

Primeras conclusiones de la monitorización estructural de un puente de gran luz. El Rose Fitzgerald Kennedy Bridge sobre el río Barrow.

Initial conclusions on the structural health monitoring of a long span bridge. The Rose Fitzgerald Kennedy Bridge over the River Barrow.

Miguel Angel Astiz Suarez^a, Marcos Sánchez Sánchez^b

^a Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. CFCSL. maastiz@cfcsl.com

^b Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Director. ARUP. Marcos.sanchez@arup.com

RESUMEN

El puente sobre el río Barrow en New Ross, Irlanda, abrió al tráfico en enero del 2020. Esta estructura, con una longitud total de 887 m y nueve vanos (dos de ellos con una luz de 230m), cuenta con torres que proporcionan un atirantamiento extradosado en un plano único en el centro de la calzada. El puente cuenta con sensores que proporcionan información sobre las cargas y desplazamientos en todos los apoyos, cargas en cables en al menos dos tirantes por torre además de extensómetros en las cuatro esquinas del cajón en cinco secciones diferentes. Adicionalmente, el puente cuenta con sensores térmicos y anemómetros. Este artículo recoge las primeras conclusiones resultantes del análisis de los datos de los sensores y su comparación con los modelos estructurales considerados en el diseño original.

ABSTRACT

The bridge over the River Barrow in New Ross, Ireland, opened to traffic in January 2020. This structure with a total length of 887 m and nine spans, two of them with a span of 230 m, has towers that provide extra-dorsal stay bracing in a single plane in the centre of the roadway. The bridge has sensors that provide information on loads and displacements at all supports, cable loads on at least two stays per tower, as well as extensometers at the four corners of the box in five different sections. Additionally, the bridge has thermal sensors and anemometers. This article presents the first conclusions resulting from the analysis of the sensor data and their comparison with the structural models considered in the original design.

PALABRAS CLAVE: hormigón, fluencia, monitorización, viento, atirantado, extradosado.

KEYWORDS: concrete, creep and shrinkage, structural health monitoring, wind, cable stayed, extrados.

1. Introducción

1.1 Descripción de la estructura

El Puente sobre el río Barrow, tiene una tipología estructural de atirantado extradosado y una distribución de vanos 36-45-95-230-230-95-

70-50-36 m, e incluye tres torres de atirantamiento de diferente altura, tal y como se muestra en la Figura 1.

El puente tiene un tablero de 20.5 m de ancho aproximadamente con el plano de atirantamiento central, disponiendo de dos carriles de tráfico en cada dirección entre el plano de cables. Esta estructura es parte de la

circunvalación de la ciudad de New Ross en el sureste de Irlanda, y está situado en el corredor de la costa siendo el único cruce sobre el Río Barrow en sus últimos 20 Km hasta el mar, y el punto de unión del puerto de Rosslare y la ciudad de Wexford con la ciudad de Waterford.



Figura 1. Vista actual del Puente sobre el río Barrow

1.2 Sistema de monitorización

1.2.1 Sensores estructurales

La estructura cuenta con los siguientes sensores estructurales:

- Reacciones verticales en todos los apoyos, que incluye 4 apoyos en los estribos y 2 apoyos en el resto de las pilas interiores (P1 a P8) con la excepción de la pila 4 que es integral.
- Desplazamientos y giros en todos los apoyos. Al igual que en el caso anterior, los sensores se encuentran situados en todos los apoyos (4 por estribo y 2 por pila excepto la torre central).
- Cargas en cables 1 y 8 (más largo y más corto) a ambos lados de las torres cortas y 1, 13 y 18 (más largo, más corto e intermedio) en la torre central.
- Extensómetros localizados en las 4 esquinas interiores del cajón, en 6 secciones diferentes, (a cuartos de luz del vano 3, en centro de vano 4, a cuartos de luz del vano 4 hacia pila 4, a 3 m de la torre central en vano 4, en centro de vano 5 y a cuartos de la luz de vano 5 hacia la torre de pila 5). Todos los extensómetros

La estructura abrió al tráfico en enero de 2020 (ver [1] y [2]) y cuenta con un sistema de monitorización con sensores estructurales y ambientales, que son el principal objeto de esta ponencia.

cuentan con una lectura térmica acoplada, produciendo lecturas de deformaciones y temperaturas en el sensor de forma simultánea.

Todos los sensores anteriores registran lecturas con una frecuencia de 1 Hz, pero sólo almacenan en el sistema una lectura por minuto. Salvo donde se indica, la lectura corresponde al valor del instante de almacenaje, no teniéndose acceso ni a valores medios ni máximos en el intervalo.

1.2.2 Sensores ambientales.

Además de los sensores estructurales, se instalaron sensores de temperatura tanto en el interior del cajón en el centro del vano 4, como en las cuatro caras de las torres a nivel de tablero y en los cables más largos y cortos de cada torre.

Finalmente se instalaron también sensores de medición de viento en intensidad y dirección a nivel de tablero en 3 posiciones cercanas a cada torre además de en la parte superior de la torre central.

Todos los sensores instalados se resumen de forma esquemática en la figura 2.

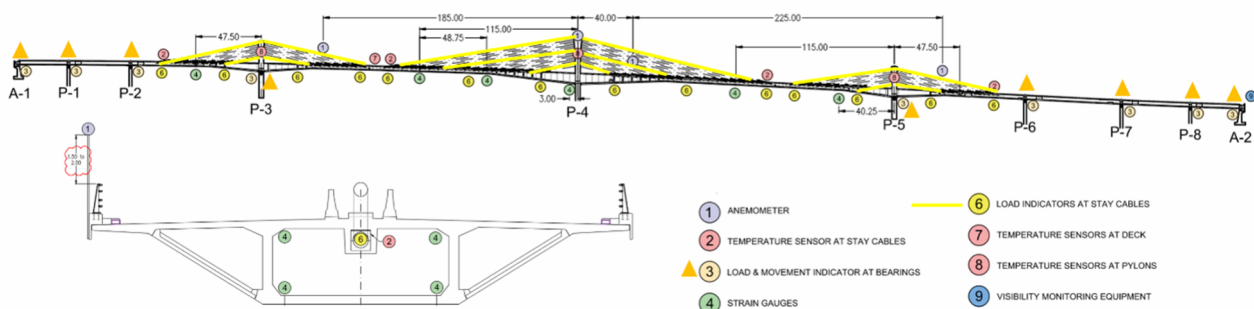


Figura 2. Esquema de localización de los diferentes sensores.

2. Análisis de las lecturas de los sensores

2.1 Desplazamiento en los apoyos

Las lecturas de los desplazamientos en los apoyos muestran fundamentalmente los efectos térmicos y reológicos del tablero, con una clara correlación con los sensores térmicos. En la figura 3 se muestran como ejemplo los desplazamientos del apoyo izquierdo de pila 1 frente al sensor térmico del lado sombra del pilono 3 durante un año (2024), como puede verse las oscilaciones estacional y diaria son apreciables.

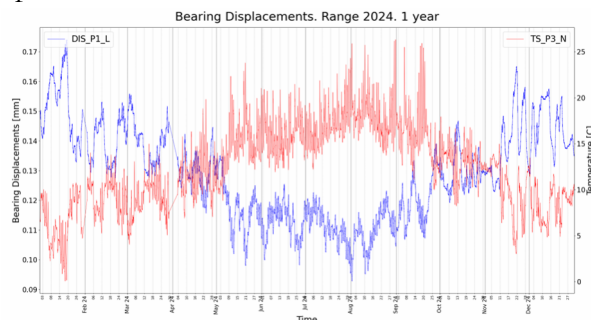


Figura 3. Desplazamientos en pila 1 izquierdo. Año 2024.

Utilizando las medidas de la serie completa desde la instalación de los sensores en los últimos 4 años, es posible obtener el acortamiento del tablero debido a la fluencia y retracción, comparando los desplazamientos para una temperatura de neutra de referencia.

La tabla 1 recoge este ejercicio para los apoyos más alejados del punto de movimiento neutro del puente situado en la pila central: A1, P1 en el oeste y A2 y P8 en el este, y su

comparación con el cálculo de fluencia del modelo de cálculo estructural usado durante el proceso constructivo.

Tabla 1. Acortamientos debidos a fluencia en apoyos (temperatura neutra de 10° C) tras 4 años

Posicion	Sensores (mm)	Modelo (mm)
Estribo 1	-24	-25
Pila 1	-22	-24
Pila 8	22	24
Estribo 8	24	25

Como puede observarse, hay una buena correlación entre el cálculo y la lectura de los sensores.

2.2 Reacciones en los apoyos

De los sensores de reacciones en los apoyos se disponen tambien de lecturas de los ultimos 4 años; como ejemplo, en la figura 4 se muestran los valores leídos en el apoyo izquierdo de pila 2 en un periodo de 3 años (enero 2021- diciembre 2023). La gráfica muestra tambien el sensor térmico mas cercano.

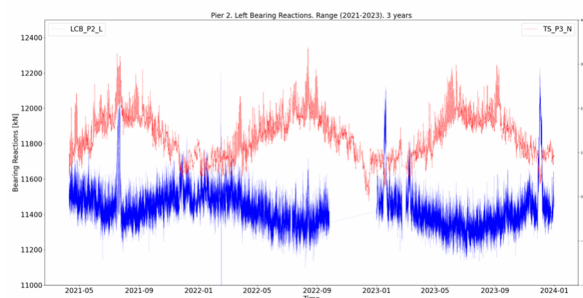


Figura 4. Reacciones del apoyo de pila 2 izquierdo. 3 años (2021 a 2024) y térmico ambiente.

Al igual que en los desplazamientos, se observa una correlación entre ambos sensores (carga de apoyo y térmico) tanto en el ciclo estacional como diario.

Respecto a los valores absolutos observados, si se compara el rango de valores medidos con los valores límite de la envolvente de servicio (frecuente o característica) o incluso con los efectos térmicos aislados, se observa que las reacciones medidas por el sensor en ningún momento se aproximan a los valores de diseño, estando en todo momento oscilando dentro del rango de efectos térmicos. En el caso del sur de Irlanda, el rango térmico uniforme es de -8° y $+30^{\circ}$, con una probabilidad de excedencia del 0.02 [3]. La figura 5 muestra esta comparación para las lecturas del sensor del mismo apoyo (pila 2 izquierdo) frente los límites de las envolventes mencionadas (térmica aislada, frecuente y característica) durante un año completo (2024).

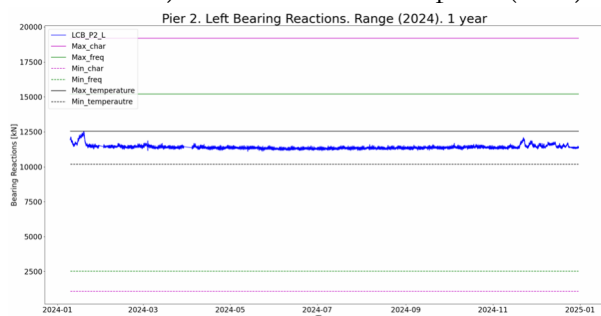


Figura 5. Reacciones del apoyo de Pila 2 izquierdo. Año 2024 frente a límites de servicio y acciones térmicas.

2.2.1 Estimación de los efectos del tráfico

Se ha realizado el ejercicio de extraer los efectos térmicos y de viento, con el fin de estimar la carga real de tráfico registrada por el sensor del apoyo y poder compararla con la de diseño del puente (Eurocodigo-1 Parte 2 [4]).

En principio parece difícil estimar de forma rigurosa los efectos de la carga de tráfico frecuencias de almacenaje tan bajas como 1 minuto. Esta frecuencia de sólo permite capturar la carga de tráfico de forma aleatoria. No solo la posición y peso de los vehículos en el momento de la lectura no es conocida sino que, usando como ejemplo el mismo apoyo de pila 2, que apoyo tiene un área de influencia aproximada de

70 m (vanos adyacentes de 45 y 95 m), un vehículo recorrerá la distancia de influencia en 2-3 segundos a 90 Km/h, por lo que la lectura obtenida no es representativa de una configuración de vehículos específica y, al no registrarse valores máximos, es claramente menor que la situación pésima del periodo de lectura de 1 minuto. Sin embargo, si se analizan periodos de duración suficientemente largos, estadísticamente se registrarán efectos pésimos en los valores extremos registrados.

Como se ha indicado, para obtener lecturas de la componente de tráfico, es preciso extraer primeramente el efecto térmico. Esto se puede realizar de forma aproximada mediante filtros de medias móviles con ventanas de varios minutos.

En las figuras 6 y 7 siguientes se muestra este ejercicio usando como ejemplo una semana (10 a 17 de abril 2024) antes y después de filtrar la componente térmica.

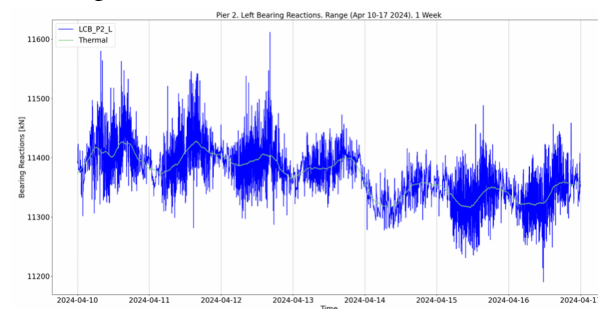


Figura 6. Apoyo 2 izquierdo. Semana del 10 al 17 de abril 2024. Variación de reacción y media móvil (térmico).

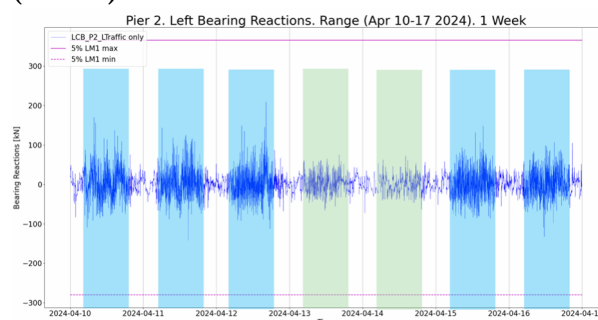


Figura 7. Apoyo 2 izquierdo. Reacciones debidas al tráfico únicamente.

En la gráfica anterior, no solamente es posible apreciar las horas diurnas (sombreadas) frente a las nocturnas, sino incluso los fines de semana (en verde) frente a los días de entre semana de mayor tráfico (en azul). La figura

anterior también muestra como referencia un rango de reacciones (en morado) debidos los efectos de una fracción (5%) de la carga LM1 del Eurocodigo. Como puede verse, esta fracción no se supera en ninguna de las lecturas en un ciclo semanal, limitadas como ya se ha explicado por la baja frecuencia de muestreo a recoger valores pesimos.

Ampliando este ejercicio a periodos mas largos se capturarán un mayor número de lecturas de trafico “pésimas”, compensando asi la baja frecuencia de datos almacenados. En la figura 8 se muestra el año 2024 al completo y se compara de nuevo con los efectos del 5% de la carga LM1 del Eurocódigo.



Figura 8. Apoyo 2 izquierdo. Reacciones debidas al tráfico filtrado frente al 5% de LM1. Año 2024.

Como se puede observar, el apoyo ha registrado una fracción mínima de la carga de tráfico de diseño (LM1 del Eurocodigo) alcanzándose únicamente 2 eventos con valores superiores al 5% de ésta durante un año.

Este mismo ejercicio se ha realizado en el resto de los apoyos y para todo el rango de lecturas disponibles con resultados similares. La figura 9 muestra las reacciones en el apoyo izquierdo de pila 3 para el mismo período de todo el 2024.

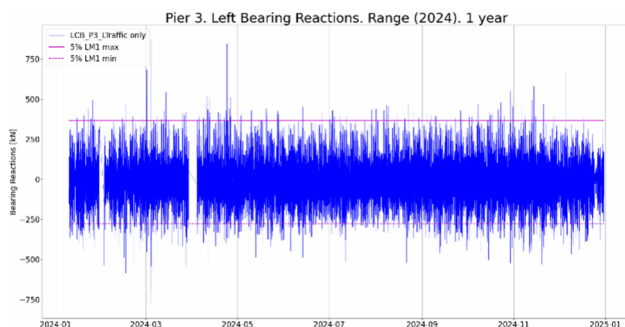


Figura 9. Apoyo 3 izquierdo. Reacciones debidas al solo al tráfico.

Como puede observarse, el número de eventos en los que se supera el 5% de la reacción prevista por el LM1 es también marginal.

En conclusión, como cabía esperar de un puente de gran luz en un entorno rural, que la cargas de diseño son extremadamente conservadoras y los apoyos no registran cargas ni siquiera cercanas a las previstas por la normativa, fundamentalmente en lo que respecta a la carga de tráfico.

2.3 Fuerzas en los cables

De forma similar a los apoyos, se han estudiado los sensores de carga de los tirantes. La figura adjunta muestra como ejemplo la variación de carga en uno de los tirantes durante un mes (abril de 2023).

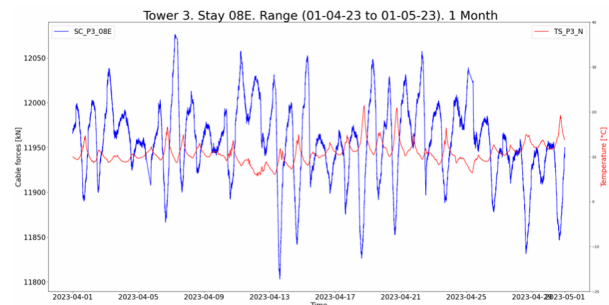


Figura 10. Cable 8 Este. Pila 3. Fuerzas (azul) y temperatura en la torre (rojo) durante 1 mes.

En la gráfica se puede apreciar que la variación de fuerza del tirante tiene de nuevo una clara correlación con el sensor térmico (como cabría esperar, en relación inversa: a mayor temperatura, menor carga en el cable).

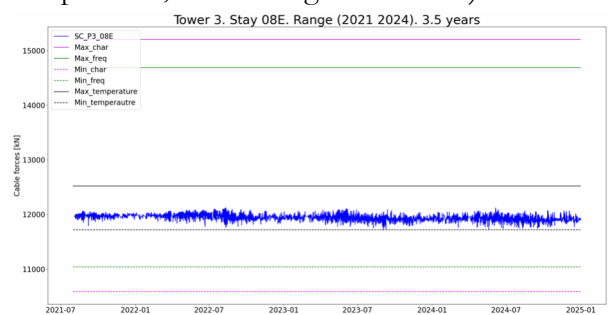
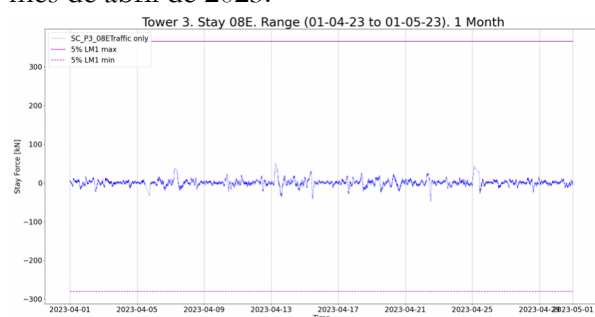


Figura 11. Tirante 8 Este. Pila 3. Fuerza frente a límites de servicio y efectos térmicos.

En la figura 11 se ha repetido el ejercicio realizado con los apoyos, y se muestra el rango de oscilación de carga en tirante comparado con los valores de envolventes de servicio y acciones térmicas, se observa que los valores medidos

2.3.1 Estimación de los efectos del tráfico

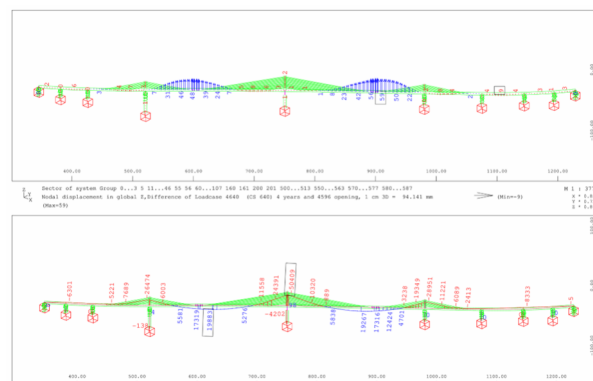
La figura 12 muestra el resultado de este ejercicio para el mismo cable de referencia en el mes de abril de 2023.



Como puede verse, tras eliminar la parte térmica, la variación de carga en el tirante debida a efectos de tráfico en un periodo de un mes es inferior a los 40 kN, muy lejos del efecto esperado incluso por una fracción baja (5%) de la carga LM1 del Eurocódigo. Ampliando el rango a el registro completo, el valor máximo registrado en ninguno de los tirantes supera los 60kN.

2.3.2 Estimación de los efectos de la fluencia

Esta ley de momentos bajo cargas permanentes resulta en una redistribución por fluencia y retracción que introduce una flecha vertical en centro de vano que descarga los cables y una variación de la ley de momentos acorde (ver figura 13) debido a la pérdida de fuerza de los tirantes.



Utilizando como referencia una temperatura neutra de 10°C, se ha comparado la pérdida de carga medida en los tirantes con la mostrada en el estimada por el modelo de cálculo tras 4 años. La tabla 2 muestra esta comparación en los tirantes más largos (8 en P3 y P5 y cable 18 en P4) con la pérdida de carga en valor absoluto (en kN) y relativa a la carga inicial del tirante.

Cable	DT ₀₋₄ (SHM)		DT ₀₋₄ (Model)	
	[kN]	%	[kN]	%
T3-SC8E	-205	-1.7%	-191	-1.6%
T3-SC8W	-179	-1.5%	-158	-1.3%
T4-SC18E	-301	-2.1%	-409	-2.8%
T4-SC18W	-302	-2.1%	-403	-2.8%
T5-SC18E	-192	-1.6%	-197	-1.6%
T5-SC18W	-194	-1.6%	-297	-2.3%

Astiz, M.A, Sanchez M. / IX CONGRESO ACHE – GRANADA 2025 6

2.4 Extensómetros

Como en los casos anteriores, en este apartado se analizan las lecturas de los extensómetros, localizados en las esquinas interiores del cajón del tablero en diversas secciones de los vanos principales.

Tomando como ejemplo el sensor de la esquina inferior este del centro de vano 4, la figura 14 muestra las lecturas (en micro deformaciones, 10^{-6} o $\mu\epsilon$) durante un año junto al sensor térmico acoplado. Como en casos anteriores, queda claramente reflejada la onda estacional y diaria y la correlación entre el sensor y las lecturas térmicas.

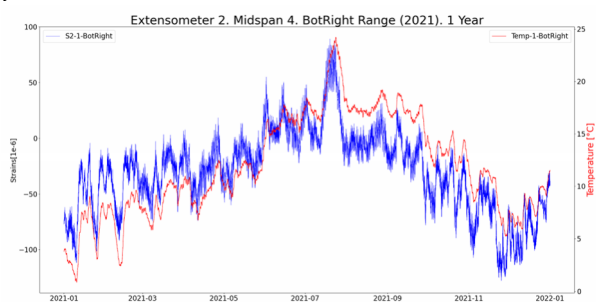


Figura 14. Lecturas de extensómetro en centro de vano 4. Esquina inferior izquierda. Año 2021.

Al igual que en las secciones anteriores, para poder establecer los efectos del tráfico es necesario extraer la componente térmica. Como se puede observar en la figura 15, para un rango de 3 días se observan dos fenómenos superpuestos: el térmico interno diario con una onda larga y los picos de lecturas de tráfico.

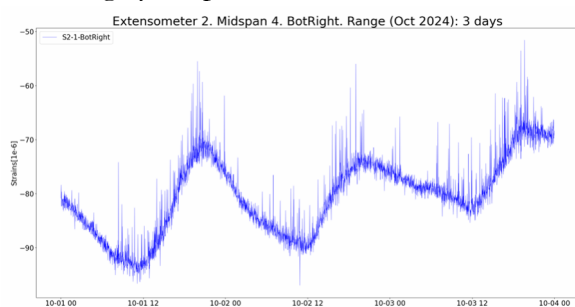


Figura 15. Centro de vano 4, esquina inferior. 3 días. Al igual que en las cargas apoyos y en la fuerza de tirantes, mediante filtros es posible separar la parte térmica del tráfico, que en el caso del extensómetro anterior y para el mismo rango resulta en figura 16. Los picos registrados

corresponden con mayor probabilidad con las horas diurnas de tráfico.

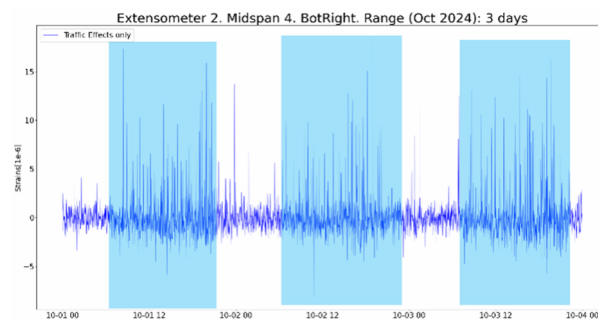


Figura 16. Extensómetro en sección centro de vano 4, esquina inferior. Periodo de 3 días, solo tráfico (horas diurnas en azul claro).

Como en casos anteriores, la baja frecuencia de muestreo se compensa mediante el análisis de series de larga duración. La figura 17 muestra el año 2021 completo, de la misma se puede observar que el efecto debido a carga de tráfico aislado está siempre por debajo de $25\mu\epsilon$ en todo el período.

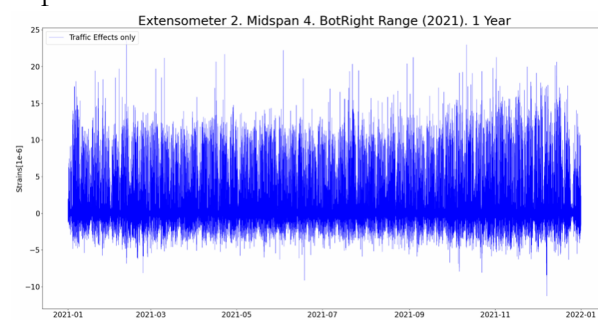


Figura 17. Centro de vano 4. Esquina inferior izquierda. Solo tráfico. Año 2021.

Para estimar las tensiones en el hormigón a partir de las deformaciones medidas por los extensómetros hay que tener en cuenta que las lecturas de los extensómetros reflejan tres fenómenos superpuestos de los cuales solo los dos últimos producen tensiones.

1. Deformaciones térmicas intrínsecas de la sección (estado no tensional).
2. Tensiones debidas a efectos térmicos (ciclo anual – variación de carga en los cables, y diario – gradientes-). Los extensómetros muestran rangos de variación de 200 a 300 $\mu\epsilon$, de los que la componente no intrínseca que produce tensiones se ha evaluado de forma conservadora como el 30 % de la

deformación medida, correspondiente al decalaje entre sensores observado en la figura 15. Esta componente equivale, para un hormigón C80/95 ($E_c=42$ GPa) como es el caso del tablero, a unos 3-4 MPa.

3. Por último, deformaciones debidas al tráfico (picos medidos en lecturas entre minutos). Como se muestra en la figura 18 los valores pico medidos no son superiores a 25 $\mu\epsilon$. Esta deformación equivale a 1 MPa.

En consecuencia, desde el punto de vista del estado tensional del tablero, la suma de estos tres valores representa un total nunca superior a los 5-6 MPa de los que el tráfico es una fracción de menos del 20%, siendo el 80% restante el térmico (o diario o estacional).

Esta variación de tensión total es mucho menor de la permitida por el tablero dentro del rango de tensiones admitido por los criterios de servicio de la norma (que en Irlanda implica descompresión en combinación frecuente). Para la sección analizada como ejemplo, el modelo de cálculo que incorpora el proceso constructivo muestra una compresión de 27 MPa a tiempo cero y 24 MPa a tiempo infinito (figura 18) para la sección y posición estudiada. Esto demuestra, al igual que con los apoyos y cables, que las sollicitaciones son mucho más bajas que las de diseño, sobre todo en la componente de tráfico.

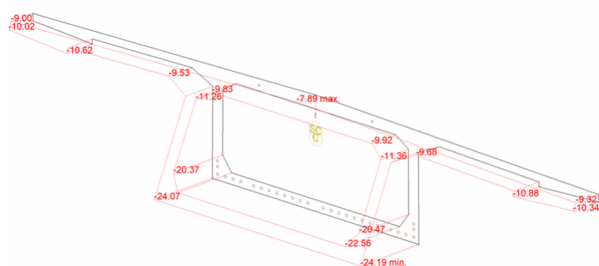


Figura 18. Centro de Vano 4, Tensiones a tiempo infinito.

2.4 Viento

El viento se mide en 4 estaciones como se ha indicado anteriormente. En estas estaciones se recogen datos de velocidad y dirección del viento con una periodicidad de 1 minuto. Dadas las

características especiales de la variable velocidad, el anemómetro mide durante cada minuto la velocidad del viento con una frecuencia de 1 Hz y obtiene el valor medio de dicha velocidad, que es el valor que se registra; también se registra la velocidad máxima a lo largo del minuto.

Si se comparan estas variables con las variables que se manejan habitualmente en los proyectos, la velocidad media en un minuto es muy útil ya que permite calcular también la velocidad media en 10 minutos (parámetro usado habitualmente en Europa) y la velocidad media en una hora (parámetro usado habitualmente en los Estados Unidos). Sin embargo, la velocidad máxima en un minuto cuando se han tomado medidas con una frecuencia de 1 Hz no se relaciona directamente con las variables que se utilizan en el proyecto ya que la velocidad de ráfaga se define de forma convencional como la velocidad media máxima en 3 segundos.

Por todo ello, se ha adoptado la decisión de condensar los resultados en períodos de 1 hora y calcular en ese período las velocidades medias máximas para períodos de 1 hora, 10 minutos y 1 minuto. En cuanto a la dirección del viento, se establecen también los mismos períodos para el cálculo de la dirección media del viento.

Los datos obtenidos permiten calcular las velocidades medias máximas para distintos períodos, que es una información de gran importancia en el proyecto. Comparando las velocidades medias para dos períodos distintos (por ejemplo, la media de una hora con la de 10 minutos, V_{3600} y V_{600} , como en la Figura 19, que corresponde a la torre P3, al nivel del tablero), se puede apreciar que hay una relación de proporcionalidad entre ambas. El factor de ráfaga expresa esa relación de proporcionalidad mediante la expresión

$$V_t = K_t \cdot V_{3600} = (1 + g I_q) V_{3600}$$

en la que se ha tomado como referencia la velocidad media en 1 hora, V_{3600} , t es el período

de tiempo, g es el factor de pico (habitualmente comprendido entre 3 y 3.5, e I_u es la intensidad de turbulencia).

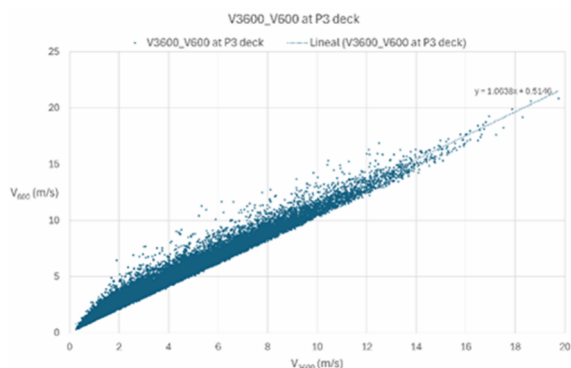


Figura 19. Velocidades medias V_{3600} y V_{600} en la torre P3, al nivel del tablero.

Esta operación se puede repetir con los datos de los distintos anemómetros y para distintos períodos de tiempo de forma que se obtiene la variación del factor de ráfaga en función del período de tiempo (Figura 20). Los resultados experimentales se comparan con las predicciones teóricas: la más clásica de Durst [6] y Vellozzi & Cohen [7], referida en el libro de Simiu & Scanlan [8], y la más moderna, propuesta en las reglas ESDU[9].

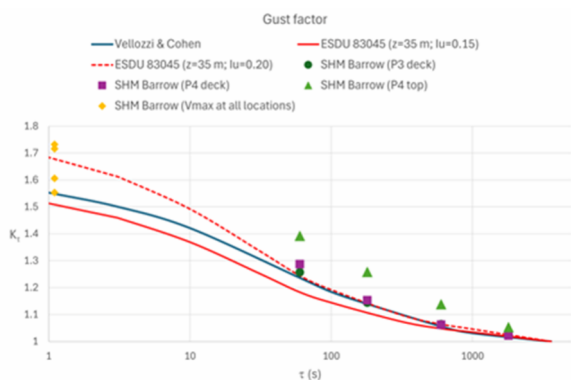


Figura 20. Factor de ráfaga deducido de los resultados de la medición del viento.

En esta figura se observa que las medidas realizadas al nivel del tablero concuerdan muy bien con la predicción de Durst y no tanto con la de las reglas ESDU, a menos que se suponga que la intensidad de la turbulencia aumente hasta un 20% frente al valor del 15% que es el que se deduce de la aplicación del Eurocódigo (desgraciadamente, los datos de viento que

proporciona el sistema de auscultación no permiten estimar la intensidad real de la turbulencia).

Cuando se añaden los resultados de las medidas tomadas en la cabeza de la torre P4, el factor de ráfaga aumenta por encima de las predicciones teóricas (el aumento de altura y la reducción consiguiente de la intensidad de la turbulencia harían que las curvas ESDU no variasen apreciablemente), por lo que por lo que dichos resultados podrían indicar un defecto de seguridad. De todas formas no se pueden sacar conclusiones alarmistas ya que se han representado en la misma figura los factores de ráfaga que corresponderían a las velocidades máximas medidas por los anemómetros, que deberían ser superiores a las velocidades de ráfaga convencionales, que son velocidades medias en 3 segundos; los valores que se muestran en la figura son superiores a la predicción de Durst pero no en la proporción que parece indicar la extrapolación de los valores tomados en cabeza de la torre P4.

Otro resultado interesante, que se repite en todas las mediciones de viento, es que las magnitudes y relaciones teóricas relativas al viento y utilizadas en el proyecto de estructuras (factor de ráfaga, intensidad de turbulencia, etc.) sólo son de aplicación para velocidades importantes. La figura 21 muestra en un caso concreto cómo el factor de ráfaga se va concentrando en un valor definido conforme aumenta la velocidad del viento.

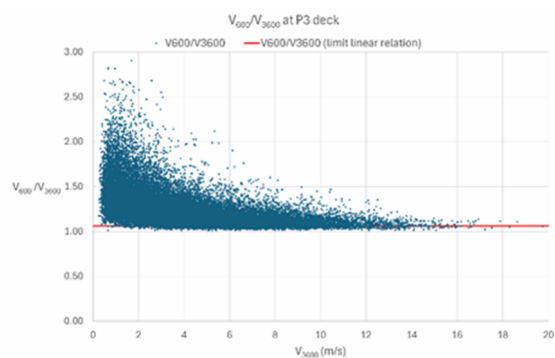


Figura 21. Factor de ráfaga en función de la velocidad media horaria para la torre P3 a nivel de tablero.

Lo mismo pasaría en el caso de la intensidad de turbulencia si los datos recogidos lo permitieran.

El período de medidas de cerca de 5 años permite establecer una estadística de extremos que nos lleve a estimar los valores de velocidades con períodos de retorno importantes. Concretamente, se ha llevado a cabo un análisis de Gumbel sobre los datos recogidos de los 4 anemómetros instalados. Para ello, se han utilizado únicamente los datos de velocidades superiores al doble de la velocidad media (entre 6 y 8 m/s para los distintos anemómetros). La Figura 22 muestra gráficamente el ajuste a la distribución de Gumbel para las tres velocidades medias calculadas y para el anemómetro situado en el tablero cerca de la torre P4. A los efectos de comparar estos resultados con la normativa que se ha utilizado en el proyecto, se ha considerado únicamente la velocidad media en 10 minutos (V_{600}).

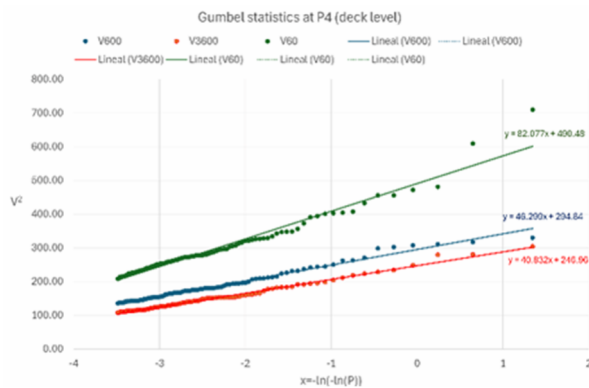


Figura 22. Estadística de Gumbel en P4 (a nivel del tablero).

Los valores así calculados para cada anemómetro se han reflejado en la tabla 3 para un período de retorno de 50 años junto con los valores correspondientes a la aplicación del Eurocódigo, que son los que se han aplicado en el proyecto. En esta tabla se puede apreciar que los valores extrapolados a partir de los datos de la auscultación son claramente inferiores a los previstos en la normativa. Teniendo en cuenta que los datos experimentales no se han discriminado en función de la dirección, la sobreestimación de la normativa podría llegar a

ser de un 30% (es decir un 70% en términos de fuerzas).

Tabla 3. Valores extremos de la velocidad media en 10 minutos para $T=50$ años.

Situación	V_{600} (m/s) SHM	V_{600} (m/s) EN 1991-1-4:2005	
		NS	EW
P3 (tablero)	23.8	27.0	32.7
P4 (tablero)	21.8	26.8	31.4
P4 (cabeza de torre)	24.2	29.0	34.1
P5 (tablero)	20.6	25.4	29.9

Dado que el período de medidas apenas sobrepasa los 4 años, habrá que esperar a tener los datos de un período mayor para llegar a conclusiones terminantes sobre la normativa en este aspecto concreto.

Para comprobar la respuesta del puente frente al viento, hay que comparar alguno de los resultados del cálculo de la estructura con las medidas equivalentes aportadas por el sistema de monitorización. Para esta comparación se ha escogido el momento transversal en cabeza de pilas provocado por una torsión del tablero y, en última instancia, por la fuerza transversal y por el momento de vuelco del viento sobre el tablero. Para descartar los efectos del tráfico o térmicos se han tomado solamente los valores medidos en la madrugada (entre la 1:00 y las 5:00), en una pila en el tramo recto (P5) y se han calculado los valores medios en una hora.

La figura 23 muestra los distintos resultados obtenidos para el momento en cabeza de la pila P5 (calculado como la diferencia entre las reacciones en los dos apoyos multiplicada por la distancia del eje de dichos apoyos al centro de la pila) frente a la velocidad media en una hora en esa zona elevada al cuadrado para que haya una relación lineal entre ambas magnitudes. También se ha representado en la misma figura la relación entre ambas magnitudes de acuerdo con los cálculos de proyecto. Se puede observar que hay un acuerdo bueno entre los dos conjuntos de datos, pero también que el rango de variación de las velocidades (y por

consiguiente el de momentos) en el proyecto es muy superior al rango de velocidades que se han producido en los primeros cuatro años y medio de vida del puente.

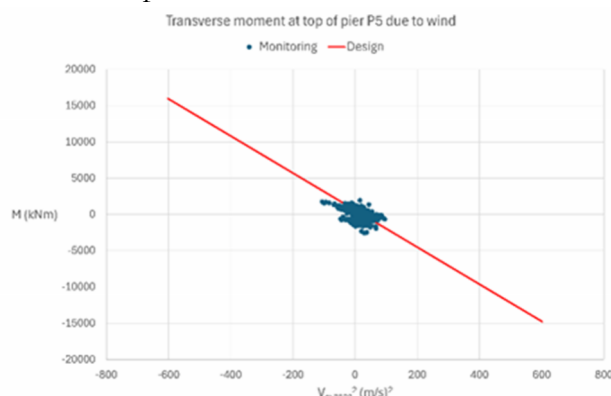


Figura 23. Momento de vuelco en cabeza de pila P5

3 Conclusiones

El sistema de monitoreo en el puente sobre el Río Barrow, un extradosado de gran luz, acumula más de 4 años de lecturas desde su apertura. Este artículo muestra que, desde un punto de vista de solicitaciones de carga viva, el puente se ha enfrentado mayoritariamente a efectos térmicos, con cargas estimadas de tráfico viento mucho menores que las de la norma usada en el diseño.

A pesar de la baja frecuencia de lectura, es posible estimar cargas de tráfico cuando se dispone de períodos de datos continuos y de larga duración. Los autores consideran que existen aún líneas de investigación para una mejor estimación de los efectos de la carga de tráfico, interpretación de los efectos de curvatura y tensionales medidas por los extensómetros en secciones con diferentes solicitaciones debida a su posición en el puente que considerarán en futuras publicaciones.

Agradecimientos

Los autores agradecen a Fergal Cahill, jefe de puentes de TII por su apoyo y permiso para publicar este artículo.

Asimismo, desean mostrar su agradecimiento a las personas de CFC-SL y Arup que colaboraron de forma activa en el desarrollo

del proyecto entre 2014 y 2020 y en particular a Irene Arjona, de Arup por su ayuda en la preparación de las herramientas de filtrado de los datos de los sensores.

Referencias

- [1] M.A Astiz, L. Blanco, M. Sanchez, G. Ayuso, M.A. Gil, R. Gonzalez. Proyecto del Puente extradosado sobre el Río Barrow. VIII Congreso ACHE.Santander 2022.
- [2] M. Sanchez, M. A Astiz. J. Iliff. Rose Fitzgerald Kennedy. Design and Construction of a long span extrados bridge. IABSE. Congress, Christ Church, New Zealand, February 2021.
- [3] NSAI. Irish National Annex to EN1991-5:2003. Actions on structures-Part 1-5: General Actions: Thermal Actions.
- [4] NSAI. Irish National Annex to EN1991-2:2003. Actions on structures-Part 2. Traffic loads on Bridges.
- [5] M. Frenzel, R. Ortlepp, S. Scheerer, M. Curbach, Hormigón armado con textiles. Un material innovador, ligero y moldeable, Hormigón y Acero. 64 (2013) 47–74.
- [6] C.S.Durst, “Wind Speeds over Short Periods of Time”, The Meteorological Magazine, 89 (1960) 181-186.
- [7] J. Vellozzi & E. Cohen, “Dynamic Response of Tall Flexible Structures to Wind Loading”, National Bureau of Standards, Building Science Series BSS30 (1970) 115-128
- [8] E.Simiu 6 R.H.Scanlan, “Wind Effects on Structures: Fundamentals and Applications to Design, John Wiley (1996)
- [9] ESDU 83045, “Strong winds in the atmospheric boundary layer. Part 2: discrete gust speeds”, IHS (2012)