



NAP 2-4-2.3

NORMA ADIF PLATAFORMA

# ESTUDIO DE COMPATIBILIDAD ESTÁTICA Y DINÁMICA TREN-OBRAS DE PASO FERROVIARIAS

1ª EDICIÓN: OCTUBRE 2024

### CONTROL DE CAMBIOS Y VERSIONES

Revisión		Modificaciones	Puntos Revisados
Nº	Fecha		

### EQUIPO REDACTOR

Grupo de Trabajo GT-112. Estructuras.

<p><b>Propone:</b></p> <div style="text-align: center;">  </div> <p>Grupo de trabajo GT-112 Fecha: 18 de octubre de 2024</p>	<p><b>Aprueba:</b></p> <p>Comité de Normativa Reunión de XX de XX de XXXX</p>
---	---

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

## PÁGINA

1.- OBJETO .....	4
2.- CAMPO DE APLICACIÓN .....	4
3.- DEFINICIONES DE TÉRMINOS EMPLEADOS Y ABREVIATURAS .....	4
3.1.-DEFINICIONES .....	4
3.2.-ABREVIATURAS .....	5
4.- COMPATIBILIDAD ESTÁTICA ENTRE OBRAS DE PASO Y TRÁFICO FERROVIARIO .....	6
4.1.-INFORMACIÓN SOBRE LA CLASIFICACIÓN PORTANTE DE OBRAS DE PASO FERROVIARIOS .....	6
4.2.-CATEGORIZACIÓN DEL MATERIAL FERROVIARIO .....	6
4.3.-ESTABLECIMIENTO DE LA COMPATIBILIDAD ESTÁTICA .....	7
5.- COMPATIBILIDAD DINÁMICA ENTRE OBRAS DE PASO Y TRÁFICO FERROVIARIO .....	8
5.1.-VAGONES DE MERCANCÍAS .....	10
5.2.-LOCOMOTORAS .....	11
5.3.-COCHES DE VIAJEROS .....	13
5.4.-UNIDADES MÚLTIPLES .....	16
5.4.1.-UNIDADES MÚLTIPLES EN LINEAS CON VELOCIDAD DE CIRCULACIÓN IGUAL O INFERIOR A 200KM/H .....	16
5.4.1.1.-UNIDADES MÚLTIPLES CON BOGIES CONVENCIONALES (CB) .....	17
5.4.1.2.-UNIDADES MÚLTIPLES CON BOGIES ARTICULADOS (AB) .....	18
5.4.1.3.-UNIDADES MÚLTIPLES CON ÓRGANO DE RODADURA DE EJE INDIVIDUAL (SA) .....	19
5.4.1.4.-CONDICIONES DE CIRCULACIÓN .....	21
5.4.2.-UNIDADES MÚLTIPLES EN LINEAS CON VELOCIDAD DE CIRCULACIÓN SUPERIOR A 200 KM/H .....	21
5.4.2.1.-METODOLOGÍA 1 .....	21
5.4.2.2.-METODOLOGÍA 2 .....	22
5.4.2.2.1.-Unidades Múltiples con bogies convencionales (CB) .....	23
5.4.2.2.2.-Unidades Múltiples con bogies articulados (AB) .....	23
5.4.2.2.3.-Unidades Múltiples con órgano de rodadura de eje individual (SA) .....	24
5.4.2.2.4.-Condiciones de circulación .....	25
6.- ESTUDIOS ESPECÍFICOS PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LAS CONDICIONES DE CIRCULACIÓN .....	25
6.1.-NIVEL 1. COMPARACIÓN A PARTIR DE MODELOS DE CARGA .....	26
6.1.1.-PARA VELOCIDADES IGUALES O INFERIORES A 200 KM/H .....	26
6.1.2.-PARA VELOCIDADES SUPERIORES A 200 KM/H .....	26
6.2.-NIVEL 2. MODELO DE CÁLCULO DE LA ESTRUCTURA .....	27
6.3.-NIVEL 3. MONITORIZACIÓN DE LA OBRA DE PASO AL PASO DEL TREN .....	27
7.- DISPOSICIONES TRANSITORIAS Y ENTRADA EN VIGOR .....	28
8.- NORMATIVA DE REFERENCIA Y BIBLIOGRAFÍA .....	28
I.ANEXO 1 MODELO DE CARGAS DINÁMICO HSLM+ .....	30

## 1.-OBJETO

La presente norma tiene por objeto fijar los requisitos mínimos que deben exigirse en las comprobaciones de compatibilidad estática y dinámica entre las obras de paso ferroviarias gestionadas por Adif y Adif Alta Velocidad (en adelante Adif) y el material rodante, dando así respuesta a los requisitos del Reglamento de ejecución (UE) 2019/777 de la Comisión, de 16 de mayo de 2019, sobre las especificaciones comunes del registro de la infraestructura ferroviaria (RINF) bajo el parámetro *1.1.1.2.4.4 Documento(s) con el procedimiento o procedimientos para comprobaciones de compatibilidad estática y dinámica de la ruta.*

Adicionalmente, en aplicación del punto 4.2.2.5 y apéndice D1 (interfaz "Cargas de tráfico y capacidad de carga de la infraestructura") del Reglamento (EU) 2019/773 de la Comisión, de 16 de mayo de 2019, sobre la especificación técnica de interoperabilidad relativa al subsistema «explotación y gestión del tráfico» del sistema ferroviario de la Unión Europea.

Esta metodología permite, a las empresas ferroviarias, determinar las condiciones de circulación de sus vehículos en las obras de paso ferroviarias.

## 2.-CAMPO DE APLICACIÓN

El campo de aplicación de este documento está limitado a las obras de paso pertenecientes a la Red Ferroviaria de Interés General (RFIG) que estén administradas por Adif.

## 3.-DEFINICIONES DE TÉRMINOS EMPLEADOS Y ABREVIATURAS

### 3.1.-DEFINICIONES

- **Factor dinámico teórico:** Es el factor que amplifica los efectos estáticos de los trenes reales en servicio a cierta velocidad. El factor dinámico puede ser calculado mediante dos metodologías diferentes según corresponda:
  1. A partir de las fórmulas establecidas en la UNE-EN 1991-2:2019 (Anexo C).
  2. A partir de un cálculo dinámico, comparando la respuesta dinámica de la estructura frente a la respuesta estática de la misma.
- **Modelo de cargas HSLM:** Modelo de cargas dinámico constituido por una envolvente de trenes que se utiliza en el cálculo dinámico de la estructura para garantizar la compatibilidad dinámica con el material ferroviario. Este modelo de cargas se encuentra definido en la IAPF-07, Apéndice C así como en la UNE-EN 1991-2:2019.
- **Obra de paso de ferrocarril:** Toda estructura que permita salvar una discontinuidad en el trazado ferroviario (NAG 2-4-1.2).
- **Tablero de una obra de paso:** Elemento de la estructura que recoge directamente las cargas del balasto, traviesas o vía en placa. Según el contexto en el que se emplee puede tener dos acepciones diferentes:
  1. En el contexto de la tipología longitudinal de la obra de paso, el término tablero suele referirse a la totalidad de la estructura resistente de la obra de paso dispuesta entre los apoyos, que transmite las cargas a los mismos. (IAPF-07).

2. Para descripciones detalladas o en ciertas tipologías, como las metálicas, donde pueden existir vigas principales (longitudinales) diferenciadas, el término tablero puede referirse únicamente a la parte de la estructura que transmite las cargas a dichas vigas principales. (IAPF-07).

- **Velocidad máxima admisible por efectos dinámicos:** Velocidad máxima establecida para los distintos modelos de carga definidos en la presente norma para que los efectos dinámicos de las cargas de los trenes sobre las obras de paso no comprometan la seguridad ferroviaria.
- **Velocidad máxima de circulación:** Velocidad máxima conforme al cuadro de velocidades máximas vigente. (ADIF-PC).
- **Unidad múltiple:** Composición de vehículos ferroviarios con capacidad autónoma de tracción y transporte cuya alteración en el orden y número de vehículos, solo se puede realizar en talleres. Las unidades múltiples pueden circular aisladas, en composición simple, o acopladas, composición múltiple: doble, triple, etc., si su diseño y las condiciones de explotación lo permiten.

### 3.2.-ABREVIATURAS

- AB: Bogie articulado.
- ADIF-PC: NAP 2-4-2.0. Pruebas de carga ferroviarias en obras de paso de ferrocarril.
- BB: Dos bogies de dos ejes.
- CB: Bogie convencional.
- CC: Dos bogies de tres ejes.
- CVM: Cuadro de Velocidades Máximas.
- EF: Empresa Ferroviaria.
- ERATV: Registro Europeo de Tipos de Vehículos Autorizados (European Register of Authorised Types of Vehicles).
- IAPF-07: Instrucción de acciones a considerar en el proyecto de obras de paso de ferrocarril. ORDEN FOM/3671/2007, de 24 de septiembre. Ministerio de Fomento. 2007.
- ICL: Informaciones de circulación de las líneas .
- MND: Masa de diseño con carga útil normal.
- MVD: Masa de diseño en orden de trabajo.
- MXD: Masa de diseño con carga útil excepcional.
- RFIG: Red Ferroviaria de Interés General.
- RINF: Registro de Infraestructura Ferroviaria.
- SA: Eje individual (rodal, en su caso).
- UM: Unidad múltiple.

## 4.-COMPATIBILIDAD ESTÁTICA ENTRE OBRAS DE PASO Y TRÁFICO FERROVIARIO

La metodología para establecer la compatibilidad estática entre las obras de paso y el material ferroviario está basado en la comparación de los modelos de carga que representan las categorías de línea establecidos en el anexo A de la norma UNE-EN 15528:2022 "Aplicaciones ferroviarias. Categorías de línea para la gestión de las interfaces entre límites de cargas de los vehículos y la infraestructura".

Para poder aplicar esta metodología es necesario clasificar las obras de paso y categorizar el material ferroviario conforme a dichos modelos de carga.

### 4.1.-INFORMACIÓN SOBRE LA CLASIFICACIÓN PORTANTE DE OBRAS DE PASO FERROVIARIOS

La capacidad portante de las secciones de línea donde están situados las obras de paso estará definida en el registro de infraestructuras (RINF), bajo el parámetro 1.1.1.1.2.4 Capacidad portante.

Las líneas y, por tanto, las obras de paso de la RFIG se hallan clasificados, a estos efectos, en nueve categorías, cuyas características definitorias se recogen en el anexo A de la UNE-EN 15528:2022, en función de la carga admitida por eje, masa por unidad de longitud y sus características geométricas.

### 4.2.-CATEGORIZACIÓN DEL MATERIAL FERROVIARIO

Para la categorización del material rodante, la empresa ferroviaria deberá seguir los criterios establecidos en el capítulo 6 Categorización de los vehículos ferroviarios de la UNE-EN 15528:2022. En este apartado de la norma UNE-EN 15528:2022 queda definida la metodología a utilizar para la categorización del material rodante, las masas a tener en cuenta para la categorización en función del tipo de vehículo, así como las tolerancias a cumplir.

El resultado del proceso de categorización se muestra en la tabla 1.

Tipo de vehículos	Resultado
Vagones de mercancías	Límites de carga útil
Locomotoras	Categoría de línea y, si se conoce, la clase de locomotora
Unidades múltiples y coches	Categorías de línea combinadas con el nivel del valor relacionado de la carga útil de pasajeros en zonas de permanencia de pie
Vehículos especiales	Categoría de línea o bien límites de carga útil

Tabla 1 - Resultados de la categorización.

A continuación, se muestra un ejemplo extraído de la ERATV, del resultado de la categorización de un vagón de tolvas Tagpp (TT5).

4.5.1 Permissible payload for different line categories	1668mm
	A (40) t
	B1 (46.8) t
	B2 (48) t

Figura 1 Extracto de ERATV para Vagones Tolvas Tagpp (TT5).

Si un vehículo no se pudiera categorizar, quedando fuera del alcance de las categorías de línea especificadas en el anexo A de la norma UNE-EN 15528:2022, estas composiciones requerirán de un estudio específico para comprobar la compatibilidad entre las obras de paso y el material rodante.

Al considerar un tren, el valor que le caracterice a los efectos de determinar la compatibilidad estática debe ser el del vehículo con la mayor categoría.

El tren de mercancías se caracterizará con la mayor categoría de línea correspondiente a la carga útil de todos los vagones, así como de la categoría de línea de la locomotora.

El tren de pasajeros se caracterizará con la mayor categoría de línea de las locomotoras, coches o unidades múltiples.

#### 4.3.-ESTABLECIMIENTO DE LA COMPATIBILIDAD ESTÁTICA

Se demuestra la compatibilidad estática entre un tren y las obras de paso pertenecientes a una sección de línea si, tanto la letra mayúscula como el número de la categoría del tren, es inferior o igual a la categoría de las obras de paso pertenecientes a dicha sección de línea.

Cuando no se pueda demostrar la compatibilidad utilizando las categorías de línea, se debe realizar una comprobación individual, como puede ser en el caso de:

- Si la categoría de línea de un vehículo o el límite de carga útil de un vagón supera la categoría de la obra de paso.
- Para transportes excepcionales. En el caso de los transportes excepcionales que, por sus dimensiones, peso o distribución y acondicionamiento de la carga, solo puedan admitirse en unas condiciones técnicas y operativas. Si se precisa un estudio de viabilidad estructural, según la norma NAP 2-4-2.2, se tendrá en cuenta, además, las posibilidades físicas de la red y el impacto de esta circulación sobre las líneas por las que han de circular.

La Consigna sobre tratamiento de los transportes excepcionales y los fallos de cargamento en ruta, especifica los transportes que, en el ámbito de la RFIG administrada por Adif, tienen consideración de excepcional, así como la metodología que regula su tramitación.

Los posibles resultados de las comprobaciones individuales de compatibilidad entre material rodante y las obras de paso ferroviarios son:

- Compatibilidad demostrada.
- Compatibilidad demostrada con restricciones (limitaciones a la formación de trenes, utilización, por ejemplo, de vagones de protección, limitaciones de velocidad, etc.).
- Compatibilidad no demostrada, explotación del vehículo o tren rechazado.

A continuación, se muestra un ejemplo aclaratorio para el establecimiento de la compatibilidad estática:

### Ejemplo para el establecimiento de la compatibilidad estática

Datos:

- Categorización del tren según UNE-EN 15528:2022: C4.
- Capacidad portante de las obras de paso pertenecientes a la sección de línea objeto de estudio (parámetro 1.1.1.1.2.4 del RINF (*Capacidad portante*): D4.

Determinación de la compatibilidad estática:

- La letra mayúscula de la categoría de línea del tren es inferior a la letra mayúscula de la clasificación portante de las obras de paso pertenecientes a la sección de línea objeto de estudio ( $C < D$ ).
- El número de la categoría de línea del tren es igual al número de la clasificación portante de las obras de paso pertenecientes a la sección de línea objeto de estudio ( $4 = 4$ ).

Conclusión:

La compatibilidad estática queda demostrada. La letra mayúscula y el número de la categoría de línea del tren son inferiores o iguales a la categoría de línea de las obras de paso pertenecientes a la sección de línea objeto de estudio.

## 5.-COMPATIBILIDAD DINÁMICA ENTRE OBRAS DE PASO Y TRÁFICO FERROVIARIO

Para hacer frente a los posibles efectos dinámicos adversos sobre la obra de paso, se debe considerar la necesidad de realizar comprobaciones estructurales. Para ello se debe tener en cuenta el tipo de vehículo, el número de vehículos por los que está formado el tren, la disposición de los ejes, la carga por eje y la velocidad.

En ningún caso se podrá circular si no queda verificada primero la compatibilidad estática entre obras de paso y el material rodante ferroviario.

Para la verificación de la compatibilidad dinámica se distingue entre cuatro clases de vehículos para cubrir los cuatro tipos diferentes de material rodante:

- Vagones de mercancías.
- Locomotoras.
- Coches de viajeros.
- Unidades Múltiples.

Se deben determinar las condiciones de tráfico para cada clase de vehículos con el fin de evitar todos los riesgos vinculados a efectos dinámicos excesivos en las obras de paso ferroviarios.

Por lo tanto, un vehículo clasificable en los modelos definidos podrá circular por las obras de paso ferroviarios de líneas convencionales y de alta velocidad en las condiciones de tráfico definidas para su clase. En los casos definidos a continuación, no será necesaria ninguna otra comprobación para verificar la compatibilidad dinámica del vehículo con las obras de paso ferroviarios de las líneas pertenecientes a la RFIG.

Para evaluar un tren y determinar sus condiciones de circulación correspondientes, se deben tener en cuenta las condiciones de circulación más restrictivas aplicables a cualquiera de los vehículos que lo componen.

Para la determinación de las condiciones de circulación de los distintos modelos de carga definidos en el presente documento, se han tenido en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Para líneas con velocidad de circulación igual o inferior 200 km/h se ha considerado que no existe riesgo resonante en las obras de paso. Por lo tanto, la metodología utilizada en la metodología para establecer las condiciones de circulación se basa en la comparación de la envolvente de los trenes de carga de las diferentes instrucciones de acciones en obras de paso ferroviarios afectadas por el coeficiente de impacto envolvente  $\Phi$  correspondiente, frente a los modelos de cargas definidos en el presente documento afectados por el factor dinámico  $1 + \varphi' + r\varphi''$  (ver ficha UIC 776-1:2006 y anexo C de la norma UNE-EN 1991-2:2019). Para la determinación del coeficiente  $\varphi''$  se ha considerado una masa no suspendida (eje montado) de 2 toneladas por eje. Esta aproximación es válida siempre y cuando la primera frecuencia natural de la obra de paso sea superior al límite inferior de frecuencias definido en la figura 6.10 del apartado 6.4.4 de la norma UNE-EN 1991-2:2019.
2. Para líneas con velocidad de circulación superior a 200 km/h se considera que existe riesgo resonante en las obras de paso. Y, la metodología utilizada en la metodología de compatibilidad se basa en la comparación con los modelos de carga dinámicos (Modelo de carga HSLM y Modelos UM-AV\_CB, UM-AV\_AB y UM-AV\_SA).

Aunque en la metodología se establecen unas condiciones de circulación en función del tipo de vehículo y sus características (geométricas, carga por eje, etc.), puede ser necesario realizar comprobaciones específicas para cada tren. Dichos estudios específicos se desarrollan en el capítulo 6 del presente documento. A continuación, se exponen distintas situaciones que pueden requerir de estudios específicos:

1. Obras de paso que estén identificados en el RINF bajo el parámetro 1.1.1.1.2.4.3 (Localización ferroviaria de las estructuras que requieren comprobaciones específicas).
2. Cuando el vehículo no se ajuste a alguno de los modelos definidos en el presente documento.
3. Cuando el vehículo se ajuste a alguno de los modelos definidos en el presente documento, pero se quieran optimizar sus condiciones de circulación. Entendiendo por optimizar las condiciones de circulación, la posibilidad de circular a una velocidad que supere el límite máximo establecido en los modelos descritos en este documento.

## 5.1.-VAGONES DE MERCANCÍAS

En el caso de los vagones de mercancías, la verificación de la compatibilidad dinámica está basada en los modelos de carga que representan las categorías de línea establecidos en el anexo A de la norma UNE-EN 15528:2022.

Según se indica en el apartado 4.2, las condiciones de circulación de estos vehículos en las obras de paso ferroviarios varían según su estado de carga. De esta manera, en función de la carga útil se obtiene una clasificación según los modelos de cargas de la norma UNE-EN 15528:2022. Dicha clasificación debe ser acorde a lo que se indica en los puntos 6.1 y 6.2 de la norma UNE-EN 15528:2022.

Dependiendo de la carga útil y por tanto, de la categoría asignada, corresponderá una velocidad máxima admisible por efectos dinámicos. Esta, en función de la categoría asignada, viene definida en la Tabla 2.

Clasificación del vagón de mercancías conforme a la UNE-EN 15528:2022	Velocidad máxima admisible por efectos dinámicos – líneas de ancho ibérico y ancho estándar europeo (km/h)	Velocidad máxima admisible por efectos dinámicos – líneas de ancho métrico (km/h)
A	200	100
B1	200	70
B2	200	70
C2	160	60
C3	160	-
C4	140	-
D2	120	-
D3	120	-
D4	120	-

Tabla 2 Velocidad máxima admisible por efectos dinámicos sobre las obras de paso para tráfico de mercancías.

En caso de que se quieran optimizar las condiciones de circulación, se podrá realizar un estudio específico (ver capítulo 6).

Las velocidades máximas admisibles mostradas en la Tabla 2 son válidas para todos las obras de paso pertenecientes a la RFIG a excepción de las obras de paso identificados en el RINF bajo el parámetro 1.1.1.1.2.4.3. La adecuación entre la clasificación del tráfico y las obras de paso ferroviarios ha sido comprobada para garantizar la seguridad del tráfico.

Cuando la categoría del vagón de mercancías supere la categoría de la línea, se le deberán reducir sus cargas o circular en régimen de transporte excepcional.

## 5.2.-LOCOMOTORAS

En el caso de las locomotoras, la verificación de la compatibilidad dinámica está basada en los modelos de carga que se especifican en este apartado.

Se distinguen dos configuraciones diferentes de bogie (BB y CC). Las locomotoras se clasifican en uno de los dos modelos que se definen para cada tipo de bogie en función de:

- Distancia entre ejes (a, b y c) del vehículo.
- La carga estática del eje más cargado en orden de trabajo (MVD) conforme a la UNE-EN 15663 "Masas de referencia de los vehículos". Se permite una tolerancia del 3% para la clasificación, por lo tanto, el valor de carga por eje declarado en MVD en el registro ERATV, expediente técnico o por cualquier otro medio de información apropiado, no debe exceder en más del 3% los límites de carga indicados en las tablas 3 y 4 que se muestran a continuación.

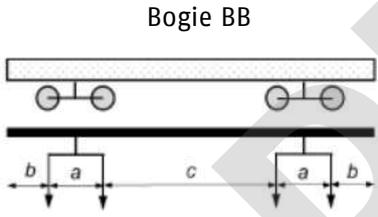
	Clasificación	Carga por eje (Tn) MVD	a(m)	b(m)	c(m)
	L4A	$\leq 22,5$	$a \geq 2,20$	$b \geq 2,10$	$c \geq 7,00$
L4B	$\leq 20,0$	$a \geq 2,20$	$b \geq 1,90$	$c \geq 4,50$	
L4C	$\leq 22,5$	$a \geq 3,00$	$b \geq 3,20$	$c \geq 6,50$	
L4D	$\leq 16,0$	$a \geq 2,20$	$b \geq 2,20$	$c \geq 5,00$	
L4E	$\leq 14,0$	$a \geq 2,00$	$b \geq 1,50$	$c \geq 3,50$	

Tabla 3 Clasificación de locomotoras tipo BB.

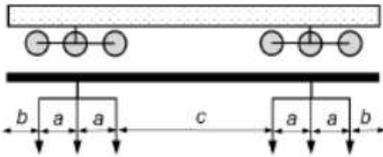
Bogie CC 	Clasificación	Carga por eje (Tn) MVD	a(m)	b(m)	c(m)
	L6A	$\leq 22,0$	$a \geq 1,80$	$b \geq 2,50$	$c \geq 9,00$
	L6B	$\leq 19,5$	$a \geq 1,65$	$b \geq 2,00$	$c \geq 5,00$

Tabla 4 Clasificación de locomotoras tipo CC.

Dependiendo de la clasificación asignada corresponderá una velocidad máxima admisible por efectos dinámicos. Esta, en función de la clasificación asignada, viene definida en la Tabla 5.

Clasificación de la Locomotora	Velocidad máxima admisible por efectos dinámicos – líneas de ancho ibérico y ancho estándar europeo (km/h)	Velocidad máxima admisible por efectos dinámicos – líneas de ancho métrico (km/h)
L4A	200	-
L4B	200	-
L4C	200	-
L4D	200	100
L4E	200	100
L6A	160	-
L6B	140	-

Tabla 5 Velocidad máxima admisible por efectos dinámicos sobre las obras de paso para locomotoras.

En caso de que se quieran optimizar las condiciones de circulación, se podrá realizar un estudio específico (ver capítulo 6).

Las velocidades máximas admisibles mostradas en la Tabla 5 son válidas para todos las obras de paso pertenecientes a la RFIG excepto para las obras de paso identificados en el RINF bajo el parámetro 1.1.1.1.2.4.3. La adecuación entre la clasificación del tráfico y las obras de paso ferroviarios ha sido comprobada para garantizar la seguridad del tráfico.

Para las locomotoras no clasificables según la Tabla 3 y la Tabla 4, la categorización de las mismas se realizará en base a los modelos de carga que representan las categorías de línea establecidos en el anexo A de la norma UNE-EN 15528:2022.

Las condiciones de circulación para las locomotoras categorizadas según la norma UNE-EN 15528:2022 se especifican en la Tabla 6.

Clasificación de las locomotoras conforme a la UNE-EN 15528:2022	Velocidad máxima admisible por efectos dinámicos – líneas de ancho ibérico y ancho estándar europeo (km/h)	Velocidad máxima admisible por efectos dinámicos – líneas de ancho métrico (km/h)
A	200	100
B1	200	80
B2	200	80
C2	160	70
C3	160	-
C4	140	-
D2	120	-
D3	120	-
D4	120	-

Tabla 6 Velocidad máxima admisible por efectos dinámicos sobre las obras de paso para locomotoras.

Cuando una locomotora supere la capacidad de carga estática de la línea, no estará autorizada a circular por las obras de paso ferroviarios y se necesitará una consigna específica que autorice su circulación.

### 5.3.-COCHES DE VIAJEROS

Para la verificación de la compatibilidad dinámica de los coches de viajeros se utilizarán los modelos de carga definidos en este apartado.

Se distinguen tres configuraciones diferentes de rodaduras (SA, CB y Mixto). Los coches de viajeros se clasifican en los modelos definidos para cada tipo de rodadura en función de:

- Distancia entre ejes (a, b y c) del vehículo.
- La carga estática del eje más cargado bajo carga útil normal de diseño (MND) conforme a la UNE-EN 15663 "Masas de referencia de los vehículos". Se permite una tolerancia del 3% para la clasificación, por lo tanto, el valor de carga por eje declarado en MND en el registro ERATV, expediente técnico o por cualquier otro medio de información apropiado, no debe exceder en más del 3% los límites de carga indicados en las tablas mostradas a continuación.

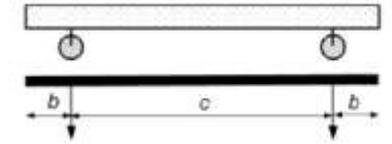
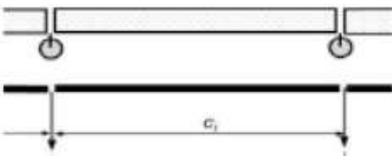
<p>Eje SA</p> 	Clasificación	Carga por eje (Tn) MND	b(m)	c(m)
	CV220	≤20,0	$1,5 \leq b \leq 3,3$	$c \geq 7,0$
	CV221	≤21,0	$1,5 \leq b \leq 3,3$	$c \geq 7,0$

Tabla 7 Clasificación de coches de viajeros tipo SA.

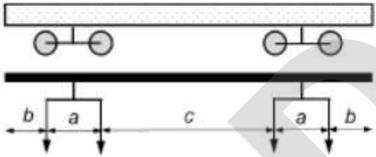
	Clasificación	Carga por eje (Tn) MND	a(m)	b(m)	c(m)
<p>Bogie CB</p> 	CV415	≤15,0	$1,6 \leq a \leq 2,5$	$1,5 \leq b \leq 3,0$	$c \geq 7,0$
	CV418	≤18,0	$1,8 \leq a \leq 3,0$	$1,5 \leq b \leq 3,0$	$c \geq 8,2$
	CV420	≤20,0	$1,8 \leq a \leq 3,0$	$1,5 \leq b \leq 3,0$	$c \geq 8,2$

Tabla 8 Clasificación de coches de viajeros tipo CB.

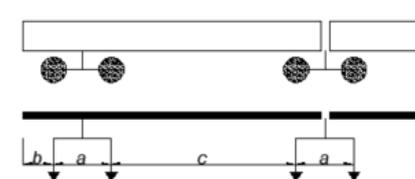
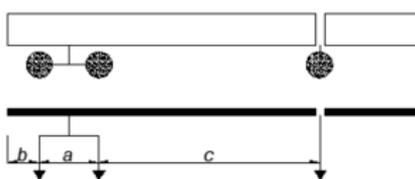
Mixto	Clasificación	Carga por eje (Tn) MND	a(m)	b(m)	c(m)
	CVM18	≤18,0	$1,8 \leq a \leq 3,0$	$1,5 \leq b \leq 3,0$	$c \geq 8,1$
	CVM20	≤20,0	$1,8 \leq a \leq 3,0$	$1,5 \leq b \leq 3,0$	$c \geq 8,1$

Tabla 9 Clasificación de coches de viajeros tipo Mixto.

Dependiendo de la clasificación asignada corresponderá una velocidad máxima admisible por efectos dinámicos. Esta, en función de la clasificación asignada, viene definida en la Tabla 10.

Clasificación de los coches de viajeros	Velocidad máxima admisible por efectos dinámicos líneas de ancho ibérico y ancho estándar europeo (km/h)	Velocidad máxima admisible por efectos dinámicos líneas de ancho métrico (km/h)
CV220	200	NA
CV221	160	NA
CV415	200	100
CV418	200	NA
CV420	160	NA
CVM18	200	NA
CVM20	160	NA

Tabla 10 Velocidad máxima admisible por efectos dinámicos sobre las obras de paso para coches de viajeros.

En caso de que se quieran optimizar las condiciones de circulación, se podrá realizar un estudio específico (ver capítulo 6).

Las velocidades máximas admisibles mostradas en la Tabla 10 son válidas para todos las obras de paso pertenecientes a la RFIG excepto para las obras de paso identificados en el RINF bajo el parámetro 1.1.1.1.2.4.3. La adecuación entre la clasificación del tráfico y las obras de paso ferroviarios ha sido comprobada para garantizar la seguridad del tráfico.

Para los coches de viajeros no clasificables según las Tablas 7, 8 y 9, será necesario realizar un estudio específico conforme al capítulo 6 para establecer las condiciones de circulación.

#### 5.4.-UNIDADES MÚLTIPLES

Para la verificación de la compatibilidad dinámica de las unidades múltiples, la metodología de compatibilidad distingue entre líneas con velocidad de circulación igual o inferior a 200km/h y líneas con velocidad de circulación superior a los 200km/h.

##### 5.4.1.-UNIDADES MÚLTIPLES EN LINEAS CON VELOCIDAD DE CIRCULACIÓN IGUAL O INFERIOR A 200KM/H

Para la verificación de la compatibilidad dinámica de las unidades múltiples a velocidades iguales o inferiores a 200km/h se utilizarán los modelos de carga definidos en este apartado.

Para las tres configuraciones de bogies (SA, AB y CB), las unidades múltiples se clasifican en uno de los modelos definidos para cada tipo de bogie en función de:

- Espacio entre ejes:
  - **a**: distancia entre ejes de un bogie.
  - **b**: distancia desde el eje extremo hasta el plano de acoplamiento más cercano.
  - **c**: distancia entre dos ejes internos.
- Dos parámetros geométricos complementarios:
  - **Db**: Distancia entre ejes de los bogies de vehículos adyacentes.
  - **Dc**: Distancia entre topes.
- La carga estática del eje más cargado bajo carga útil normal de diseño (MND) conforme a la UNE-EN 15663 "Masas de referencia de los vehículos". Se permite una tolerancia del 3% para la clasificación, por lo tanto, el valor de carga por eje declarado en MND en el registro ERATV, expediente técnico o por cualquier otro medio de información apropiado, no debe exceder en más del 3% los límites de carga indicados en las tablas mostradas a continuación.

Los valores de los parámetros geométricos y la carga por eje pueden variar a lo largo de la composición, por ello es importante identificar todos los valores que difieran para así garantizar que todos los parámetros de la composición cumplen todos los criterios de geometría y carga del modelo considerado. En la figura 2 se muestran los distintos parámetros geométricos a tener en cuenta.

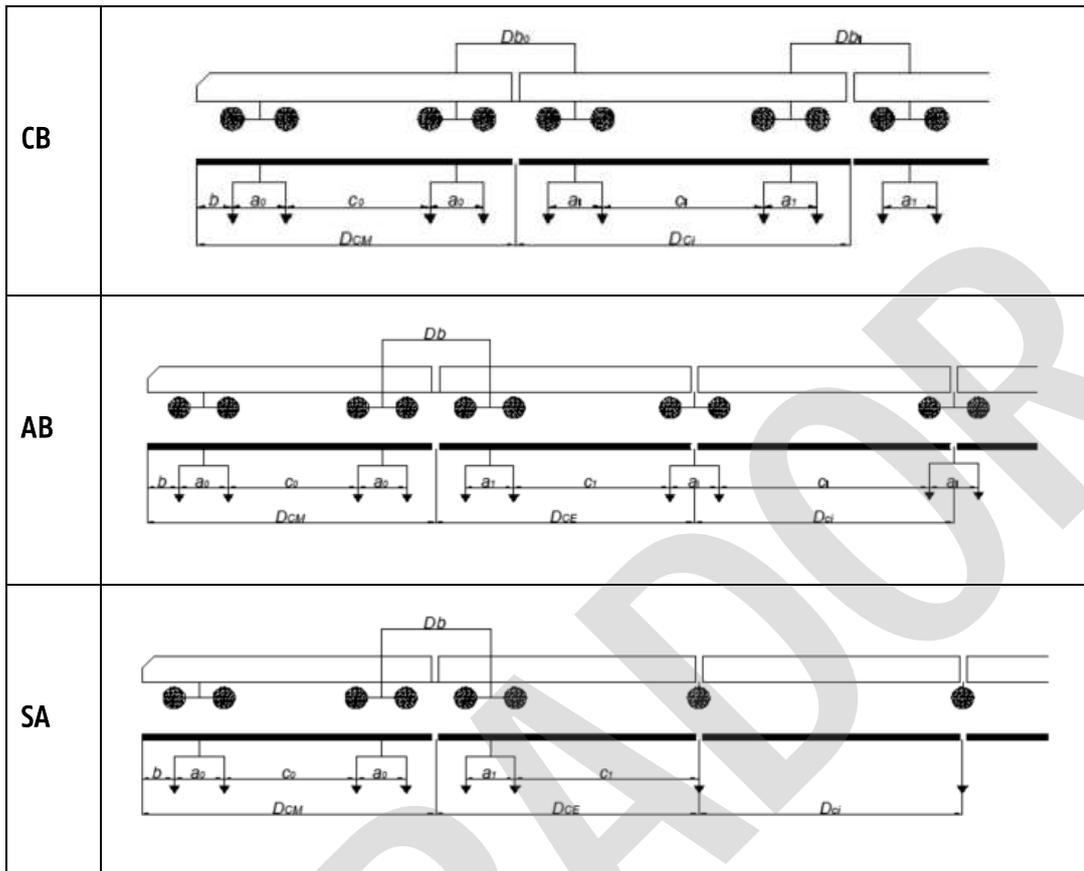


Figura 2 Diferentes configuraciones de bogie (CB, AB Y SA).

#### 5.4.1.1.-UNIDADES MÚLTIPLES CON BOGIES CONVENCIONALES (CB)

La tabla 11 especifica los rangos para los parámetros que se muestran en la figura 3, que permiten la clasificación de las Unidades Múltiples con bogies convencionales (CB).

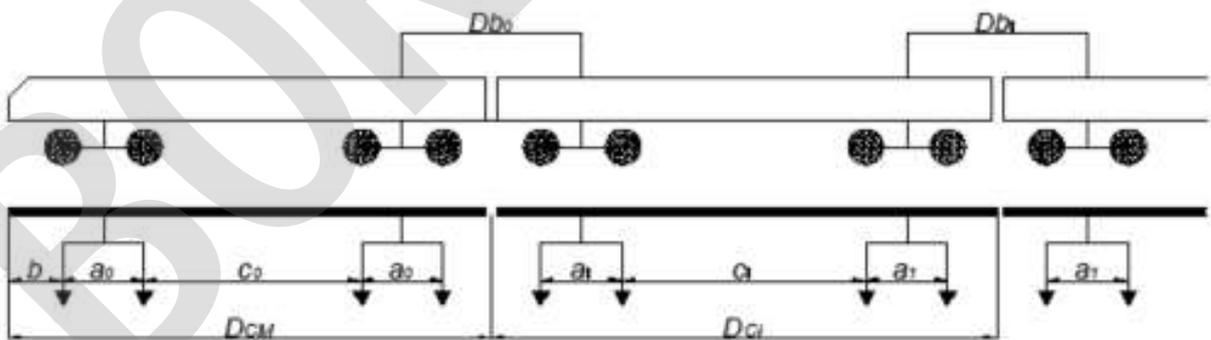


Figura 3 Parámetros de las UM con bogies convencionales.

Clasificación UM CB	Carga por eje (Tn) MND	a (m)	b (m)	C <sub>i</sub> (m)	D <sub>b</sub> (m)	D <sub>c</sub> (m)
UM_CB20	≤20	1,8 ≤ a ≤ 3,0	b ≥ 1,5	C <sub>i</sub> ≥ 8,2	D <sub>b</sub> ≥ 4,8	D <sub>c</sub> ≥ 15,0
UM_CB18	≤18	1,8 ≤ a ≤ 3,0	b ≥ 1,5	C <sub>i</sub> ≥ 8,2	D <sub>b</sub> ≥ 4,8	D <sub>c</sub> ≥ 15,0
UM_CB15	≤15	1,6 ≤ a ≤ 2,5	b ≥ 1,5	C <sub>i</sub> ≥ 7	D <sub>b</sub> ≥ 4,6	D <sub>c</sub> ≥ 13,0

Tabla 11 Clasificación para UM con bogies convencionales.

Se debe verificar que todos los datos del vehículo (carga y geometría) respetan los rangos de valores autorizados.

#### 5.4.1.2.-UNIDADES MÚLTIPLES CON BOGIES ARTICULADOS (AB)

La tabla 12 especifica los rangos para los parámetros que se muestran en la figura 4 que permiten la clasificación de las Unidades Múltiples con bogies articulados (AB).

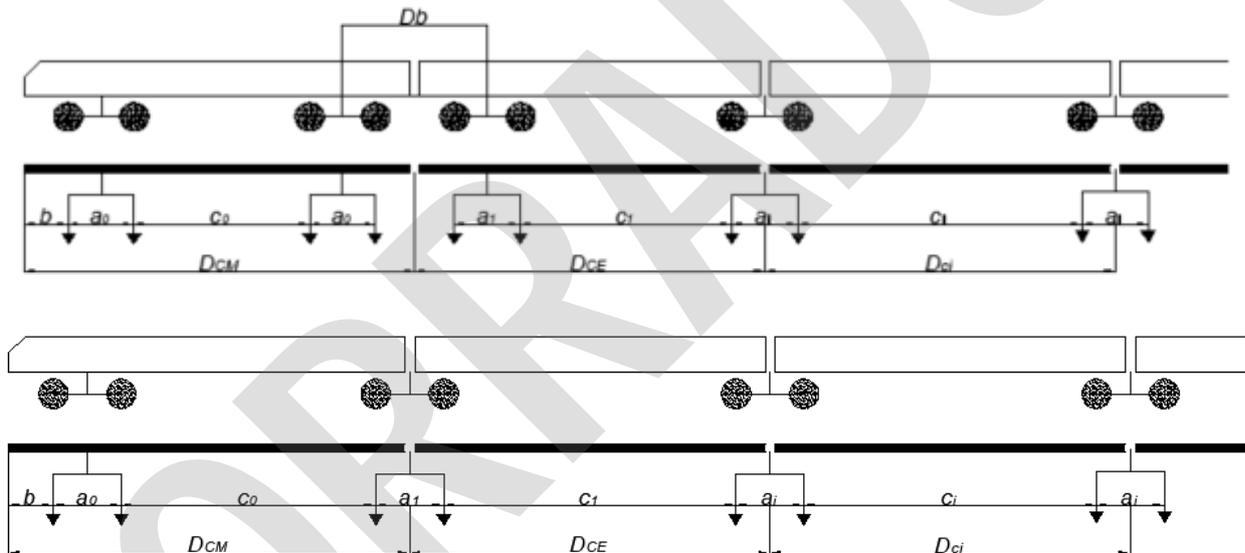


Figura 4 Parámetros de las UM con bogies articulados con locomotora / cabeza tractora.

Clasificación UM AB	Carga por eje (Tn) MND	a (m)	b (m)	C <sub>i</sub> (m)	D <sub>b</sub> (m)	D <sub>c</sub> (m)
UM_AB20	≤20	1,8 ≤ a ≤ 3,0	b ≥ 1,5	C <sub>i</sub> ≥ 8,2	D <sub>b</sub> ≥ 4,8	D <sub>c</sub> ≥ 14,0
UM_AB19	≤19	1,8 ≤ a ≤ 3,0	b ≥ 1,5	C <sub>i</sub> ≥ 8,2	D <sub>b</sub> ≥ 4,8	D <sub>c</sub> ≥ 14,0

Tabla 12 Clasificación para UM con bogies articulados con locomotora / cabeza tractora.

### 5.4.1.3.-UNIDADES MÚLTIPLES CON ÓRGANO DE RODADURA DE EJE INDIVIDUAL (SA)

La tabla 13 especifica los rangos para los parámetros que se muestran en la figura 6, que permiten la clasificación de las Unidades Múltiples con ejes individuales (SA).

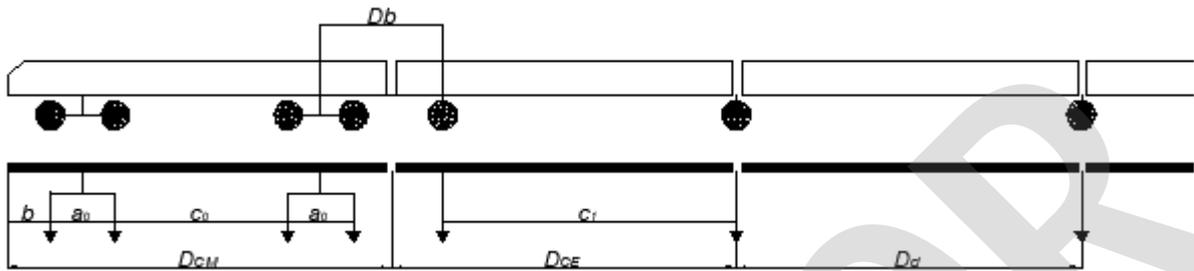


Figura 5 Parámetros de las UM con ejes individuales y coche en el extremo con dos bogies CB.

Clasificación UM SA	Carga por eje (Tn) MND	a (m)	b (m)	$C_1$ (m)	$D_b$ (m)	$D_c$ (m)
UM_SA21	$\leq 21$	$1,8 \leq a \leq 3,0$	$b \geq 1,5$	$C_1 \geq 7,0$	$D_b \geq 4,8$	$D_c \geq 11,5$
UM_SA20	$\leq 20$	$1,8 \leq a \leq 3,0$	$b \geq 1,5$	$C_1 \geq 7,0$	$D_b \geq 4,8$	$D_c \geq 11,5$

Tabla 13 Clasificación para UM con ejes individuales y coche en el extremo con dos bogies CB.

Se debe verificar que todos los datos del vehículo (carga y geometría) respetan los rangos de valores autorizados.

Las diferentes configuraciones que se muestran en la figura 7 también están cubiertas por las clases tipo UM\_SA, las únicas variaciones son referentes a la geometría de los vehículos extremos de tipo BB o mixto:



Figura 6 UM Variaciones de vehículo extremo de tipo BB o Mixto sobre UM con ejes individuales.

#### 5.4.1.4.-CONDICIONES DE CIRCULACIÓN

Dependiendo de la clasificación asignada según los apartados 5.4.1.1, 5.4.1.2 y 5.4.1.3, corresponderá una velocidad máxima admisible por efectos dinámicos. Esta, en función de la clasificación asignada, viene definida en la Tabla 14.

Clasificación de las UM	Velocidad máxima admisible por efectos dinámicos líneas de ancho ibérico y ancho estándar europeo (km/h)	Velocidad máxima admisible por efectos dinámicos líneas de ancho métrico (km/h)
UM_CB20	160	NA
UM_CB18	200	NA
UM_CB15	200	100
UM_AB20	160	NA
UM_AB19	200	NA
UM_SA21	160	NA
UM_SA20	200	NA

Tabla 14 Velocidad máxima admisible por efectos dinámicos sobre las obras de paso para UM a velocidades iguales o inferiores a 200km/h.

En caso de que se quieran optimizar las condiciones de circulación, se podrá realizar un estudio específico (ver capítulo 6).

Las velocidades máximas admisibles mostradas en la Tabla 14 son válidas para todos las obras de paso pertenecientes a la RFIG excepto para las obras de paso identificados en el RINF bajo el parámetro 1.1.1.1.2.4.3. La adecuación entre la clasificación del tráfico y las obras de paso ferroviarios ha sido comprobada para garantizar la seguridad del tráfico.

Para las UM no clasificables según las Tablas 11, 12 y 13, será necesario realizar un estudio específico conforme al capítulo 6 para establecer las condiciones de circulación.

#### 5.4.2.-UNIDADES MÚLTIPLES EN LINEAS CON VELOCIDAD DE CIRCULACIÓN SUPERIOR A 200 KM/H

Para la verificación de la compatibilidad dinámica entre las obras de paso y las unidades múltiples a velocidades superiores a 200 km/h, se establecen dos metodologías independientes. Si verifica cualquiera de los dos metodologías, queda probada la compatibilidad dinámica.

##### 5.4.2.1.-METODOLOGÍA 1

Esta metodología para establecer la compatibilidad dinámica entre las obras de paso y las unidades múltiples a velocidades superiores a 200 km/h está basado en los modelos de carga dinámicos HSLM.

Para poder aplicar esta metodología es necesario que tanto las obras de paso como el material ferroviario estén clasificados conforme al modelo de cargas indicado.

Las obras de paso situados en la RFIG donde se circula a velocidad superior a 200 km/h son compatibles con el modelo de cargas dinámico como queda justificado en el INFORME TÉCNICO. ANÁLISIS DE LA COMPATIBILIDAD DINÁMICA DE LAS OBRAS DE PASO CON LOS MODELOS DE CARGA DINÁMICOS DE ALTA VELOCIDAD.

Las obras de paso ferroviarios que requieran comprobaciones específicas estarán identificados en el registro de infraestructuras (RINF) en el parámetro 1.1.1.1.2.4.3 (*Localización ferroviaria de las estructuras que requieren comprobaciones específicas*).

Para la categorización del tráfico ferroviario, la empresa ferroviaria debe comprobar si el tren objeto de estudio cumple con los límites de validez del modelo de carga HSLM que se indican en el Anexo E de la UNE-EN 1991-2:2019.

Si se cumplen todos los límites establecidos en dicho anexo, el tren objeto de estudio se clasifica compatible con los modelos de carga del HSLM.

De esta manera, los trenes clasificados compatibles con los modelos de carga HSLM estarán autorizados a circular a la velocidad máxima de circulación, en toda la RFIG con velocidades superiores a 200 km/h, salvo en las obras de paso ferroviarios que requieran comprobaciones específicas, que estarán identificados en el registro de infraestructuras (RINF) en el parámetro 1.1.1.1.2.4.3.

#### 5.4.2.2.-METODOLOGÍA 2

Para las tres configuraciones de bogies (SA, AB y CB), las unidades múltiples se clasifican en uno de los modelos definidos para cada tipo de bogie en función de:

- Espacio entre ejes:
  - **a**: distancia entre ejes de un bogie.
  - **b**: distancia desde el eje extremo hasta el plano de acoplamiento más cercano.
  - **c**: distancia entre dos ejes internos.
- Dos parámetros geométricos complementarios:
  - **Db**: Distancia entre ejes de los bogies de vehículos adyacentes.
  - **Dc**: Distancia entre topes.
- **Lt**: distancia máxima entre el primer y el último eje de la composición.
- La carga estática del eje más pesado bajo carga útil normal de diseño (MND). Se permite una tolerancia del 3% para la clasificación siempre y cuando la carga MND promedio de todos los ejes de la composición no exceda la carga por eje MND indicada en las tablas proporcionadas. Es decir, si la carga MND promedio de todos los ejes de la composición no supera los límites de carga MND indicados en las tablas, el valor de carga MND del eje más pesado puede exceder hasta un 3% los límites de carga MND establecidos en dichas tablas.

Los valores de los parámetros geométricos y la carga por eje pueden variar a lo largo de la composición, por ello es importante identificar todos los valores que difieran para así garantizar que todos los parámetros de la composición cumplen todos los criterios de geometría y carga del modelo considerado.

Los trenes, CB, AB y SA, que puedan ser clasificados conforme a las tablas 15, 16 y 17 estarán autorizados a circular conforme a las condiciones que se indican en el apartado 5.4.2.2.4.

### 5.4.2.2.1.-Unidades Múltiples con bogies convencionales (CB)

La tabla 15 especifica los rangos para los parámetros que se muestran en la figura 8, que permiten la clasificación de las Unidades Múltiples con bogies convencionales (CB).

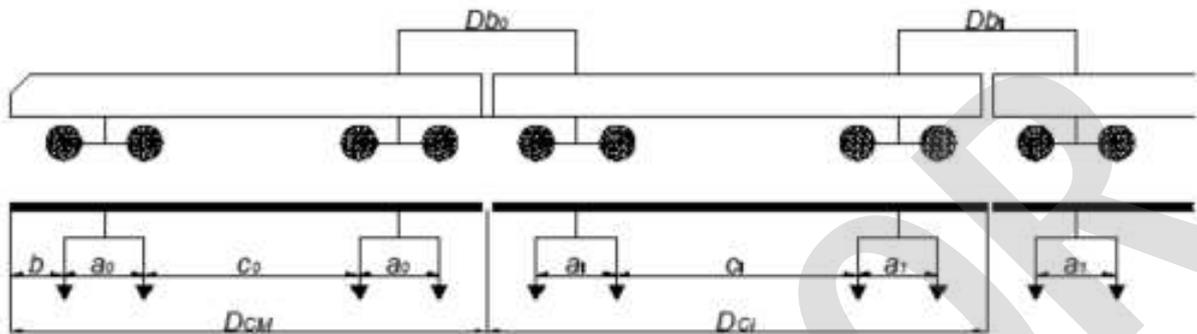


Figura 7 Unidades múltiples de Alta Velocidad con bogies convencionales CB.

Clasificación UM-AV CB	Carga por eje (Tn) MND	a(m)	b(m)	c(m)	Db(m)	Dc(m)	Lt(m)
UM-AV_CB16,5	≤16,5	2,5≤a≤2,9	b≥2,3	c≥14,5	7,4≤Db≤7,9	24,5≤Db≤25,0	400,0
UM-AV_CB17,5	≤17,5	2,7≤a≤2,8	b≥1,9	c≥16,0	6,7≤Db≤7,2	25,5≤Db≤26,0	325,0

Tabla 15 Unidades Múltiples con bogies convencionales.

### 5.4.2.2.2.-Unidades Múltiples con bogies articulados (AB)

La tabla 16 especifica los rangos para los parámetros que se muestran en la figura 9, que permiten la clasificación de las Unidades Múltiples con bogies articulados (AB).

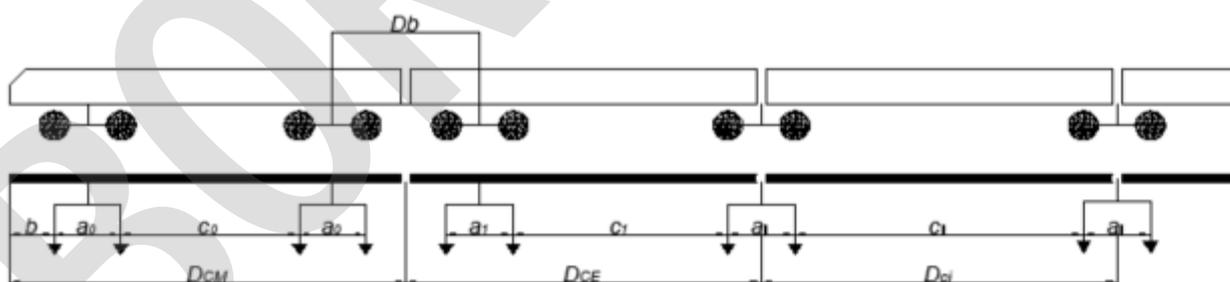


Figura 8 Unidades múltiples de Alta Velocidad con bogies articulados AB.

Clasificación UM-AV AB	Carga por eje (Tn) MND	a(m)	b(m)	c(m)	Db(m)	Dc(m)	Lt(m)
UM-AV_AB17,5	≤17,5	2,8≤a≤3,0	b≥1,6	c≥11,0	6,0≤Db≤6,5	18,5≤Db≤21,9	400

Tabla 16 Unidades Múltiples con bogies articulados (AB).

### 5.4.2.2.3.-Unidades Múltiples con órgano de rodadura de eje individual (SA)

La tabla 17 especifica los rangos para los parámetros que se muestran en la figura 10, que permiten la clasificación de las Unidades Múltiples con ejes individuales (SA).

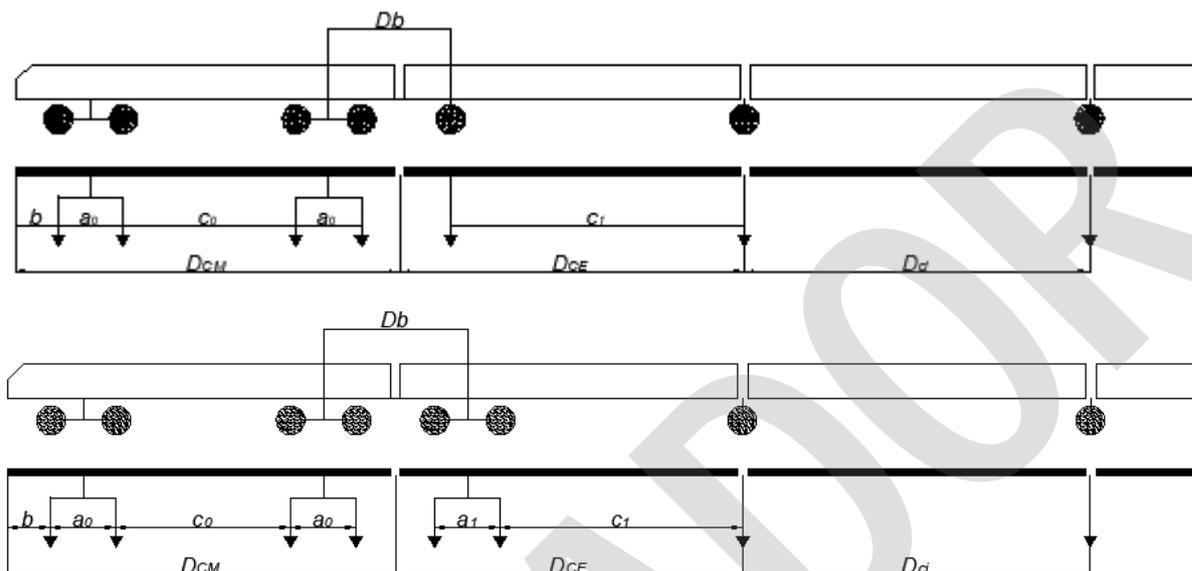


Figura 9 Unidades múltiples de Alta Velocidad con ejes individuales SA.

Clasificación UM SA	Carga por eje (Tn) MND	a(m)	b(m)	C <sub>0</sub> (m)	C <sub>1</sub> (m)	Db(m)	D <sub>ci</sub> (m)	Lt (m)*
UM-AV_SA18,0	≤18,0	2,6≤a≤2,8	3.0≤b≤4.5	8,0≤c≤11,0	8,0≤c≤11,0	7,0≤Db≤8,0	13,0≤Db≤13,5	400
**UM-AV_SA19,5	≤19,5	2,6≤a≤2,8	3.0≤b≤4.0	7,5≤c≤8,5	13,0≤c≤13,5	5,5≤Db≤6,0	13,0≤Db≤13,5	405
UM-AV_SA19,0	≤19,0	2,6≤a≤2,8	3.0≤b≤4.5	7,5≤c≤9,0	7,5≤c≤9,0	7,0≤Db≤8,5	13,0≤Db≤13,5	375

Tabla 17 Unidades Múltiples con órgano de rodadura de eje individual (SA).

\* Longitud máxima del tren teniendo en cuenta que este está formado por dos UM acopladas de igual longitud cada una. En caso de tratarse de una sola UM la longitud máxima del tren será la mitad de la indicada en la tabla 17.

\*\* En el caso de la UM-AV\_SA19,5 adicionalmente debe cumplirse la siguiente condición geométrica:

$$2 \frac{D_{CM} + D_{CE}}{D_{ci}} < 5.40$$

#### 5.4.2.2.4.-Condiciones de circulación

Dependiendo de la clasificación asignada según los apartados 5.4.2.2.1, 5.4.2.2.2 y 5.4.2.2.3, corresponderá una velocidad máxima admisible por efectos dinámicos. Esta, en función de la clasificación asignada, viene definida en la Tabla 18.

Clasificación de las UM	Velocidad máxima admisible por efectos dinámicos (km/h)
UM-AV_CB16,5	350
UM-AV_CB17,5	250
UM-AV_AB17,5	300
UM-AV_SA18,0	330
UM-AV_SA19,5	330
UM-AV_SA19,0	250

Tabla 18 Velocidad máxima admisible por efectos dinámicos sobre las obras de paso para UM a velocidades superiores a 200km/h.

En el caso de que el tren no sea compatible con los modelos de carga HSLM y tampoco se pueda clasificar conforme a las tablas 15, 16 y 17, las condiciones de circulación se establecerán conforme al apartado 5.4.1, siendo en cualquier caso la velocidad máxima admisible por efectos dinámicos igual o inferior a 200km/h.

Como alternativa al párrafo anterior, existe la posibilidad para el operador ferroviario de optimizar las condiciones de circulación del tren mediante estudios específicos teniendo en cuenta sus características geométricas y condiciones de carga particulares (ver apartado 6.-ESTUDIOS ESPECÍFICOS PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LAS CONDICIONES DE CIRCULACIÓN).

### 6.-ESTUDIOS ESPECÍFICOS PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LAS CONDICIONES DE CIRCULACIÓN

Las clases de vehículos descritas en el apartado 5 son la envolvente de varias configuraciones posibles de vehículos. En consecuencia, las condiciones de circulación de un vehículo sobre las obras de paso ferroviarios pueden optimizarse previa realización de estudios específicos que tengan en cuenta sus características geométricas y de carga particulares. Para la realización de estos estudios específicos serán necesarios datos tanto del material rodante (cargas, geometría, velocidad de diseño, etc.) como de las obras de paso a comprobar (geometría, cargas de diseño, etc.).

Estos estudios específicos deberán estar firmados por los ingenieros autores, así como por el ingeniero responsable, todos ellos serán personal técnico titulado con competencia legal para ello y con experiencia probada en el análisis dinámico de estructuras. El ingeniero responsable deberá indicar su número de colegiado profesional o, en su defecto, póliza de responsabilidad civil profesional, siendo su responsabilidad la de la veracidad de todo lo reflejado en el estudio.

Los niveles de análisis que se proponen a continuación están planteados con carácter progresivo. Se parte de metodologías sencillas de evaluación asociadas a pocos datos, para acudir sucesivamente, si es preciso, a formulaciones más sofisticadas y exigentes en volumen de información.

A continuación, se describen los diferentes niveles de estudio.

NORMA ADIF PLATAFORMA	ADMINISTRADOR DE INFRAESTRUCTURAS FERROVIARIAS
ESTUDIO DE COMPATIBILIDAD ESTÁTICA Y DINÁMICA TREN-OBRAS DE PASO FERROVIARIAS	COMITÉ DE NORMATIVA
NAP 2-4-2.3	1ª EDICIÓN
	OCTUBRE 2024
	Pág. 25 de 33

## 6.1.-NIVEL 1. COMPARACIÓN A PARTIR DE MODELOS DE CARGA

Dentro de este nivel se diferencian dos metodologías en función de la máxima velocidad de circulación.

### 6.1.1.-Para velocidades iguales o inferiores a 200 km/h

Se compararán los esfuerzos estáticos del tren en estudio aplicándoles el factor dinámico  $(1 + \varphi' + r\varphi'')$  (ver anexo C de UNE-EN 1991-2:2019) que corresponda frente a las cargas de la instrucción con las que se diseñó la obra de paso objeto de análisis. Se tendrá en cuenta el estado de conservación de la obra de paso y cualquier otro factor que pueda influir en la capacidad portante de la misma.

Se considerará como "apta" la estructura frente al paso del tren de referencia en estudio para la velocidad máxima de circulación si se satisface la siguiente condición:

$$\frac{S_q(tp) \Phi}{S_q(tr)(1 + \varphi' + r\varphi'')} \geq 1,15$$

Siendo:

$S_q(tp)$  la envolvente característica de esfuerzos del tren de proyecto.

$S_q(tr)$  la envolvente característica de esfuerzos del tren de referencia en estudio.

$\Phi$  coeficiente de impacto envolvente aplicado al tren de proyecto.

$(1 + \varphi' + \varphi'')$  factor que amplifica los efectos estáticos de los trenes reales en servicio a cierta velocidad.

Esta metodología se considera válida para obras de paso cuya frecuencia fundamental de flexión sea superior al límite inferior de frecuencias que se establece en el apartado 6.4.4 de la UNE-EN 1991-2:2019.

### 6.1.2.-Para velocidades superiores a 200 km/h

Se compararán los efectos dinámicos del tren objeto de estudio frente al modelo de carga dinámico HSLM+. Este modelo de carga está formado por los trenes HSLM-A definidos en la UNE-EN 1991-2:2019 y dos trenes resultantes de los modelos de carga UM-AV\_CB y UM-AV\_SA (Ver anexo 1).

Se considera como criterio de aceptación para la circulación del tren de referencia en estudio a la máxima velocidad de circulación, la siguiente condición:

$$S_{0,HSLM+}(\lambda) \geq S_{0,tr}(\lambda)$$

Siendo:

$S_{0,HSLM+}(\lambda)$  la firma dinámica del modelo de cargas dinámico HSLM+.

$S_{0,tr}(\lambda)$  la firma dinámica del tren de referencia en estudio.

Una exposición más detallada sobre el concepto de la "firma dinámica del tren" se puede encontrar en el informe técnico ERRI D214.

## 6.2.-NIVEL 2. MODELO DE CÁLCULO DE LA ESTRUCTURA

Las condiciones de circulación en las obras de paso ferroviarios se optimizan en comparación con el nivel 1 mediante un modelo de cálculo de la estructura. Este nivel requiere hacer un modelo de cálculo para cada obra de paso afectada.

Será necesario tener en cuenta para el cálculo dinámico los modos torsionales cuando así corresponda (excentricidad de la vía respecto al eje del tablero esviado).

Igualmente, será necesario utilizar las formas modales de torsión cuando se cumpla la siguiente inecuación:

$$n_T \leq 1,2 n_0$$

Siendo:

$n_0$  la primera frecuencia de flexión del tablero solicitada por la carga permanente.

$n_T$  la primera frecuencia de torsión del tablero solicitada por la carga permanente.

El análisis dinámico de la estructura será conforme a la UNE-EN 1991-2:2019.

Una vez realizado el cálculo dinámico con el tren de referencia en estudio, los criterios que se exponen a continuación determinan las limitaciones en las solicitaciones, deformaciones y aceleraciones de los tableros de las obras de paso para asegurar que la rodadura de los vehículos ferroviarios se realice en condiciones de operatividad y seguridad adecuadas.

- **Aceleración vertical del tablero**

La comprobación de la aceleración máxima pico del tablero se debe considerar como un requisito de seguridad del tráfico que debe verificarse en el estado límite de servicio para la prevención de inestabilidad de la vía.

$$a_{max} \leq 5m/s^2$$

- **Solicitaciones máximas**

Comprobación de que los resultados del cálculo dinámico del tren de referencia en estudio (solicitaciones y desplazamientos verticales), quedan cubiertos por el modelo de cargas de la instrucción de diseño (IAPF-07 o IAPF-75) aplicando su coeficiente de impacto correspondiente. Todos los valores de cálculo son característicos (sin mayorar las acciones).

$$(1 + \varphi'_{dyn} + \varphi''/2)x(TR) \leq \phi xTREN (IAPF - 07/75)$$

En el caso de que se superen los criterios de validación establecidos, se establecerán las prescripciones pertinentes a la circulación del tren de referencia sobre la estructura, de tal manera que se cumplan los criterios funcionales establecidos y consecuentemente se garantice la operatividad y seguridad del tráfico adecuadas.

## 6.3.-NIVEL 3. MONITORIZACIÓN DE LA OBRA DE PASO AL PASO DEL TREN

Las condiciones de tráfico se optimizan en comparación con el nivel 2 mediante registros experimentales de los parámetros que gobiernan el comportamiento dinámico de la obra de paso. El procesamiento de las medidas experimentales permite reducir las incertidumbres de las simulaciones numéricas.

Los criterios de aceptación son los mismos que los establecidos para el nivel 2.

## 7.-DISPOSICIONES TRANSITORIAS Y ENTRADA EN VIGOR

La presente NAP entrará en vigor en la fecha de su aprobación.

## 8.-NORMATIVA DE REFERENCIA Y BIBLIOGRAFÍA

En el contenido de esta norma se hace referencia a los documentos normativos que se citan a continuación.

Cuando se trate de legislación, será de aplicación la última versión publicada en los diarios oficiales, incluidas sus sucesivas modificaciones.

En el caso de documentos referenciados sin edición y fecha se utilizará la última edición vigente; en el caso de normas citadas con versión exacta, se debe aplicar esta edición concreta.

En el caso de normas UNE-EN que establezcan condiciones armonizadas para la comercialización de productos de construcción, que sean transposición de normas EN cuya referencia haya sido publicada en el Diario Oficial de la Unión Europea, será de aplicación la última versión comunicada por la Comisión y publicada en el DOUE.

- ITPF-05. Instrucción sobre inspecciones técnicas en puentes de ferrocarril. ORDEN FOM 1951/2005, de 10 de Junio. Ministerio de Fomento.
- REVINFE-23. Instrucción sobre los registros de la actividad de vigilancia de infraestructuras ferroviarias. Aprobada por la Orden TMA/698/2023, de 27 de junio.
- IAPF-07. Instrucción de acciones a considerar en el proyecto de puentes de ferrocarril. ORDEN FOM/3671/2007, de 24 de septiembre. Ministerio de Fomento.
- IAPF-75. Instrucción de acciones a considerar en puentes de ferrocarril. ORDEN MINISTERIAL 26 de junio de 1975. Ministerio de Obras Públicas.
- IPM-56. Instrucción para el cálculo de tramos metálicos y previsión de los efectos dinámicos de las sobrecargas en los de hormigón armado. ORDEN MINISTERIAL 17 de julio de 1956. Ministerio de Obras Públicas.
- IPM-25. Instrucción para redactar proyectos de puentes metálicos. Consejo de Obras públicas. 1925.
- IPM-02. Instrucción para redactar Proyectos de Puentes Metálicos. Consejo de Obras Públicas. 1902.
- UNE-EN 15528:2022: Aplicaciones ferroviarias. Categorías de línea para la gestión de las interfaces entre límites de cargas de los vehículos y la infraestructura. AENOR.
- UNE-EN 15663:2018: Aplicaciones ferroviarias. Masas de referencia de los vehículos. Septiembre 2019. AENOR.
- Adif-PC. NAP 2-4-2.0. Pruebas de carga ferroviarias en puentes de ferrocarril. 1ª Edición.
- NAP 2-4-2.2. Estudio de viabilidad estructural para transportes excepcionales. 1ª Edición.
- UNE-EN 1991-2:2019. Eurocódigo 1: Acciones en estructuras-cargas de tráfico en puentes. Febrero 2019. AENOR.

- UIC 776-1:2006. Acciones a considerar en el cálculo de puentes de ferrocarril. Agosto 2006. UIC.
- REGLAMENTO (UE) Nº 1299/2014 DE LA COMISIÓN: Especificaciones Técnicas de Interoperabilidad del subsistema "Infraestructura" en el sistema ferroviario de la Unión Europea.
- REGLAMENTO (UE) 2019/773 DE LA COMISIÓN: Especificaciones Técnicas de Interoperabilidad correspondiente al subsistema "Explotación y Gestión del Tráfico» del sistema ferroviario de la Unión Europea.
- REGLAMENTO DE EJECUCIÓN (UE) 2019/777 DE LA COMISIÓN: Especificaciones Comunes del Registro de la Infraestructura Ferroviaria.
- Documentos complementarios no contradictorios para la aplicación de los Eurocódigos para el cálculo de puentes de Ferrocarril. Ministerio de Fomento.
- Reglamento de Ejecución (UE) 2019/777 de la Comisión de 16 de mayo de 2019 sobre las especificaciones comunes del registro de la infraestructura ferroviaria y por el que se deroga la Decisión de ejecución 2014/880/UE.

## I. ANEXO 1 MODELO DE CARGAS DINÁMICO HSLM+

El modelo de cargas dinámico HSLM+ comprende los 10 trenes que constituyen el modelo de cargas dinámico HSLM-A (ver apartado 6.4.6 de la UNE-EN 1991-2:2019) y otros dos trenes resultantes de los modelos de carga UM-AV\_CB y UM-AV\_SA que se definen a continuación y que corresponden con los trenes más críticos de ambos modelos. Para el modelo de cargas UM-AV\_AB no se define ningún tren ya que queda cubierto por el modelo de cargas HSLM.

<b>UM-AV_CB (Carga por eje 165 kN MND)</b>	
<b>Número de eje</b>	<b>Posición ejes (m)</b>
Eje 1	0
Eje 2	2.5
Eje 3	17.5
Eje 4	20
Eje 5	25
Eje 6	27.5
Eje 7	42.5
Eje 8	45
Eje 9	50
Eje 10	52.5
Eje 11	67.5
Eje 12	70
Eje 13	75
Eje 14	77.5
Eje 15	92.5
Eje 16	95
Eje 17	100
Eje 18	102.5
Eje 19	117.5
Eje 20	120
Eje 21	125
Eje 22	127.5
Eje 23	142.5
Eje 24	145
Eje 25	150
Eje 26	152.5
Eje 27	167.5
Eje 28	170
Eje 29	175
Eje 30	177.5
Eje 31	192.5
Eje 32	195
Eje 33	200
Eje 34	202.5

<b>UM-AV_CB (Carga por eje 165 kN MND)</b>	
<b>Número de eje</b>	<b>Posición ejes (m)</b>
Eje 35	217.5
Eje 36	220
Eje 37	225
Eje 38	227.5
Eje 39	242.5
Eje 40	245
Eje 41	250
Eje 42	252.5
Eje 43	267.5
Eje 44	270
Eje 45	275
Eje 46	277.5
Eje 47	292.5
Eje 48	295
Eje 49	300
Eje 50	302.5
Eje 51	317.5
Eje 52	320
Eje 53	325
Eje 54	327.5
Eje 55	342.5
Eje 56	345
Eje 57	350
Eje 58	352.5
Eje 59	367.5
Eje 60	370
Eje 61	375
Eje 62	377.5
Eje 63	392.5
Eje 64	395

<b>UM-AV_SA (Carga por eje 180 kN MND)</b>	
<b>Número de eje</b>	<b>Posición ejes (m)</b>
Eje 1	0
Eje 2	2.6
Eje 3	13.1
Eje 4	15.7
Eje 5	21.4
Eje 6	29.4
Eje 7	42.4
Eje 8	55.4
Eje 9	68.4
Eje 10	81.4
Eje 11	94.4
Eje 12	107.4
Eje 13	120.4
Eje 14	133.4
Eje 15	146.4
Eje 16	159.4
Eje 17	167.4
Eje 18	173.1
Eje 19	175.7
Eje 20	186.2
Eje 21	188.8

<b>UM-AV_SA (Carga por eje 180 kN MND)</b>	
<b>Número de eje</b>	<b>Posición ejes (m)</b>
Eje 22	197.8
Eje 23	200.4
Eje 24	210.9
Eje 25	213.5
Eje 26	219.2
Eje 27	227.2
Eje 28	240.2
Eje 29	253.2
Eje 30	266.2
Eje 31	279.2
Eje 32	292.2
Eje 33	305.2
Eje 34	318.2
Eje 35	331.2
Eje 36	344.2
Eje 37	357.2
Eje 38	365.2
Eje 39	370.9
Eje 40	373.5
Eje 41	384
Eje 42	386.6

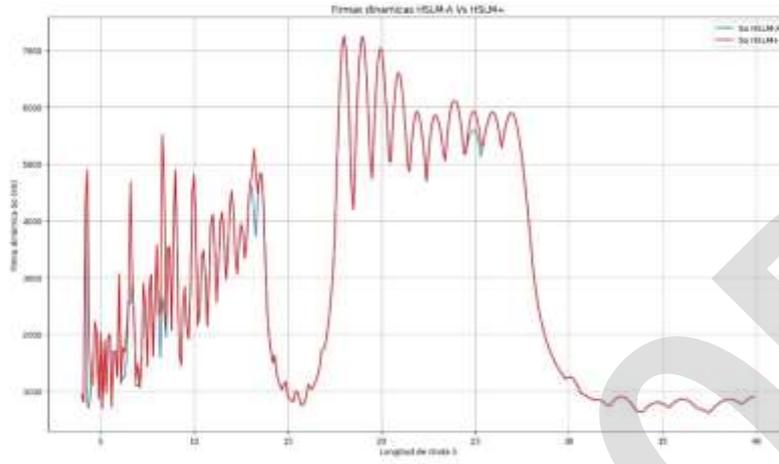


Figura 10 Comparación Firmas dinámicas HSLM-A Vs HSLM+.



Este documento normativo se presenta como "BORRADOR" a efectos de consulta a todos los interesados. Su contenido no tiene validez hasta su aprobación definitiva por el Comité de Normativa de Adif y Adif AV.  
Este documento no puede ser PUBLICADO, COPIADO NI EDITADO SIN AUTORIZACIÓN EXPRESA DEL COMITÉ DE NORMATIVA DE ADIF Y ADIF AV.

BORRADOR

[www.adif.es](http://www.adif.es)

[www.adifaltavelocidad.es](http://www.adifaltavelocidad.es)