

Criterios para el dimensionamiento de diafragmas antidistorsión

Design criteria for the design of anti-distortion diaphragms.

Iván Campo Rumoroso ^a, Óscar Ramón Ramos Gutiérrez ^b

^a Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Universidad de Cantabria. ivan.campo@alumnos.unican.es

^b Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Universidad de Cantabria. Profesor Contratado Doctor oscar.ramos@unican.es

RESUMEN

La distorsión en los puentes mixtos de sección cajón se controla mediante una disposición adecuada de los diafragmas antidistorsión. El dimensionamiento riguroso de estos diafragmas ha sido históricamente relegado en detrimento de fórmulas o criterios simplificados que en muchas ocasiones llevan a diseños poco eficientes. En esta ponencia se revisarán algunos de los criterios propuestos y se propondrán unas nuevas recomendaciones dependientes de la anchura del puente, la luz máxima, el canto y la curvatura en planta.

ABSTRACT

Distortion in composite box-girder bridges is controlled by a proper arrangement of the anti-distortion diaphragms. However, the rigorous design of these diaphragms has historically been relegated to the detriment of simplified formulas that often lead to inefficient designs. In this paper, some of the proposed criteria will be reviewed, and new recommendations will be proposed depending on the bridge width, maximum span, depth, and curvature in plan.

PALABRAS CLAVE: Puentes, Viga curva, Distorsión, Diafragmas antidistorsión.

KEYWORDS: Bridges, Curved beam, Distortion, Cross-frames

1. Introducción

Los tableros mixtos de sección cajón constituyen una solución competitiva en el rango de las luces medias-altas y en trazados con una fuerte curvatura en planta ($Luz/Radio > 0.2$) [1]. Además, se trata de una tipología eficiente en el uso de los materiales, lo cual hace de ella una solución sostenible.

Sin embargo, los tableros de sección cajón se distorsionan bajo la acción de cargas excéntricas o también de cargas verticales cuando el tablero es curvo en planta. Además, en el caso de los tableros mixtos, las tensiones causadas por la distorsión pueden ser

importantes debido a la elevada flexibilidad transversal de la sección. Por ello, es habitual disponer de diafragmas intermedios a lo largo del vano para controlar dicho fenómeno. No obstante, estos elementos presentan numerosos detalles estructurales que encarecen el coste de fabricación [2].

El dimensionamiento riguroso de los diafragmas intermedios ha sido históricamente relegado en detrimento de fórmulas o criterios simplificados que en muchas ocasiones llevan a diseños poco eficientes, y que no por ello son correctos. Un ejemplo de ello es la antigua

norma española RPX-95 [3], que limitaba el espaciamiento entre diafragmas e incluía un criterio de rigidez mínima siguiendo lo indicado de H. Nakai. [4]. No obstante, ya en 2005 J. Pascual [2] demostró que estos criterios eran poco acertados.

Dicho estudio de J. Pascual es uno de los más completos realizados hasta la fecha sobre el dimensionamiento de diafragmas antidistorsión. La propuesta de dicho autor, que se denominará en adelante dimensionamiento por resistencia, consiste en que cuatro diafragmas en celosía por vano dimensionados para la totalidad del tursor tributario sobre el diafragma son suficientes para el control de la distorsión en la sección. Se trata de una propuesta simple, a la par que muy completa, ya que indica tanto el espaciamiento máximo entre diafragmas como la rigidez mínima que deben tener éstos, y además de manera indirecta tiene en cuenta todos los parámetros involucrados en su dimensionamiento. No obstante, se ha considerado que dicha propuesta debía revisarse conforme a la normativa vigente y extenderse a puentes curvos y de gran anchura.

En la actualidad, el Eurocódigo 1993-2 [5] no incluye recomendaciones relativas al espaciamiento y rigidez de los diafragmas, sino que ha optado por limitar la tensión máxima debida a distorsión al 10% de la tensión debida a flexión. Esto hace necesario, a priori, calcular la distorsión en todos los proyectos de puentes mixtos de sección cajón.

Debido a que el cálculo de la distorsión en puentes es, en ocasiones, una labor tediosa, el propósito de la investigación que se presenta [6] es aportar unos criterios simplificados que permitan omitir el cálculo de la distorsión en los tableros de puentes más habituales. Además, también se pretenden aportar criterios adicionales relativos a las tensiones debidas a la distorsión en el cálculo de fatiga, y a la tipología de los diafragmas.

2. Metodología

Para redactar unas recomendaciones relativas a control de la distorsión en puentes mixtos se realizó un cálculo paramétrico empleando un elemento finito de orden superior desarrollado por los autores [7]. Dicho elemento, además de las funcionalidades propias de los elementos tipo viga, permite calcular la torsión no uniforme y la distorsión, teniendo en cuenta además la interacción entre sus alabeos. Esto supone una evolución respecto a la teoría clásica donde las ecuaciones de torsión y distorsión son independientes. Además, el elemento permite tener en cuenta la curvatura en planta, y se puede emplear en el cálculo tanto de secciones abiertas como cerradas. Por último, el elemento desarrollado también permite tener en cuenta los diafragmas antidistorsión como un elemento discreto.

Los casos analizados dentro del estudio paramétrico abarcan las geometrías más comunes en este tipo de tableros. En concreto, se estudiaron las siguientes casuísticas:

- Tableros rectos de 3 vanos y 11.3 m de ancho (384 casos):
 - Luces: 30 a 90 m.
 - Canto constante y variable ($L > 60$ m).
 - Seis espaciamientos de diafragmas y 8 rigideces.
- Tableros curvos de 3 vanos y 11.3 m de ancho (150 casos):
 - Casos rectos, de canto constante.
 - Diafragmas dimensionados por resistencia.
 - Curvaturas hasta 0.4 rad.
- Tableros de media y gran anchura:
 - Tableros de 12.8 m de ancho ($L > 60$ m) (18 casos).
 - Tablero de 15.6 m de ancho con y sin vigas transversales y canto variable ($L = 75$ m) (6 casos)
 - Tablero de 26.6 m de ancho, 5 vanos y $L = 90$ m (10 casos).

Para cada una de las luces, cantos, anchos, y espaciamientos entre diafragmas se predimensionó el tablero con el objetivo de obtener valores de tensiones realistas. También se predimensionó la celosía de cierre en los tableros curvos. Además, se calculó la rigidez mínima que aportaba un diafragma en celosía dimensionado por resistencia en todos los casos, para lo cual se estudiaron tres de las tipologías más habituales (V, K y X). No obstante, también se consideraron otras rigideces en muchos de los casos para completar el estudio.

Respecto al cálculo, en todos los casos se analizó el peso propio del puente considerando únicamente la sección metálica como elemento resistente. En el cálculo de las cargas muertas se tuvo en cuenta una posible reducción de un tercio en el módulo de elasticidad del hormigón. Y para la carga viva, se estudiaron los casos de máxima flexión, donde los carriles virtuales se posicionaron empezando por una barrera y acabando en la xotra, y máxima torsión, donde los carriles se posicionaron empezando en una barrera, pero acabando cuando el eje del tablero. En cuanto al posicionamiento del vehículo pesado, este se ubicó longitudinalmente en cada diafragma y a media distancia entre diafragmas.

Los resultados más relevantes del análisis fueron las tensiones en el tablero y las reacciones máximas en el diafragma.

Respecto a las tensiones, se concluyó que la distorsión era mayor en el ala inferior, por lo que se obtuvo para cada caso la tensión máxima en el ala inferior del tablero y la tensión concomitante en el otro extremo del ala, tal y como se muestra en la figura 1.

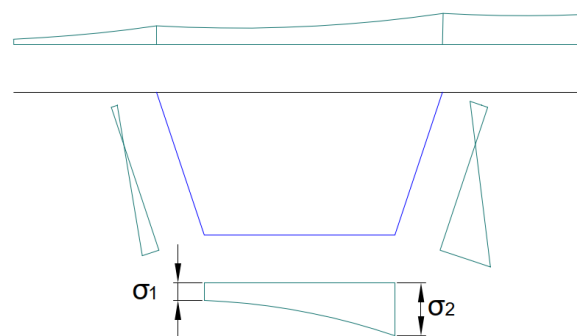


Figura 1. Tensiones en el ala inferior.

Siguiendo el criterio del Eurocódigo, se calculó la ratio entre la tensión debida a la distorsión y la tensión debida a la flexión según se muestra en la ecuación 1.

$$\Delta\sigma[\%] = \frac{\Delta\sigma}{\sigma_m} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{\sigma_1 + \sigma_2} \quad (1)$$

El resultado de procesar los resultados anteriores se muestra en los siguientes apartados.

3. Tableros rectos

La distorsión en tableros rectos se debe fundamentalmente al paso excéntrico de vehículos pesados. En consecuencia, los puentes de luces cortas, donde el efecto de los vehículos pesados es más relevante, son más susceptibles a la distorsión que los puentes de grandes luces.

Por otra parte, las tensiones debidas a la distorsión dependen fundamentalmente de la inercia a distorsión de la sección, que al igual que la inercia a flexión, depende en gran medida de canto. Por lo tanto, cuanto menor es el canto, mayores serán las tensiones debidas a la distorsión.

Ambas conclusiones se pueden extraer observando la figura 2.

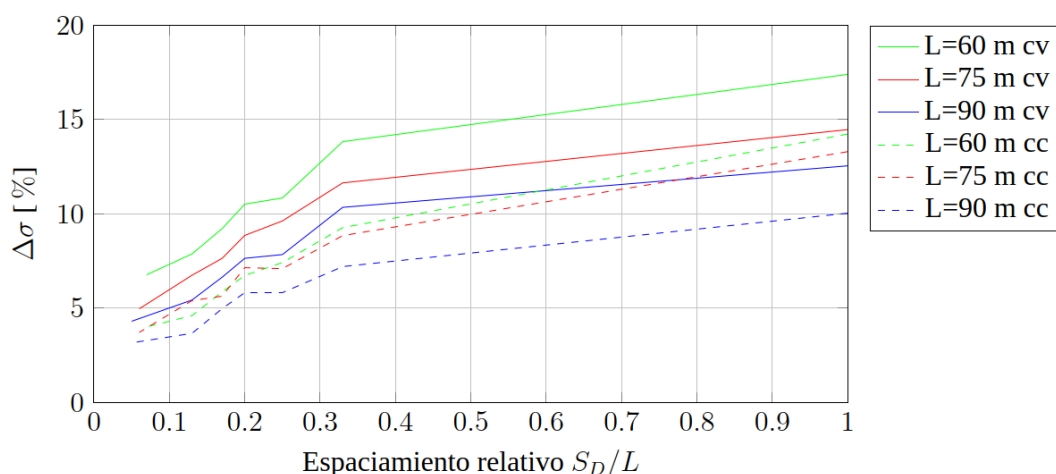


Figura 2. Distorsión en función del espaciamiento relativo dimensionando por resistencia.

En dicha figura 2 se representa la ratio distorsión flexión definida en la ecuación 1 para tableros de canto constante (cc) y canto variable (cv) de distintas luces. Cabe señalar que la rigidez adoptada para este cálculo es la mínima que aporta un diafragma en celosía dimensionado por resistencia. Es decir, se ha seguido el criterio de J. Pascual, pero variando los espaciamientos.

Además de las conclusiones indicadas anteriormente, se pueden extraer otras. En primer lugar, la gráfica permite corroborar que el criterio de cuatro diafragmas por vano es válido prácticamente en todos los casos. Únicamente en puentes de canto variable o luces muy cortas pueden aparecer incumplimientos muy leves.

Otra conclusión es que existe margen para optimizar los diseños, ya que en el caso de la luz de 90 m y canto constante se llega a la conclusión de que prácticamente no son necesarios diafragmas antidistorsión.

Como resultado del análisis, en la ecuación 2 se propone una fórmula para determinar el espaciamiento máximo entre diafragmas dimensionados por resistencia:

$$S_D < 0.09 \cdot C \cdot L \quad (2)$$

En la ecuación anterior S_D es el espaciamiento entre diafragmas, C es el canto y L es la luz, todo ello en metros.

No obstante, es conocido que la función de los diafragmas intermedios no se limita al control de la distorsión. Por ello muchos proyectistas optan por disponerlos cada 4-5 m. Para estos casos se ha propuesto lo que se ha denominado dimensionamiento flexible.

El dimensionamiento flexible consiste en disponer los diafragmas aproximadamente cada 4-5 m con una rigidez mínima según lo indicado en la ecuación 3.

$$t_{eq,min} \geq \frac{5 \cdot S_D}{C \cdot L} \quad (3)$$

Donde $t_{eq,min}$ es la rigidez mínima del diafragma expresada en milímetros, y en términos de espesor de diafragma de alma llena. Es decir, la rigidez mínima del diafragma se obtiene multiplicando la rigidez de un diafragma de alma llena de 1 mm correspondiente al tablero objeto de estudio por el espesor $t_{eq,min}$.

El concepto de espesor equivalente definido anteriormente se ha empleado para representar en la figura 3 la relación entre la reacción en el diafragma y la reacción de diseño por resistencia (T) en función del espesor equivalente.

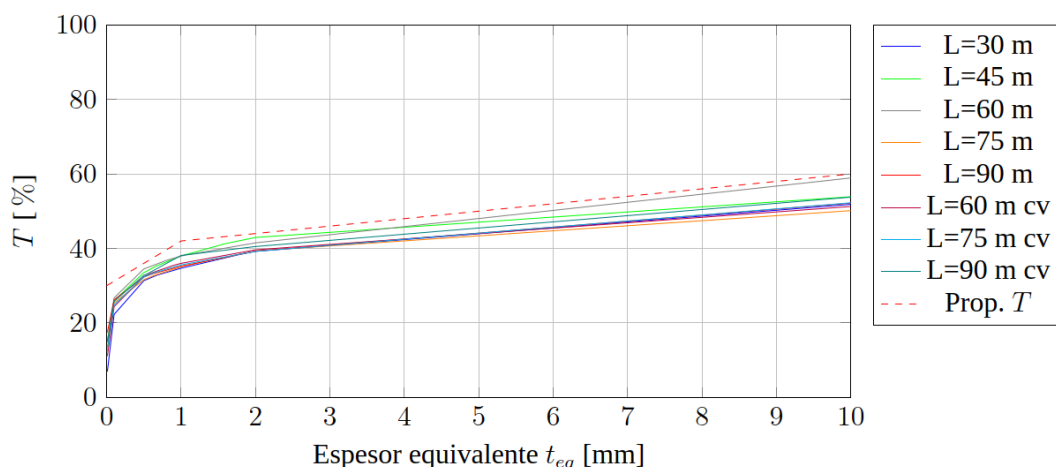


Figura 3. Reacción en el diafragma en función de la rigidez del diafragma para espaciamientos de 4-5 m.

En la figura 3 se puede observar cómo para espesores equivalentes de entre 1 y 2 mm, que son los habituales en diafragmas en celosía, la reacción en el diafragma apenas llega al 50% de la reacción de diseño por resistencia. Por lo tanto, se puede reducir la reacción de diseño en estos casos según la ecuación 4 siempre que se cumpla el criterio de rigidez de la ecuación 3:

$$T = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,r}} \geq \begin{cases} 0.3 + 0.12 \cdot t_{eq} \rightarrow t_{eq} \leq 1 \text{ mm} \\ 0.4 + 0.02 \cdot t_{eq} \rightarrow t_{eq} > 1 \text{ mm} \end{cases} \quad (4)$$

Donde $M_{T,Ed}$ es el torsor de diseño del diafragma y $M_{T,r}$ es el torsor de diseño del diafragma por resistencia.

La función anterior se ha representado en discontinuo en la figura 3 y se puede observar como queda del lado de la seguridad.

4. Tableros curvos

En los tableros curvos, además de las cargas excéntricas, la propia flexión de la sección también genera distorsión. A efectos de resultante de tensiones, el incremento de torsión debido a la curvatura puede expresarse como M/R , donde M es el momento en la sección R el radio en planta.

Sin embargo, a efectos de cálculo de la distorsión, y consecuentemente, de dimensionamiento de los diafragmas antidistorsión, el incremento de torsión debido a

la flexión se puede aproximar como se muestra en la ecuación 5.

$$\Delta M_{T,Ed} = S_D \cdot \frac{b_t}{b_b} \cdot \frac{M}{R} \quad (5)$$

Donde b_t es el ancho superior del cajón y b_b el ancho inferior.

Es importante señalar que el cociente entre el ancho superior e inferior será siempre superior a 1 en secciones trapezoidales, por lo que no considerarlo queda del lado de la inseguridad. Además, cabe señalar que la ecuación 5 es una simplificación de una formulación más compleja desarrollada por los autores [8], pero que es suficiente a efectos de dimensionamiento por resistencia según los resultados de la investigación.

Una vez definido el incremento de distorsión debido a la curvatura, resulta evidente entender que cuanto mayor sea la curvatura en planta, mayor será la distorsión, y, por lo tanto, menor tendrá que ser el espaciamiento entre diafragmas. Esta reducción en el espaciamiento se ha cuantificado como un factor de curvatura f_c que se define en la ecuación 6 y se aplica al espaciamiento máximo calculado según la ecuación 2.

$$f_c = 1 - 0.012 \cdot L \cdot \phi \quad (6)$$

Donde ϕ es el ángulo en planta del vano (L/R).

La figura 4 representa la influencia del ángulo en planta en el espaciamiento máximo

cuando se dimensionan los diafragmas por resistencia.

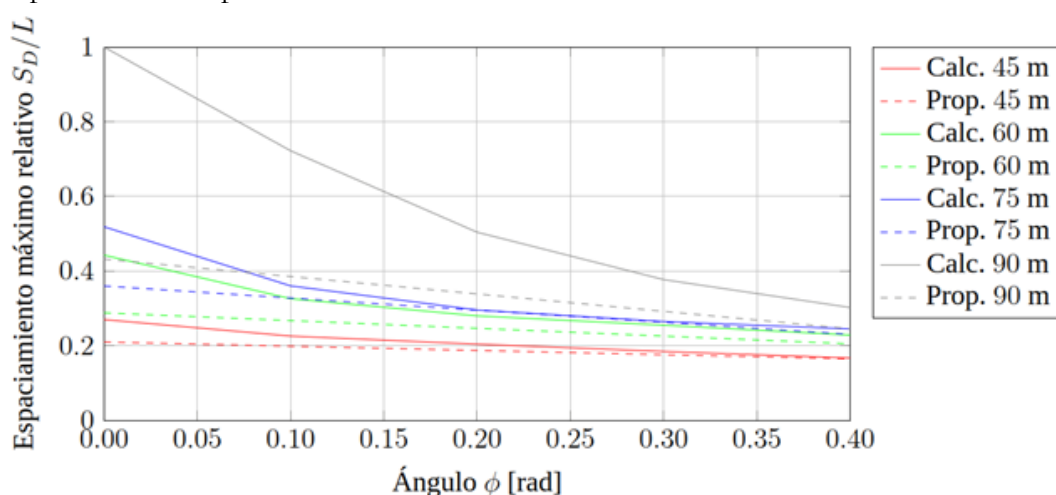


Figura 4. Espaciamiento máximo propuesto y calculado en función del ángulo en planta.

Como se puede observar en la figura 4, la reducción en el espaciamiento máximo es más acusada conforme aumenta la luz y aumenta el ángulo en planta, motivo por el cual el factor de reducción depende de ambos parámetros.

Otro aspecto a señalar es que el dimensionamiento flexible propuesto para tableros rectos no se recomienda en tableros curvos. Además, el factor de reducción propuesto en la ecuación 4 no se debe aplicar a la carga debida a la curvatura.

Por último, tal y como se indicó en la metodología, se han analizado los tableros de manera evolutiva. Esto implica que se ha analizado la distorsión durante la fase metálica del tablero, llegando a la conclusión de que se debe analizar la distorsión cuando se dan simultáneamente las siguientes condiciones:

- $L > 45 \text{ m}$
- $\phi = \frac{L}{R} > 0.2 \text{ rad}$
- $S_D > L \cdot (0.3 - 0.25 \cdot \phi)$

Para este análisis se recomienda la realización de un modelo de elementos finitos tipo lámina, ya que los elementos tipo viga no se encuentran tan desarrollados.

5. Tableros anchos

Resulta evidente pensar que cuanto mayor es el ancho del tablero mayor es la excentricidad de las cargas y, por ende, mayor es la distorsión. No obstante, en apartados anteriores también se indicó que la distorsión dependía del canto y la luz del vano. Teniendo en cuenta esto, en la ecuación 7 se define el parámetro de susceptibilidad a la distorsión Λ .

$$\Lambda = \frac{b^2}{C \cdot L} \quad (7)$$

Donde b es el ancho total del tablero, C es el canto y L es la luz.

Empleando el parámetro Λ se pueden diferenciar los rangos de aplicación de cada metodología de dimensionamiento de diafragmas antidistorsión:

- Cuando Λ es inferior a 1 y el tablero es recto se puede aplicar tanto el dimensionamiento flexible como el dimensionamiento por resistencia.
- Si Λ está comprendido entre 1 y 2 se recomienda dimensionar por resistencia.
- Cuando Λ es superior a 2, se debe realizar un análisis de la distorsión en el tablero, ya que la rigidez que aportan diafragmas

dimensionados por resistencia puede no ser suficiente.

Teniendo en cuenta la casuística anterior, únicamente se ha estudiado la influencia de la anchura en el dimensionamiento por resistencia.

En tableros de gran anchura resulta habitual apoyar la losa en los propios diafragmas para optimizar su diseño. Esto obliga a que los diafragmas en este tipo de puentes se espacien habitualmente entre 4 y 5 m, y a que en estos casos el dimensionamiento por resistencia sea habitual. No obstante, algunos proyectistas [9] han optado por disponer marcos cerrados cada 4-5 m en lugar de diafragmas antidistorsión, y únicamente rigidizar frente a la distorsión cada 4 marcos. En estos casos, las pruebas realizadas sugieren que se debe realizar un análisis refinado de la distorsión si se desea seguir esta estrategia porque los resultados no fueron satisfactorios.

Sin embargo, cuando el ancho es inferior a 13.5 m en muchos casos no es estrictamente necesario que la losa se apoye en los diafragmas. Para estos casos se ha propuesto un factor de reducción del espaciamiento en función del ancho f_a , que se define en la ecuación 8, y que se aplicaría al espaciamiento definido en la ecuación 2 y ajustado según la ecuación 6 cuando sea necesario.

$$f_a = 1 - 0.004 \cdot \frac{L}{C} \cdot (b - 11.3) \quad (8)$$

Un último aspecto interesante observado en los tableros de gran anchura, en este caso curvos, es que cuando el espaciamiento es inferior a 5 m y se dimensionan por resistencia los diafragmas, las tensiones debidas a la distorsión son bastante estables, y por lo tanto no son necesarias recomendaciones adicionales relativas a al espaciamiento o a la rigidez.

6. Criterios complementarios

Además de calcular los espaciamientos máximos recomendados y las rigideces mínimas que debieran tener los diafragmas antidistorsión, se

han analizado otros aspectos complementarios tales como las sobretensiones por distorsión vinculadas al cálculo de fatiga y la tipología más adecuada de diafragmas en función de la geometría.

6.1 Fatiga

La fatiga en puentes metálicos es un tema que está generando multitud de documentos técnicos, artículos y ponencias en los últimos años. No obstante, una carencia observada en algunos de estos documentos es la aparente omisión de las tensiones longitudinales debidas a la distorsión, en contra de lo que indica el Eurocódigo 1993-2 [5]. Por este motivo, se ha llevado a cabo un estudio paramétrico para cuantificar la tensión adicional debida a la distorsión que se produce debido al paso del vehículo de fatiga FLM 3 [10].

Para la realización del estudio se ha partido de los tableros anteriormente analizados, se ha seleccionado para cada luz, ancho y tipo de canto el espaciamiento máximo entre diafragmas que cumple con los criterios anteriormente indicados. Posteriormente, para cada uno de estos casos se han dimensionado los diafragmas por resistencia, y una vez definido el modelo estructural, se ha ubicado el vehículo del FLM 3 en múltiples posiciones a lo largo del tablero en la posición de máxima excentricidad en todos los casos.

La principal conclusión del estudio realizado es que la relación entre el incremento de tensión debido al vehículo pesado de fatiga y la tensión media en el ala inferior llega a superar el 50 % aun cumpliendo con los criterios de dimensionamiento por resistencia. Por lo tanto, no se debe omitir el incremento de tensión debido a la distorsión ($\Delta\sigma_t$) en el cálculo de fatiga.

No obstante, el cálculo de la distorsión puede resultar tedioso en muchos casos, por lo que, de manera conservadora, se sugieren los siguientes valores mínimos si se utiliza el vehículo FLM 3 de los Eurocódigos:

- De manera general, se puede suponer un incremento de tensión $\Delta\sigma_f = 15$ MPa.
- Si el espaciamiento entre diafragmas no supera los 5 m, el valor anterior se puede reducir a $\Delta\sigma_f = 10$ MPa

6.2 Tipología de diafragmas

El estudio presentado anteriormente se ha complementado con un análisis acerca de la

tipología más adecuada de diafragmas antidistorsión en función de la geometría del cajón.

Para ello se han estudiado algunas de las tipologías más frecuentes como son diafragmas de alma llena, Cruz de San Andrés, celosía en V y celosía en K. Todas ellas se muestran en la figura 5.

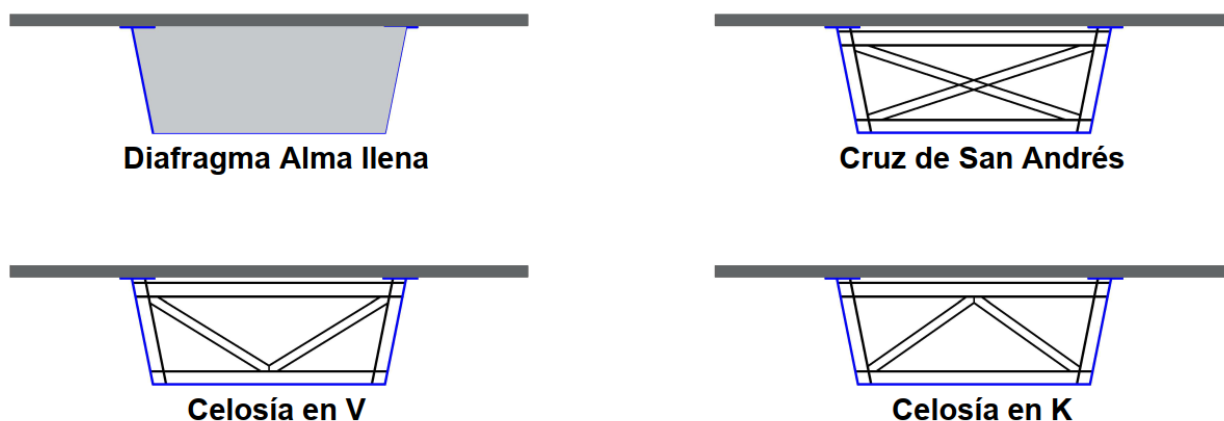


Figura 5. Tipologías de diafragma estudiadas.

La principal conclusión del estudio es que, en la mayoría de los casos analizados, las tipologías más competitivas son la celosía en V o la celosía en K. Específicamente, cuando la forma del cajón tiende a ser rectangular la celosía en V resulta más eficiente. En cambio, cuando la forma trapezoidal del cajón es más acusada -con relaciones entre el ancho inferior y superior inferiores a 0.8- la celosía en K resulta más eficiente.

En lo que respecta a las celosías en Cruz de San Andrés, éstas resultan competitivas cuando el canto es superior al ancho del cajón.

Por el contrario, cuando el canto del cajón inferior a 1.5 m, la tipología de diafragma de alma llena puede resultar competitiva. También puede resultar interesante dicha tipología de diafragma cuando se requiere aumentar sustancialmente la rigidez o resistir cargas elevadas.

Por último, una conclusión relativa a todos los diafragmas en celosía es que existe una relación directa entre eficiencia en peso y rigidez por la cual la tipología más ligera en términos de

peso es la que aporta mayor rigidez. Y otra conclusión relativa a los diafragmas de alma llena es que cuando la forma del cajón es trapezoidal la distribución de tensiones no es uniforme, por lo que se recomienda realizar un modelo de elementos finitos tipo lámina para su dimensionamiento.

7. Conclusiones

En este artículo se ha presentado el estudio realizado relativo a los criterios de dimensionamiento de diafragmas antidistorsión.

En el estudio se han tenido en cuenta aspectos fundamentales para el diseño como son la luz principal del puente, el tipo de canto, la anchura del tablero y la curvatura en planta.

Como resultado del estudio se ha propuesto un espaciamiento máximo entre diafragmas en celosía dimensionados por resistencia que depende de los parámetros anteriormente indicados y que han sido objeto

de estudio. No obstante, también se ha propuesto un límite de aplicación de la metodología que depende del ancho, la luz y el canto del tablero.

También se han expuesto que, para ciertas geometrías de tablero, cuando los diafragmas se espacian a menos de 5 m, se puede reducir la carga de diseño en los diafragmas siempre y cuando se cumpla un criterio de rigidez mínima.

En el caso de los tableros curvos, se ha indicado que la carga distorsora debida a la flexión se debe multiplicar por un factor dependiente de la relación entre el ancho inferior y superior del cajón. También se han señalado las condiciones geométricas que se deben cumplir para que resulte necesario analizar la distorsión en construcción.

Por último, se han estudiado las tensiones por distorsión asociadas al paso del vehículo de fatiga FLM 3, que han de ser tenidas en consideración por su relevancia, y se han estudiado las tipologías más adecuadas de diafragmas en función de la geometría del cajón.

Referencias

- [1] Service d'études techniques des routes et autoroutes. *Ponts mixtes acier-béton guide de conception durable*. Setra. 2010.
- [2] J. Pascual Santos, *Criterios de dimensionamiento de los diafragmas interiores en secciones cajón de puentes mixtos*, E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos (UPM), Madrid, 2005.
- [3] Dirección General de Carreteras. *Recomendaciones para el proyecto de puentes mixtos para carreteras (RPX-95)*. Madrid, 1996.
- [4] Nakai, H., & Yoo, C. H. *Analysis and Design of Curved Steel Bridges*. McGraw-Hill. 1988.
- [5] CEN. *UNE-EN 1993-2:2013 Eurocódigo 3: Proyecto de estructuras de acero. Parte 2: Puentes*. 2013.
- [6] I. Campo Rumoroso, *Aplicación de la teoría de vigas al cálculo de la distorsión en puentes mixtos de sección cajón curvos en planta y criterios para el dimensionamiento de diafragmas antidistorsión*, Escuela de Doctorado de la Universidad de Cantabria (UC), Santander, 2023.
- [7] Campo-Rumoroso, I., Ramos-Gutiérrez, Ó. R., Cambronero-Barrientos, F. *New beam element for horizontally curved steel-concrete composite box girder bridges*. IABSE Symposium Prague, 2022: Challenges for Existing and Oncoming Structures - Report, 1329–1336, 2022.
- [8] Campo-Rumoroso, I., Ramos-Gutiérrez, Ó. R., Cambronero-Barrientos, F. *Distortion analysis of horizontally curved trapezoidal box girder bridges*. Engineering Structures, 282. 2023.
- [9] Bouchon, E., Gillet, G., Bouvy, B., Le Faucheur, D., & Sablon, J. Y. *Les Etudes du Viaduc de Verrieres*. Ouvrages d'Art, 38. 2001.
- [10] CEN. *UNE-EN 1991-2:2004 Eurocódigo 1: Acciones en estructuras. Parte 2: Cargas de tráfico en puentes*. 2004..