

# Contrastación del método de diseño de directrices de puentes curvos atirantados Tablero-Axil mediante el rediseño de 2 pasarelas existentes.

*Tablero-Axil directrix design method for curved bridges test through the redesign of 2 existing footbridges.*

Darío Galante Bardín<sup>a</sup> y Miguel Ángel Astiz Suárez<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Doctor Ingeniero. IDIngenieros. Director Técnico. [dario.galante@idiingenieros.es](mailto:dario.galante@idiingenieros.es).

<sup>b</sup> Doctor Ingeniero. UPM. Catedrático de Puentes. [maastiz@cfcsl.com](mailto:maastiz@cfcsl.com).

## RESUMEN

Con el objetivo de poner de relieve las capacidades del método de diseño Tablero-Axil para la optimización de la directrix en puentes curvos atirantados, en este documento se procede al rediseño de 2 pasarelas existentes (Pasarela Malecón de Murcia y Pasarela sobre el río Carrión), diseñadas por estudios de ingeniería de contrastada capacidad técnica (CFCSL y FHECOR). Estas pasarelas difieren en muchos aspectos: domina un signo distinto de esfuerzo axial (cóncava y convexa respecto de la pila), rigidez transversal muy diferente debido a su anchura (3 m y 5 m) y condiciones de apoyo diversas. Esto va a permitir poner a prueba los beneficios del método para un gran rango de posibilidades.

## ABSTRACT

In order to highlight the capabilities of the directrix design method for curved cable-stayed bridges, “Tablero-Axil” (Axial force deck), in this document we proceed to redesign 2 existing pedestrian bridges (Malecón de Murcia footbridge and the Carrión River footbridge), designed by well-known engineering teams (CFCSL and FHECOR). These footbridges differ from each other in many ways: opposite dominant axial force sign (concave and convex with respect to the pile), different transverse stiffness due to their width (3 m and 5 m) and alternative support conditions. These will allow to test the benefits of the method for a wide range of possibilities.

**PALABRAS CLAVE:** Puente, pasarela, atirantado, curvo, directrix, sección, tablero, pila, estribo.

**KEYWORDS:** Bridge, footbridge, cable-stayed, curved, directrix, section, deck, tower, abutments.

## 1. Antecedentes

Hasta ahora, el método Tablero-Axil partía de unas ecuaciones diferenciales no lineales que permitían obtener trazados de puentes minimizando los momentos flectores de eje vertical [1].

*Tablero a compresión (1):*

$$N_x[s] = \sqrt{N_x[s]^2 + N_y[s]^2} N_x''[s] \frac{hp[s]}{\rho_T}$$

$$N_y[s] = \sqrt{N_x[s]^2 + N_y[s]^2} N_y''[s] \frac{hp[s]}{\rho_T}$$

*Tablero a Tracción (2):*

$$N_x[s] = -\sqrt{N_x[s]^2 + N_y[s]^2} N_x''[s] \frac{hp[s]}{\rho_T}$$

$$N_y[s] = -\sqrt{N_x[s]^2 + N_y[s]^2} N_y''[s] \frac{hp[s]}{\rho_T}$$

Con:

$\rho_T$ : Carga vertical por metro lineal de tablero.

$hp[s]$ : Altura de anclaje de tirantes en la torre sobre el tablero.

s: Variable del problema, longitud del tablero.

x: Coordenada "x" del tablero.

y: Coordenada "y" del tablero.

N: Fuerza directriz del trazado del tablero (coincide con la sollicitación axil del tablero).

$N_x$ : Componente en "x" de la fuerza directriz del trazado del tablero.

$N_y$ : Componente en "y" de la fuerza directriz del trazado del tablero.

esfuerzos transversales y mejorando el comportamiento.

## 2. Introducción

El diseño mediante Tablero-Axil le añade una nueva función a la directriz del tablero, respecto de las que suelen tener hoy en día los puentes curvos:



Figura 1. Pasarela del Malecón, Murcia. Ingeniería: CFCSL. (Cortesía: CFCSL)

En estas ecuaciones se incluían las condiciones de contorno determinadas por el diseño de la pila y una serie de datos de partida que hacían el problema resoluble. Pero no se tenía en cuenta la gran hiperestaticidad que suele gobernar ciertos problemas, con múltiples sistemas resistentes. En este trabajo se presenta la posibilidad de completar el método de diseño de trazado Tablero-Axil, creando un cálculo iterativo que permite tener en cuenta la hiperestaticidad del problema. Esto permite una mayor eficacia en los casos en los que las condiciones de contorno son menos apropiadas para el método diseño axil, eliminando los

- Solucionar mediante una curva un problema geométrico que se presenta en el servicio de la pasarela: un obstáculo, unir 2 trazados no alineados...

- Un valor estético vinculado a la tendencia de estructuras más orgánicas que existe hoy tanto en arquitectura como en ingeniería.

En el método de Tablero-Axil, el trazado se utiliza como un condicionante resistente esencial del puente. Con este propósito, se vincula el diseño de la directriz con el diseño de la sección del tablero y con el diseño del sistema resistente que representa la pila y los tirantes. Este sistema de pila y tirantes define el foco de

la carga concéntrica que diferencia a este tipo de puentes y a los puentes atirantados rectos.

Las tres funciones principales (estética, funcional y resistente) que se van a dar a la directriz se van a afrontar de la siguiente manera en el artículo:

- Estética: Si bien no es un punto en el que el artículo se vaya a centrar, el método Tablero-Axil ofrece una estética que fomenta la ligereza. La necesidad de aumentar la capacidad a flexión en el eje radial sin necesidad de una fuerte capacidad torsora, permite secciones trianguladas tipo cercha o secciones abiertas.

- Funcional: En pasarelas, la función en la mayoría de los casos se reduce a comunicar 2 puntos en el espacio. En el artículo, no se pretende igualar este aspecto de las pasarelas elegidas, no se han tenido las restrictivas condiciones que suelen tener este tipo de proyecto, centrándose exclusivamente en el aspecto mecánico.

- Mecánica: Se buscan directrices que potencien el funcionamiento del sistema resistente de pila y tirantes, minimizando los esfuerzos transversales del tablero y los desplazamientos vinculados a ellos, que son los que más reducen su eficiencia, disminuyendo su tensión. El trazado se desarrolla a partir de las curvas antifunicular (tablero a compresión) y funicular (tablero a tracción) de las cargas concéntricas introducidas por los tirantes que sustentan el tablero. Se disminuye así su trabajo como viga, lo que conlleva una disminución de la necesidad de capacidades torsoras y flectoras de eje vertical.

El incremento en la eficiencia del sistema resistente pila tirante, aumenta el empotramiento elástico que producen los tirantes como sistema resistente frente a la torsión, creando la necesidad de aumentar la capacidad de la sección del tablero a flexión de eje radial. Las pasarelas escogidas muestran una clara divergencia en su comportamiento y su adaptabilidad al proceso de rediseño escogido. La Pasarela de San Juan de la Cruz, en Palencia, demuestra muy buena adaptabilidad al método de diseño Tablero-Axil,

obteniéndose un resultado satisfactorio de forma inmediata. Por otro lado, la pasarela del Malecón en Murcia requiere una evolución del método, mediante un proceso iterativo, para obtener un resultado eficiente. De esta manera se prueba el método con condiciones de contorno muy diferentes.

En definitiva, el método diseña el puente partiendo de unas premisas distintas a las que suelen ser habituales. Esto es, un trazado y un diseño de sección que va a ser resultado de la voluntad de eliminar los esfuerzos transversales, con todas las ventajas que esto aporta al comportamiento de la pasarela.

### 3. Pasarela de San Juan de la Cruz, Palencia

La pasarela diseñada por FHECOR sobre el río Carrión en Palencia, desarrolla en planta un arco de circunferencia que recorre un ángulo de  $\pi/2$  con un radio de 45 metros (al eje del tablero) y un tablero en cajón triangular de 3 metros de ancho en acero.

La pila queda en el exterior de la circunferencia. Esto hace que el esfuerzo axil dominante sea de tracción (*Tablero a Tracción*) y que la pila no quede en el centro de gravedad de la carga que soporta. Esto último implica la necesidad de tirantes de compensación para contrarrestar (2 tirantes traseros).

Los 5 tirantes que sustentan el tablero se anclan en el borde exterior de la pasarela, produciendo luces de 8.83 metros en los extremos y 13.24 m en los vanos interiores [2].

#### 3.1. Análisis pasarela existente

El comportamiento de esta pasarela queda determinado en gran parte por el empotramiento del tablero en los estribos y por un tablero muy flexible (estas 2 características se compensan hasta cierto punto).

Las torsiones características de los puentes curvos [3] (torsiones de giro negativo según los



Figura 2. Pasarela de San Juan de la Cruz sobre el río Carrión, Palencia. (Cortesía de FHECOR).

ejes mostrados en la Figura 3), quedan bien compensadas por el atirantamiento en el exterior. Este atirantamiento sumado a la poca rigidez que el tablero muestra a torsión disminuye las reacciones a este esfuerzo en los estribos.

Así, el tablero no debe resistir grandes torsiones y los giros de torsión se contrarrestan por la doble acción de los sistemas resistentes: empotramiento del tablero en los estribos a torsión y flexión ( $M_{yy}$ ) y el empotramiento elástico entre apoyos ([3], [4] y [6]).

El diseño se muestra muy equilibrado y permite a la pasarela beneficiarse de su forma curva y el acoplamiento entre torsión y flexión ( $M_{yy}$ ) implícito en este tipo de estructuras. Esto se aprecia en el gran empotramiento a flexión que se produce en los estribos (Figura 4).

Hay un efecto muy característico de este tipo de disposición de los tirantes, que resulta muy apreciable en esta pasarela: los tirantes introducen un giro positivo a torsión que, debido a la curvatura de la pasarela, se transforma en un descenso de los extremos del tablero (apoyo en los estribos). Esto y el signo del giro a torsión

favorece los apoyos en los estribos y la descarga de los tirantes cercanos a estos. El resultado es un diagrama de Momento flector ( $M_{yy}$ ) con grandes negativos en los estribos (debido a su empotramiento) y en el centro y positivos en el resto de la pasarela.

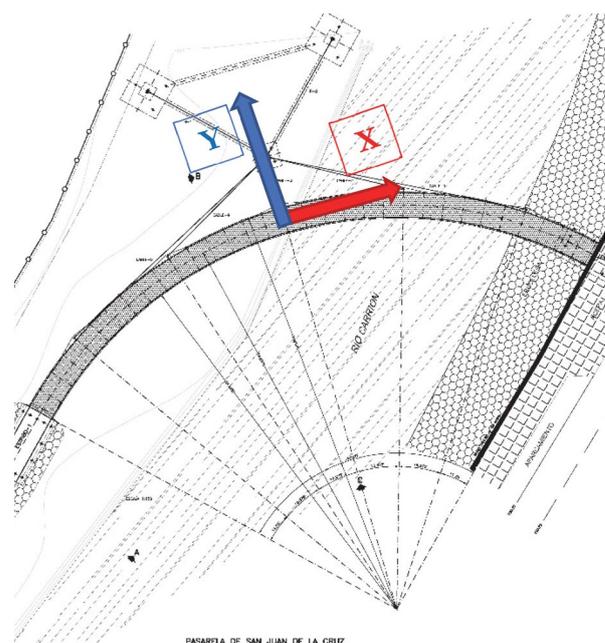


Figura 3 Planta pasarela sobre río Carrión, Palencia. (Cortesía de FHECOR). Ejes de esfuerzos.

Este efecto, y el contrario con tirantes de apoyo en el borde interior, son ampliamente estudiados en la tesis sobre puentes curvos [3].

### 3.1.1. Resultados obtenidos

Los resultados obtenidos confirman el comportamiento descrito en el apartado anterior.

El empotramiento del tablero en los estribos resulta determinante en el comportamiento de la pasarela. La poca rigidez a torsión del tablero limita el efecto de su empotramiento a torsión en los estribos. De esta manera resulta más determinante, de cara a controlar la torsión, el empotramiento a flexión sumado a la curvatura de la pasarela (debido al acoplamiento en estructuras curvas [1] y [5]) y la posición del anclaje de los tirantes en la sección.

Solo en la hipótesis en la que se carga la mitad interior de la pasarela (caso más perjudicial para el anclaje de los tirantes), incrementa el empotramiento a torsión del tablero en los estribos. Este efecto se ve favorecido por la infrautilización de los tirantes extremos.

Por otro lado, la cercanía de la pila y el centro de gravedad de las cargas que sustenta la pila, supone unos esfuerzos axiales reducidos.

## 3.2. Propuesta de diseño

### 3.2.1. Potencial

Como se ha comentado, esta pasarela presenta unas condiciones ideales para la aplicación del método Tablero-Axil: tablero flexible a torsión y a flexión, tablero delgado (3 metros) frente a su longitud (70 metros) y tablero a tracción.

Estas condiciones presentan como beneficios:

- El trazado a tracción (funicular) produce 2 asíntotas oblicuas que reducen la curvatura en los extremos (estribos) del tablero [1]. Cuanto menor curvatura tenga el tablero en su apoyo en

los estribos, menor es la discontinuidad que estos producen en el funcionamiento como funicular (como ejemplo, los puentes rectos).

- La anchura de 3 m del tablero, supone 2 beneficios inmediatos: Los torsos introducidos por los apoyos excéntricos no se disparan y, debido a limitada rigidez frente a su longitud, presenta una rigidez limitada a flexión de eje vertical del tablero, restando importancia a las discontinuidades de los estribos.

### 3.2.2. Diseño propuesto

Debido a las virtudes ya mencionadas de la pasarela, la aplicación de las ecuaciones diferenciales que definen la directriz Tablero-Axil (2), resulta inmediata (Figura 4).

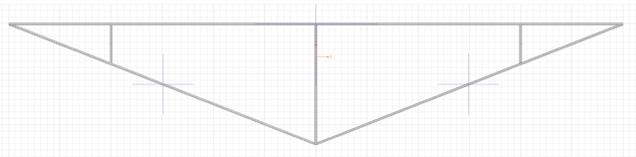
Se puede apreciar cómo la directriz obtenida concentra la curvatura en el eje de simetría, creando las asíntotas tan características de este tipo de directrices [1].

Como uno de los principios básicos de este método es la máxima utilización del sistema resistente compuesto por la pila y los tirantes, se ha decidido eliminar los empotramientos a momentos del tablero en los estribos, sólo dejando el de torsión, por una razón de correcto servicio. Siguiendo este principio, se ha duplicado el número de tirantes, si bien se ha disminuido la sección de estos a la mitad. Este incremento en el número de tirantes obliga a una disposición en semi arpa.

Basándonos en otro principio básico del método, que se basa en la utilización de la curvatura y acoplamiento del torsor y el flector como sistema resistente para soportar la torsión ([1], [4] y [6]), se modifica la sección, introduciendo una sección abierta en celosía, con un módulo a torsión muy bajo, reduciendo el área e incrementando la inercia de eje radial. Esta sección nos permite jugar con el centro de cortantes, situándolo cerca de la directriz de los tirantes.

Tablero: FHT0= 8.5 KN,  $x_0 = 6.75$  m.  
 Alturas: pila  $h_p = 20.906$  m, tablero  $h_t = 3.073$  m.  
 $St_{TOTAL} = 70.7$  m.  
 Pila inclinada al CDG.  
 Nudos Tablero  $n = 56$ , Tirantes  $(nt-2) = 10$ .

Sección cajón – Directriz Circular



Sección abierta en celosía – Directriz Axil

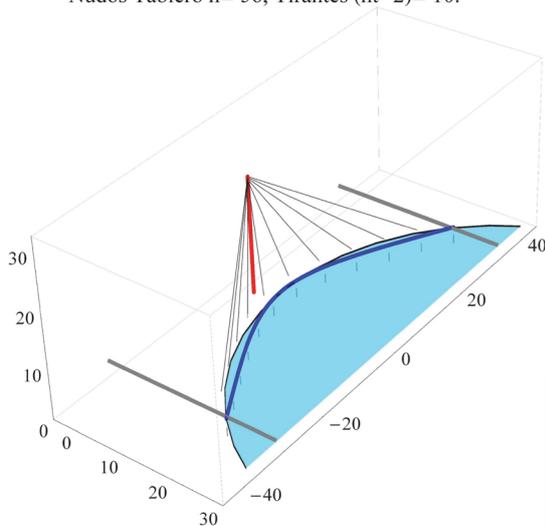
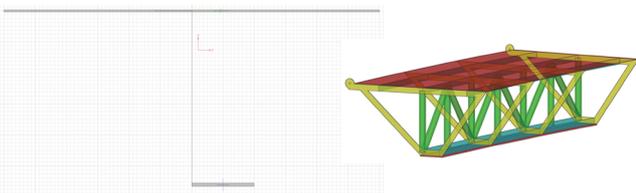


TABLE: Frame Section Properties 01 - General						
SectionName	Material	Area	TorsConst	Iz	Iy	Iw
Text	Text	m2	m4	m4	m4	m6
Tablero Palencia Cir	S355	0.07148	0.00597	0.04977	0.002588	0
Tablero Palencia Axil	S355	0.0577	5.9E-06	0.0346	0.0161	0.000411

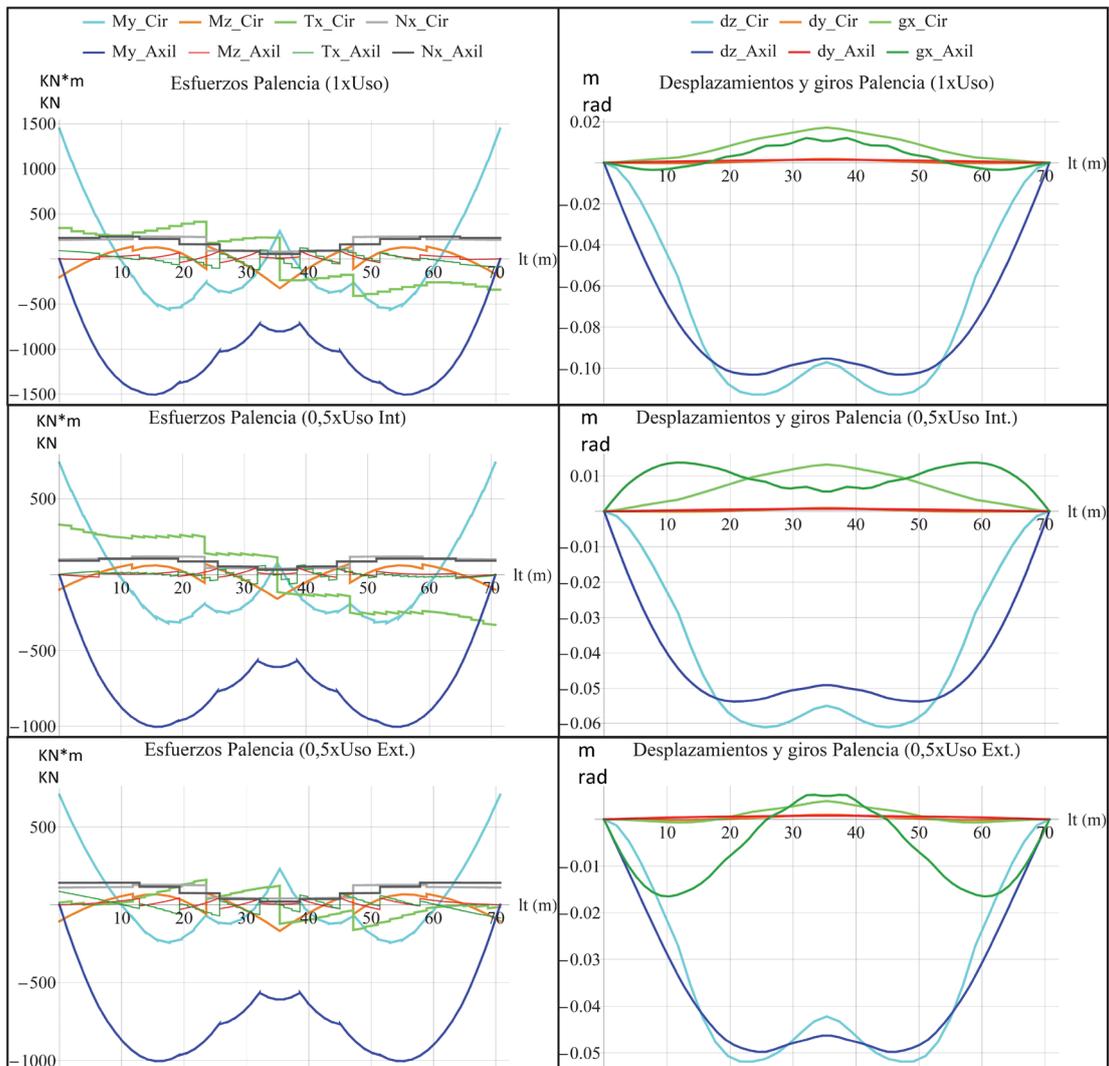


Figura 4. Ficha comparativa Pasarela sobre el río Carrión en Palencia. Geometría: rectificada (azul marino) y existente (circulo celeste). Diagramas de esfuerzos desplazamientos y giros corresponden a las hipótesis de carga de uso: total centrada (1xUs0), la mitad del tablero de menor radio cargado (0,5x Uso Int.) y la mitad del tablero de mayor radio cargado (0,5x Uso Ext.).

### 3.2.3. Resultados obtenidos

Los resultados obtenidos muestran como el funcionamiento de la pasarela resulta completamente satisfactorio, aun no contando con la ayuda de los empotramientos a flexión en los estribos. La pasarela apoya de forma más homogénea sobre los tirantes y las reacciones de los estribos disminuyen.

Los momentos flectores de eje vertical ( $M_{zz}$ ) desaparecen, cumpliéndose así el principio de un diseño funicular. También se hacen desaparecer casi por completo las torsiones en el tablero, resistiéndose la torsión mediante la curvatura y la flexión, sobre todo en la zona central del tablero (donde la directriz tiene mayor curvatura).

La reducción de esfuerzos en el tablero, sobre todo los de torsión, permite aligerar el área de la sección ( $\approx 30\%$ ) sin que el comportamiento de la pasarela se vea afectado.

## 4. Pasarela del Malecón, Murcia

Esta pasarela fue diseñada y calculada por la oficina de proyectos CFCSL. Se trata de una pasarela de 59 metros de luz y una anchura de 5,3 metros. La directriz es curva con un radio de 45 metros y la pila, de 24,5 metros útiles de altura, se sitúa en el interior (lado cóncavo) y queda desplazada respecto del eje de simetría del tablero [7]. Esta posición dista mucho del centro de gravedad de las cargas que debe soportar la pila, siendo necesario introducir una serie de tirantes de compensación en la parte trasera (15 tirantes).

El tablero se sostiene mediante 30 tirantes, quedando equidistantes sus anclajes en el tablero. Los tirantes de los extremos quedan anclados directamente a los estribos, funcionando como tirantes de compensación.

La sección del tablero está compuesta por un cajón trapezoidal con 0.7 m de canto.

## 4.1. Análisis pasarela existente

Las condiciones de apoyo en los estribos de la pasarela resultan determinantes en su comportamiento (estribo E1:  $\delta_y, \delta_z, \theta_x$  estribo E2:  $\delta_x, \delta_y, \delta_z, \theta_x$ , Figura 5). También tiene gran importancia la posición alejada de la pila respecto del centro de gravedad de las cargas sostenidas, produciendo grandes componentes horizontales en el tablero y en la pila [8].

Otro punto crítico es el ancho de la pasarela (5,3 m). Además de suponer un canto apreciable de cara a su rigidez a flexión de eje vertical ( $M_{zz}$ ), supone la introducción de grandes torsores debido al anclaje de los tirantes en su borde interior (borde de menor radio). Esta torsión se suma a la torsión característica de los puentes curvos (giro negativo en Figura 5).

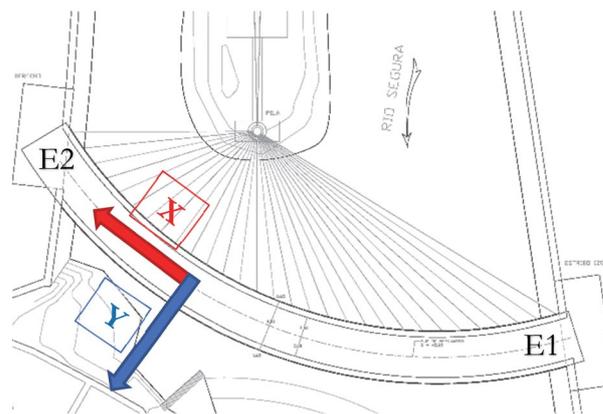


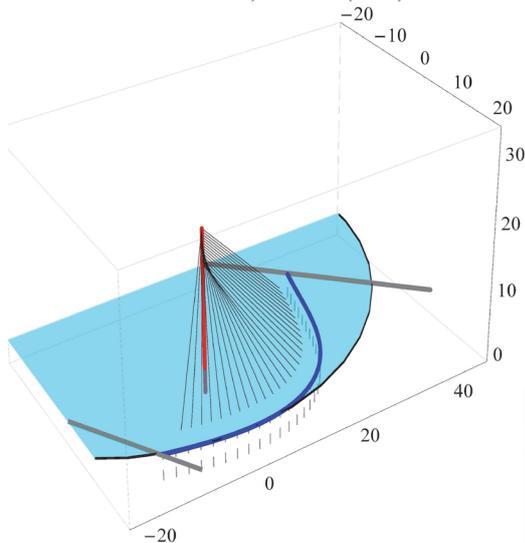
Figura 5. Planta pasarela sobre río Segura, Murcia. (Cortesía de CFCSL). Ejes de esfuerzos.

Debido a la alta rigidez a torsión del tablero y a flexión transversal (esta última en comparación con la longitud), la pasarela se comporta como una viga transversal. De esta manera es la flexión transversal ( $M_{zz}$ ), como viga bi-apoyada, y la torsión del tablero, lo que permite a la pasarela suspenderse de los tirantes.

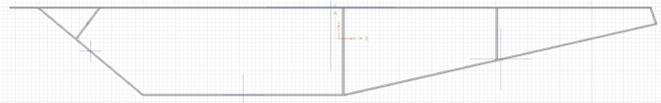
### 4.1.1. Resultados obtenidos

La flexión transversal ( $M_{zz}$ ) en el tablero es el esfuerzo dominante (Figura 6). La capacidad del tablero de resistir este esfuerzo resulta determinante para el correcto funcionamiento de los tirantes que sostienen el tablero.

Tablero: FHT0= 46 KN,  $x_0= 16.3236$  m.  
 Alturas: pila  $h_p= 19$  m, tablero  $h_t=3.75$  m.  
 STOTAL= 60 m.  
 Pila inclinada al CDG.  
 Nudos Tablero  $n= 146$ , Tirantes  $(nt-2)= 28$ .



Sección cajón – Directriz Circular



Sección abierta en celosía – Directriz Axil

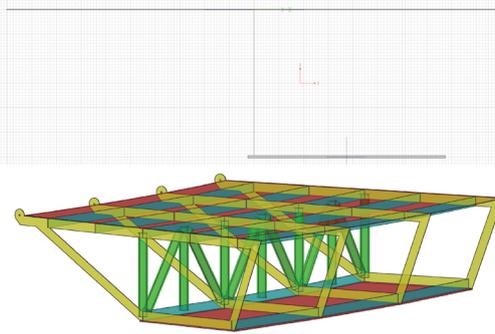


TABLE: Frame Section Properties 01 - General

SectionName	Material	Area	TorsConst	Iz	Iy	Iw
Text	Text	m2	m4	m4	m4	m6
Tablero Murcia Cir	S355	0.145112	0.028466	0.283814	0.010324	0
Tablero Murcia Axil	S355	0.101691	0.00001202	0.143174	0.0565653	0.0331573

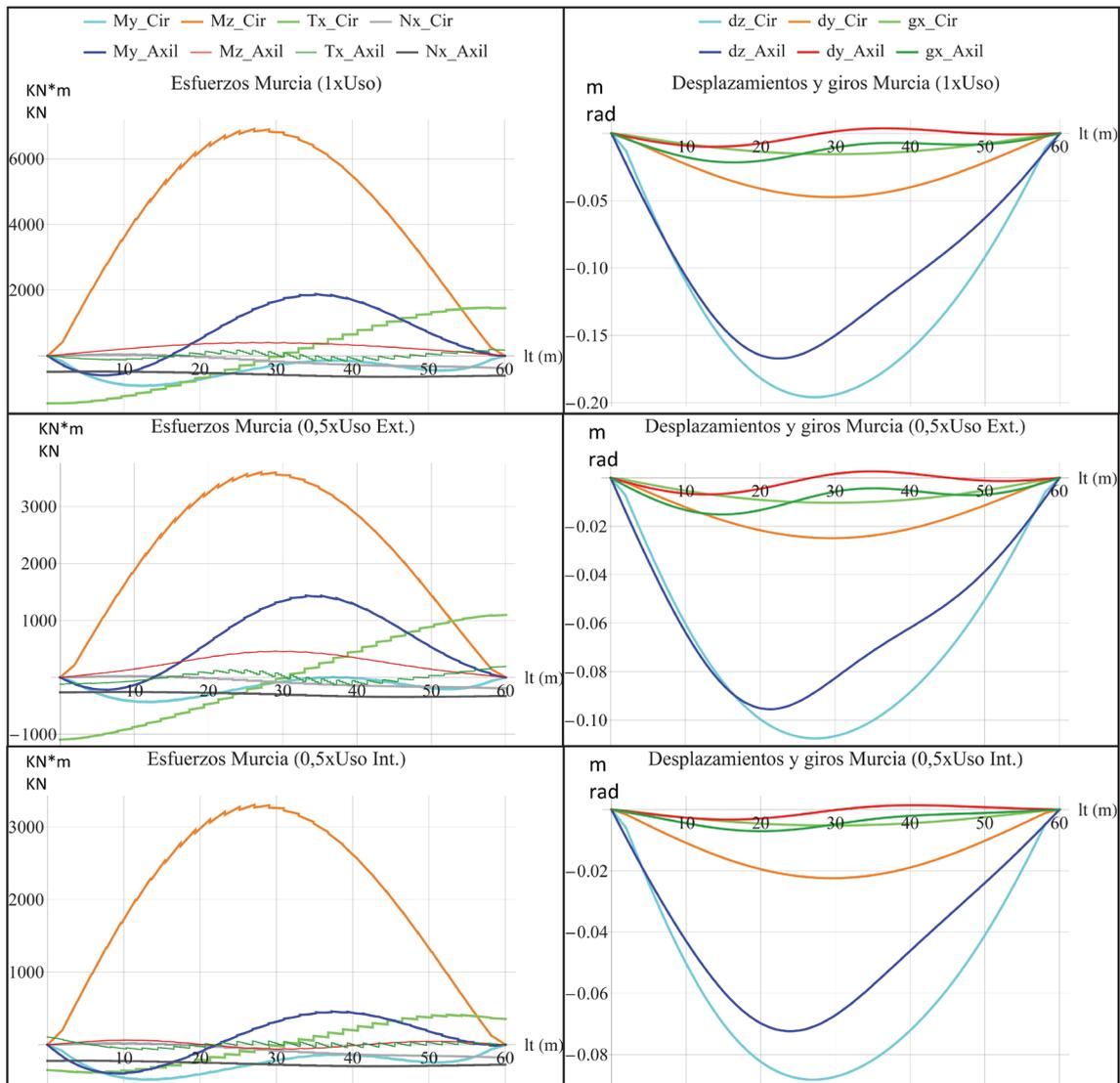


Figura 6. Ficha comparativa Pasarela del Malecón en Murcia. Geometría: rectificada (azul marino) y existente (circulo celeste). Diagramas de esfuerzos, desplazamientos y giros corresponden a las hipótesis de carga de uso: total centrada (1xUso), la mitad del tablero de mayor radio cargado (0,5x Uso Ext.) y la mitad del tablero de menor radio cargado (0,5x Uso Int.).

Por otro lado, la excentricidad de apoyo del tablero en los tirantes se resiste mediante el empotramiento a torsión del tablero en los estribos. Esto supone unos esfuerzos de torsión muy elevados, si bien se puede apreciar cómo se ven ligeramente disminuidos por el efecto de la curvatura y el acoplamiento entre torsión y flexión.

## 4.2. Propuesta de diseño

### 4.2.1. Potencial

Esta pasarela presenta un enorme reto de cara a utilizar el método de diseño Tablero-Axil. La disposición de la pila, alejada del centro de gravedad de las cargas que sustenta, introduce grandes componentes horizontales. La anchura del tablero (5,3 m) frente a la luz total supone una alta rigidez transversal. La alta rigidez que muestra el tablero a torsión supone grandes torsiones. Todo ello es contradictorio a los principios básicos del método Tablero-Axil, donde se quiere reducir al máximo los esfuerzos transversales, maximizar el axil y la carga suspendida por el sistema resistente pila-tirantes.

### 4.2.2. Diseño propuesto

En una 1ª aplicación del método Tablero-Axil los resultados no son satisfactorios. A las dificultades descritas en el punto anterior hay que sumarle que el trazado a compresión obtenido en este método, similar a una hipotrocoide ([1] y [3]), introduce grandes curvaturas en el estribo inicial (E1, Figura 5) incrementando el efecto de su discontinuidad.

Ante la imposibilidad de obtener un trazado eficaz sin tener en cuenta las determinantes condiciones de contorno en los apoyos de los estribos, se ha decidido evolucionar el método Tablero-Axil, introduciendo en las ecuaciones diferenciales que lo definen un elemento que tenga en cuenta los cortantes transversales que surgen en el cálculo ( $V_y$ ):

Tablero a compresión (3):

$$X'[s] = \frac{N_x[s]}{\sqrt{N_x[s]^2 + N_y[s]^2}}; Y'[s] = \frac{N_y[s]}{\sqrt{N_x[s]^2 + N_y[s]^2}}$$

$$N'_x[s] = X[s] \frac{\rho r}{hp[s]} + \frac{qVy N'_y[s]}{\sqrt{N_x[s]^2 + N_y[s]^2}}$$

$$N'_y[s] = Y[s] \frac{\rho r}{hp[s]} + \frac{qVy N'_x[s]}{\sqrt{N_x[s]^2 + N_y[s]^2}}$$

Con las mismas definiciones que en (1) y (2) añadiendo:

$qVy$ : Carga horizontal a partir de la derivada del diagrama de cortantes transversal ( $V_y$ ), con un coeficiente adimensional  $Ca < 1$ , para amortiguar la respuesta iterativa.

El cálculo resulta iterativo, por su inherente no linealidad. Como resultado (Figura 6), surge un tramo recto antes del estribo E1 (Figura 5) que minimiza el efecto de discontinuidad del apoyo.

El estribo E1 se desplaza apreciablemente respecto del trazado original (círculo celeste en el 3D de la Figura 6).

Se ha considerado apropiado introducir una sección abierta incrementando la rigidez a flexión ( $I_{yy}$ ). De esta manera, se aprovecha el incremento de curvatura de la zona central para resistir las torsiones.

También se ha coaccionado el sentido longitudinal en el estribo E1, con el fin de fomentar el trabajo antifunicular deseado.

### 4.2.3. Resultados obtenidos

El funcionamiento de la pasarela resulta completamente satisfactorio. Se consiguen eliminar tanto las flexiones transversales ( $M_z$ ) como las torsiones sin que se disparen los giros torsores en el tablero.

Esto se consigue con el incremento de los esfuerzos flectores ( $M_y$ ), fundamentalmente en la zona de mayor curvatura (Figura 6), como era de esperar.

La reducción de esfuerzos en el tablero, sobre todo los de torsión y flexión transversal ( $M_z$ ), permite aligerar considerablemente el área de la sección sin que el comportamiento de la pasarela se vea afectado.

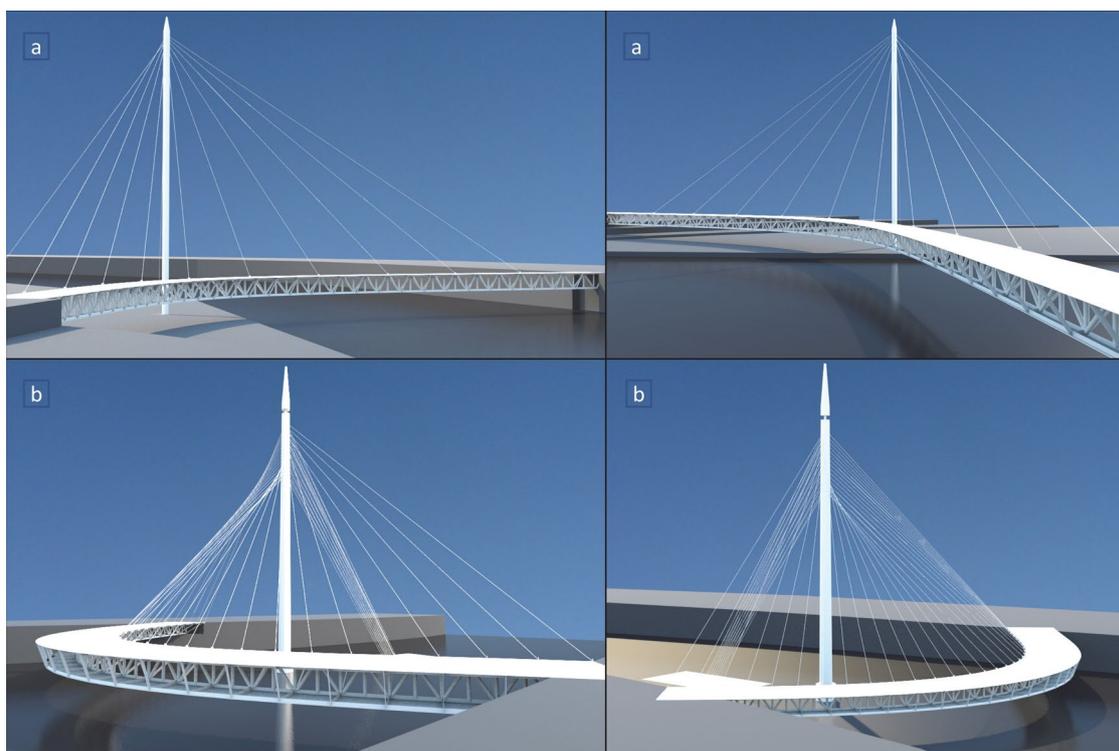


Figura 7. Renders propuestas: a) Palencia, b) Murcia. (Desarrolladas por Francisco Pérez, IDIngenieros)

## 5. Conclusiones

El método Tablero-Axil en su versión original resulta más apropiado para puentes con baja inercia transversal frente a su luz y con un esfuerzo axil dominante de tracción.

En este artículo se ha adaptado el método para que también sea aplicable a puentes que en principio no parecen adecuados para el método. Esto abre un abanico de posibilidades que permite plantearse el problema para otro tipo de puentes como pueden ser viaductos.

### Agradecimientos

Se agradece la colaboración de FHECOR, CFCSL y Francisco Pérez (IDIIngenieros).

### Referencias

[1] Galante Bardín, D., Astiz Suárez, M.L.A. (2017). Diseño de directrices para el tablero de un puente curvo atirantado, mediante curvas funiculares y antifuniculares de la carga concéntrica introducida por los tirantes. *Informes de la Construcción*, 69(548): e228, doi: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.16.094>.

[2] Romo Martín, J., Martín Cañueto, M. (2005). Pasarela sobre el río Carrión (Palencia). III Congreso de ACHE de puentes y estructuras.

[3] Galante Bardín, D., (2017). Puentes curvos. Tesis Doctoral. Escuela Técnica Superior de Caminos, Canales y Puertos (UPM). doi: <https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.47787>.

[4] Ursula Baus, Mike Schlaich (2007). *Footbridges*. Basel (Switzerland): Birkhauser Verlag.

[5] Javier Manterola (2006). Puentes I. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos, Colección Escuelas.

[6] Javier Manterola (2006). Puentes II. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos, Colección Escuelas.

[7] Javier Manterola Armisén, Miguel A. Gil Ginés, Miguel A. Astiz Suárez y Antonio Martínez Cutillas. Pasarelas. *Revista de obras públicas*, 146 (3384): 17-32.

[8] Heino Engel (2002). *Sistemas de Estructuras*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, SA.