquín Acosta (Jefa del Gabinete de la Subsecretaría), Mónica Marín Díaz (Jefa del Gabinete Técnico de la Secretaría General de Transporte Terrestre), Álvaro José Fernández-Iruegas Pombo (Jefe del Gabinete Técnico de la Secretaría General de Transportes Aéreo y Marítimo) y Tomás Herrero González (Jefe del Gabinete Técnico de la Secretaría General de Movilidad Sostenible).

Diseño y maquetación: Chelo Cruz. Centro de Publicaciones.

Dirección: Nuevos Ministerios. Paseo de la Castellana, 67. 28071 Madrid. Teléfono: 915 977 000.

Suscripciones: M^a Ángeles Baltar Arnaiz: 915 977 260 y Estrella Benedito Culebras 915 977 814. **e-mail:** cpublic@transportes.gob.es

Acceso a la publicación en digital y compra de la revista en papel en

<https://publicaciones.transportes.gob.es/>

Y al histórico de la revista en <https://www.transportes.gob.es/el-ministerio/informacion-para-el-ciudadano/revista/listado-de-revistas>

Dep. Legal: M-666-1958. ISSN: 2792-4564. ISSN-e: 2792-4572.

NIPO: 196-24-001-2 y NIPOe: 196-24-002-8.

Esta publicación no se hace necesariamente responsable solidaria con las opiniones expresadas en las colaboraciones firmadas.

Esta revista se imprime en papel FSC o equivalente.

Monitorización de estructuras
de la Red de Carreteras del Estado en tiempo real

Siempre conectadas

Autovía A-66 Ruta de la Plata.
Tramo: Hinojal-Cáceres.
Viaducto del Almonte. Estructura
cuya construcción fue objeto
de la primera monitorización
transmitida y visualizable vía
web en tiempo real en la RCE, en
el año 2003.



La Dirección General de Carreteras cuenta con algunos puentes y taludes que disponen de un sistema de monitorización en tiempo real. Estos sistemas se integran en una plataforma, que constituye una apuesta por la digitalización de las infraestructuras, que ha de conducir a una mejora de la gestión de su conservación y, en último término, de las condiciones de seguridad de los usuarios.

- **Texto:** Álvaro Parrilla Alcaide, jefe del Área de Geotecnia y Pilar Crespo Rodríguez, jefe del Área de Estructuras, Dirección General de Carreteras

Introducción

La Red de Carreteras del Estado (RCE) cuenta con una serie de puentes y obras geotécnicas singulares que disponen de un sistema de monitorización en tiempo real para la vigilancia de su comportamiento.

Estos sistemas están orientados a uno o varios de los objetivos siguientes: herramienta de ayuda a la construcción durante la fase de obras, vigilancia del correcto funcionamiento de la estructura en servicio, control de la evolución de una patología determinada o ayuda a la explotación del tramo de carretera en el que se encuentran. Paralelamente, pueden servir como colectores de datos que puedan explotarse con fines de investigación

y redacción de normativa. El control de parámetros monitorizados ha de redundar en una mejora de la seguridad y de las condiciones de servicio de las carreteras, así como en la detección temprana de eventuales problemas en la infraestructura.

Estas monitorizaciones, que cuentan con multitud de sensores instalados físicamente en las alturas del puente o en el interior del terreno que se pretende auscultar y que disponen de otros equipos auxiliares emplazados en sus inmediaciones, no funcionan únicamente de manera local y aislada, con criterios de organización interna y seguimiento diferentes para cada caso, sino que envían sus datos en remoto a una plataforma unificada para el seguimiento y análisis en tiempo real de las estructuras de la RCE. Se trata de Celosía cuyo portal de acceso web (www.celosia.es) permite la gestión centralizada y homogénea de toda la información generada en dichas estructuras.

Una Red tan amplia, que vertebraba el territorio nacional a lo largo de más de 26 500 kilómetros y que cuenta con miles de puentes y taludes, requiere unos criterios de gestión de la información que sean homogéneos y coherentes. Aunque la plataforma como tal data de 2020, la idea no es ni nueva, ni fruto de la casualidad.

En 2003 se llevó a cabo el seguimiento en tiempo real de la construcción del viaducto del Almonte sobre el río homónimo, en el tramo Hinojal-Cáceres de la autovía A-66 conocida como Ruta de la Plata, cuando la tecnología de las comunicaciones vía satélite hizo posible la transmisión instantánea de los datos, tan pronto se iban produciendo. Con los años, el número de obras objeto de este tipo de instrumentaciones se fue incrementando. Los sistemas dispuestos, con

características técnicas heterogéneas y sin requisitos comunes de comunicación, habían funcionado de manera aislada y sin estandarizar, lo que implicó que su gestión no se abordara de forma adecuada por una falta de centralización del conjunto. Durante un buen número de monitorizaciones, la Dirección General de Carreteras (DGC) fue adquiriendo la experiencia necesaria para ir definiendo esta plataforma, no solo en puentes, sino también en taludes y laderas...y vendrán otros elementos.

A lo largo de más de veinte años y de decenas de instalaciones de este tipo, se ha puesto de manifiesto la necesidad de contar con un sistema que permita:

- Automatizar la transmisión de datos en tiempo real.
- Universalizar la presentación de la información con independencia de la tecnología utilizada para la monitorización y de la empresa que la haya implementado.
- Centralizar la administración de las estructuras monitorizadas, controlando los contenidos y gestionando el acceso a la información.
- Custodiar la información mediante un banco de datos único, preservando el contenido más allá de la vida de los sistemas de monitorización.

Por último, hay que señalar que la plataforma es objeto de un contrato administrativo que está siendo financiado con cargo al Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia, a través de los fondos Next Generation de la UE.

¿Por qué una plataforma? ¿Qué se mide?

Las variables objeto de monitorización son muy distintas y obedecen a necesidades concretas de cada



Los equipos de adquisición de datos se sitúan en los puentes o laderas y no suponen ningún obstáculo para la seguridad vial.



estructura. En cada puente o talud, la monitorización se ha dispuesto por alguna causa concreta y son, precisamente esas causas y no otras, las que deben seguirse a través de los parámetros que hablen de ellas.

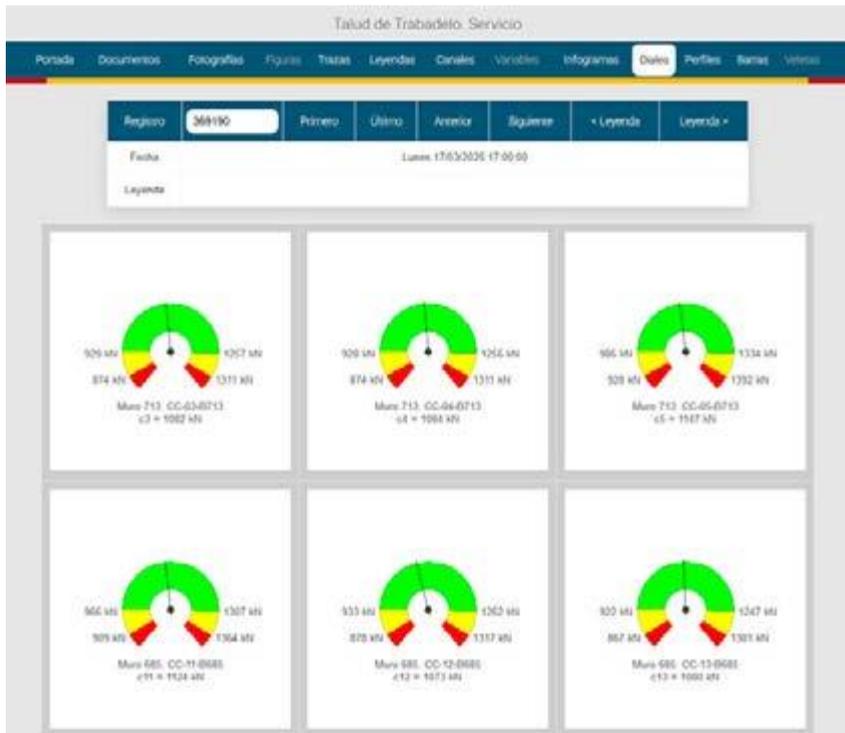
Utilizando un símil médico, una persona que padezca hipertensión arterial debería llevar una vigilancia frecuente de su tensión, pero no es necesario que todo el mundo controle su tensión arterial de la misma manera, ni que esta persona verifique muchos otros parámetros de salud. Pues, algo así sucede con los puentes, taludes y otros elementos de la carretera. Por ejemplo, si una gran ladera natural por la que discurre una carretera experimenta movimientos que dañan la infraestructura al sufrir una recarga de sus niveles de agua subterránea, se debe controlar específicamente la evolución de los niveles de agua en el interior del terreno, los movimientos del terreno tanto en superficie como en profundidad y si acaso, alguna otra variable ingenieril.

Cada una de estas variables a controlar requiere de distintos niveles de precisión y utiliza diferentes sensores y tecnologías. Los datos se adquieren en tiempo real y se envían en remoto a la plataforma.

Las posibilidades de medida son tan amplias como la ciencia permite y comprenden, por ejemplo, fuerzas en cables o en anclajes al terreno, tensiones en secciones de hormigón, desplazamientos en juntas de puentes o del terreno en profundidad, niveles de agua en pozos de drenaje, velocidad del viento a cierta altura sobre el tablero de un puente, etc.

Plataforma única

El objetivo de la plataforma es dotar a los sistemas de instrumentación de las estructuras de la RCE



Mosaico de diales y umbrales de alerta (carga en anclajes al terreno) programados para el caso particular del talud de Trabadero (17:00 del 17 de marzo de 2025). A la derecha, detalle del denominado c19.



de un soporte común de comunicación y visualización de datos en tiempo real, centralizando la información y normalizando los formatos a fin de que el contenido sea homogéneo y fácilmente accesible para el conjunto de los técnicos involucrados en la vigilancia estructural: la propia Dirección General de Carreteras, equipos de obra, de conservación, de instrumentación, etc.

La plataforma pretende unificar y universalizar formatos, facilitar un sistema de visualización común, custodiar la información en un banco de datos con permanencia en el tiempo (incluso cuando los sistemas de monitorización hayan sido retirados de las obras) y, en última instancia, constituir un recurso ágil para la vigilancia y seguimiento de operaciones de construcción, mantenimiento y explotación de las infraestructuras. Constituye, por tanto, una herramienta de ayuda a la toma de decisiones relativas a la construcción, mantenimiento y

explotación de las estructuras de la RCE, así como a la redacción de normativa técnica.

Cuanto se ha indicado implica la necesidad de efectuar una selección previa, tanto de las estructuras que se incluyen en el sistema como de los parámetros que se controlan en cada caso, toda vez que lo contrario podría llevar a la acumulación desordenada de una ingente cantidad de datos de difícil aprovechamiento, lo que trata de evitarse a toda costa. Así, puede afirmarse que la obtención de cada parámetro, en cada puente o talud, tiene un objetivo claro y concreto.

Como puede deducirse fácilmente de lo anterior, no se encuentra entre los objetivos de la plataforma promover las instrumentaciones, como un fin en sí mismo, sino ayudar a mejorar la eficiencia de aquéllas que ya existan o que se propongan *ex novo* por razones concretas: vigilancia de patologías, control del comportamiento en servicio, etc.

Hay que destacar que tampoco es objeto de la plataforma establecer condiciones técnicas a los equipos instalados en las estructuras, ni interferir en los procedimientos inherentes a cada sistema, sino marcar unas pautas de adquisición y disponer de la información en tiempo real, respetando las características técnicas y particularidades de cada sistema instrumental. Si se hubiera recurrido únicamente a los equipos, protocolos y sistemas más modernos, excluyendo a otros más antiguos, se podría perder la continuidad de un riquísimo histórico de datos que se reciben instantáneamente provenientes de sistemas instalados (a veces en lugares de difícil acceso) hace más de veinte años.

El principio rector de la plataforma es permitir el acceso a la información en tiempo real. Cualquier dato experimental que se tome en una estructura debe ingresar en el banco de datos y estar disponible a través del portal web en cuestión



Anemómetros en el viaducto de Montabliz (Cantabria).



de segundos. Así pues, el sistema gravita en torno a los siguientes motores: tiempo real, tanto en lo relativo a la recepción de los datos registrados en las estructuras como en lo relativo a la publicación

de los mismos; accesibilidad universal a la información a través del portal web, mediante contraseñas y, compatibilidad con cualquier tecnología de medida y de almacenamiento.

La plataforma integra un banco de datos, un portal web y un conjunto de herramientas de análisis en un espacio único de trabajo. El banco de datos contiene los datos reales que se recogen a lo largo del tiempo de las estructuras alojadas en la plataforma. El portal web es el medio de publicación y visualización gráfica, con utilidades de control para el seguimiento de los procesos monitorizados. Las herramientas de análisis conforman un entorno interactivo de proceso avanzado de datos al servicio de los técnicos de la DGC para el estudio individual o conjunto de las estructuras: puentes y taludes.

El sistema es automático. Los contenidos se generan y presentan a demanda de los usuarios, actualizados siempre a los últimos datos disponibles. El motor central de la plataforma conjuga los datos reales (experimentales) con las variables y algoritmos internos necesarios para producir un contenido de mayor nivel y utilidad, que se alimenta en línea y actualiza los diferentes objetos visuales: infogramas, diagramas, diales, etc. Por ello, la programación de algoritmos permite que se pueda disponer no solo de datos en bruto, sino de magnitudes derivadas.

La elaboración de los datos puede llevar a su vez a la programación de umbrales de alerta que impliquen más de una variable, que supongan una evolución temporal, etc. Así, a modo de ejemplo, la alerta en la vigilancia de un talud, con aviso a los usuarios predeterminados en tiempo real, se puede deber a que la lectura de un piezómetro concreto alcance un determinado valor (variable única obtenida por la lectura de la presión sobre un sensor en un piezómetro); o bien, por una elevación generalizada de



Aspecto general de la página (marzo de 2025): www.celosia.es.

niveles de agua en el terreno en una alineación de piezómetros, sin visos de disminución en un periodo determinado de tiempo, tras una lluvia de intensidad conocida previamente y registrada por el sistema, lo que supone la combinación de diferentes variables.

Los datos contenidos en la plataforma tienen múltiples usos que se extienden desde el control de maniobras y vigilancia de medios auxiliares de construcción (corto plazo) al seguimiento de la evolución de patologías (medio plazo) o a la detección de patrones de comportamiento (largo plazo), en una estructura concreta o incluso en una determinada tipología estructural.

La información almacenada resulta de utilidad para mejorar la comprensión de las estructuras, sus materiales, sustentar avances en el diseño y fortalecer la normativa de proyecto. La continuidad de las series históricas de datos y su tratamiento con visión de conjunto son fundamentales para acometer estos retos.

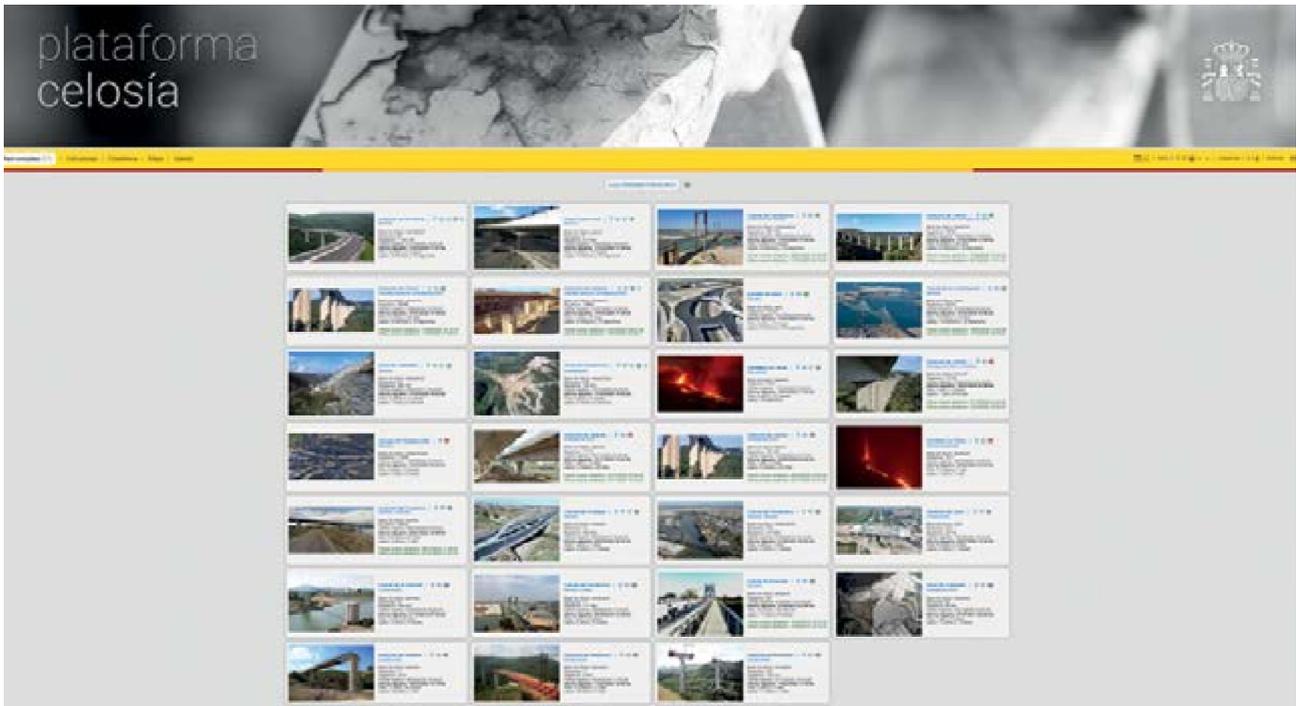
¿Cuánto y dónde se mide?

Otra de las cuestiones fundamentales de la plataforma es la frecuencia de las medidas que, con carácter general, es de un registro de datos cada cinco minutos. De

esta forma, se dispone de 288 instantáneas de la situación estructural por día, generando una base de datos histórica que puede alcanzar cientos de miles de registros a lo largo de los años. La toma de datos debe hacerse coincidente con

Celosía: Mapa de estructuras monitorizadas (marzo de 2025).



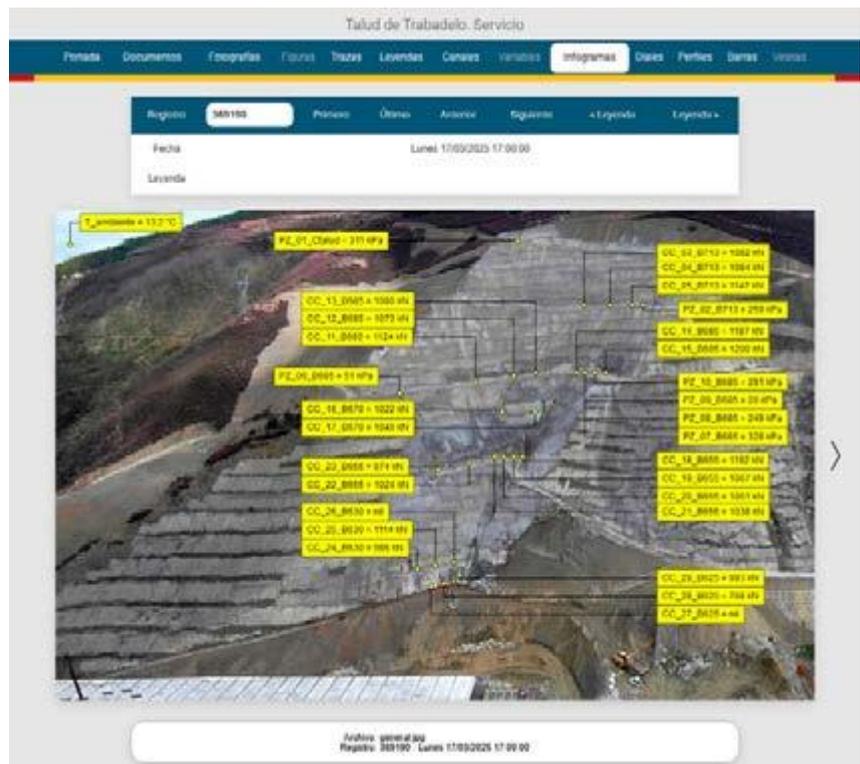


Aspecto general de la galería de imágenes correspondiente a las estructuras monitorizadas (marzo de 2025).

las horas exactas y sus progresivos incrementos de cinco minutos (por ejemplo, a las 12:00, 12:05, 12:10, etc.). Esto tiene por objetivo no solo ordenar adecuadamente los datos en el tiempo, sino también permitir los estudios de correlación de datos entre diferentes subestructuras de una misma obra e, incluso, entre diferentes estructuras.

Además de lo anterior, en ciertos casos en el campo de los puentes, se requieren varias lecturas por minuto en las fases de construcción con empujes o tesados, por ejemplo, mientras que en parámetros dinámicos, como es el caso de las vibraciones en puentes atirantados, se deben registrar cien lecturas por segundo, es decir una frecuencia de cien hercios.

Las estructuras monitorizadas actualmente se encuentran en las ubicaciones indicadas en el mapa y totalizan casi seis mil canales de lectura instalados. A día de hoy, la plataforma cuenta con treinta y una estructuras incluidas y se está preparando un nuevo grupo de taludes y puentes para su integración en la misma.



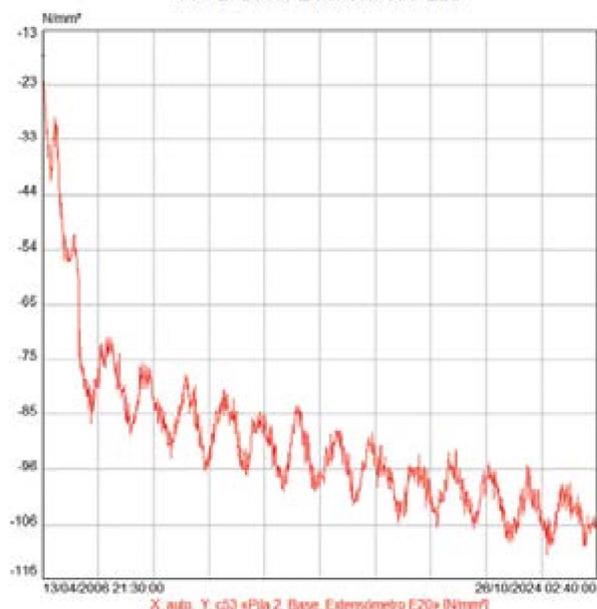
Talud de Trabadelo: Canales y lecturas (ejemplo del 17 de marzo de 2025 a las 17:00).

Algunos ejemplos

En el **talud de Trabadelo** (A-6, León), uno de los más altos y complejos de España, cuando se ha observado en los datos recibidos en la plataforma una subida prolongada en el tiempo de niveles de

agua en el terreno sin reflejo en la pluviometría, se ha podido actuar perforando nuevos drenes para aliviar dicha subida. También, se han revisado los anclajes y se han retesado o perforado otros nuevos, cuando se ha visto que la carga de

Viaducto de Montabliz
Registro histórico en servicio
Pila 2. Base. Extensómetro E20 (N/mm²)



Viaducto de Montabliz. Base de pila 2. Histórico de tensiones desde abril de 2006.

algunos o de un grupo de ellos se encontraba fuera de niveles asumidos como admisibles. Después se ha comprobado, por los mismos u otros canales de lectura, la eficacia de dichas medidas, que han podido evitar daños a la infraestructura.

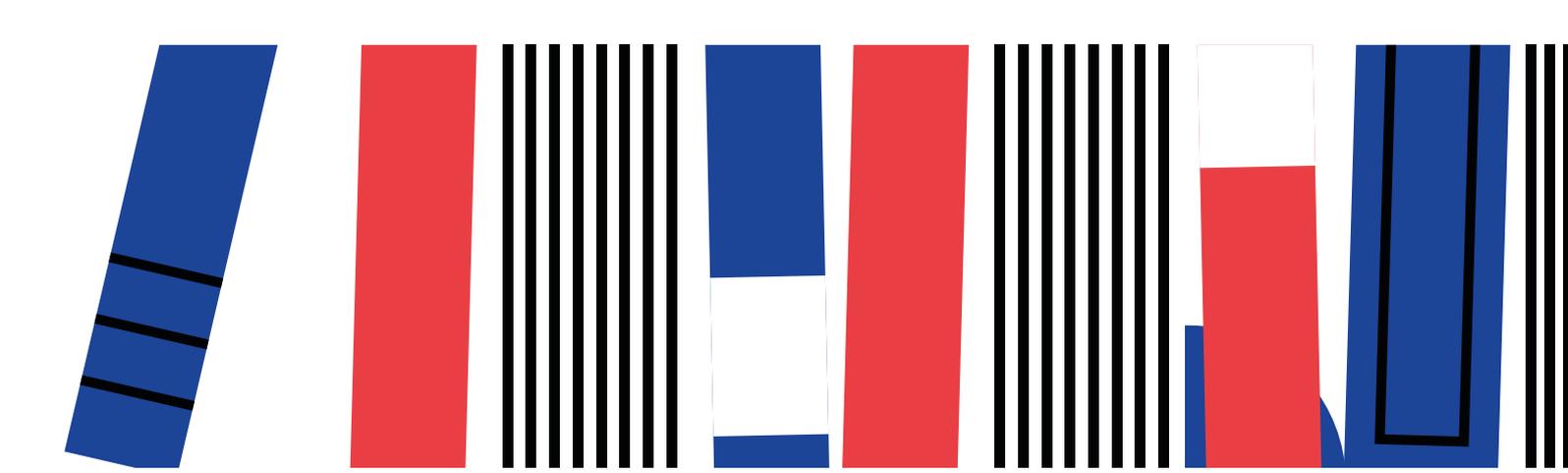
El **Viaducto de Montabliz** (A-67, Cantabria) cuenta con una pila de 128 m de altura. Es la pila de puente más alta de España. Se han cumplido diecisiete años de su puesta en servicio y dentro de unos meses se cumplirán los veinte años del inicio de su construcción. Desde entonces, enero de 2006, se están registrando las tensiones en la base de la pila. Así, se ha podido observar, como nunca antes se había podido hacer, el aumento de la compresión durante los años de la construcción a medida que se iba hormigonando la propia pila y el tablero, de 175 m de luz máxima. También se han podido observar las oscilaciones posteriores debidas a los ciclos térmicos anuales, así como la tendencia al incremento lento de esas compresiones a lo largo de los años a causa del fenómeno conocido como fluencia del hormigón.

No obstante, si bien la plataforma presenta unas potencialidades extraordinarias, nunca se debe perder de vista el componente humano ya que se trata de estructuras y problemas complejos. Siempre debe de haber detrás un equipo de especialistas, que conozca los emplazamientos, vigile cada instrumentación, recorra el talud o el puente, analice los datos y tome las decisiones más adecuadas. ■



Viaducto de Montabliz: Tensiones en el hormigón en determinadas secciones de control (ejemplo del 18 de marzo de 2016 a las 21:45).





Más cerca de ti

**Nueva librería del Ministerio de
Transportes y Movilidad Sostenible
en el interior del recinto de
Nuevos Ministerios en frente
del obelisco.**

**Te atendemos presencialmente
en horario de 9:00 a 14:00 h.**

Centro de Publicaciones (librería)

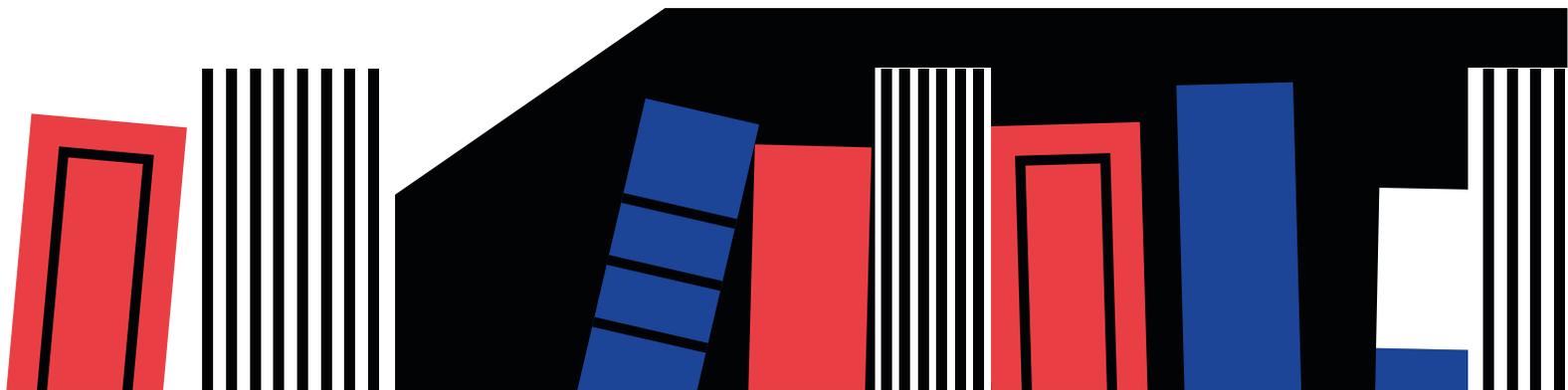
Paseo de la Castellana, 67

28046 MADRID

Tel: 915 975 396

cpublic@transportes.gob.es

<https://publicaciones.transportes.gob.es/>





84 FERIA DEL LIBRO
de Madrid



CENTRO
DE
PUBLICACIONES

Visítanos en la Feria del Libro de Madrid

LIBRERÍA
Centro de Publicaciones



CENTRO
DE
PUBLICACIONES

INSTITUTO
GEOGRÁFICO
NACIONAL



Casetas nº 2 a 4 · Parque de El Retiro

del 30 de mayo al 15 de junio

L-J 10:30-14:00 h. / 17:00-21:00 h. y V 10:30-14:00 h. / 17:00-22:00 h.

S-D 10:30-15:00 h. / 17:00-21:00 h.



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE TRANSPORTES
Y MOVILIDAD SOSTENIBLE