

ACCIONES DE FERROCARRIL. MODELOS DE CARGA

José M. SIMÓN-TALERO MUÑOZ¹

Resumen

El modelo de cargas a considerar en el Proyecto de Puentes de Ferrocarril ha variado a lo largo de los tiempos. Comienza este documento con una sinopsis histórica de los trenes de cargas verticales adoptados en España en el pasado siglo y pasa después a la presentación del modelo de cargas verticales propuesto en la IAPF-07. Para justificar su validez se comparan los efectos longitudinales que produce con los generados por los modelos UIC-71 y SW/0 que son los adoptados en los Eurocódigos. Por último, se muestran algunos resultados de los análisis efectuados con vistas a asegurar la interoperabilidad en la red ferroviaria transeuropea en función del tren de cargas verticales adoptados.

Palabras clave: modelo de cargas, IAPF, UIC-71, SW/0, tren de cargas verticales, interoperabilidad

1 INTRODUCCIÓN

La “Instrucción de Acciones en Puentes de Ferrocarril” IAPF-07, fue aprobada por OM 3671/2007 de 24 de Septiembre y publicada en el BOE de 17 de Diciembre de 2007. Entre las novedades que aporta esta nueva Instrucción figura la adopción de un nuevo tren de cargas verticales, diferente a los propugnados en Instrucciones anteriores.

El objeto de esta comunicación es triple. Por un lado, se presenta el modelo de cargas verticales propuesto, después de haber hecho una breve revisión histórica de los trenes de cargas vigentes en España desde 1902. Se pasa después a la comparación de los esfuerzos cortantes y flectores que genera dicho modelo de cargas con los que producen los trenes UIC-71 y SW/0, que son los adoptados en los Eurocódigos estructurales. Este análisis se lleva a cabo en puentes tipo viga, isostáticos y continuos de varios vanos de luces iguales. Por último, se analizan también los efectos de algunos trenes tipo utilizados para definir la interoperabilidad en las líneas ferroviarias transeuropeas, con vistas a conocer si están debidamente cubiertos sus efectos longitudinales con el tren de cargas verticales propuesto en la IAPF-07.

Es de destacar que lo que se incluye en el presente documento sólo corresponde a los efectos estáticos del modelo de cargas verticales representativo de las sobrecargas de uso ferroviario.

¹ Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

TORROJA INGENIERÍA, S.L.

Profesor Asociado de la ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Madrid

Las consideraciones dinámicas y de interacción vía-estructura son objeto de comunicaciones separadas y que figuran a continuación de este artículo.

Por último, indicar que en el presente documento sólo se han considerado las cargas verticales, aunque para el Proyecto haga falta considerar el resto de las acciones producidas por la sobrecarga de uso ferroviario, a saber: frenado y arranque, fuerza centrífuga, efecto lazo y descarrilamientos accidentales. Indicar, también, que no se hace mención en estas líneas, aunque sí se contemplan profusamente en el articulado de la IAPF, aspectos de detalle referentes a las sobrecargas de uso verticales tales como: sobrecargas a considerar en el caso de vías múltiples, reparto local de las cargas, ubicación transversal de las cargas o excentricidades de su aplicación.

2 LA HISTORIA DEL TREN DE CARGAS EN ESPAÑA

2.1 Las Instrucciones para la redacción del proyecto de puentes metálicos

2.1.1 La Instrucción de 1902

El 5 de Junio de 1902 publica la Gaceta de Madrid la “Instrucción para la redacción de proyectos de puentes metálicos” cuyo capítulo primero se titula “Cargas y demás esfuerzos exteriores que se deberán admitir como base de los cálculos de resistencia”. En su artículo 2º se define el “*tren tipo para puentes de ferrocarril de vía ancha o normal*” que consta, en esencia, de un tren que puede ocupar cualquier posición sobre el tablero. La composición de dicho tren es la que sigue, conforme se define gráficamente en la figura adjunta:

- Dos locomotoras de 52 T de peso y 9 m de longitud cada una, con una carga por eje de 14 T.
- Dos “ténders” de 31,5 T de peso y 6,5 m de longitud con una carga por eje de 10,5 T.
- Una serie indefinida de vagones con ejes situados cada 3-4 m y peso por eje de 10,5 T.

Este fue el tren tipo sometido al dictamen del Consejo de Obras Públicas que informó favorablemente sobre ello y comparó la máquina adoptada con la del tren tipo francés de cuatro ejes de 14 toneladas y 8,8 m de longitud y con la admitida en la circular austriaca de 1.887 que pesaba 52 toneladas y medía 9,5 m de longitud, resultando ambas algo más pesadas que la española. Sin embargo, las cargas uniformes equivalente que se obtenían al considerar cada locomotora unida a su tender eran:

- $83,5/15,5 = 5,38$ T/m para el tren español,
- $80,0/15,3 = 5,23$ T/m para el tren francés y
- $82,0/15,60 = 5,24$ T/m para el tren austriaco

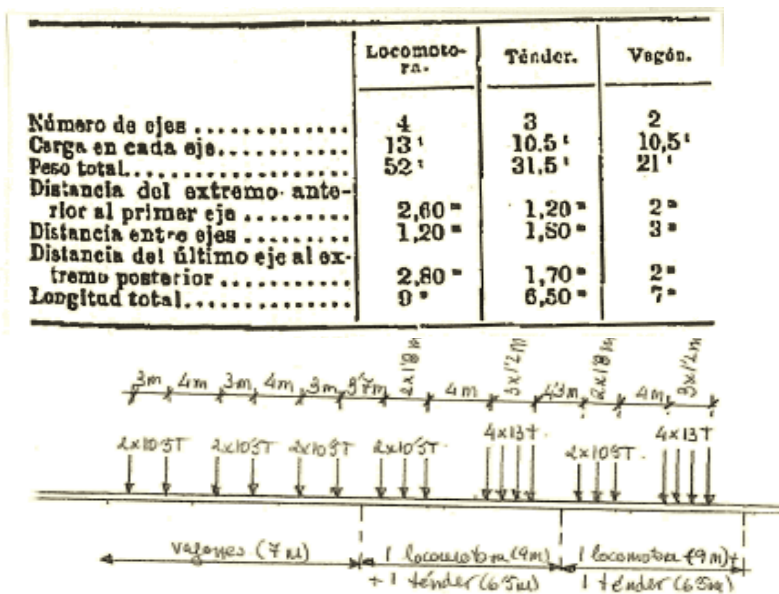


Figura 1. Tren tipo de la “Instrucción de 1902”

En lo que respecta al peso de los vagones, la Instrucción Española adopta como representativo vagones de 7 m de longitud, 21 toneladas de peso total y 10,5 toneladas de peso por eje, que da un peso equivalente de 3 T/m frente a los 2,7 T/m y 2,3 T/m que propugnaban, respectivamente, las Administraciones francesa y austriaca.

2.1.2 La Instrucción de 1925

El 24 de Octubre de 1925 se hace oficial en el número 297 de la Gaceta de Madrid la nueva “Instrucción para el cálculo de tramos metálicos” que, además, le supuso a su autor, el Profesor de la Escuela Especial de Ingenieros de Caminos, D. Domingo Mendizábal, la concesión de la Cruz de Alfonso XII.

Se dice en el dictamen emitido por el Consejo de Obras Públicas que las cargas y sobrecargas que se propugnaba en la Instrucción de 1902, “*muy prudentes para la época en la que se fijaron, no se acomodan a la realidad y menos aún ofrecen garantías para época futura, dada la marcha progresiva y rápidamente creciente del peso y de la velocidad de los vehículos que recorren carreteras y ferrocarriles.....*” También se dice, en el citado dictamen, que los eminentes ingenieros Zafra y Ribera adoptaron los mismos tipos de sobrecargas para la definición de las acciones a considerar en relación con obras de hormigón y de fábrica.

En definitiva el tren tipo propuesto por Mendizábal en 1925 está constituido por los siguientes elementos móviles, conforme a lo que se ilustre en la figura adjunta:

- Dos locomotoras de 100 T de peso total y 10 m de longitud con cargas por eje de 22 T/eje.
- Dos ténders de 72 toneladas de peso, 8 m de longitud y 18 toneladas de carga por eje.
- Una sucesión indefinida de vagones de 64 toneladas de peso, 10 m de longitud y 16 toneladas de carga por eje.

CARACTERÍSTICAS DE	MAQUINA	TENDER	VAGON CARGADO
Longitud total.....	10,00 metros.	8,00 metros.	10,00 metros.
Número de ejes.....	5	4	4
Separación de las cabezas de los topes a los ejes extremos.....	1,50 metros.	1,50 metros.	1,00 metros.
Separación entre los ejes primero y segundo.....	2,50 --	1,50 --	1,50 --
Separación entre los ejes segundo y tercero.....	1,50 --	2,00 --	5,00 --
Separación entre los ejes tercero y cuarto.....	1,50 --	1,50 --	1,50 --
Separación entre los ejes cuarto y quinto.....	1,50 --	3	3
Carga del eje líder.....	12.000 kilogramos.	18.000 kilogramos.	16.000 kilogramos.
Carga de los otros ejes.....	22.000 --	72.000 --	64.000 --
Peso total.....	100.000 --	9.000 --	6.400 --
Peso medio por metro lineal.....	10.000 --		

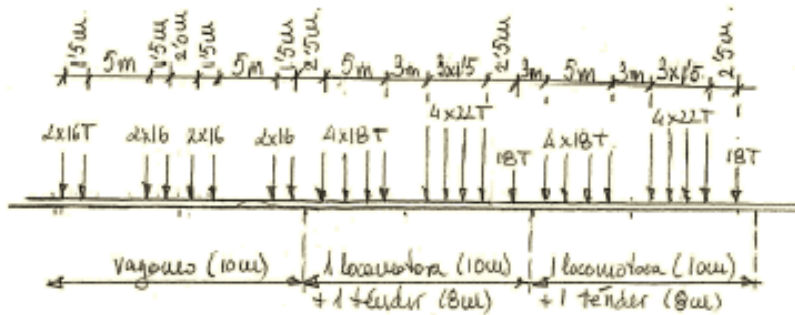


Figura 2. Tren tipo de la “Instrucción de 1925”

La carga final equivalente que resultaba era de 10 T/m para la locomotora, 9 T/m para el tender y de 6,4 T/m para los vagones, valores sensiblemente mayores que los definidos en la anterior Instrucción de 1902.

2.1.3 La Instrucción de 1956

Pasan cerca de 31 años y el 21 de Agosto de 1956 se publica en el BOE la nueva “Instrucción para el cálculo de tramos metálicos y previsión de los efectos dinámicos de las sobrecargas en las de hormigón armado” mencionándose en su Memoria que tres fueron las fuentes de información utilizadas para su elaboración, a saber: “*el examen de instrucciones vigentes en otros países, las conclusiones adoptadas por varios Congresos y el avance técnico observado desde la fecha de la antigua Instrucción*”. En la Memoria de la Instrucción figuran unos cuadros comparativos de cargas consideradas en diferentes Instrucciones vigentes en diversos países. Además se hacía referencia a las conclusiones del Congreso de Ferrocarriles celebrado en Roma en 1950, siendo de destacar los siguientes aspectos:

- La Instrucción española de 1925 prescribía uno de los menores pesos, en toneladas por metro lineal, tanto en lo que se refiere a las locomotoras como en lo que concierne a los vagones.
- Gran número de locomotoras tiene un peso por eje muy próximo a 25 toneladas, y “*como en España, se tiende a electrificar muchas línea y a emplear en otras la tracción diesel, ambas con ejes de pesos más reducidos que los de las locomotoras a vapor*”.
- “*Es muy generalizado en instrucciones europeas considerar el peso de tres sobrecargas concentradas de 30 toneladas cada una, separadas 1,5 m. Esta hipótesis se fundamenta en el frecuente desequilibrio de peso entre algunos ejes, por defecto de los muelles que los unen al bastidor, o de la repartición desigual de la carga entre las dos ruedas de un mismo eje*”.

En base a lo expuesto, la Instrucción de 1956 fija una sobrecarga de uso para los puentes de ferrocarril de vía ancha compuesta por el tren tipo que sigue, conforme a lo que se muestra en la figura adjunta.

- Dos locomotoras de 118 T de peso total y 10 m de longitud total con una carga por eje de 25 T.
- Dos “ténders” de 88 T de peso total 8 m de longitud y carga por eje de 22 T/eje.
- Una sucesión indefinida de vagones de 80 toneladas de peso total, 10 m de longitud y 20 toneladas por eje.

Características	Locomotora	Ténder	Vagón
Longitud total	10,00 m.	8,00 m.	10,00 m.
Número de ejes	5	4	4
Distancia de los ejes delanteros a las cabezas de los topes	1,50 m.	1,70 m.	1,50 m.
Separación entre los ejes 1.º y 2.º	2,50 m.	1,50 m.	1,50 m.
— — — — — 2.º y 3.º	1,50 m.	1,80 m.	4,00 m.
— — — — — 3.º y 4.º	1,50 m.	1,50 m.	1,50 m.
— — — — — 4.º y 5.º	1,50 m.	—	—
Distancia entre el eje 4.º y el tope posterior	—	1,50 m.	1,50 m.
Distancia entre el 5.º eje y el tope posterior	1,50 m.	—	—
Peso del eje bisel	18,00 ton.	—	—
Peso de los demás ejes	25,00 ton.	22,00 ton.	20,00 ton.
Peso total	118,00 ton.	88,00 ton.	80,00 ton.
Peso por metro lineal	11,80 ton.	11,00 ton.	8,00 ton.

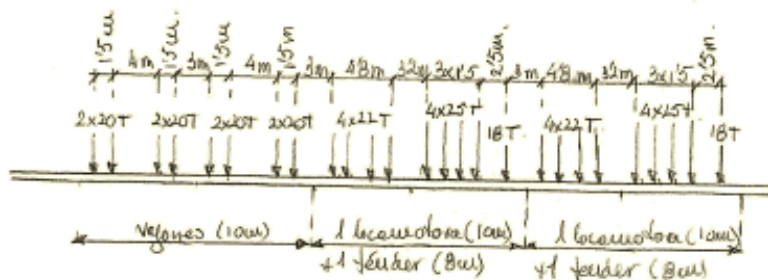


Figura 3. Tren tipo de la “Instrucción de 1956”

Las cargas propuestas eran equivalentes a 11,8 T/m en la zona de locomotoras, 11,0 T/m en la zona de tenders y 8,0 T/m en la zona de vagones.

Es de destacar que, como ya se ha indicado, adicionalmente se debían comprobar los elementos resistentes bajo la actuación de tres cargas concentradas de 30 toneladas cada una, separadas 1,5 m entre sí.

2.2 La “Instrucción relativa a las acciones a considerar en el Proyecto de Ferrocarril” de 1975

En el BOE de 20 de Agosto de 1975 se publica la “Instrucción relativa a las acciones a considerar en el Proyecto de Ferrocarril” (en adelante IAPF-75) que deroga el articulado correspondiente a las acciones ferroviarias que se definían en la Instrucción para el proyecto de tramos metálicos de 1956. En esta nueva Instrucción se dicta que para el cálculo de puentes de ferrocarril de vía RENFE se deben considerar dos trenes tipo: el tren A y el tren B.

El tren A es el que ya se propugnaba en la Instrucción de 1956, constituido por tres cargas puntuales de 30 T cada una, separados 1,5 m entre sí.

El tren tipo B está constituido por:

- Una sobrecarga uniforme repartida de 12 T/m extendida en una longitud de 15 ó 30 m.
- Una sucesión de sobrecargas repartidas de 10 T/m o de 1 T/m que siguen inmediatamente a la anterior. La longitud, a_i , en que se extiende la sobrecarga de 10 T/m, y la longitud, b_i , en que se extiende la sobrecarga de 1 T/m serán tales que se produzca los efectos más desfavorables en cada elemento en estudio.

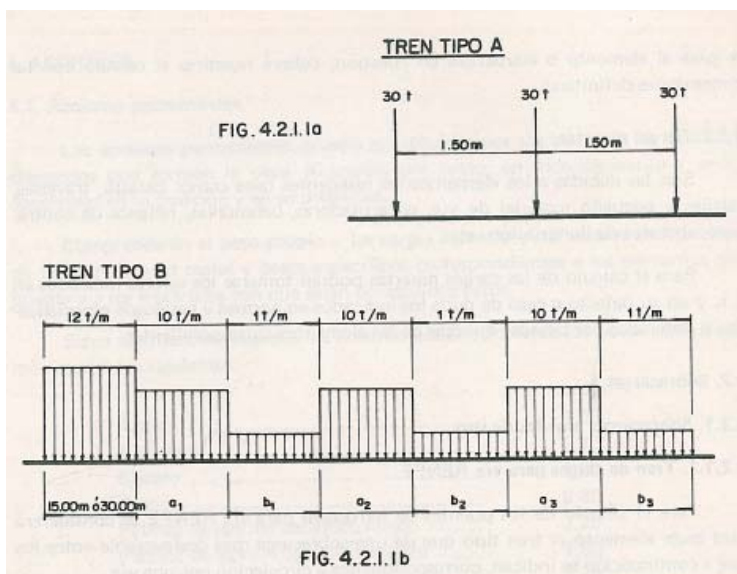


Figura 4. Modelo de sobrecargas verticales de la Instrucción de acciones de 1975

Se especifica explícitamente en el articulado que las sobrecargas de 10 T/m y de 1 T/m tendrán el carácter de indefinidas y no deberán tener solución de continuidad.

3. LOS MODELOS DE CARGAS EUROPEOS

3.1. Modelo de carga UIC-71

En el año 1971 la UIC (Unión Internacional de Ferrocarriles) elaboró su ficha 702 [1] relativa al “Esquema de cargas a considerar en el cálculo de obras ferroviarias en líneas internacionales” que consistía, básicamente, en las siguientes cargas verticales, conforme a lo que se muestra en la figura adjunta:

- 4 cargas verticales de 25 Toneladas cada una, separadas 1,6 m entre sí.
- Unas sobrecargas uniformemente repartidas de 8 T/m de valor que pueden situarse en cualquier posición, excepto en los 6,4 m ocupados por las cargas puntuales ya referidas.

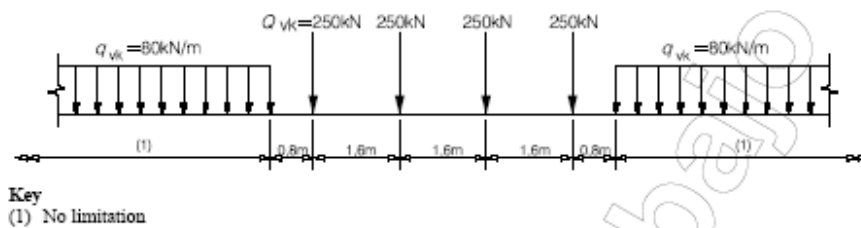


Figura 5. Tren de cargas UIC-71

La UIC propugna, además, la consideración de dos modelos de cargas adicionales los llamados SW/0 y SW/2 con la definición que se muestra en la figura tomada de la ficha UIC 776-1,R de Agosto de 2006 [2]. El modelo SW/0 corresponde a un tráfico normal y el SW/2 a un tráfico pesado.

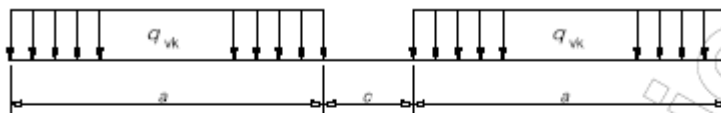


Figure 6.2 - Load Models SW/0 and SW/2

Table 6.1 - Characteristic values for vertical loads for Load Models SW/0 and SW/2

Load Model	q_{vk} [kN/m]	a [m]	c [m]
SW/0	133	15,0	5,3
SW/2	150	25,0	7,0

Figura 6. Modelo de cargas SW/0 y SW/2

3.2 Trenes tipo

En la citada ficha UIC-776 se mencionaba que para el ajuste del modelo de cargas UIC-71 “se han agrupado los trenes reales en 6 tipos representativos..... Se han obtenido los esfuerzos máximos en función de la luz para 3 de los 6 trenes tipo en puentes simplemente apoyados”, lo cual sirvió para calibrar el modelo y verificar su ajuste a los efectos que producen los citados trenes tipo reales.

En la figura que sigue se presenta una copia de la página de la citada ficha UIC-776 en la que se definen los trenes tipo mencionados.

Tableau 4 : Différents trains de service utilisés pour déterminer le modèle de charges UIC 71

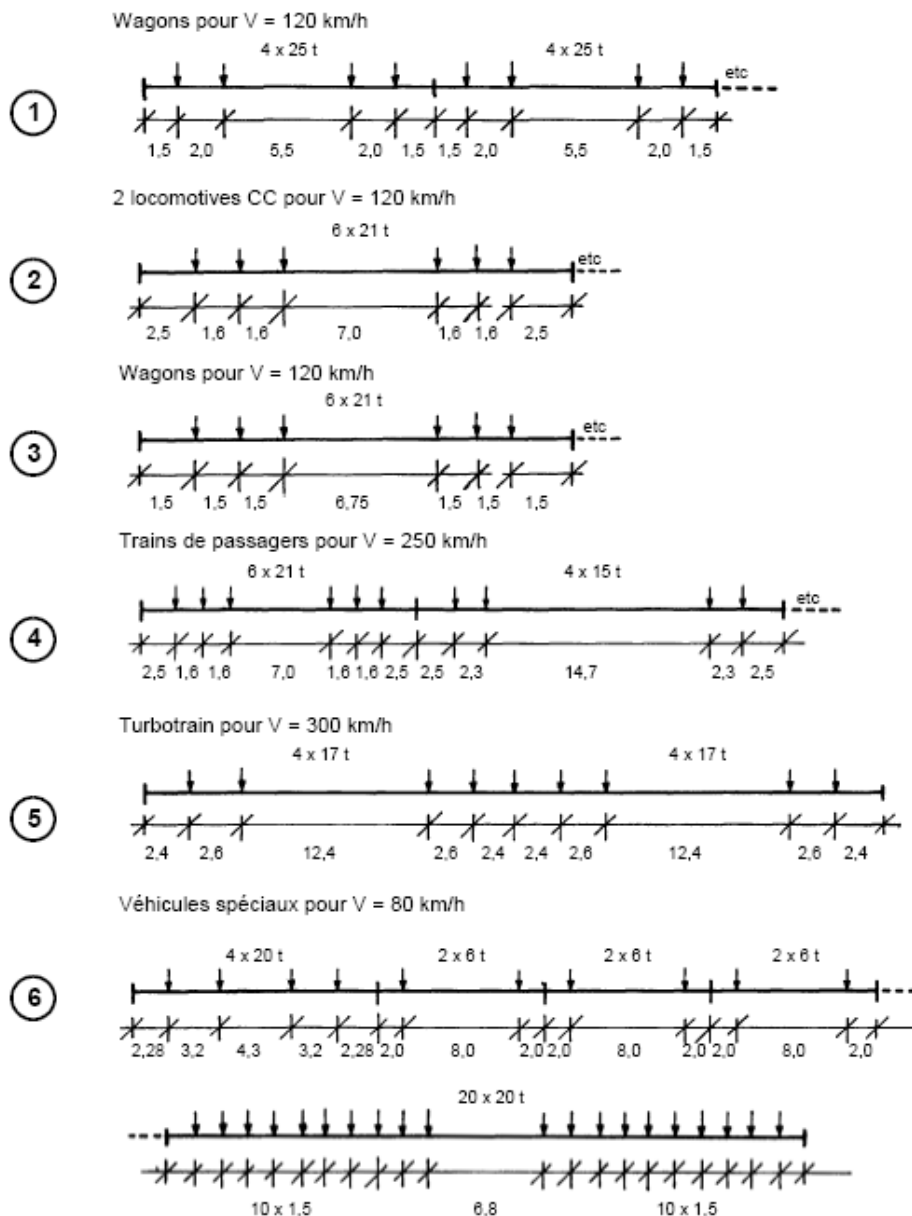


Figura 7. Trenes tipo empleados para la calibración del modelo UIC-71

3.3 El Eurocódigo 1

El Eurocódigo 1 en la parte 2-Puentes de su versión EN-1991 (Sept. 2003) [3] propugna como modelo de cargas a considerar en el Proyecto de puentes de ferrocarril el modelo UIC-71 al que se puede aplicar un “factor de clasificación”, α de valor:

0,75 - 0,83 - 0,91 - 1,00 - 1,10 - 1,21 - 1,33 - 1,46

Además se dice que se deberá considerar también la acción no simultánea del modelo de cargas SW/0 afectado del mismo coeficiente de clasificación, α . En los casos en que se prevea que sobre la infraestructura puede actuar un tráfico pesado, entonces será de aplicación el modelo de cargas denominado SW/2.

4 EL MODELO DE CARGAS VERTICALES PROPUESTO EN LA IAP 07

A finales de 1997 se iniciaron los trabajos para “actualizar” el modelo de cargas representativo de las acciones de uso ferroviarias, que, a juicio de los ponentes de la Comisión nombrada al efecto, debía satisfacer las siguientes premisas:

- Que cubriese las cargas actuales y, en cierta forma, una prospección futura de ellas, con un adecuado margen de seguridad (o índice de fiabilidad).
- Que los efectos que produjese el modelo de cargas propuesto no fuesen inferiores a las que generaba el modelo de cargas vigente en la “Instrucción de 1975” que se había demostrado como válido para el caso español hasta la fecha de los estudios que se estaban desarrollando.
- Que, en la medida de lo posible, estuviese armonizada con Europa, fundamentalmente a través de los Eurocódigos 0 y 1, parte 2.
- Que reprodujese adecuadamente el fenómeno dinámico producido por trenes reales circulando a gran velocidad (hasta 350 km/h se postuló inicialmente).

En base a lo expuesto, se tomó la decisión de adoptar como modelo de cargas el propugnado en el Eurocódigo 1, parte 2, adoptando un coeficiente de clasificación $\alpha = 1,21$. También se acordó no considerar el modelo SW/0, afectado del mismo coeficiente de clasificación, puesto que se entendía que estaba cubierto por el propio modelo de cargas UIC-71.

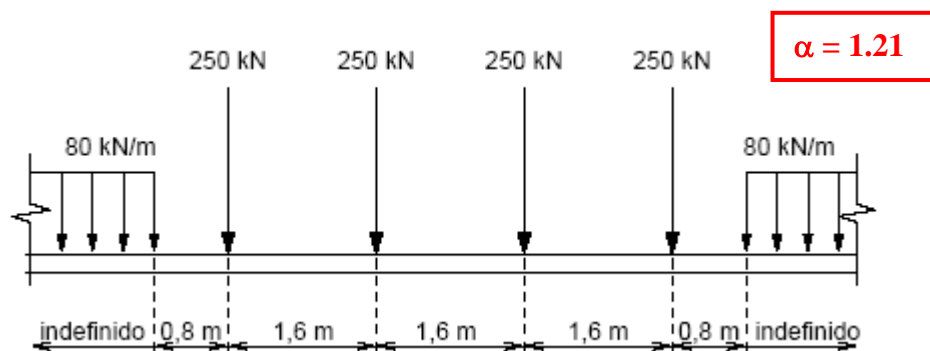


Figura 8. Modelo de cargas propuesto en la IAPF-07

5 CALIBRACIÓN DEL MODELO DE CARGAS VERTICALES PROPUESTO

5.1 El modelo IAPF-07 versus el propuesto en la Instrucción de 1975

Como parte de los trabajos desarrollados por la Comisión encargada de la elaboración de la nueva IAPF se incluyó, como ya se ha indicado, la propuesta de un nuevo modelo de cargas verticales a considerar en el cálculo de los puentes ferroviarios.

Los efectos estáticos producidos por el modelo propuesto (tren UIC-71 con coeficiente de clasificación $\alpha = 1,21$) se compararon con el efecto estático que producían los trenes tipo A y B de la hasta ese momento vigente Instrucción de 1975. Para ello se consideraron tableros isostáticos y puentes continuos de 2 vanos y de 7 vanos de luces iguales comprendidas entre 5 y 200 m, que es el ámbito de aplicación de la IAPF-07. Además se comparó el modelo propuesto con el SW/2 tomado por el Eurocódigo 1 como representativo de un cierto tráfico pesado. Los resultados que se obtuvieron figuran en el Informe redactado al efecto ([4] y [5]) y se presenta en los gráficos que se adjuntan y que se resumen en la tabla que sigue:

Tipo tablero	Esfuerzo	IAPF-75/UIC-71	SW2/UIC-71
Isostático-1 vano	$M_{\text{máx}}^+$	1,26	1,33
	$Q_{\text{máx}}$	1,25	1,30
Continuo-2 vanos	$M_{\text{máx}}^+$	1,16	1,31
	$M_{\text{mín}}^-$	1,27	1,54
	$Q_{\text{máx}}$	1,19	1,29
Continuo-7 vanos	$M_{\text{máx}}^+$	1,08	1,08
	$M_{\text{mín}}^-$	1,16	1,43
	$Q_{\text{máx}}$	1,16	1,26

Tabla 1. Comparación de esfuerzos máximos obtenidos por diferentes modelos de carga con respecto al modelo UIC-71

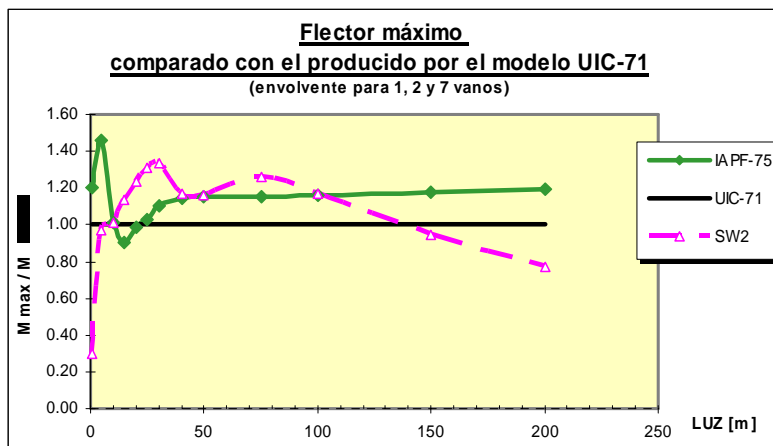


Figura 9. Comparación esfuerzos con modelo UIC-71 (I)

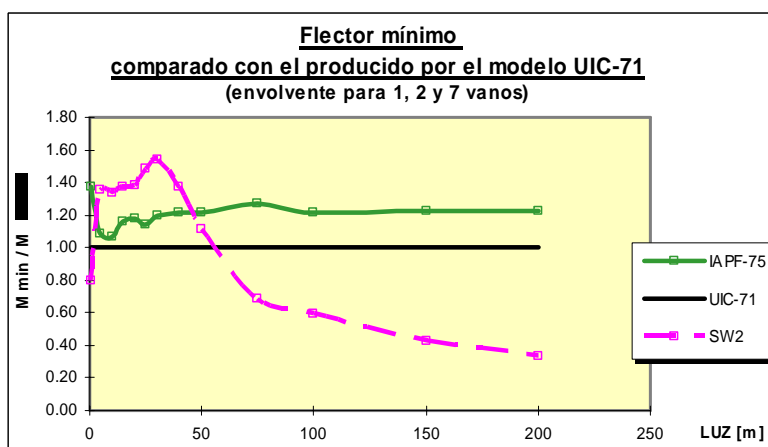


Figura 10. Comparación esfuerzos con modelo UIC-71 (II)

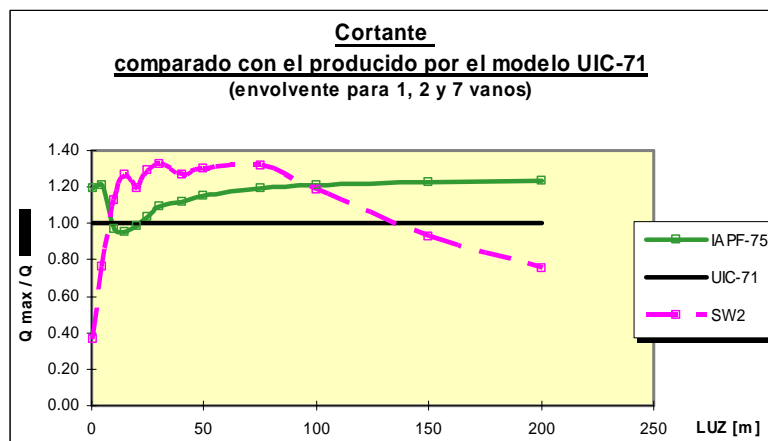


Figura 11. Comparación esfuerzos con modelo UIC-71 (III)

Como se observa en las gráficas el adoptar el modelo de cargas UIC-71 con un coeficiente de clasificación $\alpha = 1,21$ supone que los efectos estáticos longitudinales que se obtienen cubren en casi todos los casos los producidos por el tren tipo A o B de la Instrucción de 1975. Y cuando esto no es así, quedan muy próximos a ello (resulta un coeficiente de maximización de 1,27 en lugar del 1,21 propuesto).

5.2 La interoperabilidad en la red ferroviaria europea

La prEN15528 [6] editada por el CEN define las “categorías de líneas” en función de los siguientes parámetros:

- Carga máxima por eje que puede variar entre 16 T/eje y 25 T/eje dando lugar a las 5 categorías A, B, C, D y E.
- Masa equivalente uniformemente repartida que da lugar a las subcategorías 1, 2, 3, 4 y 5 al variar entre 5,0 T/m y 8,8 T/m.

En la tabla que sigue se resume los parámetros que definen cada categoría. Además en la figura adjunta se muestra la definición gráfica de las categorías E4 y E5 que son las que resultan relevantes para la calibración del modelo estático de cargas verticales propuesto.

Carga por eje		Carga repartida	
Categoría	Carga (T)	Vagón de referencia	Carga (T/m)
A	16,0	1	5,0
B	18,0	2	6,4
C	18,0	3	7,2
D	22,5	4	8,0
E	25,0	5	8,8

Tabla 2. Categorías de líneas de acuerdo con prEN15548

Reference wagon	Axle load P (t)	Mass per unit length p (t/m)	Geometrical characteristics
E4	25,0	8,0	
E5	25,0	8,8	

Figura 12. Definición de los trenes tipo E4 y E5

En Marzo de 2007 la ERA (European Railway Agency) emite la TSI 1.2 [7] en que se exponen los criterios de interoperabilidad en la red ferroviaria transeuropea. En lo que respecta a las cargas a considerar en la comprobación de los puentes se dice que:

- Se aplicará el Eurocódigo 0 (EN1990, Anexo A1) y el Eurocódigo 1 (EN1991-2).
- En consonancia con lo anterior se aplicará el modelo de cargas UIC71 y el SW/0 con sus correspondientes coeficientes de clasificación, α , y de impacto, ϕ .
- En algunas líneas (por ejemplo las tipo IV-F, IV-M, VI-F y VI-M) se considerarán cargas por eje de 250 kN/eje a velocidades máximas que van desde 100 km/h hasta 200 km/h.
- Para estas líneas se deberá tomar un coeficiente de clasificación mayor o igual que 1,21 ($\alpha \geq 1,21$).

En vista de lo expuesto en este documento, los expertos españoles presentaron en la reunión del Subgrupo de Estructuras celebrada el 25 de Abril de 2007 un estudio comparativo entre los efectos longitudinales producidos por el modelo de cargas UIC-71 con un coeficiente de clasificación $\alpha = 1,21$ y los efectos estáticos producidos por los trenes tipo E4 y E5 ya definidos. Para ello, se calcularon los flectores máximos y mínimos y las cortantes pésimos que se producían en puentes de 1, 2 u 8 vanos de luces comprendidas entre 5 y 200 m bajo la actuación del modelo de cargas UIC-71 y de los trenes tipo E4 y E5.

Un resumen de los resultados obtenidos se presenta en las tres figuras que siguen:

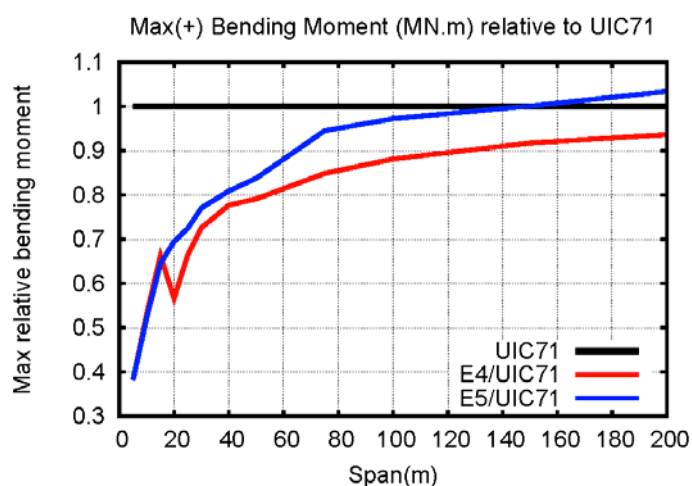


Figura 13. Comparación esfuerzos modelos UIC-71 con trenes tipo E4 y E5 (I)²

² Tomada de [8]

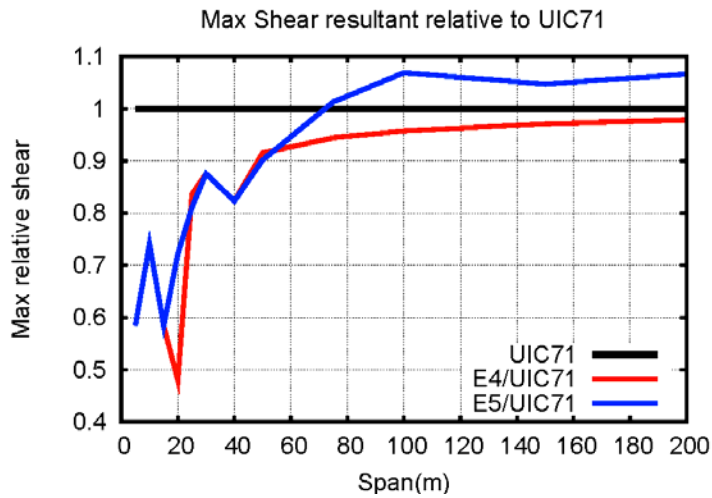


Figura 14. Comparación esfuerzos modelos UIC-71 con trenes tipo E4 y E5 (II)²

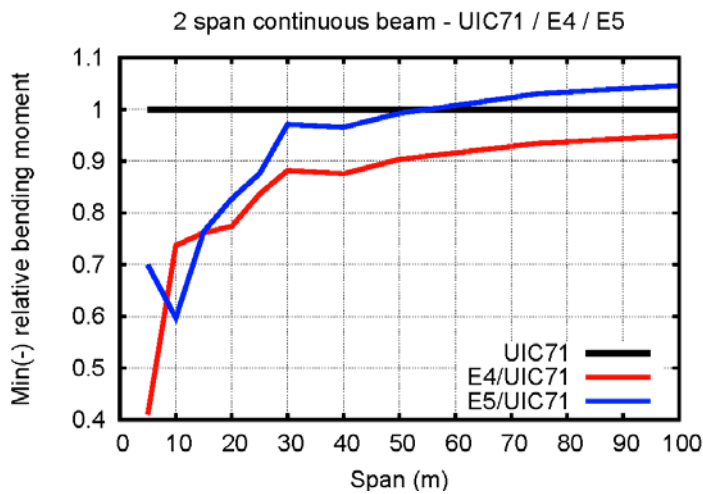


Figura 15. Comparación esfuerzos modelos UIC-71 con trenes tipo E4 y E5 (III)²

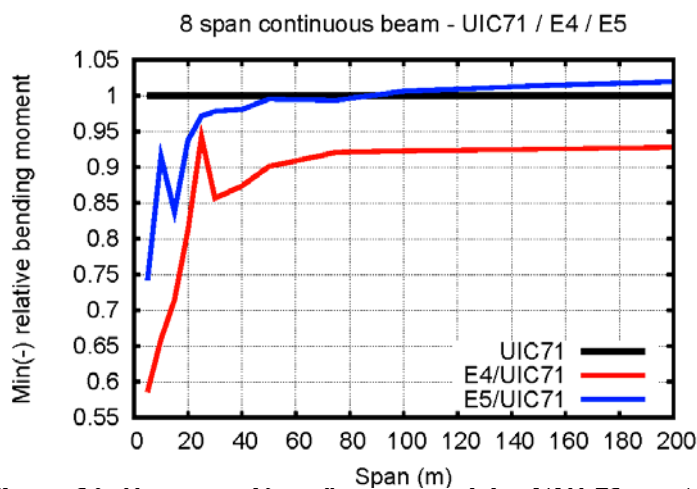


Figura 16. Comparación esfuerzos modelos UIC-71 con trenes tipo E4 y E5 (IV)²

Las principales conclusiones que se derivan del análisis realizado son las que siguen:

- La definición del modelo de cargas UIC-71 se hizo como envolvente de una serie de 6 trenes tipo ([1] y [2]). Entre ellos, el tren tipo 1 es equivalente al “vagón de categoría E4 que tiene un peso por eje de 250 kN y un peso equivalente repartido de 80 kN/m”.
- El tren de cargas UIC-71 afectado de un coeficiente de clasificación 1,21 cubre los efectos de los trenes tipo E4 y E5. Por ello, no parece necesario exigir coeficientes α mayores de 1,21 para trenes tipo como el E4 y E5 que tienen cargas por eje de 250 kN.

5.3 El modelo de carga SW/0

En el Eurocódigo 1 (EN 1991-92) [3] se indica que los cálculos de los puentes se deben hacer considerando para puentes continuos tanto el modelo UIC-71 como el SW/0, ambos afectados del coeficiente de clasificación que corresponda. Sin embargo, el sentir de los expertos españoles era que, para estimar los efectos longitudinales (flector, cortante, torsor,...) que se produce en el tablero de un puente de 1 vano o continuo, es suficiente operar con el modelo UIC-71 puesto que éste engloba al modelo SW/0. Para ello se hizo un estudio paramétrico sobre puentes de 2 y 8 vanos de luces comprendidas entre 5 y 200 m.

Los resultados obtenidos se reflejan en las figuras adjuntas, corroborándose que, en efecto, el modelo SW/0 es irrelevante si se adopta un coeficiente de clasificación $\alpha = 1,21$ para el tren de cargas UIC-71.

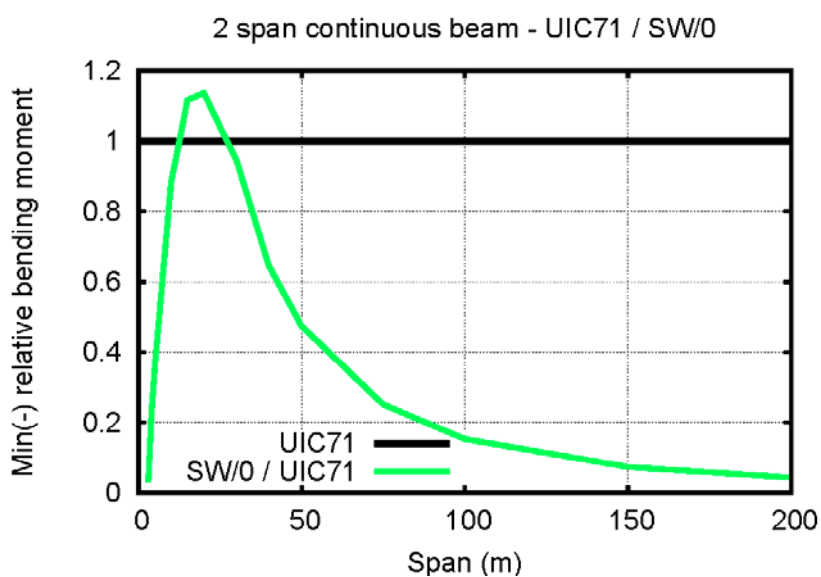


Figura 17. Comparación de efectos del modelo SW/0 (I)³

³ Tomada de [8]

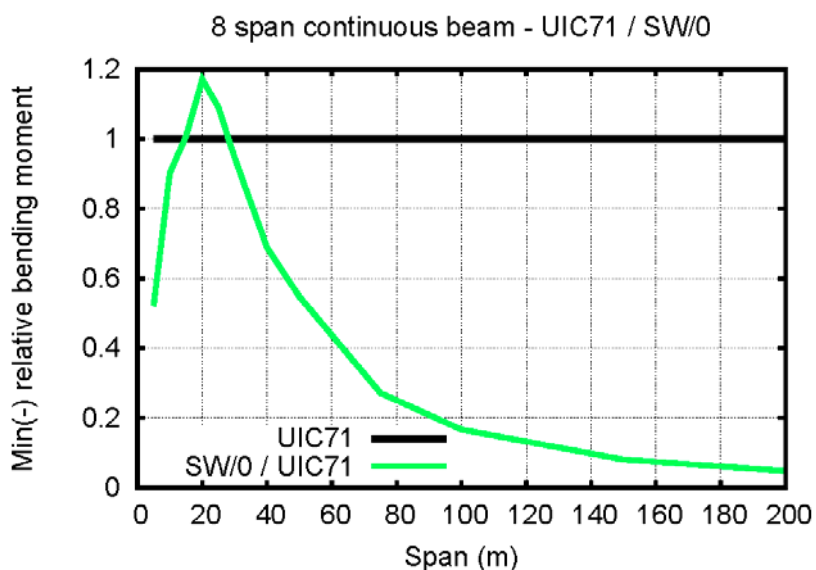


Figura 18. Comparación de efectos del modelo SW/0 (II)³

6. CONCLUSIONES Y ASUNTOS PENDIENTES

Los epígrafes anteriores han tratado de mostrar la historia reciente de los modelos adoptados para representar la carga vertical debida al uso ferroviario para efectuar el dimensionamiento o comprobación de puentes. Como se observa en la figura adjunta en cerca de 100 años las cargas se han duplicado, aproximadamente.

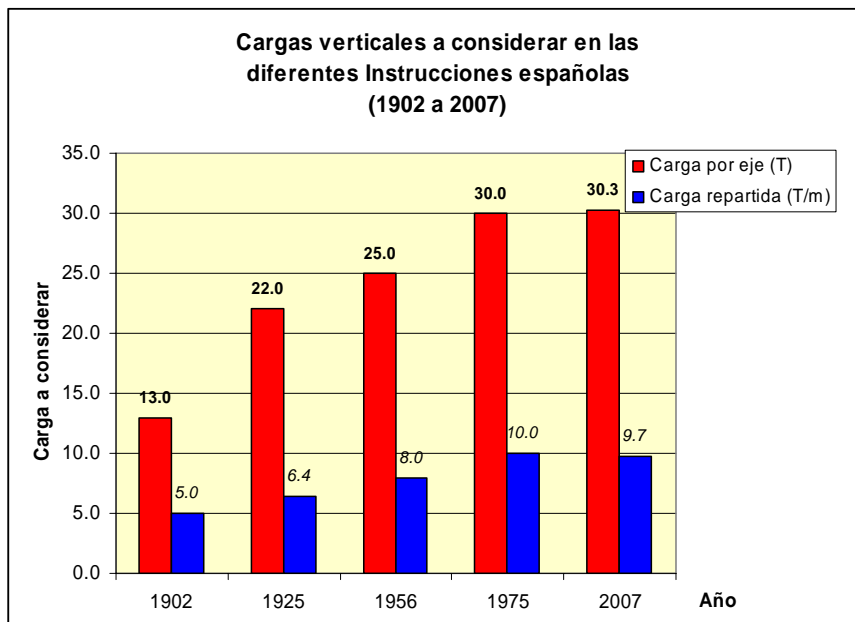


Figura 19. Evolución histórica de las cargas a considerar en el Proyecto de Puentes de FFCC

Por otra parte, se han presentado las razones que han llevado a adoptar en la IAPF-07 el modelo UIC-71 con un coeficiente de clasificación $\alpha = 1,21$ y despreciar por irrelevante la comprobación de los efectos longitudinales a realizar con el modelo SW/0 también propugnado por el Eurocódigo 1 en el caso de puentes continuos. Sobre este particular hay que hacer notar que se ha demostrado que el modelo de cargas adoptado cubre los efectos longitudinales producidos por los trenes tipo denominados E4 y E5 en la prEN/15528 que versa sobre la clasificación de las líneas ferroviarias. Estos trenes tipo tienen cargas por eje de 250 kN por lo que no parece necesario que también haya que afectar del mismo $\alpha = 1,21$ al modelo SW/0 para asegurar una adecuada interoperabilidad de las redes europeas.

En lo que se respecta a los efectos del modelo propuesto se ha tratado de que, por una parte, converja con el propugnado por los Eurocódigos y que, por otra, sus efectos no resultan inferiores a los que generaba el modelo de cargas de la “Instrucción de 1975”. En este documento se han presentado los resultados de los análisis efectuados que demuestran ambos asertos. Hay que destacar que dichos análisis se han limitado al estudio de los efectos longitudinales (flector y cortante) en puentes isostáticos o continuos, sin que se haya continuado hasta llegar al resultado que se obtendría en el dimensionamiento si se adoptara el “cuerpo normativo español” constituido por la IAPF, la EHE y la futura EAE o si se emplearan los Eurocódigos. Al respecto cabe hacer los siguientes comentarios:

- El coeficiente de mayoración de acciones variables de uso para ELU, γ_f , propuesto en el Eurocódigo 0 [9] es $\gamma_f = 1,45$. En la IAPF sigue siendo el tradicional $\gamma_f = 1,50$.
- Los coeficientes de combinación aplicables en las comprobaciones en ELS según el Eurocódigo 0 [9] son:

Combinación frecuente: $\varphi_1 = 0,8$ para una vía cargada

$\varphi_1 = 0,7$ para dos vías cargadas

Combinación quasi permanente: $\varphi_2 = 0$

En la IAPF se proponen los mismos coeficientes de comprobación aunque la forma en que los Eurocódigos estructurales relativos al hormigón (EC2) y al acero (EC3) trata los estudios límite de servicio es algo diferente a la forma de comprobación que propugnan las Instrucciones españolas aplicables (EHE para el hormigón y futura EAE para el acero).

7. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS

- [1] UIC: Ficha 702 “Esquema de cargas a considerar en el cálculo de obras ferroviarias en líneas internacionales”.
- [2] UIC: Ficha 776-1,R “Cargas a considerar en el cálculo de puentes ferroviarios”, 1ª edición Julio 1974, 5ª edición Agosto 2006.
- [3] CEN: EN 1991-2 “Eurocódigo 1: Acciones en estructuras-Parte 2: Cargas de tráfico en puentes”. Septiembre 2003.
- [4] Comisión encargada de la elaboración de la IAPF-07, J.M. Simón-Talero, J.M. de Villar: “Estudios previos para la definición de las sobrecargas verticales de uso”. Enero 1998.
- [5] Comisión encargada de la elaboración de la IAPF-07, J.M. Simón-Talero, J.M. de Villar: “Propuesta de esquema estático representativo de las cargas de uso verticales”. Febrero 1998.
- [6] CEN: prEN 15528 “Aplicaciones ferroviarias. Categorías de líneas para gestionar la relación entre los límites de carga de los vehículos y la infraestructura”. Noviembre 2007.
- [7] ERA: TSI 1.2 “Technical Specification of interoperability”. Marzo 2007
- [8] J.M. Goicolea, A. Corral: “Presentation for the structures sub-group meeting. NSA Spain”, 25 apr 2007.
- [9] CEN: prEN 1990-2002 A1 “Eurocódigo. Bases del proyecto estructural. Anejo A1. Aplicación a puentes”. Diciembre 2005.
- [10] Ministerio de Fomento: IAPF-2007 “Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de ferrocarril”. BOE 17 de Diciembre de 2007.