

Proyecto Constructivo de Pasarela Peatonal entre el aeropuerto de Vigo-Peinador y el Instituto Ferial de Vigo (IFEVI)

Detail design of the Footbridge between Vigo Peinador's airport and the Ferial Institute of Vigo (IFEVI)

Miguel ORTEGA CORNEJO

Ingeniero de Caminos

IDEAM S.A.

Director de Ingeniería

miguel.ortega@ideam.es

Juan Luis MANSILLA DOMINGUEZ

Ingeniero de Caminos

IDEAM S.A.

Jefe de Proyectos

juanluis.mansilla@ideam.es

Fu Lei ZHOU

Ingeniero de Caminos

IDEAM S.A.

Ingeniero proyectista

fulei.zhou@ideam.es

RESUMEN

Para mejorar la conectividad entre el Aeropuerto y el Instituto Ferial de Vigo, se ha proyectado y construido una pasarela cubierta de 281.31 m de longitud, repartidos en 10 vanos de luces variables entre 9.24 m y 40.00 m. La estructura del tablero está constituida por celosías metálicas. Las pilas, también de acero, se resuelven mediante fustes tubulares que terminan en ramas en forma de Y o de tetrápodos invertidos. En el artículo se describe la estructura, prestando especial énfasis a los detalles metálicos y a las implicaciones de diseño de los nudos de las celosías que exige el Eurocódigo EN 1993-1-8.

ABSTRACT

In order to enhance the connectivity between the airport and the "Instituto Ferial de Vigo (IFEVI)", a covered steel footbridge has been designed and constructed. The footbridge has a total length of 281.31 m, divided into 10 spans ranging from 9.24 m to 40.00 m. The structure of the deck consists of steel trusses. The columns, which are also made of steel, consists of tubular shafts ending in Y-shaped or inverted-tetrapod-shaped branches. The article describes the structure focusing on the details, including some guidelines for the design of tubular profile connections according to Eurocode EN 1993-1-8 and its geometric implications.

PALABRAS CLAVE: Estructura metálica, pasarela, celosía tubular, nudos, soldadura.

KEYWORDS: Steel structure, footbridge, tubular truss, nodes, welding.

1. Introducción

Con objeto de facilitar el acceso a los viandantes, reforzar la vertebración de las distintas dotaciones y mejorar la seguridad vial de la zona de conexión entre el Aeropuerto y el Instituto Ferial de Vigo, se ha proyectado y construido una pasarela metálica cubierta que une el aparcamiento P-1 del Aeropuerto con las dársenas de aparcamiento de vehículos pesados del IFEVI (Figs. 1a y 1b).

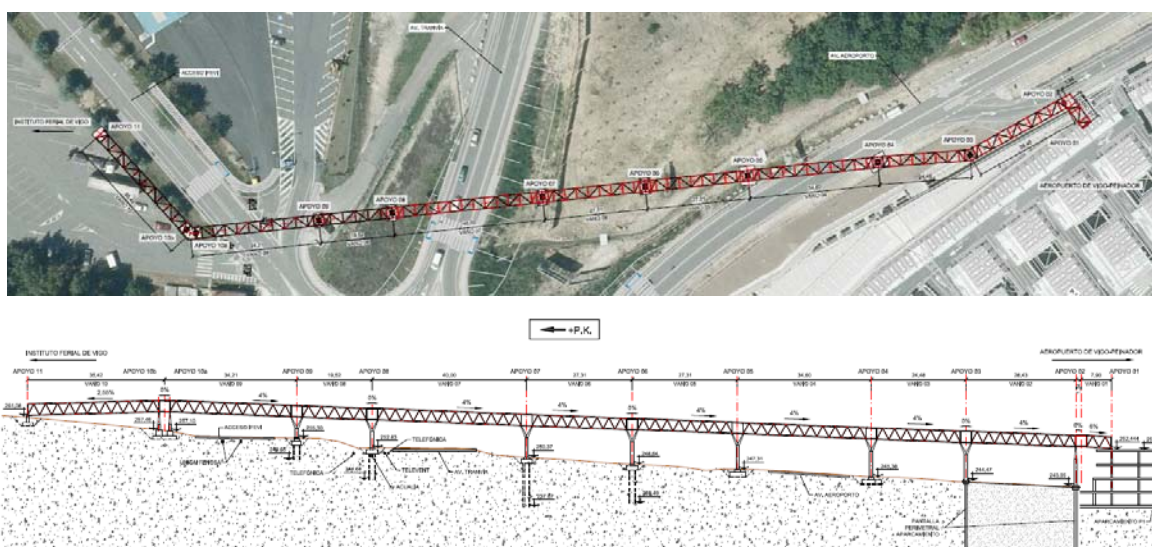


Figura 1a y 1b. Vista general y detalle del interior de la Pasarela Peatonal entre el aeropuerto de Vigo-Peinador y el Instituto Ferial de Vigo (IFEVI)

IDEAM ha realizado para la constructora COPASA el proyecto constructivo de la estructura metálica del tablero de la pasarela y de las pilas sobre las que se sustenta. Se han diseñado los diferentes elementos estructurales, prestando especial atención a las conexiones de los perfiles de las celosías del tablero y de las pilas, optimizando su fabricación y montaje.

2. Descripción de la estructura

La pasarela metálica tiene una longitud total de 281.31 m repartidos en 9 vanos isostáticos de luces variables entre 24.48 m y 40.00 m. y un tramo de enlace con la terminal en continuidad de 29.77 m + 7.90 m. La sección transversal de la pasarela tiene forma rectangular, casi cuadrada. Las dimensiones libres interiores son de 2.715 metros en vertical y 2.68 metros en horizontal (Figs. 2a, 2b y 3).



Figuras 2a y 2b. Planta y alzado de la pasarela proyectada por IDEAM (la numeración de vanos es ascendente hacia PK+, hacia la izquierda)

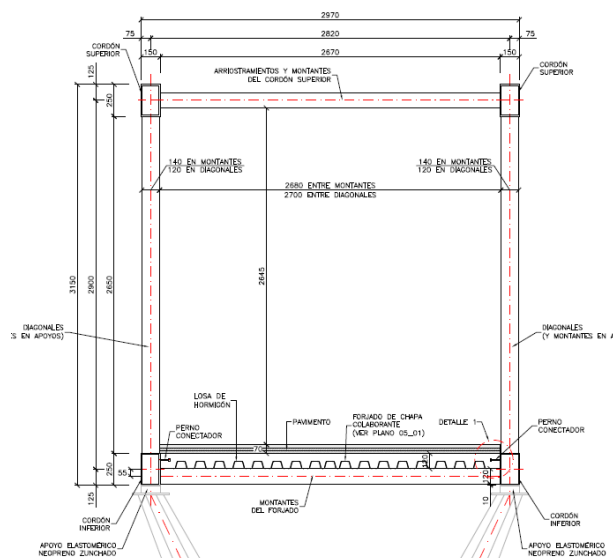


Figura 3. Sección transversal de la pasarela proyectada por IDEAM

Las pilas de apoyo del tablero se han resuelto mediante dos tipologías básicas, en función del apoyo de dos o cuatro puntos del tablero: si únicamente apoyan dos puntos del tablero (cordón inferior de cada uno de los dos cuchillos de un vano) la pila tiene forma de Y, pero si apoyan cuatro puntos del tablero (cordón inferior de cada uno de los cuchillos para dos vanos isostáticos consecutivos) la pila tiene forma de tetrápodo invertido.

El cerramiento lateral (Fig. 4a) es un elemento de acabado arquitectónico no estructural que consiste en paneles con formas geométricas orientadas según un ritmo lógico a lo largo de la pasarela, proporcionando un carácter dinámico y tridimensional a la pasarela.

Se han cuidado los acabados arquitectónicos de la pasarela, especialmente los relacionados con los pasamanos, la iluminación interior (Fig. 4b) y la solera.



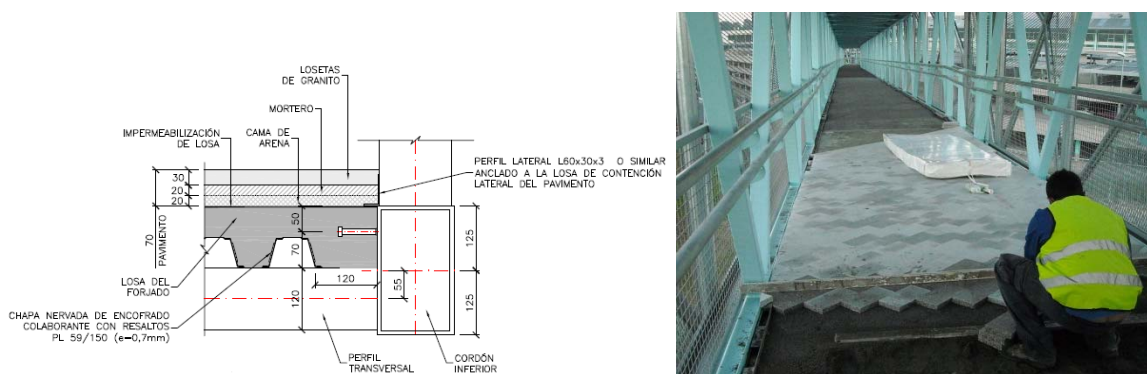
Figura 4a y 4b. Detalle del cerramiento lateral e iluminación de la pasarela

2.1. Tablero

La superestructura de la pasarela queda definida por una sucesión de vanos isostáticos (salvo los vanos 1 y 2 que son continuos) conformados por dos celosías metálicas tipo Warren arriostradas entre sí, por dos planos de arriostramiento superior e inferior. Cada una de las dos celosías o cuchillos de un vano la forman un cordón superior, un cordón inferior, diagonales y montantes verticales sólo en extremos. Todos los elementos que forman los vanos son perfiles metálicos (S-275-JR) tubulares rectangulares (o cuadrados).

Las conexiones previstas entre los diferentes elementos que forman las celosías metálicas, así como la conexión de los perfiles de arriostramiento superior e inferior, se realizan mediante soldaduras y todos los vanos se han fabricado completos en taller, evitando las soldaduras en obra.

La losa de hormigón que sustenta la solera de la pasarela se apoya sobre los montantes horizontales inferiores de las celosías dispuestas cada 1.50 m. Este elemento estructural está compuesto por una chapa nervada sobre la que se coloca, in situ, un hormigón armado tipo HA-25/B/20/IIa. Sobre la losa de hormigón se ha colocado el pavimento, compuesto por la impermeabilización, una cama de arena, una capa de mortero y finalmente las losetas de granito (Fig. 5a y 5b).



Figuras 5a y 5b. Detalle de losa y pavimento

2.2. Pilares

Los vanos de la pasarela se apoyan en cada extremo sobre dos aparatos de apoyo de neopreno. En consecuencia, en los soportes interiores hay cuatro aparatos de apoyo (dos de cada vano que llega al soporte).

Para resolver las pilas, se ha optado por un fuste tubular que, en general, termina en un tetrápodo invertido para albergar los cuatro aparatos de apoyo mencionados (Fig. 6a). Como casos particulares, en el apoyo 2 (por ser el apoyo interior del tramo hiperestático) y en el apoyo 10 (por el gran quiebro que se produce en este punto) se ha optado por disponer fustes que terminan en forma de Y para albergar dos apoyos en cada pila (Fig. 6b).

Las pilas de apoyo de la pasarela arrancan con un fuste tubular de sección circular de 800 mm de diámetro y terminan en unas ramas de sección octogonal variable sobre las que apoyan las celosías mediante aparatos de apoyo de neopreno. Tanto los fustes como cada una de las ramas de los soportes, están formados por perfiles metálicos (S-355-J2+N).



Figuras 6a y 6b. Vista general de las pilas de la pasarela

2.3. Cimentaciones

Las cimentaciones de la pasarela son de tres tipos en función del lugar donde se localice el apoyo. En los apoyos de los vanos intermedios se ha ejecutado una cimentación profunda mediante pilotes prefabricados hincados hasta apoyar sobre el estrato rocoso. Los pilotes se unen mediante un encepado y sobre este se dispone de un plinto de hormigón de altura suficiente para alcanzar la superficie del terreno, sobre el cual se sitúa la placa de anclaje (Fig. 7a) a la que se suelda el fuste circular de la pila.

En las zonas de inicio y final de la pasarela la cimentación de los apoyos es directa mediante zapatas rectangulares.

Por último, los apoyos situados sobre la pantalla perimetral del aeropuerto, se fijan a la viga de coronación de la pantalla mediante una placa de anclaje (Fig. 7b) y un “collarín” de fijación a la pantalla formado por una placa, contra-placa y pernos pasantes que atraviesan el canto de la pantalla.



Figuras 7a y 7b. Colocación de las pilas sobre

2.4. Protección anticorrosiva

Las principales normas de referencia en la ejecución y control de ejecución de estructuras metálicas EAE-11 [1] y UNE-EN 1090-2 [2], plantean la posibilidad de asegurar la protección frente a la corrosión del acero mediante diferentes métodos: metalización, galvanizado en caliente y pintado. Estos sistemas de protección serían equivalentes, siempre que aseguren, para la categoría de corrosividad atmosférica que corresponda, la durabilidad prevista en el proyecto.

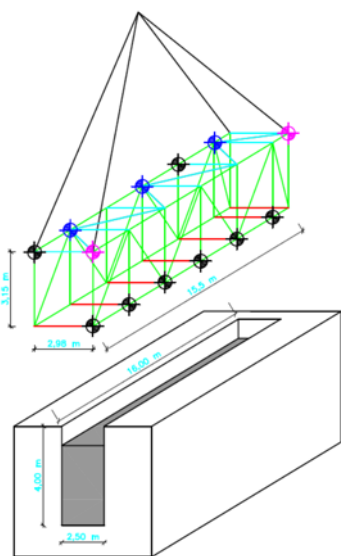
El proyecto original de licitación de la pasarela planteaba aplicar un sistema de protección superficial mediante galvanizado en caliente de los perfiles que constituyen las diferentes partes de la estructura metálica. Sin embargo, el galvanizado en caliente de grandes estructuras está muy condicionado por la capacidad de sumergir en el crisol toda la pieza a la vez y asegurar el correcto drenaje del zinc por todas las superficies.

De este modo, la estructura metálica de grandes dimensiones que se pretenda galvanizar en caliente deberá despiezarse en varios subconjuntos cuyas dimensiones permitan ser introducidos en el crisol de galvanizado (Fig. 8). Una vez galvanizados cada una de las partes de la estructura éstas se deberán unir entre sí bien mediante tornillería galvanizada o bien mediante soldadura entre chapas.



Figura 8. Galvanizado en caliente de una pieza introduciéndola en el crisol de zinc

Analizando las dimensiones de las diferentes unidades de ejecución de la pasarela nos encontramos con que no resulta técnicamente viable galvanizar en una sola pieza la estructura metálica básica de cada uno de los vanos del tablero ni de las pilas (Fig. 9). Por lo que habría sido necesario despiezar la estructura en elementos más pequeños que tendrían que ser unidos posteriormente.



Figuras 9a y 9b. Dimensiones de la estructura metálica básica y cuba de galvanizado más grande existente en España (2.50m x 4.00m x 16.00m)

Esta solución implicaría, acorde con el tratamiento superficial de protección anticorrosiva definido en proyecto original, el posterior tratamiento de las numerosas uniones soldadas mediante metalizado. Por otro lado, se valoró la posibilidad de galvanizar por separado cada uno de los perfiles que forman las celosías y posteriormente unirlos entre si por soldadura, generando una pérdida de eficiencia en la fabricación tanto por el transporte de elementos entre el taller y la central de galvanizado, como por el posterior tratamiento con metalizado de numerosas uniones.

En consecuencia, con la concepción original del proyecto de licitación, la necesidad de realizar el galvanizado multiplica los procesos de ejecución y los transportes de las piezas, tendrían una lógica afección al plazo de ejecución que aumentaría notablemente respecto de un proceso más convencional con protección anticorrosiva mediante pinturas, en el cual simplemente se fabricaría por completo la estructura en taller, se pintaría en el mismo taller (Figs. 10a y 10b), y se transportaría a obra por vanos completos. Dado que, en este caso, la aplicación de un sistema de protección anticorrosiva mediante pinturas, es la solución técnica y económica más razonable, se adoptó esta decisión para el proyecto constructivo de toda la estructura metálica de la pasarela.



Figuras 10a y 10b. Detalle del sistema de protección anticorrosiva de la estructura metálica mediante pintura

3. Proceso constructivo

En la construcción de la pasarela, inicialmente, se ejecutaron las cimentaciones hasta el nivel de la basa de los pilares. A continuación, se colocaron las pilas metálicas (Fig. 11a) y los apoyos de neopreno para, posteriormente, colocar sobre estas las celosías que conforman el tablero de la pasarela (Fig.11b). Posteriormente se ejecutó el forjado de la pasarela y, finalmente, se procedió a realizar los acabados y remates.



Figuras 11a y 11b. Montaje con grúa de estructura metálica (pilas y celosía)

En el proceso constructivo de la pasarela se ha buscado optimizar y simplificar el montaje de la estructura metálica. Para ello, tanto las pilas como las celosías se han ejecutado completamente en taller (incluyendo la pintura y el cerramiento arquitectónico) y, posteriormente, se han transportado y colocado en obra con grúas (Figs. 12a y 12b), evitando así tener que ejecutar soldaduras en obra.



Figuras 12a y 12b. Transporte a obra en camión de las estructuras metálicas

4. Detalles metálicos

4.1. Diseño de uniones entre perfiles tubulares acorde a EN 1993-1-8 [3]

La estructura se resuelve mediante celosías, ello implica que perfiles tubulares que la conforman trabajen fundamentalmente frente a esfuerzos axiales. Estos esfuerzos axiales deben ser transmitidos a través de los nudos para poder asegurar un correcto comportamiento estructural de la pasarela. En este sentido, se han dimensionado los nudos de la pasarela de acuerdo al capítulo 7 del Eurocódigo de uniones EN 1993-1-8 [3].

El análisis estructural de los nudos de celosías tubulares resulta especialmente complejo debido a los múltiples mecanismos de fallo que se pueden dar (Fig. 13).

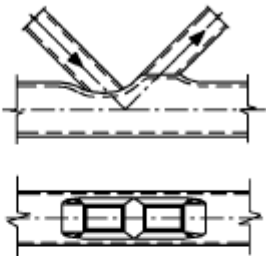
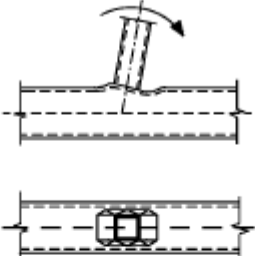
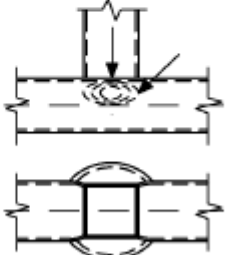
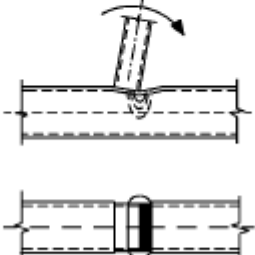
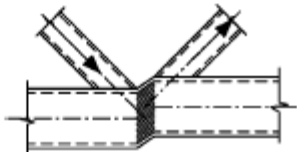
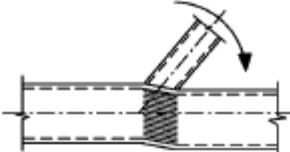
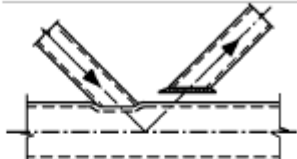
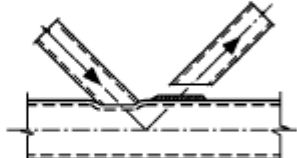
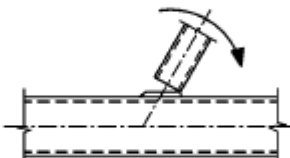
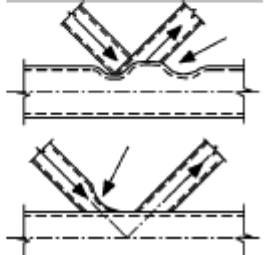
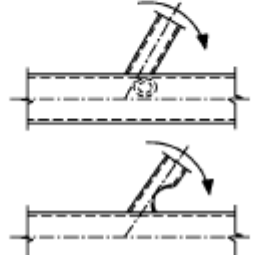
Tipo	Esfuerzo axial	Momento flector
a		
b		
c		
d		
e		
f		

Figura 13. Tipos de rotura en nudos de perfiles tubulares según EN 1993-1-8 [3]

Debido a existencia de distintos tipos posibles de roturas en nudos y a la imposibilidad de conocer a priori cuál será el modo de rotura de cada nudo particular, la norma permite dos métodos generales para el diseño de estas uniones:

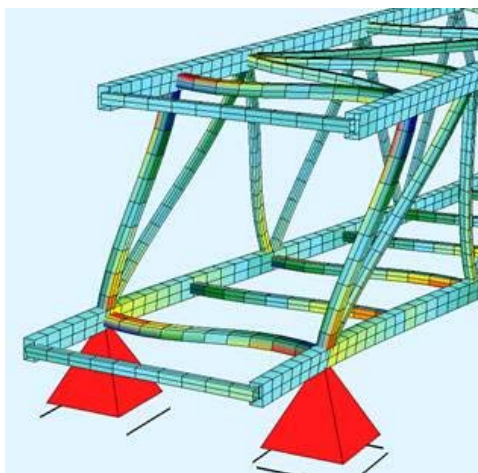
- a) Experimentalmente, a través de ensayos.
- b) Mediante un cálculo con Modelos de Elementos Finitos.

Dado que cualquiera de los dos métodos son costosos y complejos, el Eurocódigo permite usar unas fórmulas experimentales para el diseño de nudos que cumplan, estrictamente, con una serie limitaciones geométricas y mecánicas, y es el método empleado en la verificación estructural de los nudos de la pasarela.

4.2. Mecanismos resistentes frente a fuerzas transversales del tablero

Como se ha descrito anteriormente, la estructura está compuesta por dos celosías verticales tipo Warren conectadas mediante dos planos de arriostramiento horizontales. Para que la estructura tenga estabilidad transversal es necesario que existan marcos transversales o que las diagonales sean capaces de transmitir momentos flectores a los cordones, y para ello sería necesario aumentar notablemente su sección con el consiguiente aumento del coste de la estructura. Por este motivo, se ha optado por unos marcos transversales en las secciones de apoyos que sean capaces de estabilizar transversalmente la estructura (Figs. 14a y 14b).

Para que el marco transversal sea efectivo, es necesario que las barras del marco resistan los flectores solicitantes y, además, es crítico que los nudos sean capaces de transmitir los momentos flectores solicitantes. Para ello se han dispuesto chapas de refuerzo en el interior de los cordones en continuidad con los momentos transversales, que ayuden a la transmisión de los momentos flectores en los nudos de los marcos transversales.



Figuras 14a y 14b. Mecanismo resistente frente a acciones transversales

4.3. Diseño del nudo de conexión de las ramas con el fuste de las pilas

Otro punto crítico de la estructura de la pasarela es el nudo que conecta las ramas de las pilas con el fuste de dichas pilas (Figs. 15a y 15b), ya que por ese punto tienen que pasar todas las reacciones de las celosías de la pasarela.



Figuraa 15a y 15b. Imágenes del nudo de conexión de las ramas con el fuste de una pila

Debido a la configuración de las pilas, las ramas están solicitadas tanto por importantes esfuerzos axiles como por importantes momentos flectores en su conexión con el fuste de la pila.

Para resolver el nudo de conexión se ha optado por rasgar el fuste en un tramo e introducir en el éste chapas que recojan fuerzas de las ramas y los transmitan por rasante al fuste (Fig. 16).

Adicionalmente, tanto las chapas que se introducen en el fuste como la chapa horizontal que separa el fuste de las ramas pueden estar sometidas a tracciones en dirección perpendicular al plano de laminación y, por ello, se ha exigido que estas chapas tengan una calidad Z35 de acuerdo a UNE EN-10164 [4].

Agradecimientos

Propiedad: Ministerio de Fomento. España.

Empresa Constructora: COPASA

Jefes de obra: Eloy Couso Domínguez y Juan Riocerezo Gimenez

Taller metálico: DIZMAR

Proyecto Constructivo Modificado: IDEAM S.A. Miguel Ortega, Juan Luis Mansilla y Fu Lei Zhou

Asistencia Técnica especializada durante la ejecución de las obras: IDEAM S.A. Miguel Ortega, Juan Luis Mansilla y Fu Lei Zhou

Referencias

- [1] EAE-11. Instrucción de Acero Estructural. Ministerio de Fomento. 2011
- [2] UNE-EN 1090-2. Ejecución de estructuras de acero y aluminio. Parte 2: Requisitos técnicos para la ejecución de estructuras de acero. AENOR. 2011
- [3] UNE-EN 1993-1-8. Eurocódigo 3: Proyecto de estructuras de acero. Parte 1-8: Uniones. AENOR. 2013
- [4] UNE EN-10164. Aceros de construcción con resistencia mejorada a la deformación en la dirección perpendicular a la superficie del producto. Condiciones técnicas de suministro. AENOR. 2007