

# Recomendaciones para la concepción de los detalles frente a fatiga en losas ortótropas de carretera

## *Guidelines for the design of fatigue details in orthotropic road decks*

### **Miguel ORTEGA CORNEJO**

Ingeniero de Caminos

IDEAM S.A.

Director de Ingeniería

[miguel.ortega@ideam.es](mailto:miguel.ortega@ideam.es)

### **Francisco MILANES MATO**

Dr. Ingeniero de Caminos

IDEAM S.A.

Presidente

[general@ideam.es](mailto:general@ideam.es)

## **RESUMEN**

Los tableros con losas ortótropas metálicas se suelen emplear en las ocasiones en las que es necesario reducir el peso propio de la estructura. Aunque no es una tipología demasiado frecuente en España, sí es muy susceptible de sufrir problemas de fatiga, dado que la chapa de piso y su rigidización está sometida directamente al paso continuado de los ciclos de carga producidos por el tráfico pesado. En el artículo se incluyen criterios y recomendaciones para mejorar los detalles más usuales frente a fatiga en losas ortótropas con rigidizadores longitudinales cerrados que son los más habituales en este tipo de tableros.

## **ABSTRACT**

The steel orthotropic decks are usually used in the occasions in which it is necessary to reduce the self-weight of the structure. Although it is not a very common typology in Spain, it is very susceptible to suffer fatigue problems, since the deck plate and its stiffeners are directly subject to the continuous passage of the cycles of load produced by heavy traffic. The article includes criteria and recommendations on the most common fatigue details in steel orthotropic decks with closed longitudinal stiffeners that are the most common in this type of decks.

**PALABRAS CLAVE:** Fatiga, soldadura, estructura metálica, bjjácena mixta, conexión

**KEYWORDS:** Fatigue, welding, steel structure, composite twin girder, connection.

## **1. Introducción**

Aunque las losas ortótropas (Figura 1) no suelen una tipología demasiado habitual en puentes de carretera, si se suele emplear en las ocasiones en las que es necesario reducir mucho el peso propio de la estructura como en los casos de:

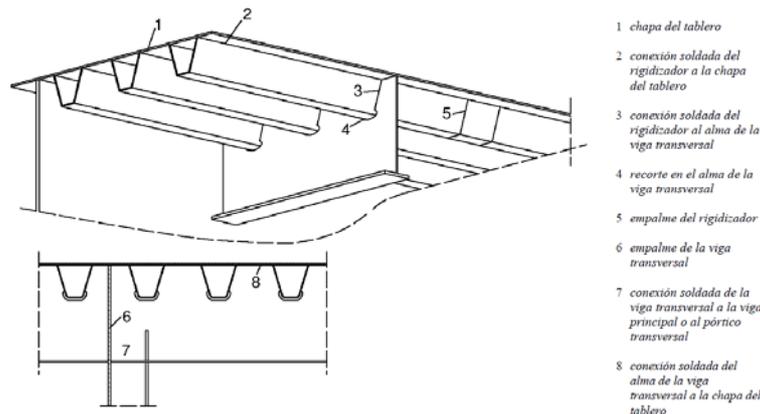
- Tableros de puentes levadizos, o basculantes, empleados habitualmente en puertos o zonas sobre vías fluviales o marítimas navegables, que requieren realizar la apertura frecuentemente del tablero.
- Tableros de puentes atirantados o colgantes con grandes luces que requieran reducir las cargas permanentes.



**Figura 1** Vista de una losa ortótropa con rigidizadores longitudinales cerrados

**2. Losas ortótropas con rigidizadores longitudinales cerrados. Particularidades en su concepción frente a fatiga**

Este tipo de tableros presenta unas particularidades frente a la respuesta a fatiga que condiciona el diseño de sus detalles. En general es muy frecuente recurrir al empleo de rigidizadores longitudinales (largueros) cerrados con forma de bulbo u omega (Figura 1). Los principales detalles de losas ortótropas se definen en la figura C1 de UNE-EN 1993-2 [1], reproducida en la Figura 2.



**Figura 2** Detalles en losas ortótropas

La tabla 8.8 de UNE-EN 1993-1-9 [2] muestra los principales detalles de fatiga en losas ortótropas con rigidizadores longitudinales cerrados. Para conseguir la categoría de fatiga definida para cada detalle en esa tabla, es necesario adoptar las precauciones de ejecución y respetar las tolerancias establecidas en el anexo C de UNE-EN 1993-2 [1], y en particular las tolerancias y requisitos establecidos en las tablas C3, C4 y C5.



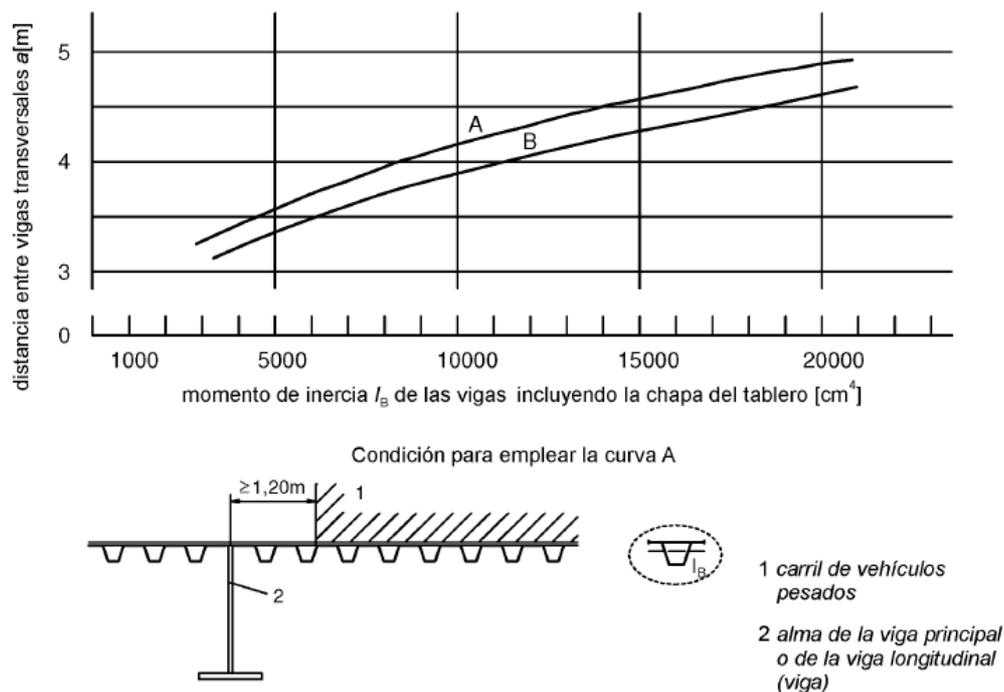
**Figura 3** Rigidizadores longitudinales plegados

Los rigidizadores cerrados se deben ejecutar sin soldaduras longitudinales, plegando una chapa (Figura 3), respetando los criterios establecidos para el conformado en 6.5 de UNE-EN 1090-2 [3].

El apdo. C1.2.2 de UNE-EN 1993-2 [1] establece una serie de criterios mínimos para el espesor de la chapa de piso, el espesor y la separación de los rigidizadores cerrados:

- El espesor de la chapa de piso en el carril (o los carriles) de vehículos pesados del tablero debe tener un espesor  $t$  tal que:
  - $t \geq 14$  mm si la capa de asfalto tiene un espesor  $\geq 70$  mm.
  - $t \geq 16$  mm si la capa de asfalto tiene un espesor  $\geq 40$  mm.
- La separación entre las almas de los rigidizadores longitudinales en su soldadura con la chapa de piso “ $e$ ” en la zona de carriles con vehículos pesados debe cumplir que:
  - $e/t \leq 25$ , con un límite de  $e \leq 300$  mm
- El espesor del rigidizador longitudinal  $t_{stiff}$  debe ser:
  - $t_{stiff} \geq 6$  mm

A su vez, la figura C4 de UNE-EN 1993-2 [1] (Figura 4) establece los criterios de rigidez mínima para los rigidizadores longitudinales en losas ortótropas.



- NOTA a) La curva A se aplica a todos los rigidizadores no cubiertos por el punto b).
- b) La curva B se aplica a los rigidizadores ubicados bajo el carril más cargado y dentro de los 1,20 m junto al alma de una viga principal.
- c) La figura se aplica a todo tipo de rigidizadores

**Figura 4** **Figura C.4 de UNE-EN 1993-2 [1] con criterios de rigidez mínima para los rigidizadores longitudinales en losas ortótropas**

Respetando estos criterios, las dimensiones más habituales empleadas en los rigidizadores longitudinales cerrados en losas ortótropas suelen ser las siguientes: separación máxima entre ejes de rigidizadores longitudinales 600 mm, con 300 mm entre las soldaduras de sus extremos, su luz suele rondar los 4 m con un canto que oscila entre 275 y 350 mm, y su espesor suele ser de 8 ó 10

mm. Aunque se podría emplear el espesor de 6 mm, no suele ser recomendable emplear ese espesor, siendo preferible ir a un mínimo de 8 mm para evitar, en general, problemas de fatiga.

### 3. Principales detalles de fatiga en losas ortótropas con rigidizadores cerrados

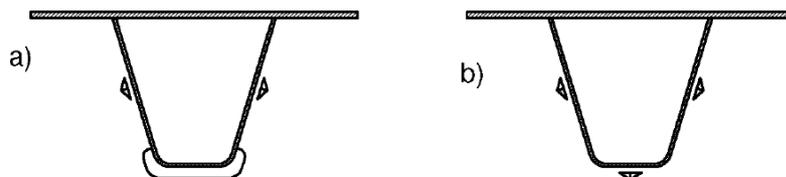
#### 3.1. Soldadura del rigidizador longitudinal con el rigidizador transversal.

El detalle del cruce y soldadura de los rigidizadores longitudinales con los transversales se define en los detalles 1 a 3 de la tabla 8.8 de UNE-EN 1993-1-9 [2].

Categoría de detalle	Detalle constructivo		Descripción	Requisitos
80	$t \leq 12 \text{ mm}$		1) Larguero continuo longitudinal con groeras en las viguetas.	1) Comprobación basada en la carrera $\Delta\sigma$ de tensión directa del larguero longitudinal.
71	$t > 12 \text{ mm}$			
80	$t \leq 12 \text{ mm}$		2) Larguero continuo longitudinal sin groeras en las viguetas.	2) Comprobación basada en la carrera $\Delta\sigma$ de tensiones normales del larguero.
71	$t > 12 \text{ mm}$			
36			3) Larguero longitudinal discontinuo, interrumpido por las viguetas.	3) Comprobación basada en la carrera $\Delta\sigma$ de tensión directa del larguero.

**Tabla 1** Detalles 1 a 3 de tabla 8.8 de UNE-EN 1993-1-9 [2]. Cruces de rigidizadores longitudinales con transversales

Los detalles 1 y 2 se refieren a rigidizadores longitudinales continuos. El detalle 1 aplica a rigidizadores longitudinales soldados a diafragmas o rigidizadores transversales con groeras en la parte inferior del rigidizador longitudinal (Figura 6 e imagen a) de la Figura 5), mientras que el detalle 2 sería igual que el 1 pero sin groera en el cruce con el rigidizador transversal (Figura 1 e imagen b) de la Figura 5).



**Figura 5** Figura C.11 de UNE-EN 1993-2 [1] con el recorte de los rigidizadores transversales para el paso de los longitudinales

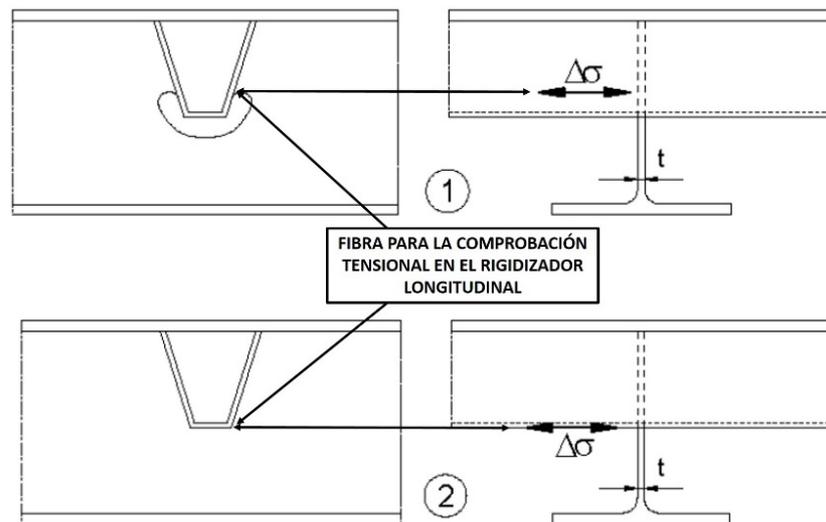


**Figura 6** Cruce de rigidizadores longitudinales con groeras en la parte inferior de los rigidizadores transversales. Detalle 1 de tabla 8.8 de UNE-EN 1993-1-9 [2]

En ambos casos, C.1.3.5.2(2) de UNE-EN 1993-2 [1] establece que se debe evitar disponer ojales en la intersección de las almas de los rigidizadores cerrados con la chapa de piso.

Tanto el detalle 1 como el 2 de la tabla 8.8 de UNE-EN 1993-1-9 [2] presentan una categoría de fatiga que varía entre 71 y 80 en función de si el espesor del elemento transversal  $t$  es mayor de 12 mm (categoría 71) o si es menor o igual de 12 mm (categoría 80).

Ahora bien, la carrera de tensiones en el rigidizador longitudinal se debe calcular en el caso del detalle 2 en la fibra inferior de la sección del rigidizador longitudinal, mientras que en el caso del detalle 1 se debe calcular en el punto del extremo de la groera inferior en su intersección con el rigidizador longitudinal, que como se aprecia en la Figura 7.



**Figura 7** Punto para el cálculo de la variación de tensiones en el cruce de rigidizadores en losas ortótropas. Detalles 1 y 2 de tabla 8.8 de UNE-EN 1993-1-9 [2].

Del análisis de estos dos detalles se extrae la conclusión siguiente: a igualdad de secciones, la variación de tensiones en el rigidizador longitudinal, en el caso del detalle 1 será menor que en el detalle 2, debido a que su fibra de control está más cerca del centro de gravedad de la sección.

Este hecho podría recomendar por lo tanto el empleo del detalle 1, con groera inferior, frente al detalle 2, sin groera inferior, ahora bien, ambos detalles requieren además adoptar otras precauciones de ejecución:

- En el detalle 1 es necesario rebordear y verificar la continuidad de la soldadura en ángulo que se realiza entre el rigidizador longitudinal y el rigidizador transversal. Ese punto de quiebro puede convertirse en crítico si no se ejecuta bien y quedan entallas en la soldadura, por lo que en caso de adoptar el detalle 1, se deben extremar las medidas de control en la zona del rebordeo de la soldadura entre el rigidizador longitudinal y el transversal (Figura 8).



**Figura 8** *Detalle 1 de tabla 8.8 de UNE-EN 1993-1-9 [2]. Cruce del rigidizador longitudinal con soldadura en ángulo rebordeada en el extremo de la groera*

- En el detalle 2, al no existir groera inferior se evita la necesidad de rebordear las soldaduras, a costa de penalizar la variación de tensiones al tener que calcularlas en la fibra inferior del rigidizador, aunque hay que adoptar precauciones en el corte de la geometría del hueco en el rigidizador transversal, de forma que se ajuste muy bien en todo el perímetro de la sección del rigidizador longitudinal (Figura 9), respetando las tolerancias de la tabla C.4 de UNE-EN 1993-2 [1].



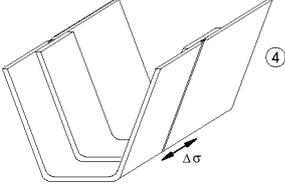
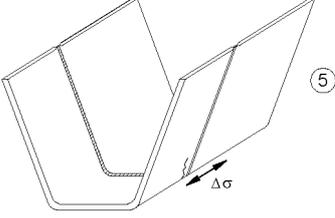
**Figura 9** *Detalle 2 de tabla 8.8 de UNE-EN 1993-1-9 [2]. Cruce del rigidizador longitudinal con soldadura en ángulo continua con el rigidizador transversal*

El detalle 3 de la tabla 8.8 de UNE-EN 1993-1-9 [2] se refiere a rigidizadores longitudinales discontinuos, interrumpidos por los diafragmas o por los rigidizadores transversales que, en este caso, serían continuos. Este detalle se debe evitar, dado que presenta una categoría de fatiga muy baja, de apenas 36, por lo que siempre será preferible diseñar los cruces de los rigidizadores longitudinales continuos a través de los transversales con los detalles 1 ó 2 frente al detalle 3 de la tabla 8.8 de UNE-EN 1993-1-9 [2].

Así mismo, sólo se podrá emplear cuando se cumplan las condiciones descritas en C.1.3.5.3 de UNE-EN 1993-2 [1].

### 3.2. Detalle de empalme de rigidizadores longitudinales

El detalle 4 de la tabla 8.8 de UNE-EN 1993-1-9 [2] (Tabla 2) representa el empalme con soldadura a tope de rigidizadores longitudinales con chapa de respaldo que, como en el caso de empalme de chapas planas, presenta una categoría de fatiga 71 (Figura 10). La chapa de respaldo debe ser completa y se debe doblar con la misma geometría interior de la sección del bulbo y ajustarla muy bien.

Categoría de detalle		Detalle constructivo	Descripción	Requisitos
71			4) Empalme de largueros mediante soldadura a tope con penetración total y chapa de respaldo.	4) Comprobación basada en la carrera $\Delta\sigma$ de tensiones normales del larguero.
112	Como los detalles 1, 2 y 4 de la tabla 8.3		5) Empalme de largueros mediante soldadura a tope sin chapa de respaldo con soldeo por ambos lados y penetración total.	5) Comprobación basada en la carrera $\Delta\sigma$ de tensión directa del larguero. Puntos de soldadura en la zona a ocupar por la soldadura a tope.
90	Como los detalles 5 y 7 de la tabla 8.3			
80	Como los detalles 9 y 11 de la tabla 8.3			

**Tabla 2** Detalles 4 y 5 de la tabla 8.8 de UNE-EN 1993-1-9 [2], empalme de rigidizadores longitudinales cerrados



**Figura 10** Empalmes de rigidizador longitudinal con chapas de respaldo (imagen del rigidizador en posición invertida en taller)

El detalle 5 de la tabla 8.8 de UNE-EN 1993-1-9 [2] (Tabla 2) establece la categoría de fatiga para el detalle de empalme de rigidizadores longitudinales realizados previo a su ajuste en el tablero con acceso a la soldadura por ambos lados sin necesidad de emplear chapa de respaldo en su interior. Este detalle no es muy habitual, ya que lo normal es que el empalme entre tramos de rigidizadores se establezca coincidiendo con las soldaduras in situ con el rigidizador ya ajustado en su posición

soldado contra la chapa de piso, lo cual no permitiría el acceso a la raíz, y requeriría recurrir al detalle 4 mediante el empleo de chapa de respaldo. De cualquier manera, estos empalmes, ejecutados con soldadura por ambos lados del rigidizador presentan categorías de fatiga elevadas, entre 112 y 80, análogos a los detalles de la tabla 8.3 de UNE-EN 1993-1-9 [2] para empalmes de chapas planas.

La posición del empalme de los rigidizadores longitudinales en losas ortótropas, ya sea con el detalle 4 o con el detalle 5 de la tabla 8.8 de UNE-EN 1993-1-9 [2], se deben ejecutar cercanos al punto de inflexión del rigidizador, a una distancia de aproximadamente  $0,2 l$  del rigidizador transversal (Figura 9), siendo  $l$  la luz del rigidizador longitudinal (separación entre rigidizadores transversales), acorde con C.1.3.4(2) de UNE-EN 1993-2 [1].

En el caso que se vaya a realizar el empalme entre rigidizadores longitudinales de distinto espesor, la variación de espesor entre ellos no debe ser superior a 2 mm acorde con C.1.3.2(4) de UNE-EN 1993-2 [1].

Para minimizar las tensiones residuales y que estas no sean de tracción en la parte inferior del rigidizador longitudinal, el empalme de rigidizadores longitudinales se debe realizar siguiendo el siguiente procedimiento, descrito en el apdo. C.1.3.4(3) y el detalle 6 de la tabla C.4 de UNE-EN 1993-2 [1]. El detalle 7 de la misma tabla incluye los requisitos de tolerancias a respetar en dicha unión:

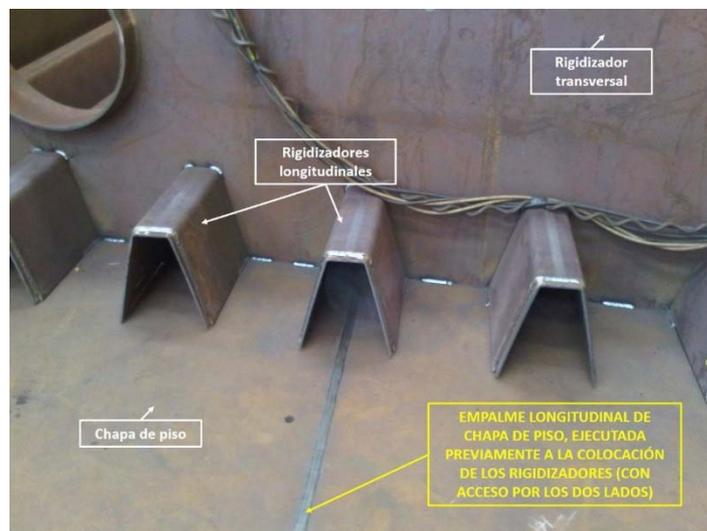
- En primer lugar se deben soldar los dos tramos del rigidizador longitudinal a la chapa de respaldo.
- En el detalle 4 sin groetas inferiores, se realiza la soldadura de unión entre rigidizadores apoyada en la chapa de respaldo soldando en primer lugar la parte inferior de la sección y posteriormente las almas de los rigidizadores.
- Finalmente se realiza la soldadura longitudinal del rigidizador con la chapa de piso en los 200 mm longitudinales adyacentes a la soldadura transversal más el tramo del rigidizador longitudinal a colocar “in situ” (ver el detalle 6 de tabla C.4 de UNE-EN 1993-2 [1]).

La necesidad de realizar, normalmente en obra, empalmes transversales en la chapa de piso, requiere llevar retranqueados los extremos de los rigidizadores longitudinales dejando un tramo del rigidizador longitudinal (denominado habitualmente cupón o carrete) sin soldar (Figura 11). El detalle de empalme del rigidizador será doble, y al no haber acceso a su interior será necesario recurrir al detalle 4 de la tabla 8.8 de UNE-EN 1993-1-9 [2] (Tabla 2) con el empleo de chapa de respaldo. La secuencia de soldeo debe ser la descrita en los párrafos previos.

La necesidad de realizar el empalme longitudinal de la chapa de piso (Figura 12), se puede planificar para realizarlo en taller, o si es necesario en obra. En taller su ubicación puede ser en cualquier lugar ya que se realizará siempre en primer lugar previo a la colocación de los rigidizadores y habrá, en general, acceso para soldar por ambos lados sin recurrir al empleo de chapa de respaldo, mientras que en obra, la soldadura se debe colocar en una zona entre rigidizadores longitudinales para que haya acceso a la soldadura por el interior de la sección transversal (que debería diseñarse interiormente visitable) y por el exterior para lograr la mejor categoría del detalle posible (detalle 10 de tabla 8.2 de UNE-EN 1993-1-9 [2]).



**Figura 11** Empalme con cupón de rigidizadores longitudinales en el cruce de una soldadura transversal de obra en la chapa de piso



**Figura 12** Empalme longitudinal de chapa de piso (imagen en posición invertida al estar en la bancada del taller)

### 3.3. Detalle de empalme de fatiga del alma del rigidizador transversal

El detalle de fatiga 6 de la tabla 8.8 de UNE-EN 1993-1-9 [2] (Tabla 3) establece la categoría de fatiga 71 para el control de variación de tensiones en el alma del rigidizador transversal entre los huecos dejados para el paso del rigidizador longitudinal cuando se emplean groeras en su parte inferior.

Categoría de detalle	Detalle constructivo	Descripción	Requisitos
71		6) Sección crítica del alma de las viguetas debido a las groeras.	6) Comprobación basada en la carrera de tensiones de la sección crítica teniendo en cuenta el efecto Vierendeel. NOTA Se puede utilizar la categoría de detalle 112 si la carrera de tensiones se calcula conforme a la Norma Europea EN 1993-2, apartado 9.4.2.2(3).

**Tabla 3** Detalle 6 de tabla 8.8 de UNE-EN 1993-1-9 [2]. Control del alma del rigidizador transversal

El apdo. 9.4.2.2 de UNE-EN 1993-2 [1] establece los criterios para la obtención de las tensiones en la sección crítica del detalle de fatiga 6.

### 3.4. Detalle de soldadura de rigidizador longitudinal y chapa de piso

Soldaduras entre el rigidizador longitudinal y la chapa de piso. Detalles 7 y 8 de tabla 8.8 de UNE-EN 1993-1-9 [2] (Tabla 4):

Categoría de detalle	Detalle constructivo	Descripción	Requisitos
71		<p>Unión soldada entre chapas de tablero y largueros de sección trapezoidal o en V:</p> <p>7) Soldaduras con penetración parcial con <math>a \geq t</math>.</p>	7) Comprobación basada en la carrera de tensiones normales debidas a la flexión de la chapa.
50		<p>8) Soldaduras en ángulo o soldaduras con penetración parcial fuera de los límites del detalle 7).</p>	8) Comprobación basada en la carrera de tensiones normales debidas a la flexión de la chapa.

**Tabla 4** Detalles 7 y 8 de tabla 8.8 de UNE-EN 1993-1-9 [2]. Soldadura del rigidizador longitudinal contra la chapa de piso

- El detalle 7 de la tabla 8.8 de UNE-EN 1993-1-9 [2] (Tabla 4) establece la categoría de fatiga 71 para una soldadura con penetración parcial, que es como se debe diseñar esta soldadura, para obtener la mejor categoría de fatiga posible

Los requisitos y tolerancias establecidas para la ejecución de la soldadura con penetración parcial se establecen en los detalles 3 y 4 de la tabla C.4 de UNE-EN 1993-2 [1], para soldaduras completamente automatizadas, o para soldaduras manuales o parcialmente automatizadas, respectivamente.

- El detalle 8 de la tabla 8.8 de UNE-EN 1993-1-9 [2] (Tabla 4) establece la categoría de fatiga 50 para una soldadura en ángulo. Dado que la categoría de fatiga de este detalle es menor que el del detalle 7 con soldadura con penetración parcial, siempre que sea posible se debe recurrir al detalle 7 evitando el detalle 8. De cualquier manera, los requisitos y tolerancias establecidas para la ejecución de la soldadura en ángulo se establecen en el detalle 5 de la tabla C.4 de UNE-EN 1993-2 [1].

### Agradecimientos

Este artículo es un resumen de uno de los apartados del documento “*Guía metodológica para el proyecto a fatiga de puentes metálicos y mixtos de carretera con Eurocódigos*”, que está pendiente de publicación y que los autores han redactado para la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento, bajo la dirección y coordinación de Pilar Crespo y Carlos Paradela.

### Referencias

- [1] UNE-EN 1993-2. Eurocódigo 3: Proyecto de estructuras de acero. Parte 2: Puentes. AENOR
- [2] UNE-EN 1993-1-9 Eurocódigo 3: Proyecto de estructuras de acero. Parte 2: Fatiga. AENOR
- [3] UNE-EN 1090-2. Ejecución de estructuras de acero y aluminio. Parte 2: Requisitos técnicos para la ejecución de estructuras de acero.