

## Estudio de repercusiones de las Especificaciones Técnicas de Interoperabilidad en obras de permeabilización de la red ferroviaria de interés general española

### *Study of the impact of Technical Specifications for Interoperability in permeabilization works on the spanish Railway Network of General Interest*

María Alcover Gil<sup>1</sup>, Pedro Alver Gil<sup>2</sup>, Saray Segado Jiménez\*<sup>3</sup>, María Remedios Tormo Climent<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Dirección General de Transporte y Logística, Conselleria de Infraestructuras Territorio y Medio Ambiente, Valencia, 46010 España

<sup>2</sup>Departamento de construcción, APPLUS+, Paterna (Valencia), 46980 España

<sup>3</sup>Dirección General Obras Públicas, Proyectos Urbanos y Vivienda, Conselleria de Infraestructura Territorio y Medio Ambiente, Valencia, 46010 España

<sup>4</sup>Ingeniero Técnico de Obras Pública (autónoma), Ayuntamiento de Rafelguaraf, Rafelguaraf (Valencia), 46666, España

---

#### Resumen

Las Especificaciones Técnicas de Interoperabilidad se crean con el objetivo de garantizar la interoperabilidad entre los sistemas ferroviarios de los estados miembro de la Unión Europea. Este estudio se centra en la especificación relativa al subsistema infraestructura del sistema ferroviario transeuropeo convencional realizando una comparación de la misma con el modo en que han sido proyectadas y construidas las obras de permeabilización ferroviarias, es decir, pasos inferiores y superiores a plataformas ferroviarias convencionales.

Palabras clave: interoperabilidad, especificación técnica, infraestructura, carga, gálibo, directiva, EN 15273, IAPF-2007, IAPF-1975.

#### Abstract

*Technical specifications for interoperability are created in order to ensure interoperability between the railway systems of all the European Union member countries. This study focuses on the specification related to the subsystem of the conventional trans-European rail system by comparing it with the railway permeabilization works, ie underpasses and overpasses on conventional railway platforms, have been designed and built.*

*Keywords: interoperability, technical specifications, infrastructure, loading gauge, directive, EN 15273, IAPF-2007, IAPF-1975*

---

## 1. La Red Transeuropea de ferrocarril: el objetivo de las especificaciones técnicas de interoperabilidad

La interoperabilidad en el transporte, y concretamente en el transporte ferroviario, se refiere a la garantía de circulación de los trenes pertenecientes a los países miembro por cualquier tramo de la red ferroviaria de la Unión Europea. El primer momento en que se habla de este término es en 1991, cuando se firma la Directiva 91/440/CEE sobre el desarrollo de los ferrocarriles comunitarios. Esta directiva, mencionaba la necesidad de las empresas ferroviarias de tener un mayor acceso a las redes ferroviarias europeas en pro de garantizar la libre circulación de trenes por el territorio de la Unión.

Para ello, era necesaria la definición de una normativa europea común que permitiera la normalización tanto en la construcción como en la explotación de las plataformas ferroviarias. El principal obstáculo con el que se enfrentaba, y se enfrenta, la interoperabilidad era la red ferroviaria existente, ya que la mayor parte de la misma fue construida antes de la creación del marco común normativo europeo, lo que conlleva que, para la unificación,

todos los países miembro tengan que revisar sus infraestructuras. De esta manera, se responderá, además de a las directivas del parlamento, al objetivo establecido ya en 1986, de la creación de un marco común para los estados miembros que permita la creación de un área sin fronteras, en primer lugar para las personas; en segundo lugar, para las mercancías; en tercer lugar, para los servicios; y en cuarto y último lugar para los capitales.

### 1.1. Las especificaciones técnicas de interoperabilidad

Para permitir la interoperabilidad del sistema ferroviario, se crean especificaciones técnicas de interoperabilidad, en adelante ETI, que se aplican a los diferentes subsistemas que lo componen, dividiéndose así en un total de siete: infraestructuras, energía, control-mando y señalización, material rodante, explotación y gestión del tráfico, mantenimiento y aplicaciones telemáticas al servicio de los pasajeros y del transporte de mercancías. De esta manera, la UE legisla por subsistemas redactando directivas o decisiones.

La primera de las ETI en surgir, fue la del subsistema infraestructura relativa al sistema ferroviario transeuropeo de Alta Velocidad, prioritaria debido al gran auge de la Alta Velocidad en la década del 2000-2010. En 2011, el subsistema queda completamente definido con la publicación de la otra parte de esta especificación, relativa al sistema ferroviario transeuropeo convencional.

El subsistema infraestructura engloba las obras civiles necesarias para la materialización de la plataforma ferroviaria, así como los equipos de vía, la vía tendida y las infraestructuras asociadas en las estaciones.

Con la finalidad de permitir la interoperabilidad a un coste razonable en términos económicos, se realiza una clasificación de las líneas ferroviarias de la red TEN según el concepto de “Categoría de línea ETI”. De este modo se tienen tres categorías para las líneas de Alta Velocidad: I, II y III, y cuatro categorías para las convencionales: IV, V, VI y VII, que tienen en cuenta, además, factores como el tipo de tráfico (viajeros, mercancías y tráfico mixto), la carga por eje, el gálibo y la velocidad. Dichos factores engloban lo especificado en la norma EN 15528:2008, la cual propone diferentes modelos de carga, en función de la carga por eje que transmite el vehículo ferroviario y la velocidad a que vaya a circular.



Fig. 1. Mapa de la Red TEN. Fuente: Ministerio de Fomento 2011<sup>1</sup>

<sup>1</sup> La red TEN es la Red Transeuropea definida por la Unión Europea. Las líneas principales son los grandes corredores que conectan Europa y las otras líneas son la red global incluida en la red TEN de líneas nacionales y regionales, que conectan con la red principal.

### 1.2. Gálibos y cargas como factores determinantes en la revisión de la infraestructura existente

La ETI de infraestructura hace referencia a cuatro tipos de gálibos G1, GA, GB y GC, que para las partes bajas es común para todos y para las partes altas es para las que difiere, incrementándose desde el GA hasta llegar al máximo posible, el GC, que ha de garantizar toda la infraestructura nueva. Así, el mayor gálibo permitirá no solo el paso de vehículos ferroviarios más grandes sino vehículos ferroviarios cuya combinación de carga, velocidad y tráfico esté dentro del contorno del gálibo definido como estándar.

Cada uno de ellos define un contorno con la envolvente de las posibles posiciones que podría ocupar un vehículo ferroviario, tanto en movimiento como parado, sobre la vía. Esto supone tomar el contorno del vehículo ferroviario e incrementarlo con unas ampliaciones laterales, tales como las desviaciones adicionales debidas a la variabilidad en curva, las que son consecuencia del efecto cuasiestático producido por el balanceo de la caja y las debidas a fenómenos aleatorios; y perpendiculares, correspondientes al efecto vertical del balanceo y el rebote vertical.

Las cargas que definen la capacidad portante de las estructuras que tengan que resistir el paso de los vehículos ferroviarios son las correspondientes al tren de carga asociado al vehículo ferroviario que por esas vías vaya a pasar. La ETI define unas cargas por eje para los vehículos de 20, 22,5 y 25 toneladas.

Las siguientes gráficas muestran, en resumen, en función del tipo de tráfico al cual se pretende atender, el estándar hacia el que nos conducimos con la aplicación de las ETI, así como la combinación de los factores antes mencionados.

Para el tráfico de viajeros, tal como se puede apreciar en la figura 2, el cumplimiento de los requisitos establecidos por la ETI produce que la infraestructura pueda permitir un incremento considerable en velocidad de 50 km/h para la categoría de línea ETI más exigente, pasando así de 150 a 200 km/h, así como otro aumento de la longitud del tren en 100 metros, aumentando la capacidad de los vehículos ferroviarios con el fin de reducir, en la medida de lo posible, el transporte por carretera.

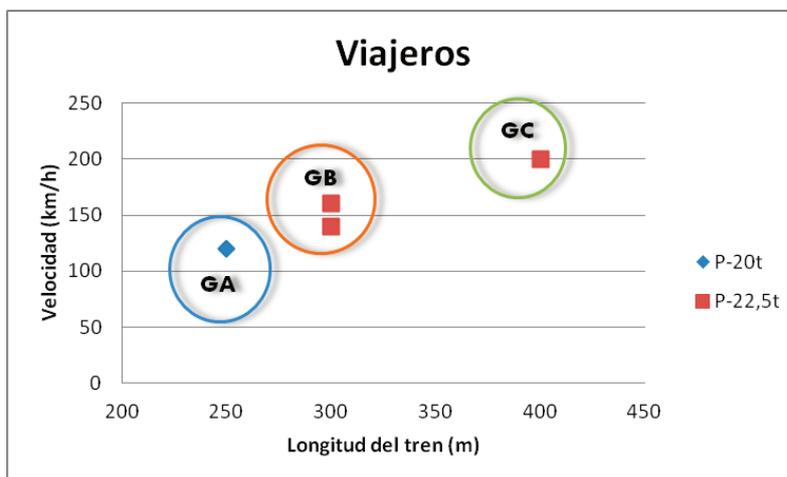


Fig. 2. Gráfica que recoge los requerimientos del establecidos por la ETI de infraestructuras para viajeros en su apartado 4.2.1.. Fuente: Elaboración propia.

En la figura 3 y en cuanto al tráfico de mercancías, se aprecia como, en el caso de las líneas nuevas de la red TEN, para las que se exige que la infraestructura resista una carga por eje equivalente a 25 toneladas, los requerimientos que han de cumplir es que permitan el paso de trenes, de hasta 750 metros de longitud, a una velocidad de 140 km/h. Esto implica que el gálibo de su contorno cinemático esté dentro del gálibo del contorno de referencia GC. El cumplimiento de lo anterior representa una variación considerable con respecto al cumplimiento de un gálibo GB en cuanto a que representa un incremento en 40 km/h de la velocidad de cruce y de 150 metros en la longitud del vehículo ferroviario.

Estos datos son reveladores, puesto que evidencian un claro incremento de prestaciones que a su vez conlleva una reducción de los efectos perjudiciales del exceso de transporte por carretera. De este modo, la Unión Europea garantiza la interoperabilidad y además contribuye a la reducción de la emisión de gases contaminantes a la atmósfera.

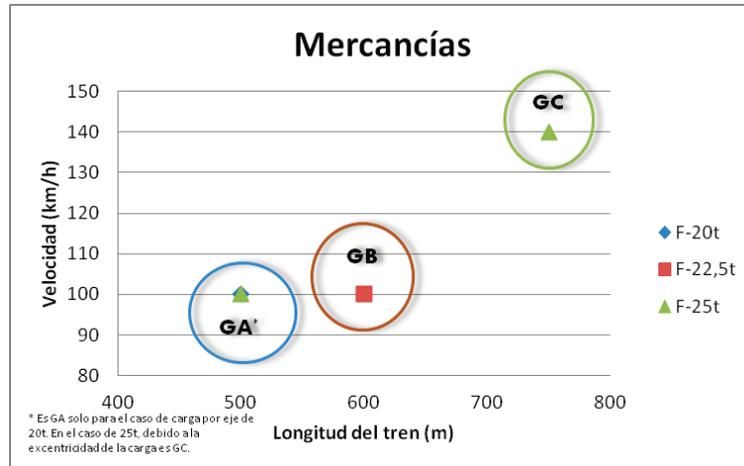


Fig.3. Gráfica que recoge los requerimientos del establecidos por la ETI de infraestructuras para mercancías en su apartado 4.2.1.. Fuente: Elaboración propia.

Por último, en la figura 4, también se muestra el mismo tipo de gráfica para el caso de tráfico mixto, en el que también la evolución hacia el gálibo GC es evidente.

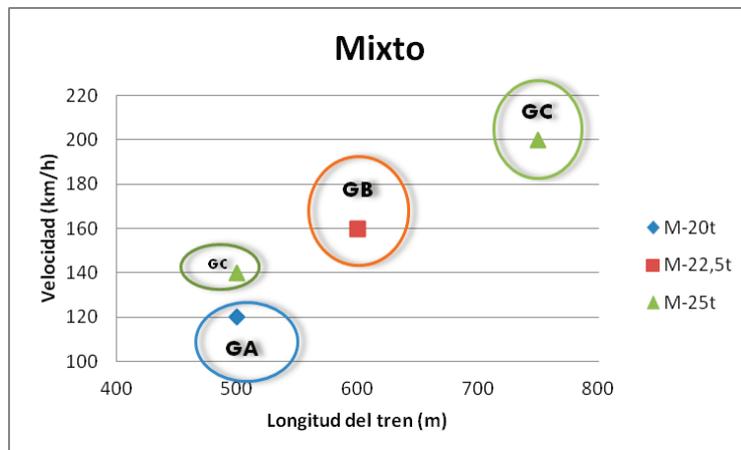


Fig. 4. Gráfica que recoge los requerimientos del establecidos por la ETI de infraestructuras para tráfico mixto en su apartado 4.2.1.. Fuente: Elaboración propia.

### 1.3. Contenido de la ETI del subsistema infraestructura

La ETI del subsistema infraestructura, relativa al sistema ferroviario transeuropeo convencional, define limitaciones en función de unos parámetros básicos que lo caracterizan definidos en el apartado 4.2.3.1. de la misma y de los cuales, teniendo en cuenta el tipo de obra de permeabilización, se ha centrado el estudio en los que se muestran en la tabla partiendo de la posible afección de estos parámetros en la infraestructura existente:

Tabla 1. Influencia de los parámetros básicos en las obras de permeabilización. Elaboración propia

		PASOS INFERIORES	PASOS SUPERIORES
<b>Trazado de las líneas</b>	Gálibo de implantación de obstáculos Distancia entre ejes de vías Radio mínimo de acuerdoa verticales	✓	✓
<b>Parámetros de vía</b>	Peralte Variación de peralte Insuficiencia de peralte	✓	✓
<b>Resistencia de la vía a las cargas aplicadas</b>	Cargas verticales Cargas logintudinales Cargas transversales	✓	
<b>Resistencia de las estructuras a las cargas del tráfico</b>	Resistencia de los puentes nuevos a las cargas del tráfico Carga vertical equivalente para las obras de tierra Resistencia de las estructuras nuevas sobre las vías o adyacentes a las mismas Resistencia a las cargas del tráfico de los puentes y obras de tierra existentes	✓	

#### 1.4. Fundamentos del estudio

Para la definición de la afección de las ETI en las obras de permeabilización, se ha basado el estudio que refleja el presente artículo, en dos proyectos: uno relativo a un paso inferior ejecutado mediante un marco de hormigón; y, el otro, un paso superior materializado mediante un puente de un solo vano formado por una capa de compresión que descansa sobre vigas prefabricadas apoyadas en dos estribos cerrados simétricos, cimentados sobre zapatas rectangulares. Estructuras que son, fundamentalmente, las empleadas en la mayoría de las obras de permeabilización existentes, cuyo análisis es representativo de los demás tipos.

El interés del paso superior se sustenta en un condicionante muy importante a la hora de garantizar la interoperabilidad del sistema: los gálibos. En este sentido, se debe comprobar si los gálibos actuales serán capaces de satisfacer las necesidades establecidas por las ETI.

Por otra parte, el estudio de los pasos inferiores también tiene gran relevancia para poder determinar si estas estructuras van a poder resistir el paso de los vehículos ferroviarios conforme a los criterios de carga por eje y velocidad establecidos por la Especificación.

Así, este artículo tiene como punto de partida dos proyectos de obras de permeabilización que han dado lugar a una línea de investigación para establecer si es necesaria o no la adaptación de las mismas conforme a las ETI y a las normas UNE-EN asociadas a las mismas.

## 2. Parámetros de vía

Con este nombre se engloban los apartados referentes a la geometría de la vía y que pueden afectar a las obras de permeabilización de pasos a nivel.

El parámetro de vía más importante a tener en cuenta es el ancho de vía nominal, que condiciona el resto de parámetros y aspectos relacionados con el ferrocarril debido a que es distinto en Europa y en España. El ancho existente en España es el ibérico, 1668 mm, y en Europa el ancho internacional o UIC, 1435 mm.

Esta diferencia de anchos hace que se necesiten plataformas y aparatos distintos, así como distintas alineaciones y peraltes.

Este hecho condiciona, por tanto, los pasos superiores e inferiores. Los pasos superiores por el gálibo necesario y los inferiores por la plataforma del ferrocarril necesaria.

En la ETI de Infraestructura sólo se plantea el ancho de vía internacional, dado que el objetivo es permitir la operación en todos los países. Tanto la conicidad, el perfil del carril, la inclinación y la rigidez sólo dependen del ancho de vía, siendo igual en cálculo y en valores.

El parámetro más importante es el peralte, que puede llegar a condicionar los gálibos y las obras de permeabilización por extensión. Este queda definido en la NRV 2001: “Parámetros geométricos nuevas líneas de ancho internacional” de mayo de 1989.

El peralte es diferente en función del tráfico de la vía, si es de pasajeros, mercancías o tráfico mixto.

Tabla 2. Comparación peraltes ETI-NRV. Elaboración propia.

Ancho Internacional	Pasajeros	Mixto-Mercancías
ETI	180	160 y en $R < 290m$ $D \leq (R-50)/1,5$
NRV	100-150	100

Se observa una clara compatibilidad de peraltes, dado que la NRV es más restrictiva que la ETI. En las obras de permeabilización, si se ha cumplido con la NRV se cumple con la ETI por lo que no haría falta ninguna adaptación adicional.

La insuficiencia de peralte es la medida del confort de los viajeros, por lo tanto la ETI propone que cada vehículo considerado tenga sus criterios de medida, en función de sus criterios de homologación, a no ser que el vehículo no esté equipado con sistemas de compensación, en cuyo caso, con velocidades menores o iguales a 200 km/h, los valores de insuficiencia de peralte serán:

**Appendix A.** De 130 mm para trenes de mercancías,

**Appendix B.** De 150 mm para trenes de pasajeros.

En la NRV se diferencia también valores de insuficiencia en función de la velocidad:

Tabla 3. Insuficiencia de peralte en la NRV Elaboración propia

Ancho internacional	160 km/h	200-250 km/h	300 km/h
Pasajeros	Normal 50 mm Máximo 80 mm		
Mixto	Normal 50 mm Máximo 100 mm		Normal 50 mm Máximo 70 mm

La NRV vuelve a ser más conservadora, con valores máximos de 80 mm para trenes de pasajeros (50 mm de valor normal para la insuficiencia de peralte), y de 70 mm para trenes de mercancías. Si se ha cumplido con dichos valores, se cumple con la ETI.

### 3. Trazado de las líneas

El trazado de las líneas incluye los apartados más importantes en cuanto a geometría de las líneas, ya que depende del ancho de vía que haya.

Los aspectos más importantes en este punto son el gálibo, la entrevía y los radios de las alineaciones curvas y de los acuerdos verticales.

### 3.1. Gálibo de implantación de obstáculos

El gálibo es el contorno de referencia determinado para el paso del ferrocarril. Hay muchos tipos de gálibos, estáticos, dinámicos, de obstáculos, etc, tanto para ancho ibérico como para ancho internacional.

En las obras de permeabilización ha de tenerse en cuenta el gálibo de implantación de obstáculos, definido en la “Instrucción relativa a las acciones a considerar en el proyecto de puentes de ferrocarril”, de 25 de junio de 1975 (IAPF-75), utilizada hasta la entrada en vigor de la actual “Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de ferrocarril” de 24 de septiembre de 2007 (IAPF-07). Se utiliza la anterior, ya que es la que define los gálibos de implantación de obstáculos y además esta última ya incluye los parámetros de diseño marcados por la Unión Europea. Por esta razón, las obras de permeabilización a revisar corresponden a las construidas entre estas dos normativas.

El gálibo definido, entonces, en la IAPF-75 como gálibo de implantación de obstáculos es el siguiente:

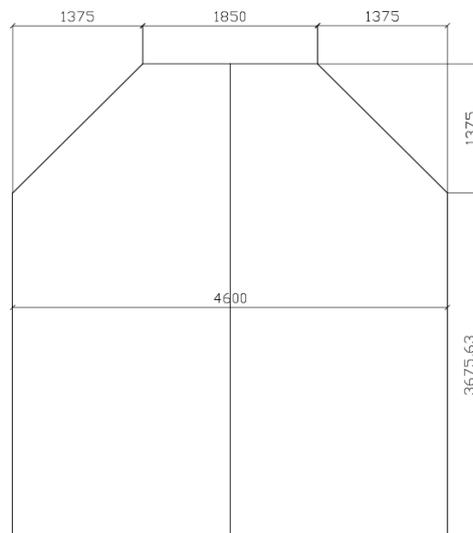


Figura 5. Gálibo de implantación de obstáculos en la IAPF-75. Elaboración propia.

Con este gálibo definido, hay que comprobar que el definido en la ETI y el exigido a España cabe en el de la IAPF-75. De esta manera, podrá confirmarse que, si en la construcción de la obra de permeabilización se cumplió dicha norma, se estará dentro de los parámetros de la ETI y no hará falta adaptación.

En la ETI de Infraestructura se remite a la norma UNE 15273 “Gálibos”, de mayo de 2011 que indica que el gálibo de implantación de obstáculos se calculará conforme al anexo C de dicha norma.

Hay tres tipos básicos de gálibos, como ya se ha definido en el apartado 1.2 del estudio:

En su origen, los gálibos GA, GB y GC se han definido para el transporte ferroviario de contenedores en Europa. Se recomienda liberar el gálibo GA en todas las redes interoperables, para los transportes de mercancías. Se recomienda prever itinerarios sobre la red europea, que correspondan al gálibo GB e incluso al GC.

Por tanto, con el fin de asemejarse al gálibo europeo y al mismo ancho, la ETI de Infraestructura propone que progresivamente se adapte el gálibo español a un tipo GC.

En España, ya se definió el gálibo para ancho internacional, en la NRV 2001 “Parámetros geométricos nuevas líneas de ancho internacional” de mayo de 1989:

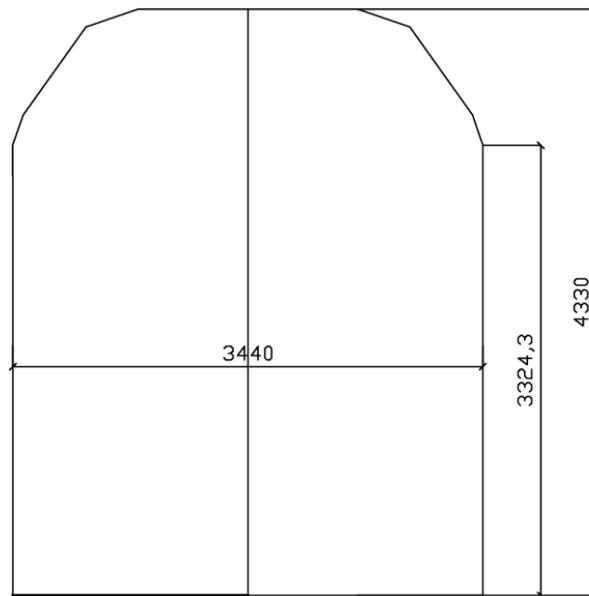


Figura 6. Gálibo de ancho internacional en la NRV. Elaboración propia.

Comparando estos gálibos con el exigido en la Unión Europea, se observa lo siguiente:

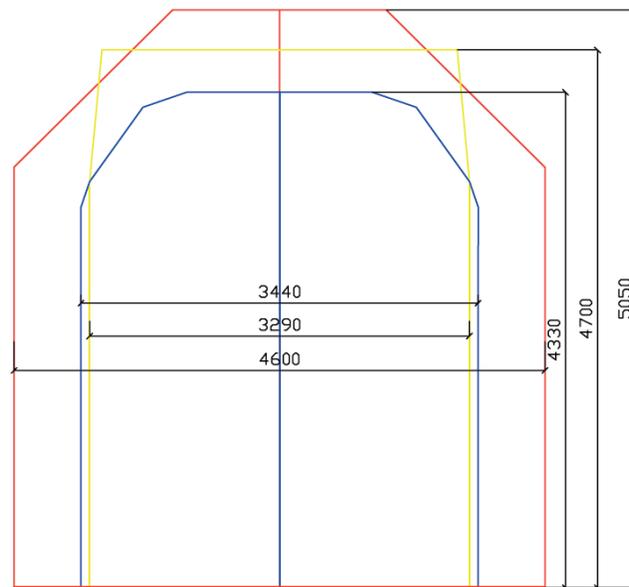


Figura 7. Comparación gálibos IAPF-75, ETI, NRV. Elaboración propia.

Es decir, el gálibo exigido por la Unión Europea en la ETI cabe en el gálibo de obstáculos propuestos en la IAPF-75, a excepción del triángulo superior. Por lo tanto, todos los pasos superiores que se hayan construido con la IAPF-75, dejando libre el triángulo superior exigido por la UNE, cumplen con la nueva norma, por lo que no es necesario adaptar dichas obras.

### 3.2. Entrevía

Otro caso distinto es la entrevía. Tanto en la IAPF-75 como en la NRV se ofrece un valor determinado: 3,70m y 4,30m, respectivamente. En cambio en la ETI se propone utilizar la UNE 15273, que dicta lo siguiente:

“Todos los márgenes, mencionados más arriba en el cálculo de la distancia límite entre los ejes de vías, están cubiertos por la distancia nominal entre los ejes de vías. La distancia nominal entre los ejes de vías presenta márgenes adicionales, que tienen que ser elegidos por el administrador de la infraestructura, sobre la base de los fenómenos que quiere cubrir:

1. un margen para aumentar el nivel de seguridad;
2. un margen adicional para el mantenimiento;
3. un margen para cubrir los fenómenos aerodinámicos;
4. un margen para facilitar la instalación de los aparatos de vía;
5. un margen para permitir la circulación de los transportes excepcionales;
6. una reserva para las modificaciones futuras de trazado o de gálibo;
7. márgenes para obtener una distancia entre ejes de vías invariable, que es fácilmente gestionable para los servicios de mantenimiento y de verificación, allí donde los márgenes reales son generosos;
8. márgenes adicionales para la seguridad de las personas salen del campo de aplicación de esta norma y se deben definir por la autoridad responsable.”

Por tanto, lo primero que cabría estudiar es la entrevía de las líneas actuales en los pasos superiores e inferiores, para que cumplan con lo dictado en la UNE. Tomando un valor tipo de entrevía de 4,30 m, los gálibos en vías dobles quedarían de la siguiente manera:

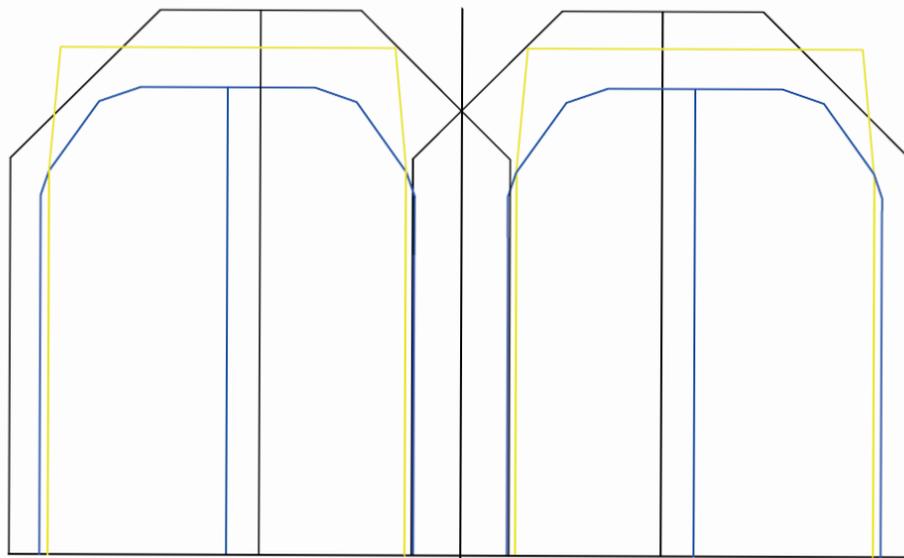


Figura 8. Comparación entrevía IAPF-75, ETI, NRV. Elaboración propia.

Si se cumple con la entrevía fijada, cabe esperar que los gálibos encajen excepto el triángulo superior que figura en la UNE. En estos casos, el coste implantación no sería, pues, excesivo.

Habría que estudiar el paso superior en su amplitud, para comprobar que cumplen, primero con la entrevía y después con los gálibos. Se estudian dos casos: puentes de uno y dos vanos, ya que el resto pueden considerarse repeticiones de estos. Si el puente tiene un vano y la vía es doble es igual que si el puente tiene dos vanos y se tienen cuatro vías o dos plataformas distintas.

En cualquier caso, habría que estudiar la anchura del paso según los siguientes valores:

Tabla 4. Comparación gálibo y entrevía NRV-ETI-IAPF-75

	Ancho de vía	Entrevía	Contorno gálibo
<b>NRV</b>	Internacional	4,30 m	3,44 m
<b>UNE</b>	Internacional	En función del gálibo	3,29 m
<b>IAPF-75</b>	Ibérico	3,70 m	4,60 m

En el caso de pasos inferiores, también habría que estudiar la entrevía, dado que puede suponer un aumento de la plataforma y del paso inferior. La ETI propone que la entrevía se calcule en función del gálibo, del tipo de carga y de la categoría de línea ETI.

Como ya se ha visto, esto no afecta a los pasos inferiores aunque se cambie de ancho ibérico a ancho internacional.

#### 4. Resistencia de la estructuras a las cargas

La especificación técnica de interoperabilidad (ETI) relativa al subsistema infraestructura, también hace referencia a la resistencia de las estructuras a las cargas del tráfico y a la resistencia de la vía a las cargas aplicadas como apartados fundamentales en la consideración de los parámetros básicos de diseño de vías interoperables.

Así pues, se hace necesario saber si las estructuras existentes, fruto de la aplicación de las normas vigentes en el periodo de tiempo en que fueron proyectadas, en primer lugar, y ejecutadas posteriormente, son suficientes para atender las necesidades establecidas por la ETI. Concretamente para este apartado, las únicas obras que se pueden ver afectadas por las cargas son los pasos inferiores y por tanto, las únicas que serán analizadas.

##### 4.1. Resistencia de las estructuras según instrucciones anteriores a ETI

Se establecen dos posibles casos en que pueden verse enmarcados tanto el proyecto como la construcción de los pasos inferiores: conforme la “Instrucción relativa a las acciones a considerar en el Proyecto de Puentes de Ferrocarril” de 1975, y según la actual “Instrucción de Acciones para Proyecto de Ferrocarriles” de 2007. Cabe señalar, que en España se han utilizado para el proyecto y ejecución de las obras ferroviarias, las Normas Renfe Vía, cuyo contenido, a pesar de no tener naturaleza legislativa, ha servido a lo largo de los años como patrón de seguimiento en el desarrollo de los mismos. En este caso, la NRV 1-2-3.0 relativa a “Puentes” de 1982, indica que se habría de seguir para el cálculo y dimensionamiento de los mismos la instrucción vigente por entonces, de 1975, mencionada unas líneas más arriba.

De este modo, las estructuras proyectadas para responder a la necesidad de permeabilización de las obras ferroviarias a partir del 25 de junio de 1975, hasta la entrada en vigor de la IAPF-2007, que sustituyó a la anterior, lo fueron bajo las pautas indicadas en la “Instrucción relativa a las acciones a considerar en el Proyecto de Puentes de Ferrocarril”. Para el cálculo de las sobrecargas móviles de uso, en ella se definen dos tipos de trenes de cargas en función de si el paso inferior va a soportar trenes de vía Renfe, y en consecuencia de ancho ibérico; u otro tipo de tren de cargas más sencillo para trenes de vía de ancho internacional.

En el primer caso, para cargas correspondientes a trenes de vía Renfe, se definen dos trenes de carga: A y B. La elección de uno u otro se basa en determinar cuál ofrece el resultado de sobrecarga más desfavorable para la estructura objeto de estudio.

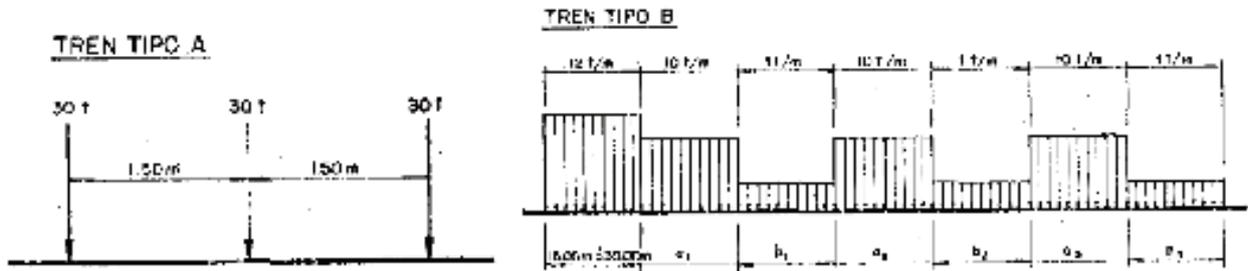


Fig. 9. (a) Tren tipo A - IPF-75; (b) Tren tipo B - IAP-75. Fuente: IPF-75

En el segundo caso, para aquellas cargas correspondientes a los ferrocarriles de vía de ancho internacional, se siguen las indicaciones de las Recomendaciones de la Union Internacional de Chemins de Fer, que estiman las sobrecargas convirtiendo las cargas reales en sobrecargas sencillas representadas mediante bloques rectangulares, respondiendo a un diagrama de esfuerzos uniforme y cuyos valores son los correspondientes a los que transmitiría cada una de las partes que conformen el tren: locomotora, vagones cargados y vagones vacíos.

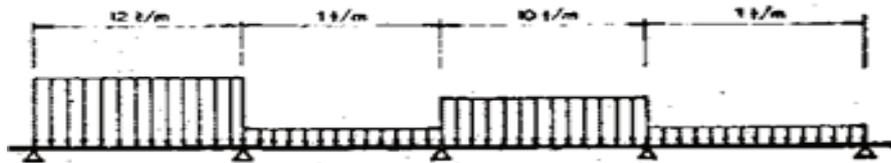


Fig. 10. Tren tipo a utilizar para vías de ancho UIC en el caso de proyectos de viaductos, pequeñas obras de fábrica y de acompañamiento. Fuente: IPF-75

Por el contrario, la instrucción de 2007 realiza un cálculo más pormenorizado modelizando el tren de cargas como el UIC71, mediante la aplicación de cuatro cargas puntuales de 250 kilonewton, distanciadas entre sí 1,6 metros y acompañadas, a 0,8 metros de distancia a ambos lados de las mismas, por cargas uniformemente repartidas de 80 kilonewton por metro en una longitud indefinida. Estando situadas en la posición más desfavorable para el elemento objeto de estudio. En la figura se puede apreciar el esquema de fuerzas correspondiente a dicho tren.

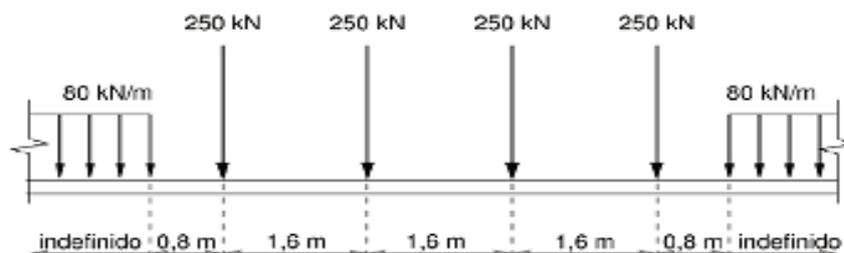


Fig. 11. Tren UIC71 para el cálculo de las sobrecargas móviles de uso. Fuente: IAPF-2007

Esta instrucción, una vez definido el tren de cargas, estima el cálculo de la sobrecarga, particularizada para el caso concreto que se esté analizando, mayorándola debido a la aplicación simultánea de un coeficiente de impacto, correspondiente al efecto amplificador del paso de los vehículos ferroviarios debido fundamentalmente a la acción de la carga por eje que transmiten los mismos; y a la consideración de un coeficiente de clasificación alfa, que en el caso de las vías de ancho UIC tiene un valor de 1,21. Se toma para este estudio el coeficiente

alfa correspondiente a vías de ancho UIC puesto que es la situación futura en la que estará España cuando se cumplan los requisitos establecidos por la ETI.

Se toma como valor definitorio en el cálculo de la sobrecarga de uso el resultado obtenido del cálculo del coeficiente de impacto. De este modo, teniendo en cuenta ambas instrucciones para el cálculo de la sobrecarga de uso, se observa que al aplicar la fórmula para el coeficiente de impacto según la IAPF-75, se obtiene un valor inferior que si se utiliza el método simplificado<sup>1</sup>, para velocidades inferiores a 220 km/h, multiplicado por el coeficiente de clasificación tal y como establece la IAPF-2007. Así pues, se puede concluir que el cálculo de las sobrecargas de uso está mayorado con respecto a las sobrecargas de uso calculadas según la anterior instrucción. La causa por la cual existe esta diferencia es la consideración de un tren de cargas diferente, el tren UIC71<sup>2</sup> y la aplicación del coeficiente de clasificación alfa, de valor 1,21, que según la propia instrucción indica, sirve para tener en cuenta la envolvente causada por el tren tipo normalizado según la instrucción UNE-EN 1991-2:2003, amplificando la envolvente del tren UIC71 y cubriendo de esta manera el tren tipo SW/0 definido en la citada norma UNE.

A continuación se pueden observar ambas fórmulas utilizadas en el cálculo de la sobrecarga de uso en cada una de las instrucciones citadas

$$\text{IAP-1975: } I = 65 \cdot \frac{\mu}{2 \mu + \mu^2} = 1,145 \quad (1)$$

Donde la única variable interviniente, el coeficiente  $\mu$ , depende de la velocidad de paso del vehículo ferroviario, la luz del elemento objeto de estudio y el periodo de vibración del dintel.

$$\text{IAPF-2007: } I = \frac{1,44}{\sqrt{1 + 0,2}} = 1,273 \quad (2)$$

Donde la única variable que interviene en la misma es la longitud equivalente, definida por la longitud media, medida en la línea media de la estructura, de los hastiales y el dintel, multiplicados por un factor 1,3.

En este caso se ha calculado para el paso inferior en el que se basa el estudio, para el cual se demuestra que el calcularlo de una u otra manera es claramente influyente, sobre todo teniendo en cuenta que estos resultados todavía no han sido afectados por el coeficiente de clasificación. En la siguiente tabla resumen se muestra esa clara afección así como la variación incremental resultante:

INSTRUCCIÓN	Coefficiente de Impacto	Coefficiente de clasificación ( $\alpha$ )	Coefficiente conjunto
IPF-1975	1,145	-	1,145
IAPF-2007	1,273	1,21	1,540
		<b>VARIACIÓN</b>	<b>+0,395</b>

Tabla 5. Coeficientes de aplicación para el cálculo de sobrecargas de uso

Una vez realizada la comparativa entre los resultados arrojados según las diferentes normativas, se puede concluir que los pasos realizados bajo la instrucción IAPF-2007 estarán dimensionados de forma que cumplan holgadamente debido a un incremento de la sobrecarga de uso, con respecto a los pasos calculados conforme a la IPF-1975, y por tanto serán capaces de resistir un tren de cargas mayor como consecuencia del incremento de velocidad o de las cargas por eje que transmitan los vehículos ferroviarios.

#### 4.2. Resistencia de las estructuras según ETI

Según la ETI, y siempre con el fin de atender al criterio fundamental de la interoperabilidad entre los sistemas ferroviarios de la Unión Europea, para el cálculo de la resistencia de las estructuras a las cargas del tráfico,

<sup>1</sup>El resultado obtenido por el método simplificado para el cálculo de coeficiente de impacto, es el más adecuado para el cálculo de estructuras tipo marcos de hormigón o pórticos como obras de permeabilización ferroviaria. Por esta razón se ha estudiado y comparado el valor obtenido por este método con el valor obtenido según las indicaciones de la anterior norma IPF-75.

<sup>2</sup>También llamado LM71 en el Eurocódigo

deben aplicarse los requisitos de la norma EN 1991-2:2003 Concretamente, en lo que se refiere al cálculo de las resistencia de los puentes nuevos a las cargas del tráfico, la ETI establece que se diseñarán las estructuras para que soporten las cargas establecidas en la norma UNE mencionada, aplicando el Modelo de Carga 71 y que además, para puentes continuos, se aplicará el modelo de Carga SW/0. Además, ambos se verán modificados por un factor alfa mínimo fijado según la categoría de la línea ETI y que se recoge en la siguiente tabla:

Tipos de línea o categorías de línea ETI	Factor alfa (a) mínimo
IV	1,1
V	1,0
VI	1,1
VII-P	0,83
VII-F, VII-M	0,91

Fig. 12. Cuadro 6 de la Decisión 2011/275/UE relativa al subsistema Infraestructura.

Dicho factor alfa se corresponde con el valor del coeficiente de clasificación ya mencionado en la IAPF-2007. Como se puede apreciar, el coeficiente utilizado en la instrucción es mayor a los indicados en la tabla, demostrando en este sentido, el cumplimiento de la Instrucción española para con el canon establecido por la Decisión.

Además, la ETI de infraestructura insta al cumplimiento de unos requisitos mínimos de capacidad de las estructuras para cada línea ETI según el anexo E de la Decisión 2011/275/UE. Dicho anexo establece los requisitos mínimos de capacidad de las estructuras según la categoría de línea ETI a la cual pertenece la plataforma ferroviaria en la que se disponen las obras de permeabilización objeto de estudio.

Este anexo define que el horizonte en cuanto a las estructuras es que las pertenecientes a las líneas principales nuevas de la red TEN, sean las que soporten unas mayores cargas por eje, 25 toneladas máximo, así como que permitan unas velocidades y longitudes de tren mayores, garantizadas mediante la implantación de un gálibo GC, del que ya se ha hablado previamente.

Todo lo arriba definido es aplicable para la sustitución de una estructura existente por otra nueva o para ejecución de obras nuevas.

En el caso de una estructura existente, y concretamente para el caso español, al haberse construido ya estructuras conforme a la IAPF-2007 que tiene en cuenta los requerimientos de la ETI, se plantean dos opciones:

- En el caso de que la estructura haya sido proyectada y en consecuencia, construida, según la IAPF-2007, no será necesario el refuerzo de la misma.
- En el caso de que la estructura haya sido proyectada y construida conforme a la IAPF-1975 o según prescripciones o sistemas alternativos, será necesario hacer una comprobación basada en la satisfacción de los requerimientos establecidos en el anexo E de la Decisión 2011/275/UE.

Las estructuras que se corresponden con la definición anterior, son aquellas que pertenecen a la categoría de línea ETI de líneas principales sujetas de ser acondicionadas de la red TEN. Para ellas, se requiere que, al menos, sean capaces de soportar una carga por eje de entre 20-22,5 toneladas<sup>3</sup> por eje. Estas cargas corresponden a la categoría C4 y D4 de la norma EN 15528:2008 respectivamente y ambas están recogidas en los modelos de carga de la norma EN1991-2 en el tren UIC71 y el SW0, ya mencionados anteriormente, ambos recogidos en la norma IAPF-2007. Con lo cual, la posible modificación o sustitución de las mismas deberá hacerse bajo esta instrucción ya que cumple con los criterios establecidos por la ETI. Esto es que, en el caso de que la estructura existente no cumpla con la capacidad portante mínima combinada con la velocidad permitida, exigida por los requisitos de la categoría de línea ETI a la cual pertenecen, no estará cumpliendo los requisitos de

interoperabilidad. Por esta razón, y con el fin de satisfacer el cumplimiento de ambos condicionantes, se tendrán que ejecutar aquellas obras oportunas para permitir la garantía de los mismos.

## 5. Conclusiones

Las Especificaciones Técnicas de Interoperabilidad pretenden asegurar que el tráfico ferroviario por toda Europa no tenga limitaciones, garantizando en todo momento el servicio a todos los países miembros de la Unión. Es muy importante, en este sentido, que los países recojan esas especificaciones, estudiándolas, para poder comprobar si la normativa en esa materia ya las recoge o por el contrario, es necesario renovar la normativa para asumir el contenido de las ETI.

Este artículo refleja el estudio de la Especificación Técnica de Interoperabilidad del subsistema de Infraestructura, primer subsistema que se debe adecuar si se quiere garantizar el cumplimiento de las Especificaciones en el periodo de tiempo previsto por la Unión Europea.

Las obras de permeabilización del ferrocarril son fundamentalmente las afectadas por esta ETI puesto que han sido dimensionadas conforme a normativas anteriores y casi siempre con una tendencia a ajustarse a los valores mínimos prefijados, siguiendo siempre la línea de la optimización tanto estructural como geométrica con el fin de conseguir un equilibrio entre la técnica y la economía. De este modo, los pasos superiores y los pasos inferiores ejecutados en España con anterioridad a la publicación de la ETI o incluso los que están siendo construidos ahora deben de considerar los siguientes aspectos:

En los pasos inferiores se debería estudiar, principalmente, la resistencia de las estructuras, procediendo al estudio de los pasos inferiores en el caso de que no hayan sido proyectados bajo la IAPF-2007 con el fin de poder definir la capacidad portante de la estructura en cuestión y comprobar si cumple los criterios establecidos por el anexo E de la ETI relativa al subsistema infraestructura. La posible afección en cuanto a los gálibos, solo supondría un incremento a nivel longitudinal del paso, por tanto y tras el análisis estructural pertinente.

Respecto a los pasos superiores, los parámetros que deberían revisarse son entrevías, gálibos y peraltes. En primer lugar habría que definir la entrevía necesaria, calculada según la UNE, conforme a los gálibos necesarios. Después, se medirían los gálibos actuales para que cumplieran con el anexo C de la norma UNE y por tanto con la ETI. En último lugar se comprobarían peraltes, definidos en la ETI en función del tipo de tráfico de la línea y de los vehículos utilizados en las mismas. En general, si los pasos están dimensionados conforme a las NRV, pueden cumplir con la ETI sin excesivos costes económicos ni repercusiones geométricas.

Estas conclusiones son aplicables, en líneas generales, a todas las obras de permeabilización. No obstante, para saber si una estructura es válida o no, debería hacerse un estudio pormenorizado de la misma, con el fin de establecer una afirmación o una negación en cuanto al cumplimiento de los requerimientos de las líneas ETI.

Por tanto, la Especificación Técnica de Interoperabilidad deja bastante margen a los países miembros de la Unión Europea a la hora de calcular los requerimientos necesarios que permitan la operación en ellos, así como el empleo de tecnologías o soluciones específicas en el subsistema de infraestructura.

## Referencias

[1] Directiva del Consejo 91/440/CEE, de 29 de julio de 1991, sobre el desarrollo de los ferrocarriles comunitarios.

[2] Decisión de la Comisión, de 30 de mayo de 2002, sobre la especificación técnica de interoperabilidad relativa al subsistema «Infraestructura» del sistema ferroviario transeuropeo de alta velocidad mencionado en el apartado 1 del artículo 6 de la Directiva 96/48/CE

<sup>3</sup> Según tabla anexo E de Parámetros Característicos para las categorías de línea ETI.

[3] Directiva 2004/50/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 29 de abril de 2004, por la que se modifican la Directiva 96/48/CE del Consejo relativa a la interoperabilidad del sistema ferroviario transeuropeo de alta velocidad y la Directiva 2001/16/CE del Parlamento Europeo y del Consejo relativa a la interoperabilidad del sistema ferroviario transeuropeo convencional.

[4] Decisión de la Comisión, de 28 de marzo de 2006, sobre la especificación técnica de interoperabilidad relativa al subsistema de control y mando y señalización del sistema ferroviario transeuropeo convencional.

[5] Decisión de la Comisión, de 28 de julio de 2006, sobre la especificación técnica de interoperabilidad relativa al subsistema “material rodante-vagones de mercancías” del sistema ferroviario transeuropeo convencional.

[6] Decisión de la Comisión, de 11 de agosto de 2006, sobre la especificación técnica de interoperabilidad referente al subsistema “Explotación y gestión del tráfico” del sistema ferroviario transeuropeo convencional.

[7] Directiva 2008/57/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 17 de junio de 2008, sobre la interoperabilidad del sistema ferroviario dentro de la Comunidad.

[8] Decisión de la Comisión, de 19 de octubre de 2009, que modifica las Decisiones 2006/679/CE y 2006/860/CE en lo que se refiere a las especificaciones técnicas de interoperabilidad relativas a subsistemas de los sistemas ferroviarios transeuropeos convencional y de alta velocidad.

[9] Libro Verde, de 4 de febrero de 2009, RTE-T: Revisión de la política: Hacia una red transeuropea de transporte mejor integrada al servicio de la política común de transportes.

[10] Reglamento 913/2010 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 22 de septiembre de 2010, sobre una red ferroviaria europea para un transporte de mercancías competitivo.

[11] Decisión de la Comisión, de 26 de abril de 2011, sobre la especificación técnica de interoperabilidad del subsistema de infraestructura del sistema ferroviario transeuropeo convencional.

[12] Libro Blanco, de 28 de marzo de 2011, hoja de ruta hacia un espacio único europeo de transporte: por una política de transportes competitiva y sostenible.

[13] Norma UNE-EN 15273 Aplicaciones ferroviarias: Gálibos, parte 3: Gálibo de implantación de obstáculos.

[14] NRV 2-0-0.0 Parámetros geométricos, 1989. Norma Renfe Vía.

[15] NRV 2-0-0.1 Parámetros geométricos nuevas líneas de ancho internacional, 1989. Norma Renfe Vía.

[16] NRV 3-8-1.0 Aparatos de vía combinados: Escapes, 1993. Norma Renfe Vía.

[17] NRV 3-8-2.0 Aparatos de vía combinados: Haces de vías, 1992. Norma Renfe Vía.

[18] NRV 7-3-2.0 Calificación de la vía: Ancho de vía, 1983. Norma Renfe Vía.

[19] NRV 7-3-2.5 Calificación de la vía: Inclinación del carril, 1992. Norma Renfe Vía.

[20] NRV 7-3-6.0 Calificación de la vía: Alineación, 1983. Norma Renfe Vía.

[21] Instrucción relativa a las acciones a considerar en el proyecto de puentes de ferrocarril, de 25 de junio de 1975, Ministerio de Obras Públicas.

[22] Instrucción relativa a las acciones a considerar en el proyecto de puentes de ferrocarril, de 24 de septiembre de 2007, Ministerio de Fomento.

[23] Declaración de red (2011), Adif.

[24] Barca González, R (2010). Estudio de estructuras ferroviarias sometidas a acciones dinámicas de tráfico. Master de Estructuras, Cimentaciones y Materiales, Universidad Politécnica de Madrid.