

Pasarela para acceso a centro comercial Marineda (A Coruña)*

*Marineda shopping center footbridge in A Coruña***

Jorge Cascales Fernández ^{*,a}, Ricardo Rico Rubio ^b, Sergio Couto Wörner ^c y Pablo

Grandío Noche ^d

^aIngeniero de Caminos, Canales y Puertos. k2 Estudio de Ingeniería S.L. Director técnico

^bIngeniero de Caminos, Canales y Puertos. k2 Estudio de Ingeniería S.L. Director de ingeniería

^cIngeniero de Caminos, Canales y Puertos. k2 Estudio de Ingeniería S.L. Director general

^dIngeniero de Caminos, Canales y Puertos. k2 Estudio de Ingeniería S.L. Ingeniero de proyectos

RESUMEN

La pasarela para acceso al centro comercial Marineda en A Coruña es una estructura mixta que soluciona el paso a nivel sobre una de las principales vías de entrada a la ciudad mediante un único salto con un tablero de formas suaves y esbeltas. La estructura se configura en 3 vanos, uno central de 85.8 metros de luz resuelto por medio de una viga-cajón mixta de sección cerrada estanca, y dos laterales, con tablero tipo losa aligerada de hormigón postesado empotrado en pila y estribo, y con puntal inferior para configurar un marco cerrado. La geometría curva de la pasarela en planta permite materializar una estructura integral en su conjunto manteniendo la rigidez necesaria.

ABSTRACT

Marineda shopping center footbridge in A Coruña (Spain) is a composite structure, designed from soft and slender forms, that solves the access to the referred mall over one of the main roads of the city. The structure has 3 spans, the main one is 85.8 meters long and comprises a composite airtight box-girder deck. The two lateral spans, one each side, with a post-tensioned voided slab rigidly connected to pier and abutment, and with a strut element underground forming acting as a rigid-frame. Curved geometry in plan allows to design an integral structure with the necessary stiffness.

PALABRAS CLAVE: estructura mixta, esbeltez, pasarela, puente integral.

KEYWORDS: composite structure, slenderness, footbridge, integral bridge

1. Introducción

La pasarela peatonal para el acceso al centro Comercial Marineda en A Coruña es una estructura que se sitúa en la zona conocida como A Grella, un antiguo polígono industrial que hace unos años se situaba a las afueras de la ciudad, y

que actualmente forma parte de la misma debido a la expansión de las zonas residenciales ante la falta de suelo. Como parte de ese uso mixto actual, industrial y residencial, se ha instalado también un gran centro comercial y de ocio,

Marineda City, cuyo acceso desde una parte del polígono está limitado por la AG-55, autopista de la *Costa da Morte* y una de las principales vías de acceso a la ciudad, que dificulta la comunicación debido a la ausencia de pasos superiores.

La pasarela peatonal objeto de este artículo pretende, por una parte dotar de acceso a Marineda City desde una de las márgenes del polígono, a la vez que ser consecuente, con un especial cuidado del aspecto formal, con el cambio de uso, industrial a residencial y ocio, que se está generando en el área.

En este mismo sentido la Xunta de Galicia, propietaria de la infraestructura, abogó desde un primer momento por resolver el paso elevado cuidando en todo lo posible la estética y el encaje en el entorno, considerando además que la estructura se sitúa sobre el acceso a la ciudad desde la *Costa da Morte*.

2. Diseño estructural.

Desde un punto de vista geométrico la estructura tenía totalmente condicionada la ubicación de sus extremos, es decir de los puntos de salida y llegada, debido a que la Propiedad quería minimizar la actuación de urbanización en dichas zonas. Por lo tanto en el *lado Marineda* la salida del parking y la parada de autobús delimitaban el arranque de la pasarela, mientras que en el *lado Lidl* la entrada al parking de dicho establecimiento comercial configuraba también el desembarco de la estructura. Además la necesidad de asegurar el gálibo mínimo sobre la AG-55 delimitaba a su vez el canto máximo de la estructura, y, a nivel de encaje estético, nos parecía adecuado limitar el impacto visual de la estructura en el entorno evitando la disposición de elementos estructurales por encima de la rasante.

Con estos condicionantes la solución diseñada, de 85.8 metros de luz en vano central, se basa en una viga mixta curva de canto variable de 4 metros de ancho empotrada en marcos

laterales configurados mediante pórticos de hormigón con tablero postesado. Los marcos se cierran bajo el suelo con un puntal que evita la transmisión de esfuerzos horizontales al suelo en las pilas.

La viga mixta central tiene un canto mínimo de 1.0 metro y máximo de 1.75, con una losa superior de 0.20 metros de canto con bombeo del 1.5%. El cajón metálico se proyecta con una chapa inferior con dos radios de curvatura y una chapa superior que cierra la sección y garantiza un cajón estanco. Los espesores varían entre los 20 y los 30 mm y ambas están rigidizadas con semiperfiles doble T. Además se disponen mamparos de espesor 15 o 18 mm, en función de la localización del mismo, cada 1.91 metros, configurando la geometría curva en planta y alzado además del canto variable, con módulos de dicha longitud.

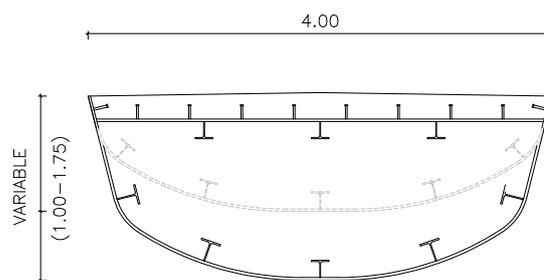


Figura 1. Sección transversal en vano central

Los tableros de los vanos laterales mantienen la geometría curva del vano central mixto, se aligeran con porexpán y se postesan con 8 tendones de 15 ϕ 0.6" que, junto con barras activas ϕ 47, se utilizan también para materializar la vinculación entre tablero mixto y marcos laterales de hormigón.

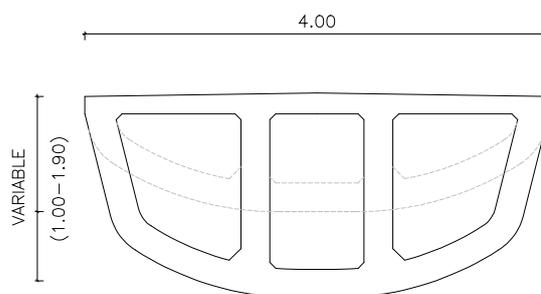


Figura 2. Sección transversal en vanos laterales

La continuidad formal de la estructura se mantiene en las pilas, de geometría curva en sección y alzado, e inclinadas para llegar al escaso espacio libre dejado por los servicios afectados para su cimentación. La localización de la misma está muy condicionada por los servicios afectados (teléfono, gas, alcantarillado, media y alta tensión) y se ha ubicado con la premisa de limitar al máximo los servicios desviados, evitando en todo caso los que conllevarían un gasto inasumible (media y alta tensión).

Desde un punto de vista geotécnico la cimentación de las pilas se resuelve con 24

micropilotes $\phi 220$ de 11 metros de longitud y la de los estribos con cimentación superficial con tensión admisible de 0.35MPa.

Para garantizar la flexibilidad de la cimentación de las pilas ante esfuerzos horizontales y asegurar que los mismos se transmitían a los estribos se optó por realizar una primera excavación y posterior relleno con material granular de los 1.50 primeros metros de los micropilotes.

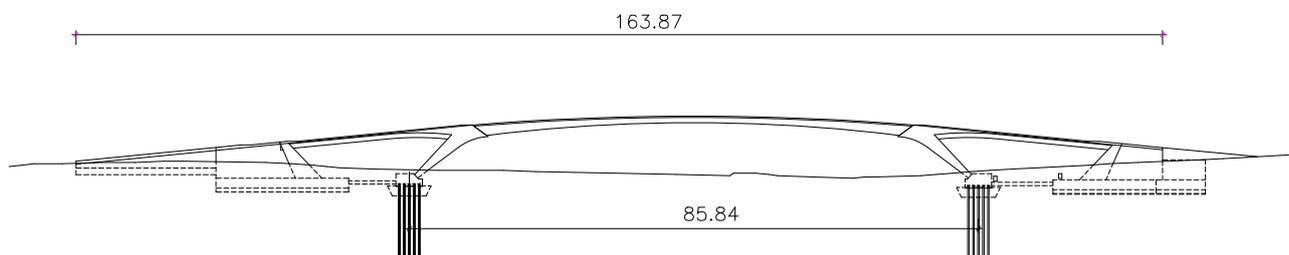


Figura 3. Alzado de la estructura



Figura 4. Visualización de la pasarela (1)

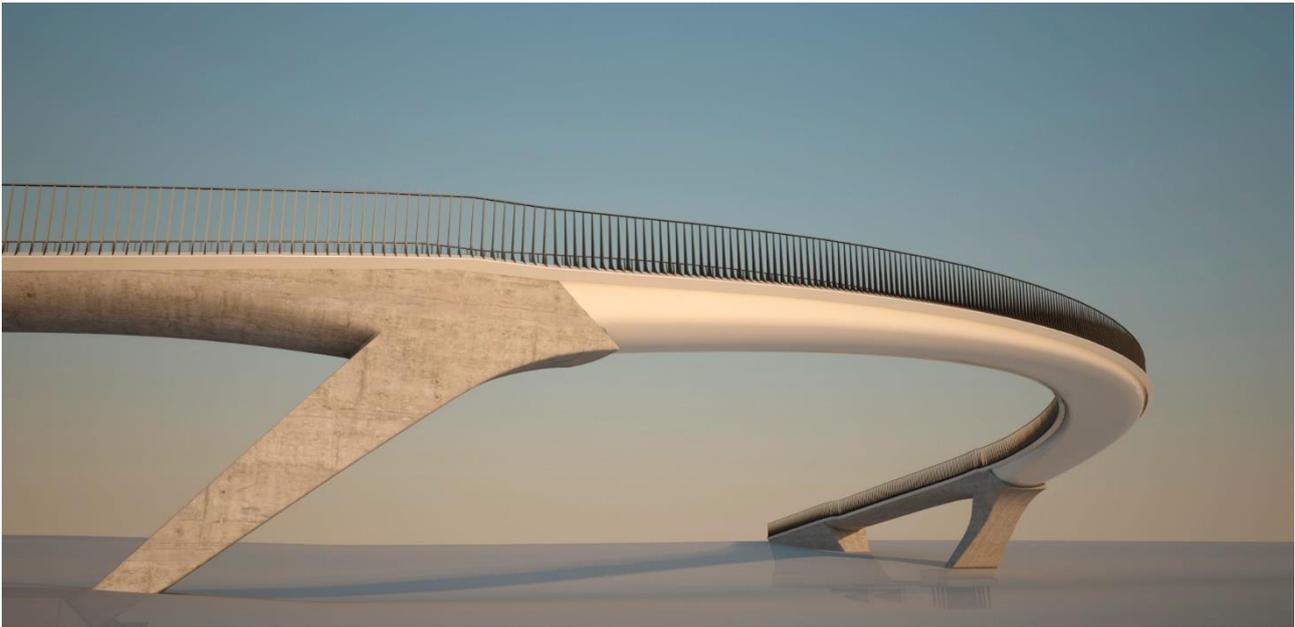


Figura 5. Visualización de la pasarela (2)

3. Cálculo estructural

3.1. Cálculo estático

La estructura a nivel estático se ha calculado con el software RM Bridge teniendo en cuenta el proceso constructivo, tanto a nivel longitudinal como debido a la evolución de la sección transversal mixta, así como las no linealidades geométricas y de materiales debidas al comportamiento reológico del hormigón.

El encaje de las rigideces de los diferentes elementos que conforman la estructura (tablero, pila, estribo, cimentaciones y puntal) se ha realizado en aproximaciones sucesivas debido a la configuración de estructura integral y con el objetivo, tanto de conseguir un encaje estético apropiado como de optimizar el comportamiento estructural.



Figura 6. Modelo de cálculo estático

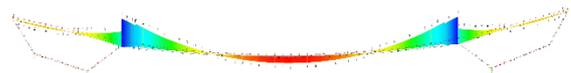


Figura 7. Ley de momentos (carga muerta)

La viga mixta se ha diseñado en ELS y ELU, verificando un nivel de rigidez mínimo para garantizar un buen comportamiento dinámico. Como orden de magnitud la flecha máxima debido a la parte de las sobrecargas de la combinación frecuente es de 3 cm, lo cual supone 1/2860 de la luz.

En la zona de empotramiento no se ha dispuesto doble acción mixta debido a que el espesor de las chapas resultantes del cálculo era razonable y de esta forma se conseguían evitar fases constructivas adicionales. La tracción superior en esta misma sección se transmite tanto por la chapa superior de la sección metálica como por la armadura pasiva de la losa, tomando como criterio de diseño la limitación de tracciones en el hormigón para evitar la fisuración. De acuerdo al EC-4-Parte 2 se limita la máxima tracción a $2f_{ctm}$ para considerar a nivel de cálculo que la losa no fisura, sirviendo este

criterio además para definir la f_{ck} de la losa en 45 MPa.

Los elementos de hormigón, también de 45 MPa de f_{ck} y en ambiente IIIa debido a la distancia de la estructura a la costa, se diseñan tanto en ELS como en ELU de acuerdo a la normativa vigente, siendo el comportamiento en ELS y la limitación de la fisuración, el criterio para la determinación de la resistencia. En la figura 6 se adjunta de forma simplificada el esquema de fuerzas en los elementos de los marcos laterales.

De acuerdo a dicho esquema ha sido necesario postesar el tablero así como optimizar las rigideces de pila y estribo para, por una parte garantizar la efectividad del postesado, y por otra asegurar la rigidez del vano central.

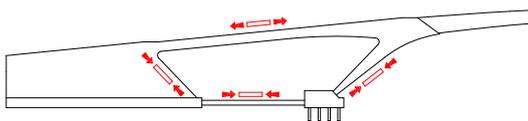


Figura 8. Esquema simplificado de transmisión de fuerzas en marcos laterales

Tanto pila como estribo se han diseñado para que las tracciones, y por lo tanto la fisuración, fueran limitadas y no se produjera una pérdida de rigidez de los mismos. Sin embargo, del lado de la seguridad y para tener en cuenta también posibles variaciones e incertidumbres en relación a la resistencia a tracción del hormigón, se ha realizado un cálculo adicional de la estructura con rigideces fisuradas verificando el adecuado comportamiento de la misma.

3.2. Cálculo dinámico

Si bien en la normativa española (IAP-11) se definen una serie de valores límite para las aceleraciones verticales y horizontales en función de los cuales se determina el grado de confort, no se definen los modelos de carga dinámica para los que realizar las verificaciones de las aceleraciones comentadas. Por esta razón se han seguido dos publicaciones internacionales

que sí definen los modelos de carga así como las aceleraciones máximas admisibles para asegurar un adecuado comportamiento dinámico [1, 2].

Se realizó un modelo de cálculo de la estructura en situación de servicio con el software Robot Structural Analysis y se modelizaron las diferentes cargas [1, 2] considerando un coeficiente de amortiguamiento del 0.4% del lado de la seguridad.

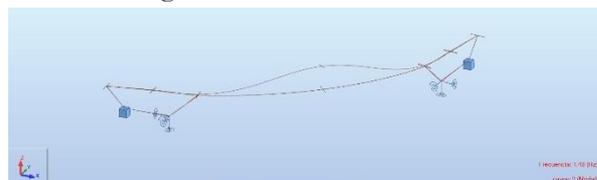


Figura 9. Primer modo propio (1.4 Hz)

De acuerdo a [1] se clasificó la estructura como clase C y se evaluó la máxima aceleración vertical admisible en 0.68 m/s^2 . Los resultados obtenidos para cada uno de los modelos de cálculo se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Resultados del cálculo dinámico según [1].

Hipótesis	Acel. Vertical máxima (m/s ²)
Peatones andando (N=8)	0.12
Peatones corriendo (N=2)	0.05
Grupos andando (0.8 personas/m ²)	0.56

Se puede verificar como las aceleraciones máximas verticales son inferiores a la máxima admisible. El adecuado comportamiento ante aceleraciones horizontales se verifica de acuerdo a [1] por la ausencia de modos propios horizontales con frecuencia inferior a 1.5 Hz.

De acuerdo a [2] se clasificó la estructura en función del nivel de tráfico esperado como clase II y en función de sus periodos propios con nivel medio de riesgo de resonancia. A partir de esta clasificación se verifica el comportamiento de la estructura ante el denominado caso 1 de carga, con densidad de 0.8 peatones/m^2 , ante acciones armónicas verticales, longitudinales y transversales. Los resultados se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Resultados del cálculo dinámico según [2].

Dirección de la carga	Aceleración máxima (m/s ²)
Vertical	0.55
Longitudinal	0.08
Transversal	0.01

De acuerdo a estos resultados la estructura estaría, en relación a [2], en un rango de aceleraciones verticales de confort medio (entre 0.5 y 1 m/s²) pero prácticamente en la zona límite con el confort máximo (0 y 0.5 m/s²), y en relación a las aceleraciones horizontales en la zona de confort máximo (<0.15 m/s²).

4. Proceso constructivo

El proceso constructivo se puede resumir en las siguientes etapas:

- Ejecución de cimentaciones y alzados de pilas y estribos.



Figura 10. Cimentaciones lado Lidl

- Hormigonado de vanos laterales sobre cimbra al suelo dejando embebidos los tramos metálicos de unión.



Figura 11. Hormigonado de vano lateral

- Primer tesado de vanos laterales y descimbrado de pila.



Figura 12. Descimbrado de pila

- Colocación de primer tramo metálico mediante grúa ayudado por apeo provisional en mediana.



Figura 13. Colocación de primer tramo metálico (1)



Figura 14. Colocación de primer tramo metálico (2)

- Medición y control in situ para ajuste de segundo tramo metálico antes de la instalación del mismo.
- Colocación de segundo tramo metálico mediante grúa y ejecución de soldaduras de unión.



Figura 15. Colocación de segundo tramo metálico (1)



Figura 16 Colocación de segundo tramo metálico (2)

- Segundo tesado de vanos laterales, retirada de cimbra y apeo en mediana.



Figura 17. Retirada de cimbra en vanos laterales



Figura 18. Retirada de apeo central (1)



Figura 19. Retirada de apeo central (2)

- Ferrallado y hormigonado de losa superior.
- Ejecución de trabajos de acabado (pavimento, barandilla e iluminación) y pruebas de carga estáticas y dinámicas.



Figura 20. Prueba de carga estática



Figura 21. Vista general

5. Prueba de carga dinámica

Una vez finalizada la construcción de la pasarela se realizó, de acuerdo a las prescripciones de la IAP-11, una prueba de carga dinámica. El objetivo de la misma era doble, por una parte, medir los parámetros dinámicos

fundamentales de la estructura, frecuencia de modos fundamentales y amortiguamiento, y realizar su comparación con los valores teóricos, y por otra medir las aceleraciones en determinadas situaciones de servicio y actos vandálicos para comprobar su comportamiento de acuerdo a las verificaciones realizadas en fase

de proyecto. Se realizaron 6 ensayos dinámicos diferentes:

- 2 ensayos, con 2 y 4 personas respectivamente, de saltos en centro de luz a una frecuencia coincidente con la del primer modo fundamental de la estructura (1.4 Hz) durante 30 segundos para simular actos vandálicos.

- 1 ensayo con 8 personas caminando con la misma frecuencia que la del primer modo fundamental (1.4 Hz).

- 3 ensayos con un número de personas corriendo variable entre 2 y 8, a distintas velocidades y con frecuencia típica de corredor (3 Hz).

La comparación de los parámetros dinámicos obtenidos con los teóricos se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Parámetros dinámicos medidos

Parámetro	Teóricos	Teóricos
Frecuencia	1.40 Hz	1.54 Hz
Amortiguamiento	0.40 %	0.36 %

La correlación entre los valores medidos y los teóricos se considera razonable, estando la diferencia en el orden del 10%.

Las aceleraciones máximas obtenidas se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Aceleraciones máximas medidas

Ensayo	Acel (m/s ²)
Salto (2 personas, 1.4 Hz)	0.87
Salto (4 personas, 1.4 Hz)	0.91
Caminar (8 personas, 1.4 Hz)	0.29
Correr (2 personas, 3 Hz)	0.04
Correr (8 personas, 3 Hz)	0.10
Sprint (2 personas, 3 Hz)	0.05

Los resultados se consideraron satisfactorios, por un lado en las pruebas que reproducían actos de tipo vandálico se obtuvieron valores asociados a un confort medio, y por otra en las pruebas que reproducían situaciones de servicio se obtuvieron valores de confort máximo.

6. Conclusiones

Se han presentado en este artículo las características principales de la pasarela de Marineda, de 85.8 metros de luz principal y encajada en función de los estrictos condicionantes geométricos de la zona. Se ha aprovechado la configuración curva para diseñar una estructura integral con una esbeltez reseñable pero con la rigidez necesaria para asegurar el adecuado comportamiento dinámico.

Tanto la configuración de estructura integral, con ausencia de apoyos, como el cajón metálico estanco permiten además maximizar la durabilidad de la pasarela y limitar las actuaciones de conservación.

Agradecimientos

Se quiere agradecer el especial interés, esfuerzo y dedicación mostrado en todo momento por el Director de Obra D. Felipe de la Vega Gándaras y la empresa constructora (UTE F. Gómez-Emesa) para vencer todas las dificultades acaecidas debidas tanto a la complejidad geométrica de la estructura como a la multitud de servicios afectados, que en una Obra en un entorno urbano siempre están presentes.

Referencias

- [1] BSI, National Annex to BS EN 1991-2:2003, Eurocode 1: Actions on structures-Part 2, 2008.
- [2] Sétra, Assessment of vibrational behaviour of footbridges under pedestrian loading, Ministry of Transport and Infrastructure, Paris, 2006.