

# Nuevo Viaducto sobre el Río Júcar en Cullera: instrumentación\*

*New bridge over the Júcar River in Cullera: instrumentation\*\**

Sara Valor González<sup>\*, a</sup>, Ricardo Rico Rubio<sup>b</sup>, Jorge Cascales Fernández<sup>c</sup>, Luis Sopena Corvino<sup>d</sup>, Juan Jesús Álvarez Andrés<sup>e</sup> y Conchita Lucas Serrano<sup>f</sup>

<sup>a</sup>Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. k2 Estudio de Ingeniería S.L. Ingeniera de proyectos. [svalor@k2ingenieria.es](mailto:svalor@k2ingenieria.es)

<sup>b</sup>Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. k2 Estudio de Ingeniería S.L. Director de Ingeniería. [rrico@k2ingenieria.es](mailto:rrico@k2ingenieria.es)

<sup>c</sup>Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. k2 Estudio de Ingeniería S.L. Director técnico. [jcascales@k2ingenieria.es](mailto:jcascales@k2ingenieria.es)

<sup>d</sup>Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. gGravity Engineering. Ingeniero Estructural Senior. [lsopenac@ggravityeng.com](mailto:lsopenac@ggravityeng.com)

<sup>e</sup>Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. gGravity Engineering. Jefe de Puentes y Estructuras de obra civil.

[jjalvarez@ggravityeng.com](mailto:jjalvarez@ggravityeng.com)

<sup>f</sup>Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. gGravity Engineering. Jefe de Departamento. [clucass@ggravityeng.com](mailto:clucass@ggravityeng.com)

## RESUMEN

La singularidad del puente arco de tablero inferior V-22, sobre el Río Júcar, con un vano central de 90m de luz, hace deseable la constatación durante su vida útil de su correcto funcionamiento. La instrumentación de los puentes permite conocer importantes parámetros del comportamiento de la estructura y anticipar la ocurrencia de posibles daños o fallos estructurales. Los dispositivos y elementos instrumentados son: extensómetros de cuerda vibrante en péndolas, sensores térmicos en vigas longitudinales, clinómetros en clave de arco y testigos de desplazamiento en juntas de dilatación.

## ABSTRACT

With a central span of 90m, it is desirable to verify the correct behavior of the bow-string arch bridge V-22 over the Jucar River during its lifetime. The instrumentation of bridges allows to know important parameters of the behaviour of the bridge and to anticipate the occurrence of possible damages or structural failures. The devices and instrumented elements are: vibrating wire extensometers in cables, thermal sensors in longitudinal beams, clinometers in arch and displacement device in expansion joints.

**PALABRAS CLAVE:** arco, instrumentación, extensómetro, cuerda vibrante, clinómetro.

**KEYWORDS:** arch, instrumentation, extensometer, vibrating wire, clinometer.

## 1. Introducción

La singularidad del puente arco de tablero inferior V-22, sobre el Río Júcar, con un vano central de 90m de luz, hace deseable la constatación durante su vida útil de su correcto funcionamiento. La instrumentación de los puentes permite conocer importantes

parámetros del comportamiento del puente y anticipar la ocurrencia de posibles daños o fallos estructurales.

En este artículo se describe el sistema de instrumentación instalado en el recién ejecutado viaducto V22 en la variante de Cullera y Favara.

Otras ponencias de este congreso tratan el proceso de diseño y construcción de dicho viaducto.



Figura 1. V-22 Durante la ejecución de la prueba de carga

La empresa Dragados S.A., fue la adjudicataria del contrato del tramo II, de la variante de Cullera y Favara. Contó con la empresa K2 Ingeniería para el desarrollo del proyecto estructural así como para la definición de la instrumentación a disponer en el viaducto V-22, y con la empresa INGE para el suministro de dispositivos y la instalación de los mismos.

## 2. Descripción de la estructura.

El Viaducto sobre el Río Júcar tiene una longitud total de 216.0m, dividida en cinco vanos con luces de 27.0 + 36.0 + 90.0 + 36.0+ 27.0m.

El ancho de tablero correspondiente a un posible futuro ensanchamiento de la calzada, posibilitando la incorporación de un carril adicional por sentido. Debido a la singularidad del viaducto proyectado sería inviable plantear un ancho estricto de tablero y una futura ampliación en anchura del mismo. Esta configuración transversal obliga a mantener un ancho libre entre arcos de 29,00 m.

Presenta una tipología arco de tablero inferior tipo bow-string de 90m de luz para materializar el paso de la traza sobre el Río Júcar, con un tablero que longitudinalmente está formado por dos cajones metálicos de 2.20m de ancho y canto constante de 1.65 m en la práctica totalidad del perfil longitudinal, excepto en la

zona de arranque de los arcos en la que el canto asciende a 2.85 m.

La distancia entre el eje de los arcos en clave y el eje del tablero es de 15.00m, lo que equivale a una relación flecha / luz de 1 / 6. La sección de los arcos corresponde a un cajón metálico de 2.20 m de anchura, idéntico a las vigas longitudinales.

La elevada luz transversal es salvada mediante vigas transversales metálicas con sección doble T y canto variable, alcanzando su máximo en centro de luz con un canto de 1.70m. y su mínimo en el encuentro con las vigas longitudinales con un canto de 1.14m. La superficie de rodadura se materializa sobre una losa de hormigón de 0.27m de espesor conectada a las vigas transversales, configurando, de esta manera, un comportamiento mixto acero-hormigón.

El tablero mantiene continuidad entre el arco y los vanos de compensación de manera que la sección transversal de estos últimos es idéntica que el tablero del vano principal.

Se puede encontrar una descripción más detallada de la estructura en las ponencias de este mismo congreso sobre el diseño y construcción de la misma.

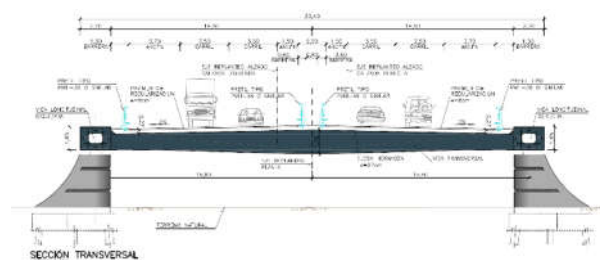


Figura 2. Sección transversal de los vanos de compensación

## 3. Descripción de la instrumentación

Los elementos instrumentados han sido los siguientes:

- extensómetros de cuerda vibrante en péndolas.

- sensores térmicos en vigas longitudinales y arcos.
- clinómetros en claves de arco.
- testigos de desplazamiento para la medida del desplazamiento longitudinal del tablero.

### 3.1. Extensómetros de cuerda vibrante

Los extensómetros de cuerda vibrante se instalaron para medir las deformaciones y determinar el axil y la tensión en cada una de las péndolas a partir de las mismas. El axil en las péndolas es un parámetro que permite controlar el buen comportamiento estructural del arco, tablero y péndolas. Los extensómetros se instalaron justo después del ajuste de carga/longitud en las péndolas para alcanzar la rasante teórica, tras haber finalizado la instalación de la carga muerta (instalación de pretilas, pavimento y resto de acabados).



Figura 3. Extensómetro de cuerda vibrante (1)

Este estado de cargas debe considerarse como el “estado 0” o el estado inicial de cargas en las péndolas. Los extensómetros de cuerda vibrante sólo pueden medir la variación de

tensión o axil desde el momento de su colocación al momento de medida, no es posible por tanto la medición absoluta de la carga que hay en la péndola.

Por lo tanto, es importante que la instalación de los sensores se produzca en un momento donde la tensión en péndolas sea perfectamente conocida, como, por ejemplo, el momento de ajuste de su longitud y pesaje una vez finalizada la construcción del viaducto.

Se colocaron 28 conjuntos de sensores, uno por péndola, cada conjunto está formado por 2 extensómetros. Se colocaron en la superficie exterior de la péndola, ambos en dirección longitudinal de la misma y en generatrices diametralmente opuestas según el plano vertical-longitudinal del tablero. La media de ambas lecturas será la lectura buscada, eliminando la posible deformación por momentos residuales al colocar 2 extensómetros por péndola en lugar de uno. Estos sensores van provistos de un termistor interno que permite la corrección térmica de la lectura, aunque al instalarse en acero están prácticamente autocompensados térmicamente.

Los extensómetros se instalaron aproximadamente a un metro y medio de altura desde el bulón inferior, para que sea fácilmente accesible para la medición, pero estén suficientemente lejos del anclaje para evitar la medición errónea de efectos locales. Ambos sensores de cada barra, con sus respectivos termistores internos, se centralizan, vía cable de pares metálicos, a una caja o central de lectura manual, con conectores para lectura de las 4 señales (péndola interior y exterior).

Dado que la estructura no posee un sistema de alimentación eléctrico continuo y permanente se propuso la realización de medidas discrecionales de los sensores. Por lo tanto, para

la realización de las lecturas ese preciso contar con un equipo portátil de medida, capaz de alimentar los sensores en el momento de lectura.

Al proponer un sistema de medida de carácter discreto, se prefirió el uso de extensómetros de cuerda vibrante frente al uso de galgas extensiométricas. Estos sensores, aunque también permiten conocer la deformación, tienen una baja señal de salida, por lo que no son recordables con equipos portátiles de lectura, y están más indicados para lecturas de tipo continuo. Son muy sensibles a pequeños cambios en la resistencia de contacto del equipo portátil en cada lectura, por lo que se descartó su uso para la instrumentación del viaducto.

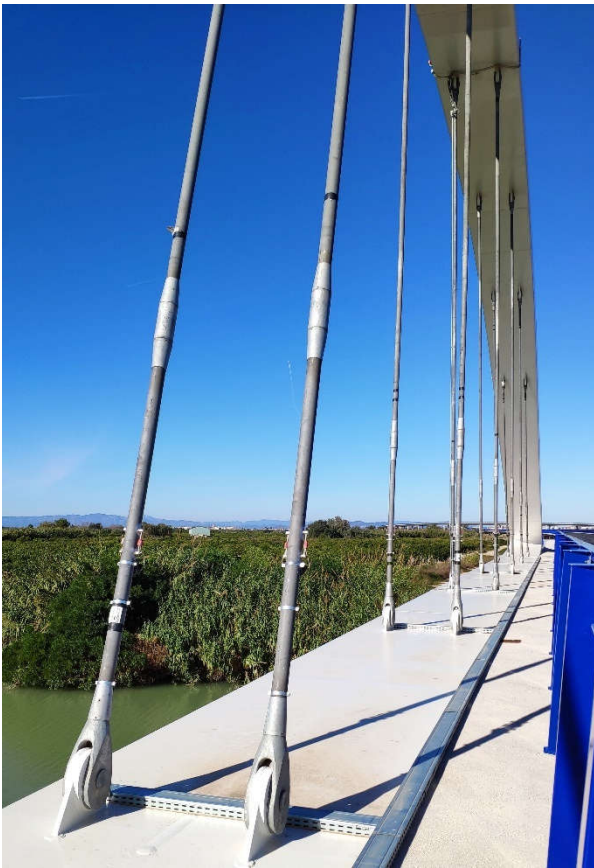


Figura 4. Extensómetro de cuerda vibrante (2) y regleta de cables

Los extensómetros instalados permiten el paso a un registro de forma continua o automatizada en el futuro, si se quisiera cambiar el tipo control del viaducto.

Se instalaron equipos robustos, fiables y precisos, con un rango mínimo de medida de  $2000\mu\epsilon$  y una sensibilidad mínima de  $5.0\mu\epsilon$ .



Figura 5. Extensómetro de cuerda vibrante (3)

### 3.2. *Sondas térmicas*

Es interesante conocer la temperatura y los gradientes de la estructura para evaluar los comportamientos hiperestáticos de origen térmico. Para conseguir esto se propuso la instalación de siete sondas térmicas.

Para conocer el gradiente vertical del arco, se instaló una sonda en el ala superior y el ala inferior en la misma sección de un arco. Del mismo modo, para conocer el gradiente vertical de las vigas longitudinales, se colocó una sonda térmica en el ala superior, y otra en el ala inferior en la misma sección del cajón longitudinal.

Además, para completar la información de los clinómetros referida a los movimientos de cierre y apertura de los arcos, es interesante conocer el gradiente trasversal de temperatura, por lo que se instalaron otras dos sondas adicionales en una misma sección del arco, una en su alma interior y otra en el alma exterior. Por

último, fue necesaria la instalación de una sonda para la medición de la temperatura ambiental.

Con objeto de unificar los principios de funcionamiento se propuso utilizar sensores de cuerda vibrante o termistores. Estos termómetros van adheridos al acero y aislados exteriormente. El rango de funcionamiento se estableció como mínimo de  $-30^{\circ}\text{C}/+80^{\circ}\text{C}$  y su precisión mínima de  $1^{\circ}\text{C}$ .

Los termómetros instalados, debidamente aislados de la temperatura ambiente exterior, se centralizaron, vía cable de pares metálicos, a una caja o central de lectura manual, con conectores para lectura de sus señales mediante el mismo equipo portátil de lectura del apartado anterior. Al igual que los extensómetros de cuerda vibrante no necesitan alimentación eléctrica permanente, sólo en el momento de su lectura manual, y que es suministrada por el equipo portátil de lectura.



Figura 6. Central de lectura y equipo portátil de medida



Figura 7. Sonda térmica en arranque arco

### 3.3. Clinómetros

Para conocer la inclinación de los arcos, y tener así el orden de magnitud de su apertura o cierre, se propuso la instalación de dos clinómetros, uno en cada clave de los arcos, situados en sus caras exteriores. La precisión de los clinómetros a instalar se determinó del orden de  $0.02^{\circ}$ , con un rango de medida mínimo de  $\pm 5^{\circ}$ . Los clinómetros se centralizaron, vía cable de pares metálicos, a la misma caja o central de lectura manual que el resto de sensores, con conectores para lectura de sus señales mediante el mismo equipo portátil de lectura de apartados anteriores. Al igual que los otros sensores no necesita alimentación eléctrica permanente, sólo en el momento de su lectura manual, y que es suministrada por el equipo portátil de lectura.

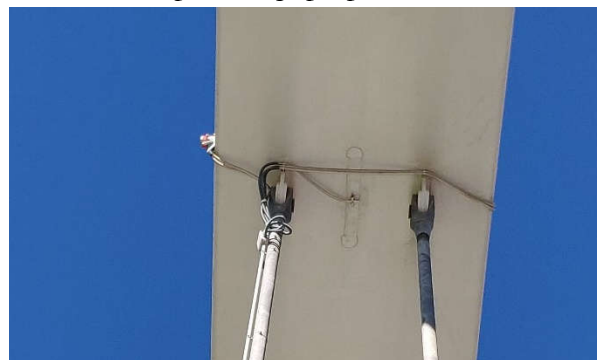


Figura 8. Clinómetro

### 3.4. Testigos de desplazamiento

Se colocaron cuatro testigos para la evaluación de los movimientos longitudinales del puente. El testigo no es más que una escala gráfica de referencia que permita determinar a simple vista el desplazamiento longitudinal en el momento de medida respecto al instante de la colocación

del testigo. Se propuso la colocación de testigos en el estribo 1, en la junta con el viaducto V-23, y en las pilas del vano del arco, pilas 2 y 3.

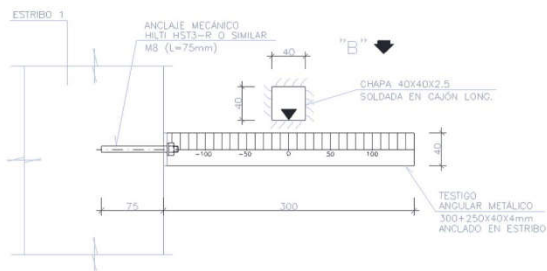


Figura 9. Esquema testigo desplazamiento

#### 4. Periodicidad y duración de las lecturas

Para poder constatar el comportamiento de la estructura a lo largo del tiempo, y analizar, por ejemplo, como le afectan las diferencias de temperatura estacionales, se planificó una lectura más frecuente de los datos desde la instrumentación de la misma hasta pasados 6 meses desde su instalación, aprovechando así la proximidad de personal en la obra.

Se propuso la lectura quincenal de los datos durante este periodo, comprobando que los valores obtenidos no excedían de los marcados como valores de aviso. Se deberán leer el total de los sensores instalados, de temperatura, inclinación y tensiones, al igual que los movimientos observados en los testigos. En las inspecciones se debe dejar registro de la temperatura ambiente, el clima (despejado, soleado, nubes, lluvia, etc.), la fecha y hora en el momento de la inspección y lectura de los datos.

Se considera que, con estas lecturas quincenales, se puede obtener un registro suficiente que permita caracterizar el comportamiento de la estructura y establecer si se desvía del teórico. También se tomaron medidas durante las distintas fases de la prueba de carga de la estructura.

A partir de los 6 meses desde la instalación de la instrumentación hasta 6 meses pasada la puesta en servicio del viaducto se recomendó tomar lecturas mensuales.

A partir de los 6 meses desde su puesta en servicio, será suficiente con la lectura de la instrumentación cuando se realicen inspecciones básicas o principales generales de la estructura, siempre que se efectúe una lectura al menos cada 6 meses. Se comprobará que los valores obtenidos no exceden los marcados como valores de alerta y definidos en los informes de instrumentación del viaducto.

#### 5. Conclusiones

Se ha presentado en este artículo la descripción de la instrumentación que ha sido instalada en el viaducto V-22 en Cullera. Destaca que en el mercado actual, en el que es posible tener lecturas continuas y es posible instrumentar casi la totalidad de los elementos de los viaductos, generando miles de datos, se haya optado por la instrumentación de sólo ciertos elementos y con lecturas discretas. Se tuvo siempre presente durante el diseño de la instrumentación, no las posibilidades que ofrece el mercado, sino el verdadero fin que se busca con la instrumentación de los viaductos. Así se buscó la solución que aporte los datos clave para tener monitorizado el comportamiento del viaducto, y que, al no tener sistema de alimentación, fuese más durable en el tiempo, pues disuade el robo del mismo.

#### Agradecimientos

Se quiere agradecer a la empresa Dragados la confianza depositada en el equipo técnico para colaborar en el diseño de la estructura, incluyendo la instrumentación, así como el ejercicio de asistencia técnica a la obra durante la fase de construcción del viaducto.