

Evaluación de cargas torsoras en tableros rectos apoyados excéntricamente

(Recibido: 05/05/2016; Aceptado: 01/06/2016)

Segado García, E.¹; García Guerrero, J. M.^{1,2}; Jorquera Lucerga, J. J.²

¹Estudiante de doctorado, Escuela Internacional de Doctorado

²Departamento de Ingeniería Civil, E.T.S. de Ing. de Caminos, Canales y Puertos y de Ing. de Minas
Campus Alfonso XIII, N° 52, 30203 Cartagena (España)

Teléfono: +34 968 177 715

Email: emilio.segado@upct.es

Resumen. Muchos son los motivos por los que ciertos proyectos de pasarelas requieren apoyar sus tableros en un borde mediante un sistema de apoyos excéntricos. Este artículo estudia la influencia que tienen determinados parámetros mecánicos y geométricos sobre la flexión de los tableros rectos apoyados excéntricamente cuando son solicitados por una carga torsora. Como conclusión, se muestra la relación entre el valor de las cargas torsoras y de las cargas verticales uniformemente distribuidas a través de la excentricidad de los apoyos.

Palabras clave. Apoyos excéntricos; Flexión; Rigidez; Tableros rectos; Torsión.

Abstract. Some projects of pedestrian bridges require supporting their decks on an eccentric bearing system, due to functional or clearance conditions. This paper studies the influence that some mechanical and geometrical parameters have on the bending behaviour of eccentric supported decks, especially when loaded under a torsional distributed load. As a fundamental conclusion, it is presented the relationship between torsional and vertical distributed loads and the effect that the eccentricity of the intermediate bearings.

Keywords. Eccentric supports; Bending; Stiffness; Straight decks; Torsion.

1. Introducción

Generalmente, en la fase de proyecto de un puente es habitual buscar diferentes soluciones constructivas que respondan a los condicionantes geográficos del emplazamiento. Constructivamente resulta necesario, en el caso de salvar grandes distancias, disponer de apoyos intermedios.

En este supuesto, y en el caso de emplear un sistema atirantado o de péndolas, una de las alternativas es suspender éstos de uno de sus bordes por razones tanto de índole geométrico como funcional. Un ejemplo serían los tableros curvos suspendidos de un borde, para evitar las interferencias que se producirían con el tráfico peatonal si se suspendieran de su eje.

Estas pasarelas se pueden suspender, bien de los bordes exteriores, bien de los bordes interiores. Una estructura diseñada según esta actual tendencia es, por ejemplo, la pasarela Liberty Bridge, en Greenville [1,4] (Fig. 1), en la que el tablero curvo quedaba suspendido de su borde exterior.



Fig. 1. Pasarela de Liberty Bridge, Greenville.

Asimismo, en el caso de tableros suspendidos con péndolas situadas en el borde interior, uno de los ejemplos más representativos es la pasarela del Deutsche Museum, en Múnich (Fig. 2), que continúa el esquema resistente de la pasarela de Kelheim [2,3,4], y en la que llama la atención la esbeltez del pilono, articulado en la base para permitir al visitante percibir la deformación de la pasarela.



Fig. 2. Pasarela de Deutsche Museum, Múnich.

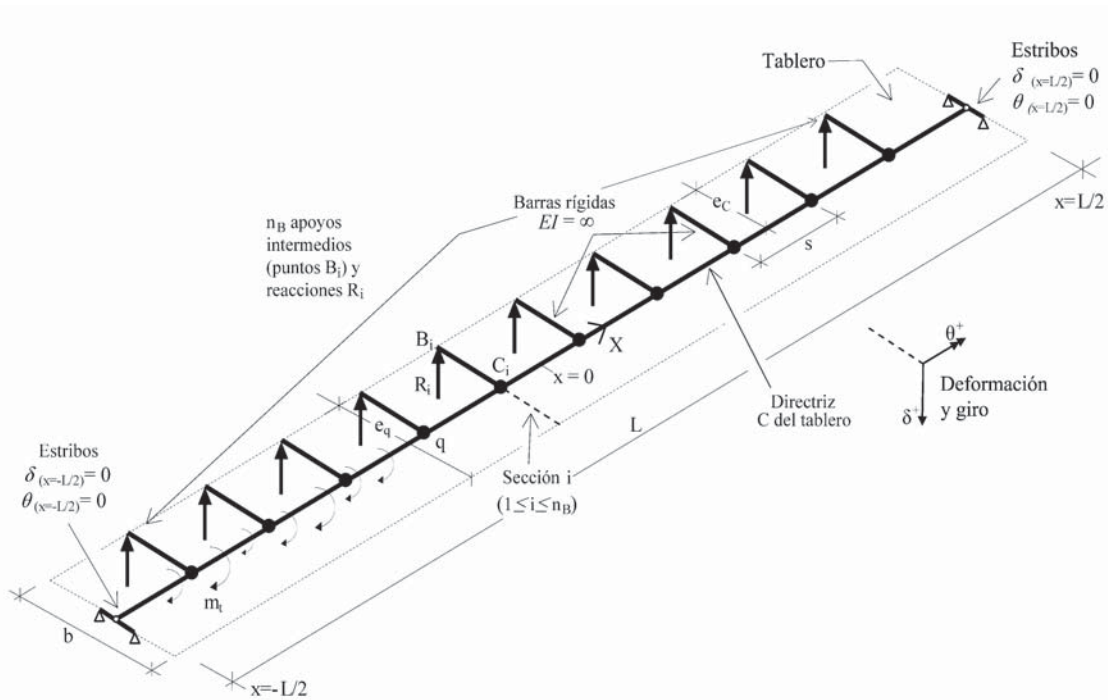


Fig. 3. Modelización del tablero con apoyos excéntricos.

En un tablero recto apoyado en uno de sus bordes se tiene un esquema estructural similar al de la Fig. 3, en el que se puede suponer que los apoyos excéntricos están vinculados por barras infinitamente rígidas a una barra longitudinal que reproduce el comportamiento conjunto de la sección transversal del tablero, supuesta ésta exenta de distorsión.

De la observación de la Fig. 3, ya en [5] se descomponía su comportamiento resistente en dos mecanismos resistentes complementarios: el primer mecanismo se corresponde con una viga biapoyada, mientras que el segundo de ellos lo hace con un conjunto de apoyos excéntricos intermedios.

La contribución de cada mecanismo resistente depende de su rigidez relativa. La flexión del tablero está, lógicamente, condicionada por la rigidez a flexión, EI . En este mecanismo la rigidez a torsión, GJ , no es relevante pues, al contrario que ocurre en los tableros curvos, en un tablero recto la flexión y la torsión están desacopladas.

La eficacia de los apoyos excéntricos, entendida como la fracción de la carga total $q \cdot L$ que dichos apoyos son capaces de recoger en forma de reacciones verticales, depende tanto de la rigidez a torsión del tablero, GJ , como de la excentricidad lateral de cada apoyo, e_c .

Para la cuantificación de esta eficacia se definió en [5] el parámetro adimensional μ que se especifica, para una carga vertical uniformemente distribuida, como:

$$\mu \equiv 1 - \frac{M(q)_{x=0}}{q \cdot L^2 / 8}$$

En esta publicación, de una manera similar, se define el coeficiente μ' que permite sintetizar la respuesta conjunta de los apoyos intermedios cuando la acción solicitante es un momento torsor uniformemente distribuido m_t (Fig. 3) en el tablero.

Este artículo se estructura de la siguiente manera: en el apartado 2 se describen los estudios realizados para ello. En el apartado 3 se presentan los resultados del análisis y en el apartado 4 se presentan las conclusiones, donde se describe la relación existente entre ambos parámetros.

2. Estudios realizados

2.1 Modelización

El estudio se ha realizado mediante una serie de modelos de elementos finitos de 6 grados de libertad por nudo.

Para la obtención de los resultados, ha sido necesaria la elaboración de estos modelos, en los que se varían los diferentes parámetros que gobiernan la respuesta de estos tableros ante un torsor m_t , como la relación entre las rigideces a flexión y torsión EI/GJ y la excentricidad de los apoyos, e_c/L . Una vista general de estos modelos puede verse en la Fig. 3.

El rango de variación de dichos parámetros considerados en el estudio será:

$$0 \leq e_c/L \leq 0.1$$

$$1 \leq EI/GJ \leq 20$$

Se ha considerado en todos los casos una luz $L = 100$ m. El estudio se ha realizado para una carga uniformemente distribuida $m_t = 10 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$.

2.2 Herramientas de análisis

Para la elaboración de los modelos se ha empleado el programa MATLAB que ha generado los modelos de cálculo de SAP2000. Éste último es el encargado de resolver cada uno de los modelos propuestos, aportando los resultados de flexión. Posteriormente, y a través de MATLAB se han procesado los datos y extraído los relevantes para el presente estudio.

3. Análisis y resultados

3.1. Parámetro μ'

La eficacia de los apoyos excéntricos, a efectos de la definición de μ' , puede entenderse como su capacidad para recoger la torsión del tablero. Un caso extremo de eficacia de los apoyos excéntricos lo tendríamos cuando la rigidez a flexión del tablero EI , fuera infinita, pues entonces, la flecha vertical del tablero sería nula y todo el momento torsor sería recogida por las reacciones R_i en los nudos intermedios actuando con una excentricidad e_c [6].

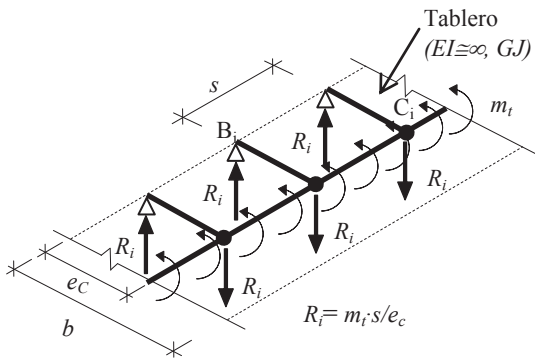


Fig. 4. Reacciones debidas a una carga torsora.

Sólo en este caso (Fig. 4), y recordando el desacoplamiento de esfuerzos flectores y torsores en una estructura recta, se puede decir que existen unas reacciones en los apoyos intermedios R_i , tal que:

$$R_i \approx \frac{m_t}{e_c} \cdot s$$

Sin embargo, en una estructura convencional, la rigidez a flexión no es infinita, y por tanto se deforma, haciendo que las reacciones también cambien. Es por esto que se hace necesario definir el coeficiente μ' que relacione el valor del momento flector en el centro del vano debido a la carga torsora introducida $M(m_t)_{x=0}$, con el momento flector en una viga biapoyada de luz L solicitada con una carga vertical uniformemente distribuida de valor $q = m_t/e_c$. Es decir:

$$\mu' \equiv 1 - \frac{M(m_t)_{x=0}}{\frac{m_t}{e_c} \cdot L^2 / 8}$$

Este coeficiente se ha representado en la Fig. 5:

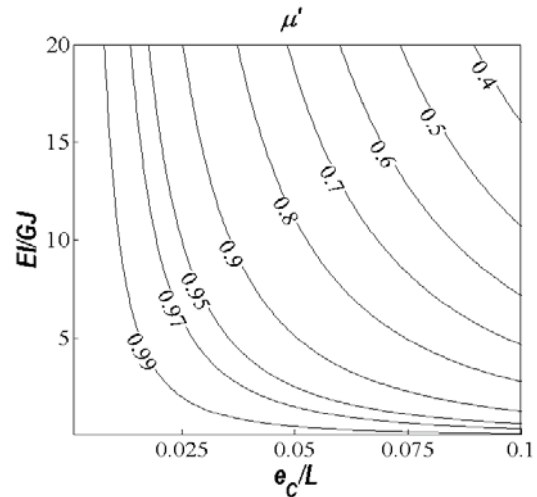


Fig. 5. Valores del parámetro μ' .

Del análisis de los valores de μ' se puede ver como:

- Un aumento de la rigidez a torsión, para una excentricidad constante, produce un aumento de valores de μ' .
- Además, la disminución de la excentricidad, para unas rigideces constantes, produce un aumento de los valores de μ' .

3.2. Relación entre μ' y μ

Con el objeto de estudiar la relación entre ambos parámetros, se han superpuesto ambas curvas, y sus resultados han quedado representados en la Fig. 6:

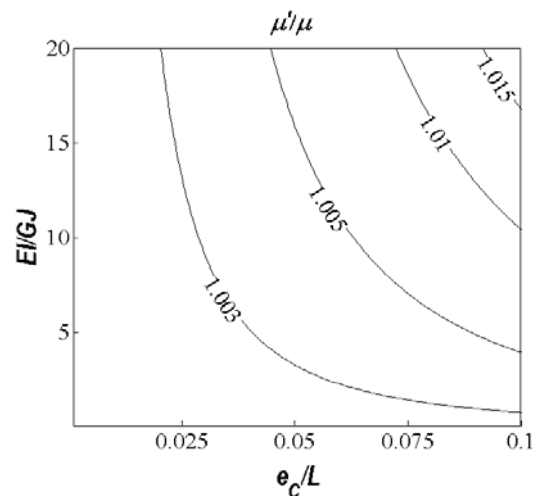


Fig. 6. Valores de la relación μ'/μ .

De la figura 6 puede deducirse que:

- A efectos prácticos, se puede asumir error, con error despreciable, que $\mu' = \mu$.
- El momento flector producido por un torsor m_t coincide con el que produce una carga vertical de valor m_t/e_c uniformemente repartida en el centro de vano, es decir:

$$\mu' \equiv 1 - \frac{M(q = m_t/e_c)_{x=0}}{\frac{m_t}{e_c} \cdot L^2 / 8}$$

3.3. Carga vertical y torsión simultánea

Así, para obtener el efecto conjunto de una carga vertical y de un torsor concomitantes, y aplicando el principio de superposición, bastaría utilizar un único coeficiente μ , en función de las características del tablero, como la relación EI/GJ y la excentricidad de los apoyos, e_c/L .

4. Conclusiones

Tras un análisis de los resultados, se concluye que:

- Al igual que en el caso de una carga uniformemente distribuida, la rigidez a torsión es un parámetro fundamental en la respuesta del tablero: para una baja GJ , los apoyos intermedios pierden mucha eficacia, y, para valores altos de e_c , casi todo el torsor exterior es recogido por los estribos.
- Análogamente, a medida que aumenta la excentricidad de los apoyos, se reducen las reacciones en éstos, aumentando en los estribos, y por tanto, crece el momento flector, que se aproxima más al de una viga biapoyada.
- Se puede asumir por tanto, con un error despreciable para su uso práctico, que $\mu' = \mu$.

Como conclusión general se puede afirmar que el momento flector generado por un momento torsional aplicado en el eje del tablero es equivalente al momento flector generado por una carga vertical de valor $q = m/e_c$. De esta forma, y al igual que el caso de carga vertical, la rigidez torsional es primordial para dar eficacia a los apoyos intermedios, sobre todo para valores altos de la excentricidad.

Agradecimientos

La contribución del segundo autor se ha desarrollado mediante la financiación de la Fundación Séneca, perteneciente a la Consejería de Industria, Turismo, Empresa e Innovación de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, a través de una ayuda del Programa Séneca.

Referencias

- [1] Michael Stein, P. E. (2010) "Curved Pedestrian Bridge - Straightforward Design". ASCE Structures Congress, pp 262-275.
- [2] Strasky, J. (2005) *Stress ribbon and cable-supported pedestrian bridges*. Thomas Telford.
- [3] Baus, U., Schlaich, M. (2008) *Footbridges: Construction, design, history*. Birkhäuser Verlag.
- [4] Jorquera Lucerga, J. J. (2007) *Estudio del comportamiento resistente de los puentes arco espaciales*. Tesis Doctoral. UPM.
- [5] Segado García, E., García Guerrero, J. M., Jorquera Lucerga, J. J. (2015) "Estudio de la flexión en tableros rectos apoyados excéntricamente". Anuario de Jóvenes Investigadores, pp 86-88, vol 8. UPCT.
- [6] Jorquera-Lucerga, J. J. (2013) "Understanding Calatrava's bridges: A conceptual approach to the 'La Devesa-type' footbridges". Engineering Structures, pp 2083-2097, vol. 56.