

# ANEXO I. Cálculo de salientes en curva para AXL EN15273

La norma EN15273-5 contiene como ejemplo de aplicación de la norma EN15273 la tipología de tranvía del Urbos AXL de 3 módulos.

Glosario empleado:

- q: Juego bogie-rueda
- w: Juego bogie-caja
- $Z_{cin}$ : Balanceo curvas
- $S_i, S_R$ : Distancia de seguridad, Distancia disponible.

## 8.1.11 Defined new formulae in special cases

The following example presents one method to define new formulae for to prove that the non-conventional vehicle complies with the gauge. It's also possible to use a graphical method for find the solution.

### 8.1.11.1 Input

The draw below presents the vehicle configuration:

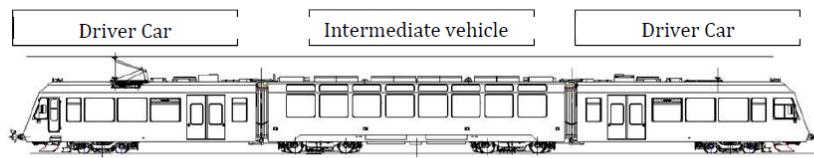


Figure 78 — Diagram of study vehicle

In this case the formulae are defined only for the leader vehicle and to calculate the lateral reduction in straight track and curve track, when the vehicle is entirely in the curve track.

### 8.1.11.2 Methodology

As a first step, it's necessary to define new parameters like this:

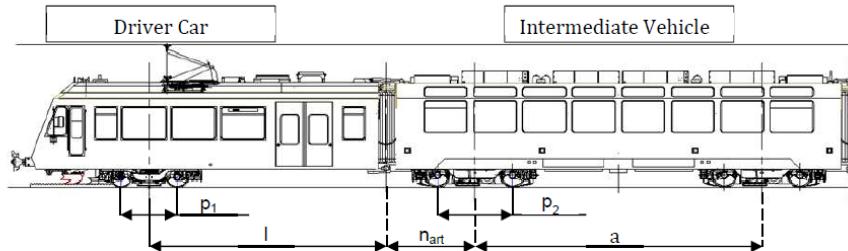


Figure 79 — Diagram of study vehicle with parameters

Formulae are given on the same principle as these given by EN 15273-2.

Take an example with the formula for the leading vehicle in straight track and can be summarizing as follow:

$$E_i = Dp_{i\ bogie1}A_1 + Dp_{a\ art}A_2 + z_{cin} - S_{Ri} - S_l$$

The displacement of section located on the articulation «  $Dp_{a\ art}$  », can be written as follow:

$$Dp_{a\ art} = \left( \frac{l_{max} - d_2}{2} + q_2 + w_2 \right) \frac{2n_{art} + a}{a}$$

The displacement of section located on the bogie 1 «  $Dp_{i\ bogie1}$  », on the leader vehicle, can be written as follow:

$$Dp_{i\ bogie1} = \left( \frac{l_{max} - d_1}{2} + q_1 + w_1 \right)$$

The association of the both formulae with including the associated displacement factor gives the following formula:

$$E_i = \left( \frac{l_{max} - d_1}{2} + q_1 + w_1 \right) \frac{l - n_i}{l} + \left[ \left( \frac{l_{max} - d_2}{2} + q_2 + w_2 \right) \frac{2n_{art} + a}{a} \right] \frac{n_i}{l} + z_{cin} - S_{Ri} - S_l$$

Simplifications are possible if:  $d_1=d_2=d$ ,  $q_1=q_2=q$  and  $w_1=w_2=w$

This formula becomes:

$$E_i = \left( \frac{l_{max} - d}{2} + q + w \right) \frac{al + 2n_{art}n_i}{al} + z_{cin} - S_{Ri} - S_l$$

#### 8.1.11.3 Results for the leading vehicle

##### 8.1.11.3.1 Sections located between the end axles or between the bogie centres

— straight track:

$$E_i = \left( \frac{l_{max} - d}{2} + q + w \right) \frac{al + 2n_{art}n_i}{al} + z_{cin} - S_{Ri} - S_l$$

— curved track:

$$E_i = \frac{ln_i - n_i^2 + \frac{p_1^2}{4} \frac{l - n_i}{l}}{2R} - \frac{an_{art} + n_{art}^2 - \frac{p_2^2}{4} n_i}{2R} + \left( \frac{l_{max} - d}{2} + q + w \right) \frac{al + 2n_{art}n_i}{al} + z_{cin} \\ - S_{Ri} - S_l$$

##### 8.1.11.3.2 Sections located beyond the end axles or beyond the bogie centres

— straight track:

$$E_a = \left( \frac{l_{max} - d}{2} + q + w \right) \left( 1 + \frac{2n_a(n_{art} + a)}{al} \right) + z_{cin} - S_{Ra} - S_l$$

— curved track:

$$E_a = \frac{ln_a + n_a^2 - \frac{p_1^2}{4}}{2R} - \frac{an_{art} + n_{art}^2 - \frac{p_2^2}{4} n_a}{2R} + \left( \frac{l_{max} - d}{2} + q + w \right) \left( 1 + \frac{2n_a(n_{art} + a)}{al} \right) + z_{cin} \\ - S_{Ra} - S_l$$

(see subclause 7.1.1.3)

## ANEXO II Relación de desplazamientos considerados en BOStrab

Desplazamientos transversales considerados por las directrices BOStrab	
<b>b'</b>	Saliente geométrico en curva horizontal
<b>y<sub>ss</sub></b>	Desplazamiento transversal de un punto del vehículo debido al juego de vía
<b>y<sub>sw</sub></b>	Desplazamiento transversal de un punto del vehículo debido a la desviación del centro de la vía
<b>y<sub>TR</sub></b>	Tolerancia de fabricación de ejes/ruedas
<b>y<sub>TA</sub></b>	Tolerancia de fabricación del rodamiento
<b>y<sub>TD</sub></b>	Tolerancia del ajuste Caja/Bogie
<b>y<sub>TP</sub></b>	Tolerancia de fabricación de suspensión primaria
<b>y<sub>TW</sub></b>	Tolerancia de la construcción de caja
<b>y<sub>SA</sub></b>	Juego transversal de la caja de grasa
<b>y<sub>SD</sub></b>	Juego transversal del pivote del bogie
<b>y<sub>FR</sub></b>	Suspensión lateral de rueda
<b>y<sub>FP</sub></b>	Suspensión primaria
<b>y<sub>FS</sub></b>	Suspensión secundaria, estática
<b>y<sub>DS</sub></b>	Suspensión secundaria, dinámica
<b>y<sub>GV</sub></b>	Desplazamiento de la vía
<b>y<sub>GW</sub></b>	Cambio de desplazamiento de la vía
<b>y<sub>GE</sub></b>	Elasticidad transversal de la vía y el carril
<b>y<sub>wo</sub></b>	Balanceo por peralte o aceleración no compensada
<b>y<sub>ws</sub></b>	Balanceo por fuerzas de interacción con vía
<b>y<sub>ww</sub></b>	Balanceo por fuerza del viento
<b>y<sub>wb</sub></b>	Balanceo por nivelación de cajas
<b>y<sub>wz</sub></b>	Balanceo por carga asimétrica
<b>y<sub>he</sub></b>	Balanceo por divergencia de las altitudes recíprocas de los carriles, parte elástica
<b>y<sub>hs</sub></b>	Balanceo por divergencia de las altitudes recíprocas de los carriles, mantenimiento

Desplazamientos verticales considerados por las directrices BOStrab	
<b>Zku</b>	Saliente geométrico vertical en cimas
<b>Zwa</b>	Saliente geométrico vertical en valles
<b>Zvr</b>	Desgaste no compensado de rueda
<b>Ztw</b>	Tolerancia vertical de ajuste Caja-Bogie
<b>Ztg</b>	Tolerancia vertical de montaje de equipos
<b>Zfr</b>	Suspensión de rueda
<b>Zfp</b>	Recorrido estático del resorte de la suspensión primaria
<b>Zdp</b>	Recorrido dinámico del resorte de la suspensión primaria
<b>Zfs</b>	Recorrido estático del resorte de la suspensión secundaria
<b>Zds</b>	Recorrido dinámico del resorte de la suspensión secundaria
<b>Zfw</b>	Flecha de las cajas
<b>Zge</b>	Elasticidad vertical de la vía
<b>Zgv</b>	Desplazamiento vertical de la vía
<b>Zvs</b>	Desgaste vertical de carril
<b>Zwq</b>	Balanceo por peralte o aceleración no compensada
<b>Zws</b>	Balanceo por fuerzas de interacción con vía
<b>Zww</b>	Balanceo por fuerza del viento
<b>Zhe</b>	Balanceo por divergencia de las altitudes recíprocas de los carriles, parte elástica
<b>Zhs</b>	Balanceo por divergencia de las altitudes recíprocas de los carriles, mantenimiento
<b>Zwb</b>	Balanceo por nivelación de cajas
<b>Zwz</b>	Balanceo por carga asimétrica
<b>Zng</b>	Cabeceo a causa de desplazamientos verticales de la vía

## ANEXO III. Validación de la herramienta de cálculo

La validación de la herramienta se realizó durante todo el proceso de desarrollo. La metodología de validación seguida ha consistido en el seguimiento de cada uno de los cálculos realizados para los diferentes desplazamientos, especialmente en aquellos cuya formulación es novedosa o su implementación en software es compleja.

Ejemplos son el cálculo de salientes geométricos o el cálculo de los desplazamientos en suspensiones dinámicas.

A continuación, se ejemplifica la validación seguida con los cálculos más complejos.

### 1. Factores de articulación

Como validación de la implementación correcta del cálculo con el cambio de ejes, se han comparado casos realizados de manera manual con la salida del programa.

Introduciendo el ejemplo de la sección de la memoria 3.1.1.1.2.1 en el software, se comprueba que efectivamente la implementación ha sido la correcta.

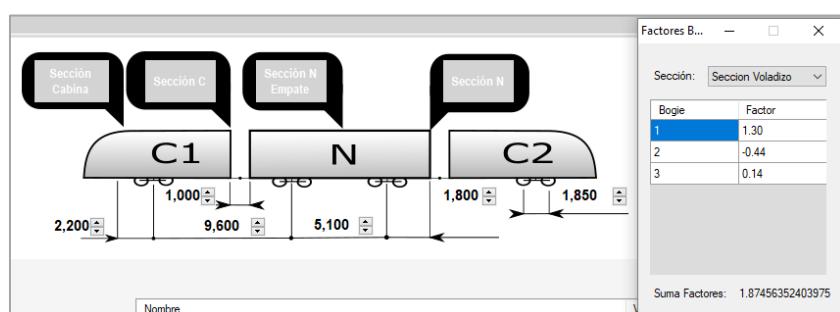


Ilustración Anexo III 1 Captura de pantalla de la herramienta, que muestra los resultados de factores esperados del ejemplo.

### 2. Salientes geométricos

Una vez programada la metodología, se han realizado casos particulares y se ha comparado la solución con los métodos de cálculo tradicionales descritos en el apartado 3.2.2 de la memoria, para comprobar que el método funciona. Se expone a continuación un ejemplo de esta validación por cada módulo tipo.

#### Urbos 100

En el caso de Urbos 100, siguiendo la metodología tradicional:

Parámetros ejemplo:

- p: 1500 mm
- R: 20 m
- n: 1800 mm (de acuerdo con la ilustración 3.13)

$$\alpha = \tan^{-1} \left( \frac{n}{R} \right) = \tan^{-1} \left( \frac{1800}{20000} \right) = 5.143^\circ$$

$$b' = R \cdot \left( \frac{1}{\cos(\alpha)} - 1 \right) - R \cdot \left( 1 - \cos \left( \sin^{-1} \frac{p}{2 \cdot R} \right) \right) = 66.769 \text{ mm}$$

Introduciendo los parámetros anteriores en la herramienta terminada:

Y	Origen	Valor	nz / n	Unidades
B	Saliente geométrica en curva.	66.82	z	mm
ySS	Desplazamiento transversal del punto del vehículo debido al juego de vía.	22.5	z	mm
ySA	Juego transversal de la caja de grasa	0.4	z	mm

Ilustración Anexo III 2 Captura de la salida del programa

$$Diff = 66.82 - 66.77 = 0.05 \text{ mm} \Rightarrow 0.07\% \text{ error}$$

El error, no obstante, insignificante, no está en la nueva metodología, si no que se encuentra en la tradicional; dado que superpone el saliente del bogie al del vehículo y eso conlleva un ligero error.

Realizando el mismo ejercicio para una sección en un módulo S:

Parámetros ejemplo:

- p: 1500 mm
- R: 20 m
- n: 1200 mm (de acuerdo con la ilustración 3.14)
- l: 1500 mm

Considerando que es el mismo vehículo que el anterior y que la distancia bogie articulación también es 1800 mm:

$$b'_{arti} = 66.78 \text{ mm}$$

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{l}{R+b'_{arti}}\right) = 4.29^\circ$$

$$R'' = (R + b'_{arti}) \cdot \cos(\alpha) = 20010.638 \text{ mm}$$

$$\beta = \arctan\left(\frac{l-n}{R''}\right) = 0.859^\circ$$

Finalmente:

$$b' = R - R' = R - \frac{R''}{\cos(\beta)} = -12.88 \text{ mm} \text{ (hacia el interior de curva)}$$

Introduciendo los parámetros anteriores y una sección extra a n=1200 en la herramienta terminada:

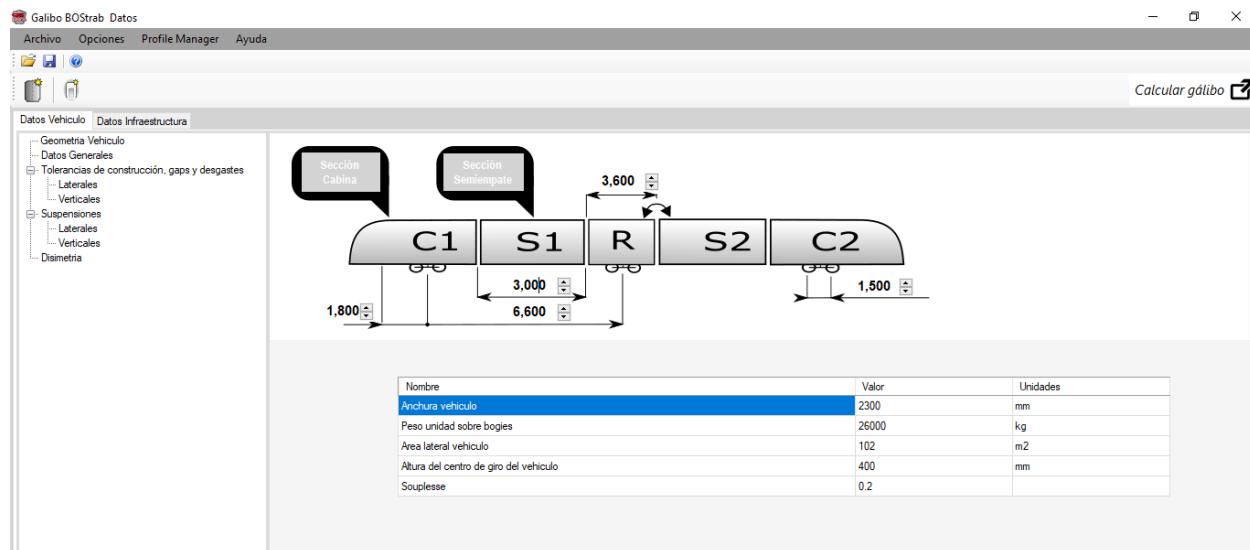


Ilustración Anexo III 3 Captura de los datos introducidos (geométricos).

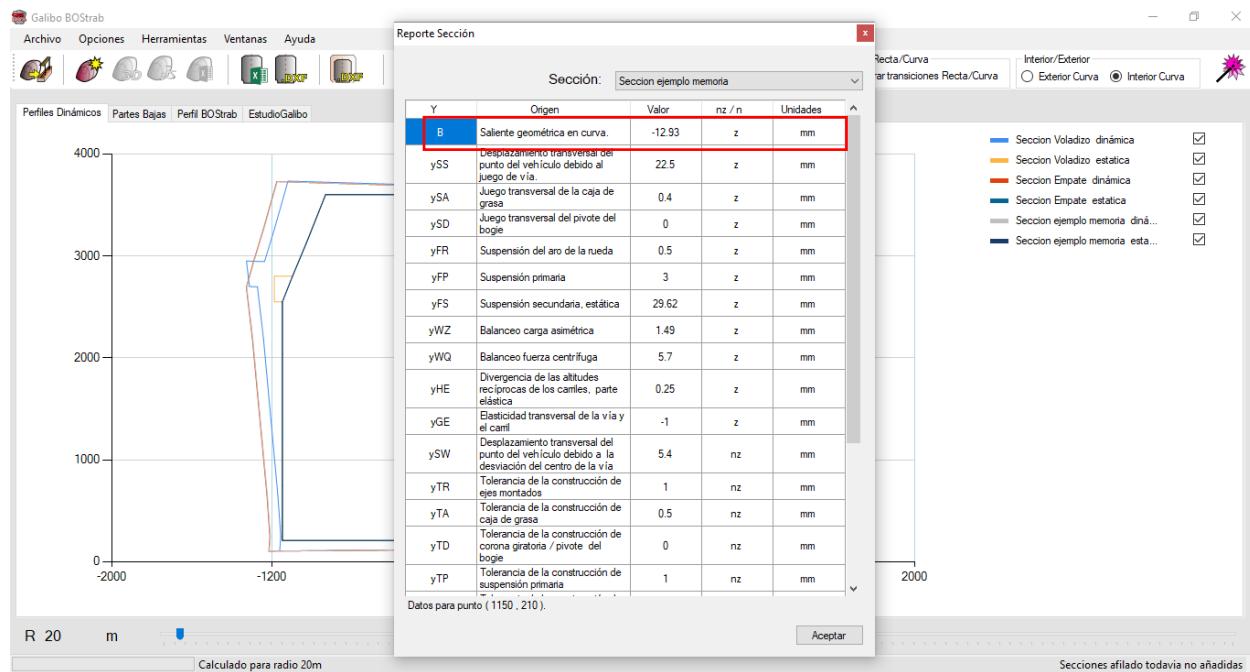


Ilustración Anexo III 4 Captura de la salida para radio 20m

$$Diff = 12.88 - 12.93 = -0.05 \text{ mm} \Rightarrow -0.38\%$$

El error anterior se ha arrastrado en el cálculo tradicional.

Dado que los cálculos se realizan a nivel de módulos, con la validación del módulo S y C también validamos las combinaciones (versión 5 y 7 módulos).

### **Urbos AXL**

Para estos tipos de módulos podemos contrastar el cálculo del programa contra el saliente calculado de acuerdo con la norma EN15273-5 (Anexo II)

$$E_i = \frac{ln_i - n_i^2 + \frac{p_1^2}{4} \frac{l - n_i}{l}}{2R} - \frac{an_{art} + n_{art}^2 - \frac{p_2^2}{4} n_i}{2R} + \left( \frac{l_{max} - d}{2} + q + w \right) \frac{al + 2n_{art}n_i}{al} + z_{cin}$$

$$- S_{Ri} - S_l$$

*Ilustración Anexo III 5 Captura de la formulación de la norma para el módulo C.*

Como solo queremos saber el saliente debido a curva;  $q = w = z_{cin} = S_{Ri} = S_l = l_{max} = d = 0$

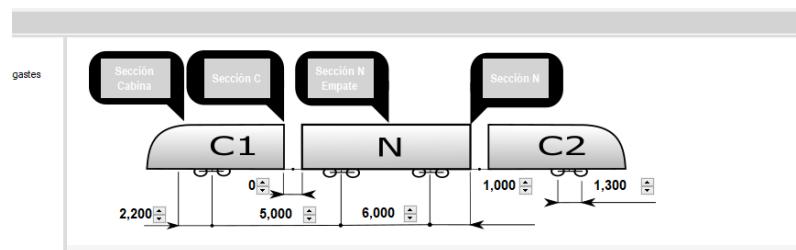
Con los parámetros ejemplo:

- $p_1 = p_2 = 1300$  mm
- $R = 40$  m
- $n_{art} = 1000$  mm
- $l = 5000$  mm
- $a = 6000$  mm
- $n_i = 2000$  mm

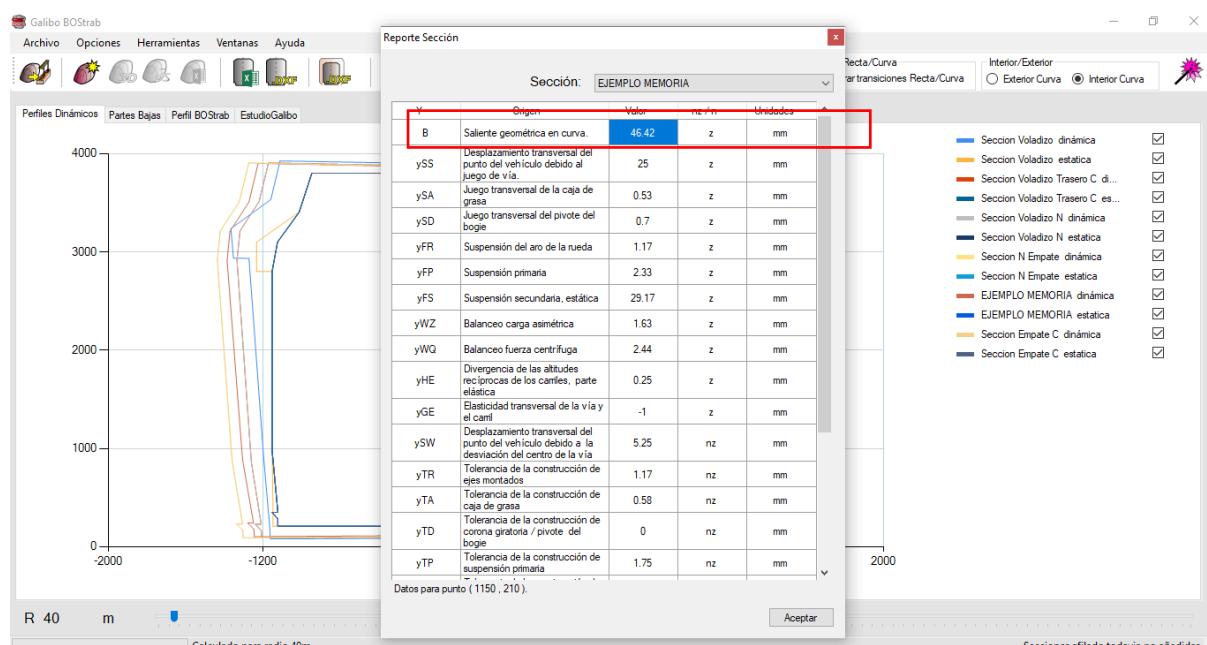
La fórmula anterior da como resultado:

$$E_i = b' = 45.3 \text{ mm}$$

Introduciendo los parámetros en el programa (y una sección localizada ni respecto la articulación):



*Ilustración Anexo III 6 Captura de la geometría introducida.*



*Ilustración Anexo III 7 Captura de la salida.*

$$Diff = 45.3 - 46.42 = -1.12 \text{ mm} \Rightarrow -2.47\%$$

Como se ha comentado anteriormente en la memoria, la norma EN15273 ya avisa de que la formulación simplificada definida por ella contiene un error de hasta:

$$\text{Error} = \frac{a^2 * (a + n)^2}{8R^3} \text{ mm}$$

Dado que la norma parte de esta formulación para exemplificar el cálculo de esta tipología de vehículo, el error también es arrastrado.

En este caso, el error calculado de acuerdo con la formula puede ser de hasta (valor del error en la articulación)

$$\text{Error} = \frac{a^2 * (a + n)^2}{8R^3} = \frac{6000^2 * (6000 + 1000)^2}{8 \cdot 40000^3} = 3.12 \text{ mm}$$

Cayendo por tanto el error hallado dentro de límites.

La EN15273, consciente del error, abre la puerta también al empleo de métodos gráficos para el cálculo de los salientes en esta tipología.

Se ha dibujado por tanto la inscripción de esta unidad en curva de 40 m, para comprobar que efectivamente el error se encuentra en la formulación de la norma:

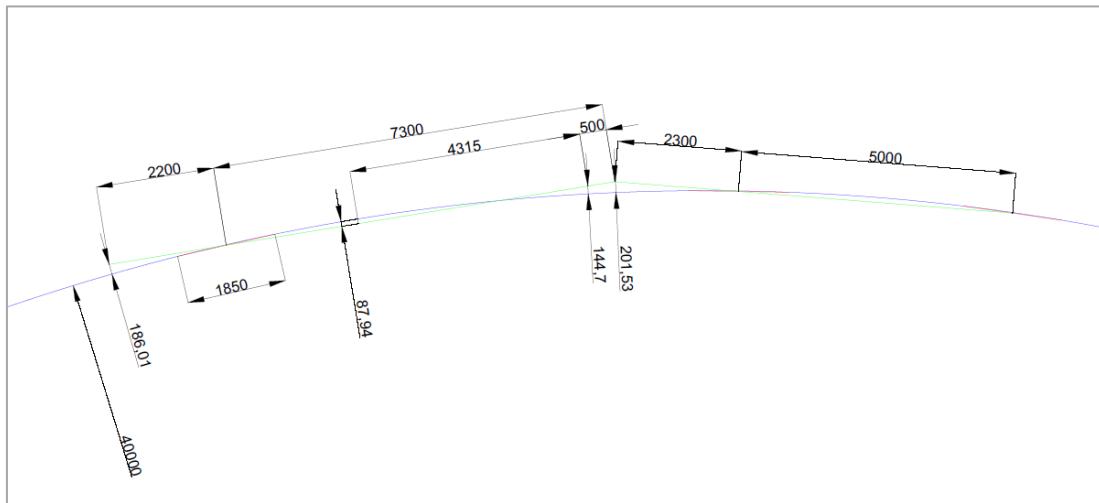


Ilustración Anexo III 1 Inscripción de los módulos C y N (solo ejes) en curva de 40m. Se valida la formulación.

Resolviendo el caso grafico mediante el programa:

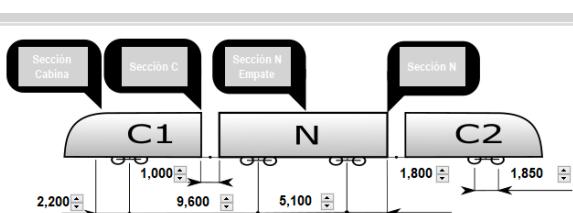


Ilustración Anexo III 8 Datos geométricos introducidos.

## Resultados:

The figure consists of three separate software windows, each titled 'Reporte Sección'.  
 1. The first window is for 'Sección Voladizo' (Front Flange). It shows a single row of data: Y=0, Origen=Saliente geométrica en curva., Valor=-186.01, nz/n=z, Unidades=mm.  
 2. The second window is for 'Sección Empate C' (Center Support). It shows a single row of data: Y=0, Origen=Saliente geométrica en curva., Valor=87.93, nz/n=z, Unidades=mm.  
 3. The third window is for 'Sección Voladizo Trasero C' (Rear Flange). It shows a single row of data: Y=0, Origen=Saliente geométrica en curva., Valor=-144.72, nz/n=z, Unidades=mm.

Ilustración Anexo III 9 Capturas de pantalla de las secciones calculadas con el método gráfico.

$$Diff = 0 \text{ mm} \Rightarrow 0 \%$$

El error con el método grafico es nulo por lo menos hasta 2 decimales. Se comprueba así que el error hallado anteriormente corresponde al cálculo simplificado de la norma EN15273.

Para el caso del módulo N, este se comporta como un vehículo genérico de dos bogíes, con lo que podremos contrastar directamente contra la formulación clásica.

El cálculo de los salientes exteriores de curva para el vehículo genérico se realiza según la norma BOStrab mediante la siguiente fórmula:

$$b' = \sqrt{\left( \sqrt{R^2 - \frac{a^2}{4} - \frac{p^2}{4}} + b \right)^2 + x^2} - R$$

Con x respecto al centro del coche y b el semiancho del punto de cálculo.

Parámetros ejemplo:

- p = 1250 mm
- R = 20 m
- x = 1000 mm
- a = 5000 mm
- b = 0 mm (saliente del eje del vehículo)

El saliente mediante BOStrab:

$$b' = \sqrt{\left( \sqrt{R^2 - \frac{a^2}{4} - \frac{p^2}{4}} + b \right)^2 + x^2} - R = -141.52 \text{ mm (hacia el interior)}$$

Calculándolo mediante la herramienta:

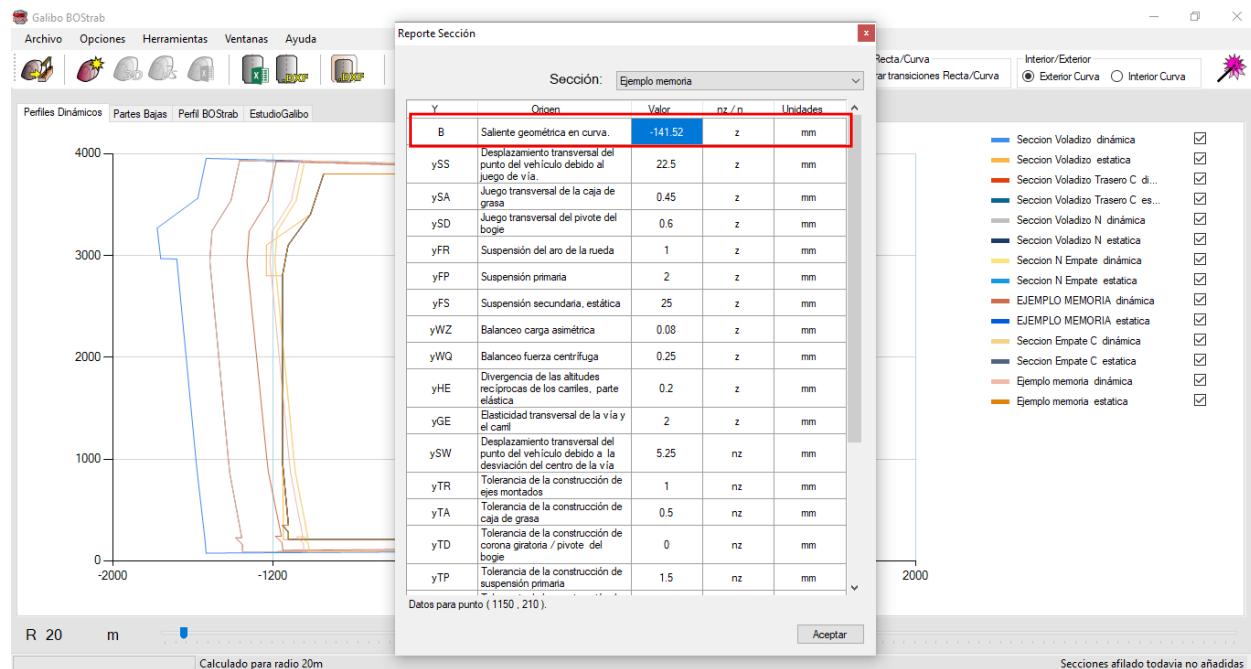


Ilustración Anexo III 10 Captura de la salida. Ejemplo coche N.

$$Diff = 0\%$$

Dado que para hallar estas soluciones el programa desarrollado ha combinado las soluciones de los módulos individualmente (tal y como se ha explicado en el apartado 3.2.3.2), estos casos validan la solución completa de Urbos 100, AXL y sus combinaciones (5 y 7 módulos, 3 y 4 módulos respectivamente).

Para curvas verticales, podemos validar el programa comparando con el cálculo tradicional:

De acuerdo con la BOStrab, el descenso en una curva vertical para una sección situada a x mm del centro del coche es:

$$Z_{KU} = R_{VALLE} - \sqrt{R_{VALLE}^2 - \frac{a^2}{4} - \frac{p^2}{4} + x^2}$$

Ejemplo con parámetros:

- $R_{VALLE} = 130$  m
- $a = 8000$  mm
- $p = 2120$  mm
- $x = 20$  mm

$$Z_{KU} = R_{VALLE} - \sqrt{R_{VALLE}^2 - \frac{a^2}{4} - \frac{p^2}{4} + x^2} = 65.87 \text{ mm ascenso}$$

Creando una sección a 20 mm del centro del módulo N:

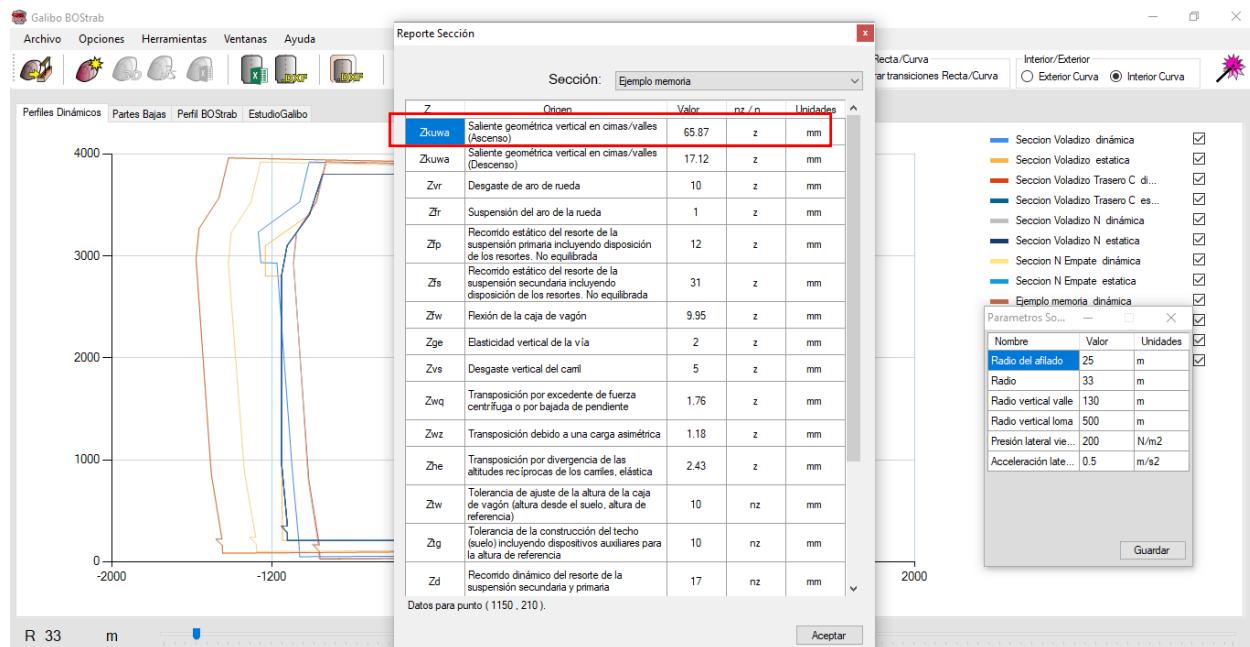


Ilustración Anexo III 11 Captura de la salida para curvas verticales. Ejemplo coche N.

$$Diff = 0\%$$

### 3. Secciones más perjudicadas

En apartado 3.1.2 de la memoria se ha comentado la existencia de unas secciones perjudicadas en los empates de los módulos C y R en los tranvías Urbos AXL.

Para validar el método de cálculo de estas, se ha expandido el dibujo CAD mostrado anteriormente.

De acuerdo con el dibujo, esta sección para el módulo C2 se encuentra a 4795.09 mm desde la articulación R-C2.

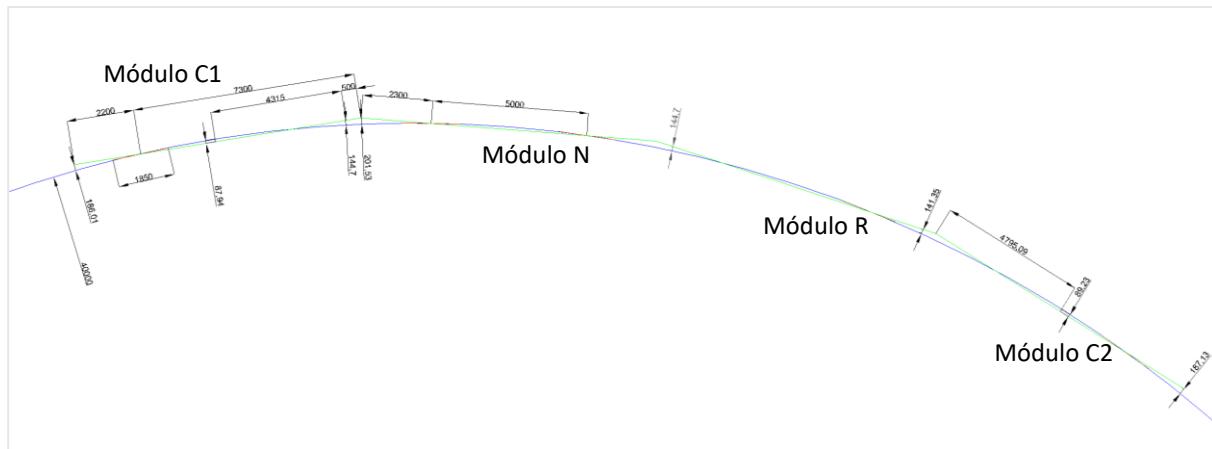


Ilustración Anexo III 12 Dibujo CAD para validar los cálculos geométricos de la tipología AXL 4

Al iniciar la fase de cálculo del gálibo en el software, un mensaje nos indica la sección más perjudicada (extra) y nos invita a introducirla. Podemos comparar este dato para validar el cálculo.

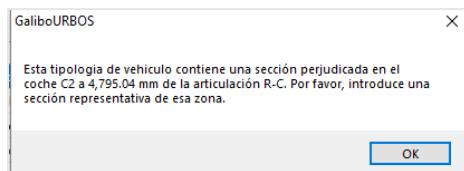


Ilustración Anexo III 13 Captura del programa: El cálculo es correcto.

#### 4. Desplazamientos BOStrab

En cuanto a los desplazamientos horizontales y transversales, la mayoría de sus cálculos son simples de implementar, residiendo la mayor posibilidad de error en el factor de articulación suma, que ya se ha validado que está correctamente implementado.

En el caso de los desplazamientos verticales cuyo proceso de cálculo es iterativo, como suspensiones, su resultado individual a lo largo de la longitud del vehículo está disponible para su consulta en el módulo de partes bajas del programa.

Por ejemplo, las interpolaciones empleadas para calcular Zfw (flecha del vehículo):

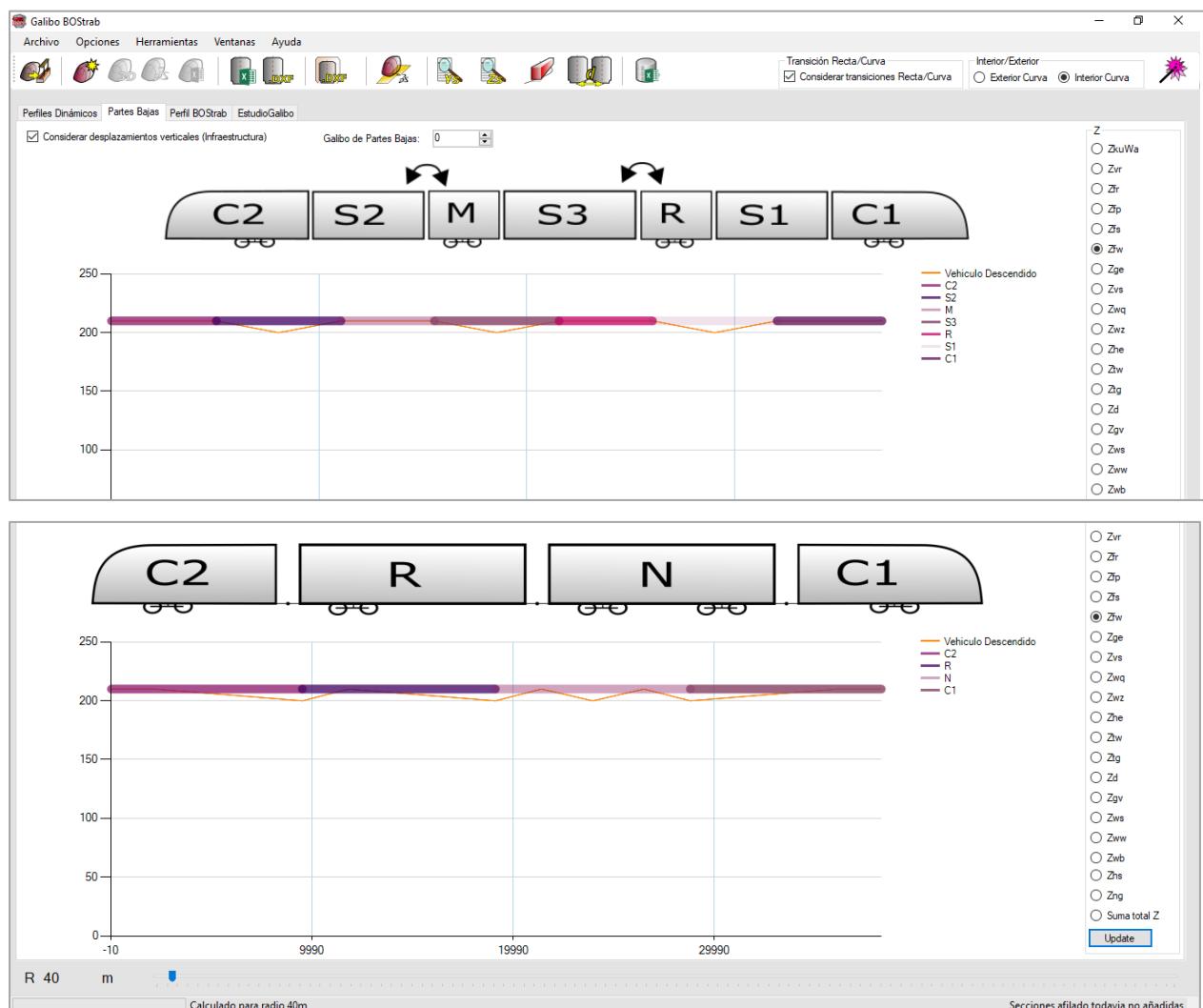


Ilustración Anexo III 14 Capturas de pantalla mostrando los descensos debido a flexión. Imagen superior: U100. Inferior: AXL.

Un proceso similar se ha seguido para otros descensos que requieren iteración de cálculo para hallar la solución como Zng y Zd.

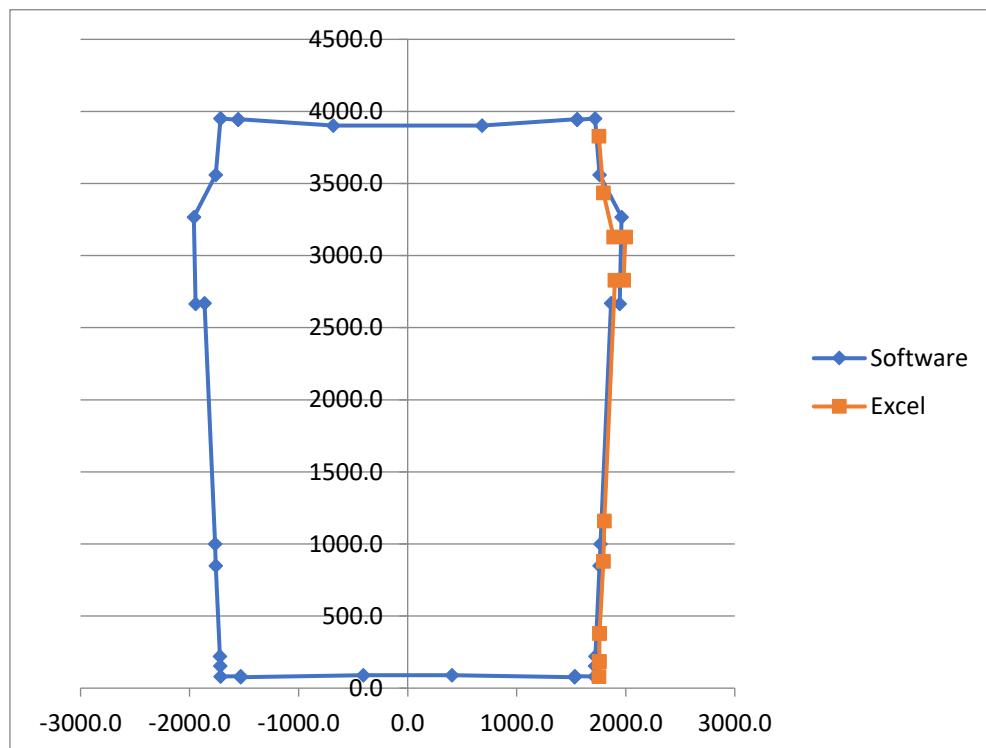
## 5. Cálculo del perfil dinámico

El proceso general de la generación correcta del perfil dinámico queda validado si cada uno de los desplazamientos que conforman la distorsión del perfil estático ha sido comprobado. Pese a esto, se han realizado casos individuales (sin balanceos, con todos los parámetros a 0...) y se ha comprobado que efectivamente la implementación ha sido la correcta.

Se ha comparado también la solución del programa con proyectos cuyo estudio de gálibo ya ha sido realizado. La solución no deberá de ser exacta, dado que el método de cálculo es diferente. No obstante, ésta habrá de ser similar porque se han tenido en cuenta los mismos parámetros (poniendo a 0 el resto).

La comparación se ha realizado para todas las tipologías calculadas exportando la solución a una hoja de cálculo.

**AXL TRANVÍA TALLIN (Exterior de curva 20m)**



*Ilustración Anexo III 15 Comparación gráfica de soluciones. (Los cálculos tradicionales no consideraban los balanceos en Z)*

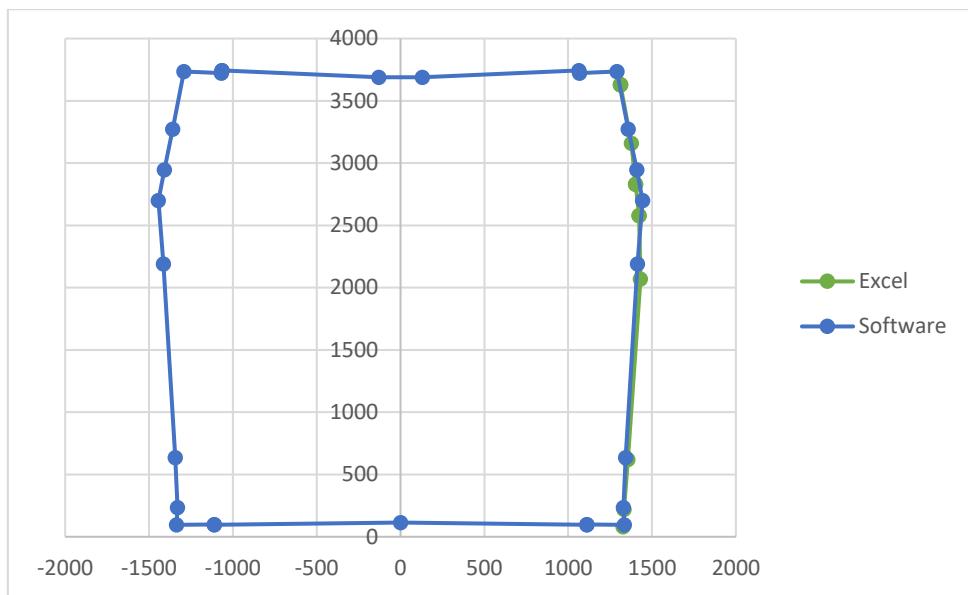
**Urbos 100 TRANVÍA FRIBURG (Interior de curva 25m)**

Ilustración Anexo III 16 Comparación gráfica de soluciones.

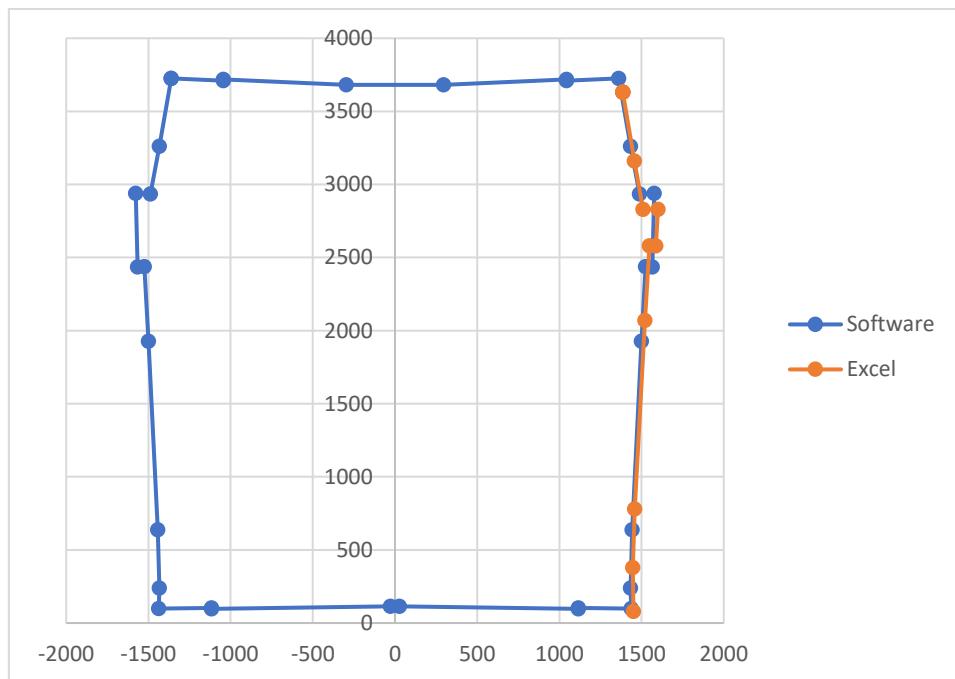
**Urbos 100 TRANVÍA FRIBURG (Exterior de curva 19m)**

Ilustración Anexo III 17 Comparación gráfica de soluciones.

## 6. Validación/Testing

Para validar la herramienta en su concepto de software, se ha probado cada una de sus funcionalidades en diferentes sistemas operativos (Windows 7 y 10). También se han probados casos extremos (Radios 0, parámetros de valor infinito etc.) tomando las medidas necesarias para que éstos no causaran errores o excepciones.

Se ha comprobado además que las funcionalidades de exportación a CATIA, Excel y .dxf funcionan correctamente.

## ANEXO IV. Manual de uso de la herramienta de gálibo

Manual de la herramienta, primera versión:  
(páginas siguientes)

REVISIÓN

EDICIÓN	MOTIVO	FECHA
-	Primera edición	18/11/2017

Preparado:

Nombre: Pedro Marco

Firma:-

Fecha: 18/11/2017

Revisado:

Nombre: Sergio Lafuente

Firma: -

Fecha: 19/11/2017

Aprobado:

Nombre: Sergio Lafuente

Firma: -

Fecha: 19/11/2017



## INDICE

1.	INTRODUCCIÓN .....	4
2.	INSTALACIÓN .....	4
3.	SELECCIÓN DE TIPOLOGIA .....	4
4.	INTRODUCCION DE DATOS .....	5
4.1	DATOS DEL VEHICULO .....	5
4.1.1	Parámetros .....	5
4.1.2	Secciones .....	6
4.2	DATOS INFRAESTRUCTURA.....	7
5.	VISUALIZACIÓN DE GÁLIBO .....	8
5.1	PERFILES DINÁMICOS.....	8
5.2	PERFIL BOSTRAB.....	9
5.3	PARTES BAJAS .....	10
5.4	ESTUDIO GÁLIBO .....	11
6.	SELECCIÓN DE AFILADO .....	12
7.	EXPORTACIONES.....	12
7.1	DKE .....	12
7.2	ESTUDIO GÁLIBO.....	13
7.3	SUPERFICIE DE PARTES BAJAS .....	13
7.4	AFILADO DE CABINA .....	13
7.5	MÁXIMOS SALIENTES .....	13
7.6	DISTANCIA MÍNIMA ENTRE VÍAS .....	13



## REFERENCIAS

[1] "TRStrab Lichtraum". Straßenbahn-Bau- und Betriebsordnung, BOStrab comité. 1996.

[2] "TFG Desarrollo de una herramienta para el cálculo y validación de gálibo en tranvías". Director: Sergio Lafuente. Alumno: Pedro Marco Morales Universidad de Zaragoza.

## 1. INTRODUCCIÓN

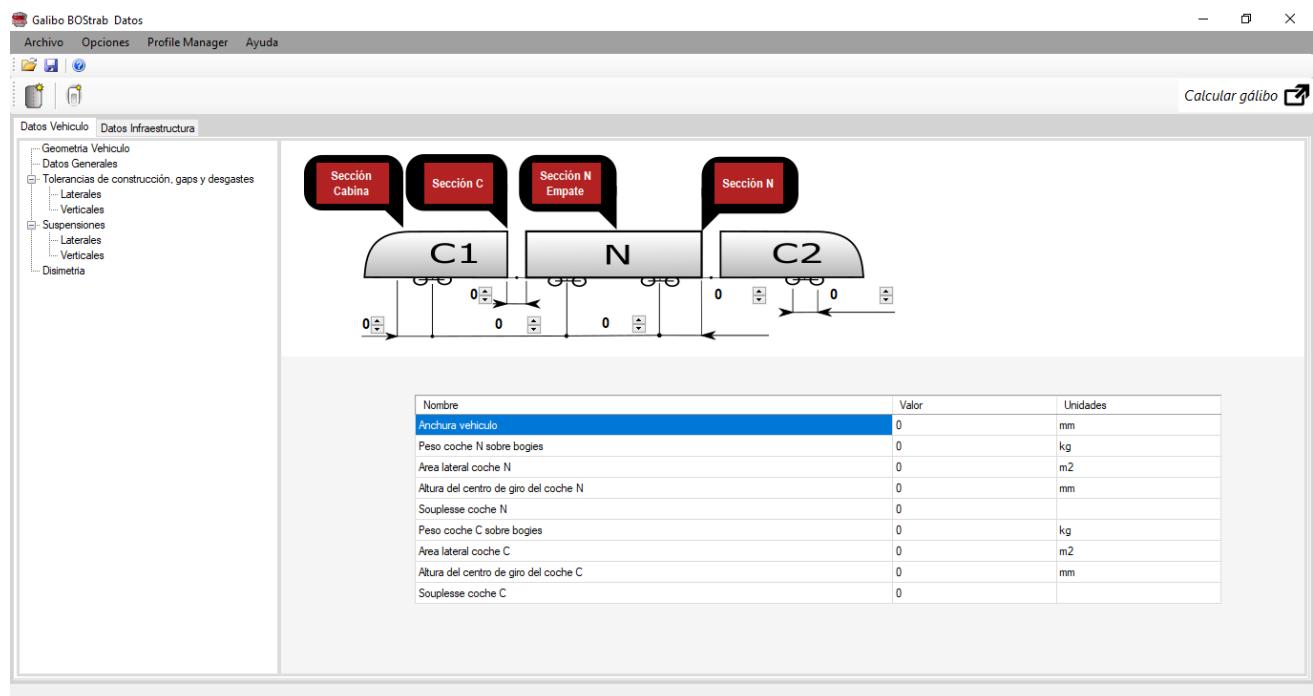
El programa objeto de este manual fue creado durante prácticas universitarias ofrecidas por CAF como resultado del Trabajo Fin de Grado de Ingeniería Mecánica de Pedro Marco. El programa implementa la norma de cálculo BOStrab [1].

## 2. INSTALACIÓN

Para instalar, extraer la carpeta en el escritorio y seleccionar Setup. El programa emplea .NET 4. Si la versión instalada en el ordenador no es igual o superior, se pedirá el update durante la instalación.

## 3. SELECCIÓN DE TIPOLOGÍA

Una vez abierto el programa, se nos presentará la siguiente ventana:



Pulsando en *Archivo > Nuevo* podremos elegir entre las tipologías de cálculo posibles. Estas son:

- **Urbos 100**
  - 5 módulos
  - 7 módulos
- **Urbos AXL**
  - 3 módulos
  - 4 módulos

También se puede cargar un ejemplo de cada tipología en Archivo > Ejemplos o cargar un archivo guardado en Archivo > Cargar.

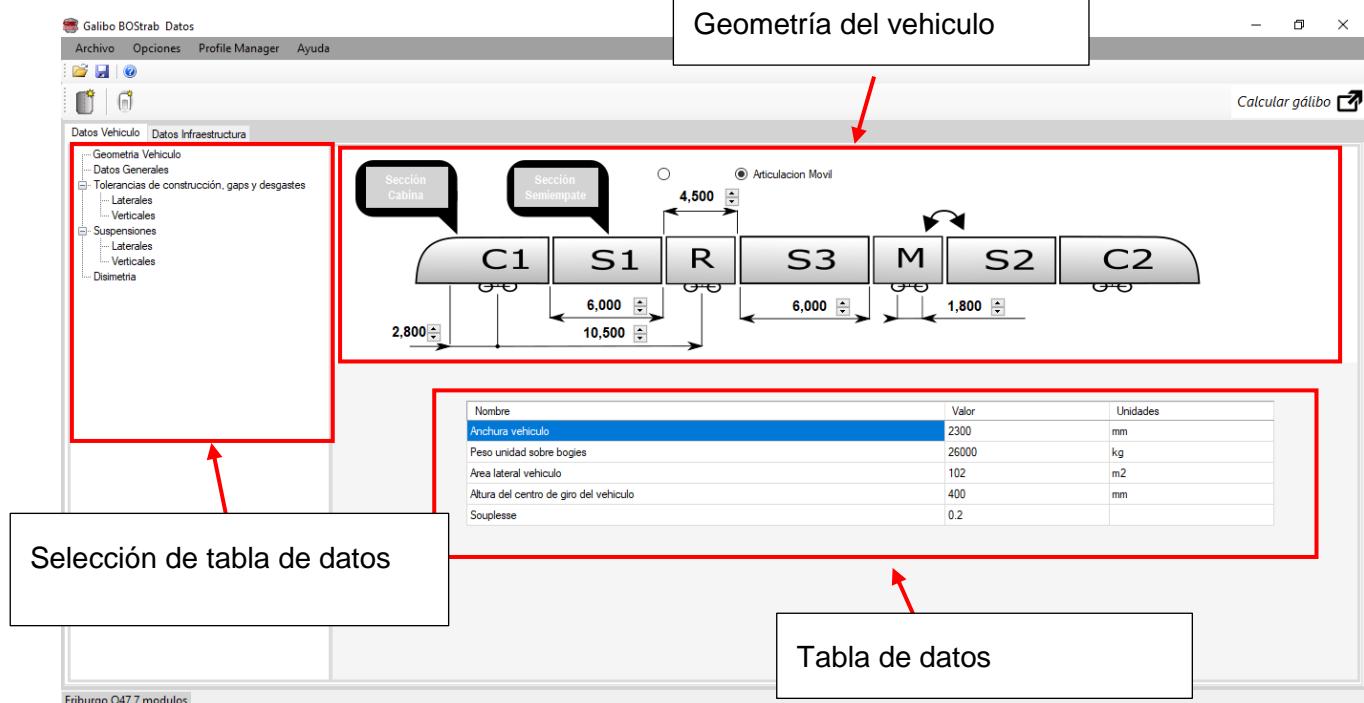
## 4. INTRODUCCION DE DATOS

La ventana principal se compone de 2 pestañas, vehiculo e infraestructura.

### 4.1 Datos del vehiculo

La pestaña de *datos vehiculo* incluye las tablas de introducción de datos, así como geometría y secciones.

#### 4.1.1 Parámetros



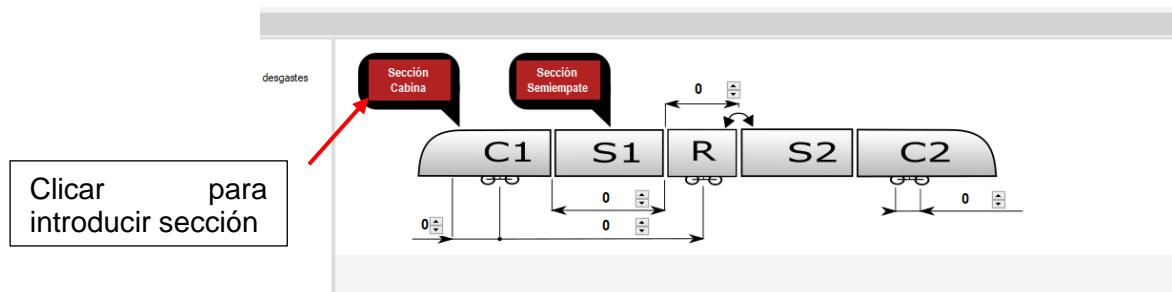
La introducción de datos está clasificada en:

- **Datos generales del vehículo**
- **Tolerancias y desgastes**
  - Laterales
  - Verticales
- **Suspensiones**
  - Laterales
  - Verticales
- **Dismetrías**

Los giros bogie caja pueden ser modificados en Opciones > Giros caja/bogie.

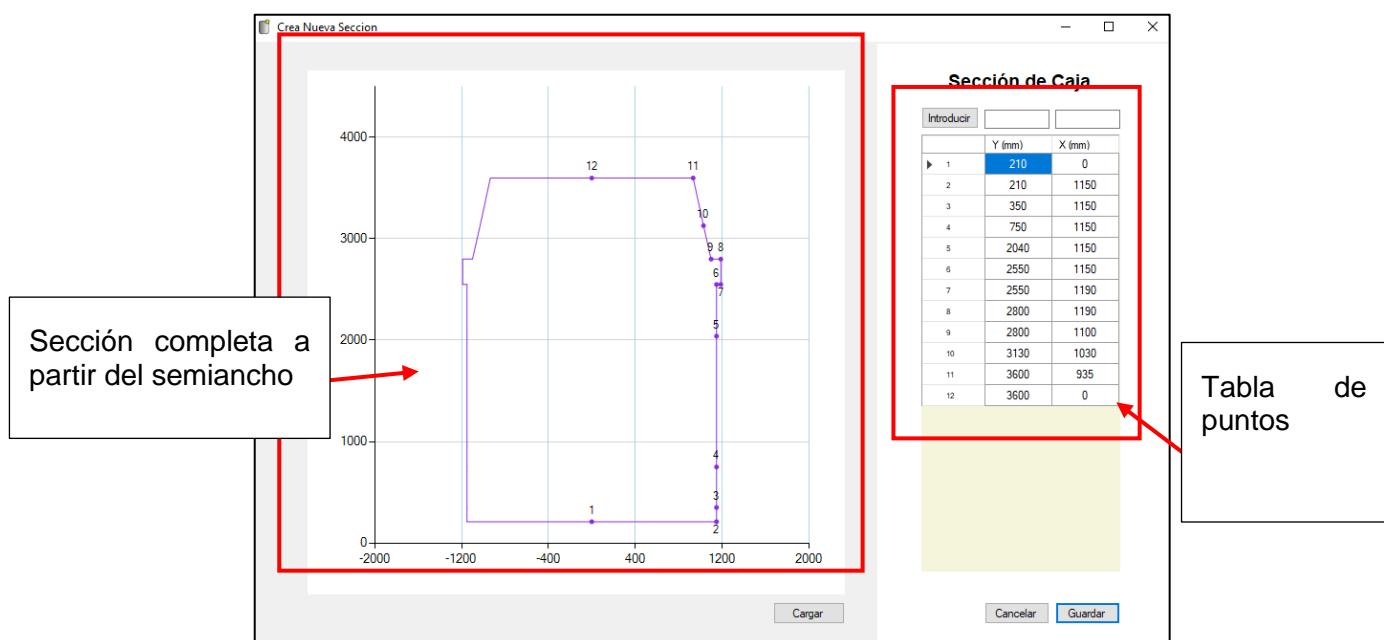
#### 4.1.2 Secciones

Las secciones del vehículo están clasificadas como obligatorias y opcionales. La obligatorias están marcadas en el dibujo del vehículo:



Estas secciones son obligatorias, pues producen el mayor DKE. Para introducirlas, pinchar en el símbolo de la imagen anterior.

Se nos abrirá la siguiente ventana:



En la tabla de puntos, introducir los puntos **en orden**. Para copiarlos desde una hoja Excel; Botón derecho sobre la tabla y > *Insertar*. Lo mismo para nuevos puntos, o borrar puntos seleccionados.

Los puntos inicial y final ((210,0) y (3600,0) en la imagen anterior) se incluyen automáticamente y no es necesario introducirlos.

Para el caso especial de URBOS AXL, las secciones de empate de los módulos C1, C2 y R se pedirán al acceder al cálculo de galibio, dado que la posición de estas depende de la arquitectura del vehículo.

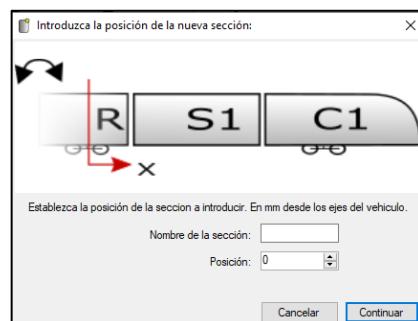
Si quisiéramos copiar una sección de caja ya introducida en el proyecto actual *Cargar > Seleccionar sección*.

Si el vehículo requiriese introducir otra sección (debido a, por ejemplo, una pisadera en el S),

pinchar en el icono .

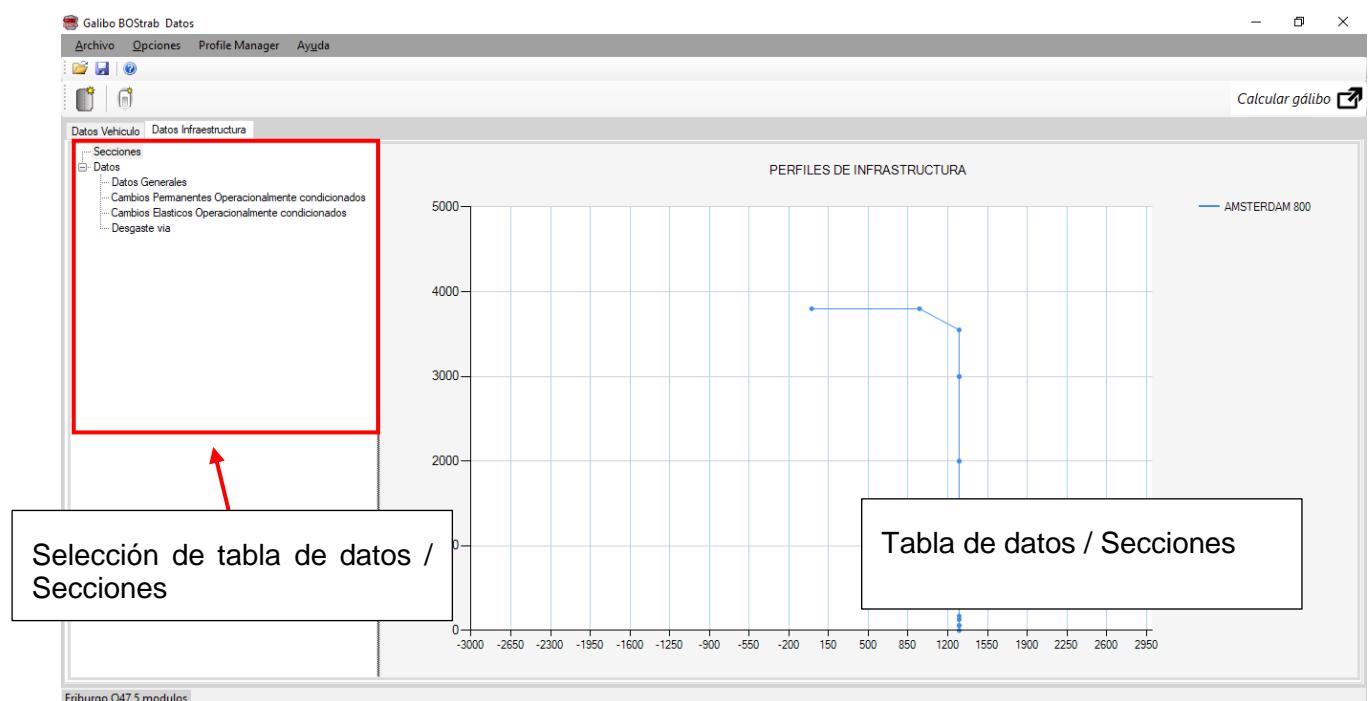
Se nos abrirá una pantalla donde se nos preguntará:

- **Nombre de la sección**
- **Localización de esta. (Una imagen con los respectivos ejes del proyecto aparecerá)**



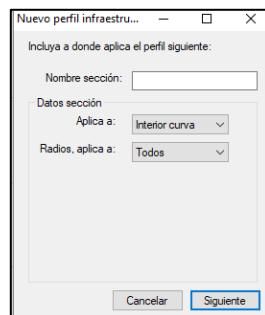
## 4.2 Datos infraestructura

La pestaña de infraestructura es muy similar a la de datos vehículo.



Para introducir secciones de infraestructura (contra las que comparar después el DKE) Hacer

click en el icono . Se nos preguntará nombre y radio/radios.



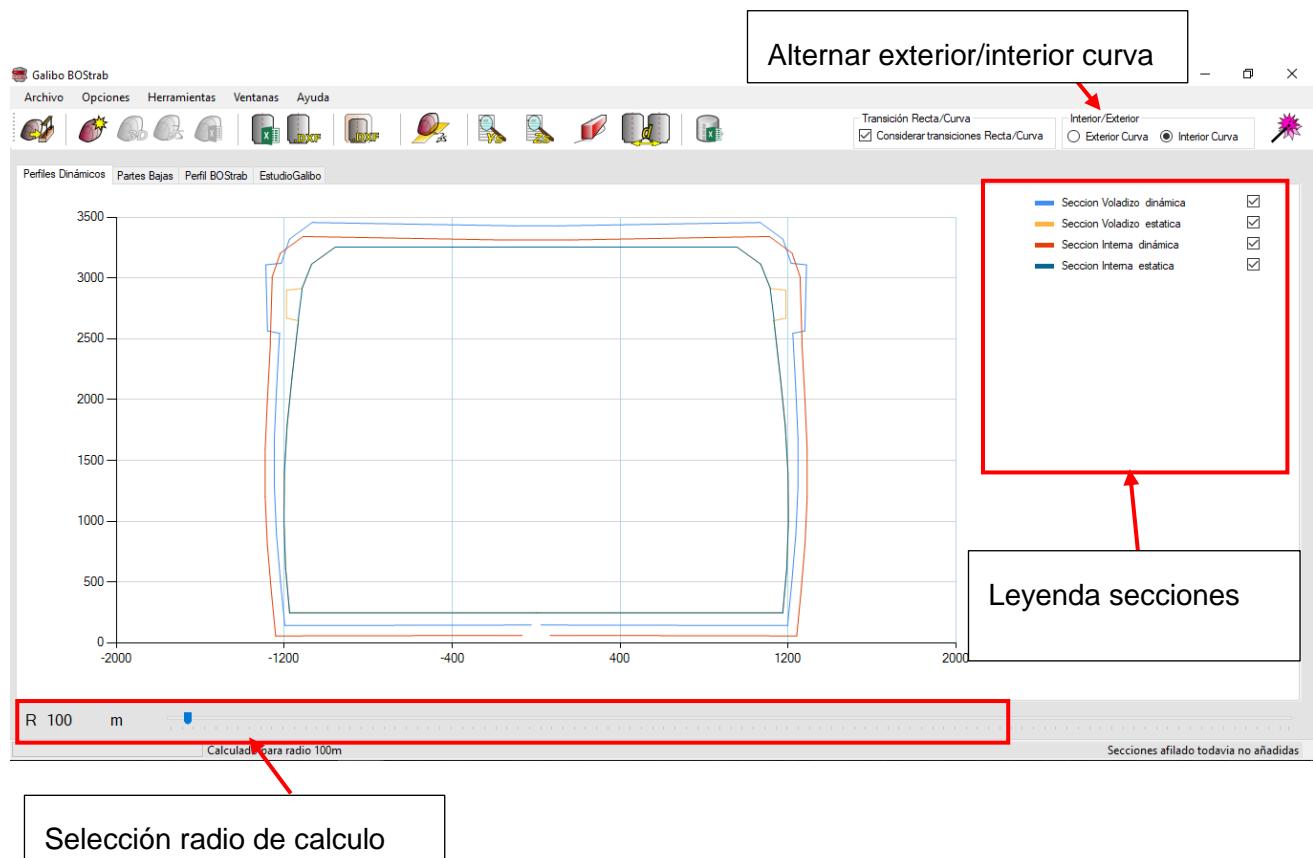
Para ver las secciones introducidas, borrarlas o modificarlas, hacer click en *Profile Manager*.

## 5. VISUALIZACIÓN DE GÁLIBO

Una vez se han introducido todos los datos, hacer click en *Calcular Gálibo*. Si todos los datos se han introducido correctamente se abrirá una segunda ventana. Si no, aparecerá un mensaje de error.

### 5.1 Perfiles dinámicos

En la pestaña *Perfiles Dinámicos* se mostrará los perfiles estáticos y dinámicos introducidos.



Para examinar un radio de curva específico, seleccionarlo mediante el control.

Tras toda modificación, es necesario hacer click en para realizar de nuevo el cálculo.

La altura de división de partes bajas/altas se puede cambiar en *Opciones > Más opciones > Altura de partes altas/Bajas*. Este dato se guarda también para cada proyecto, con lo que no es necesario volver a modificarlo al cargar el proyecto.

Para modificar los parámetros de cálculo, seleccionar *herramientas > parámetros solución*.

Parametros Sol...		
Nombre	Valor	Unidades
Radio del afilado	18	m
Radio	100	m
Radio vertical valle	2500	m
Radio vertical loma	150	m
Presión lateral vie...	200	N/m <sup>2</sup>
Aceleración late...	0.5	m/s <sup>2</sup>

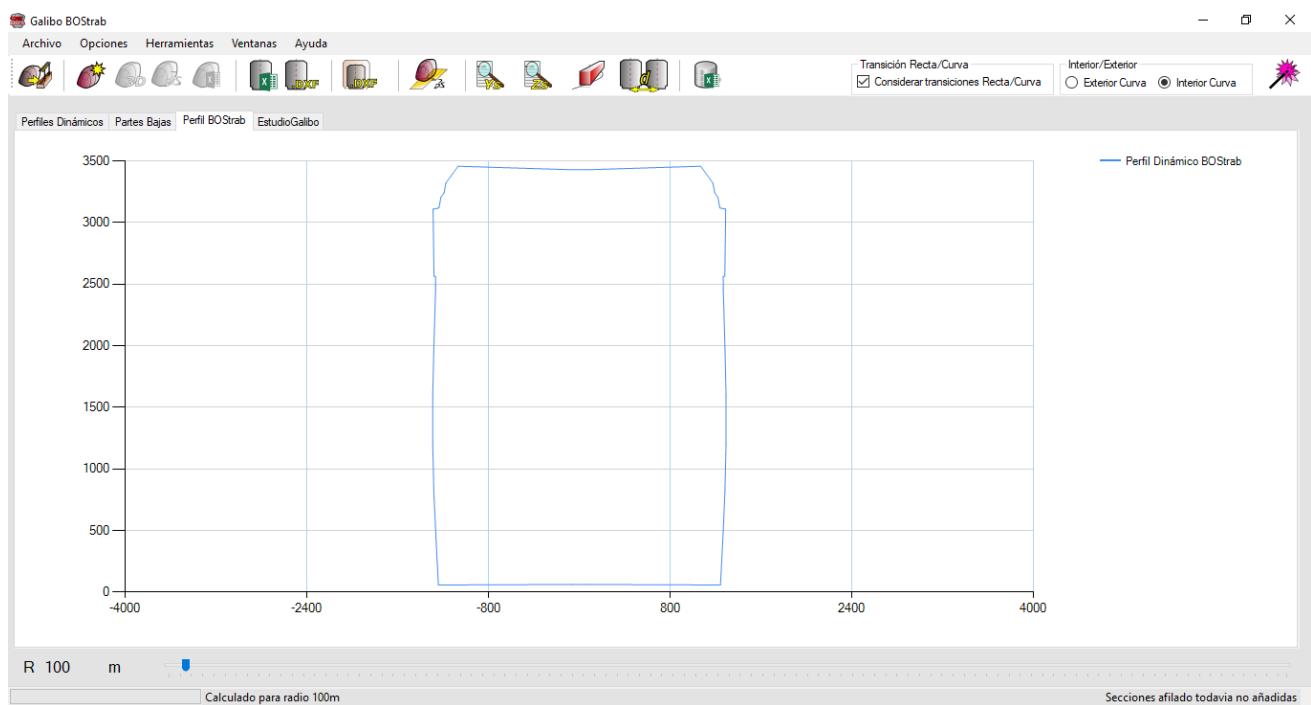
Estos parámetros de cálculo también son guardados en el archivo, con lo que no es necesario reintroducirlos cada vez.

Los desplazamientos y descensos aplicados para cada sección se pueden ver pinchando en y respectivamente.

También es posible ver los factores de articulación BOStrab [1] de cada sección en *Ventanas > Factores BOStrab*.

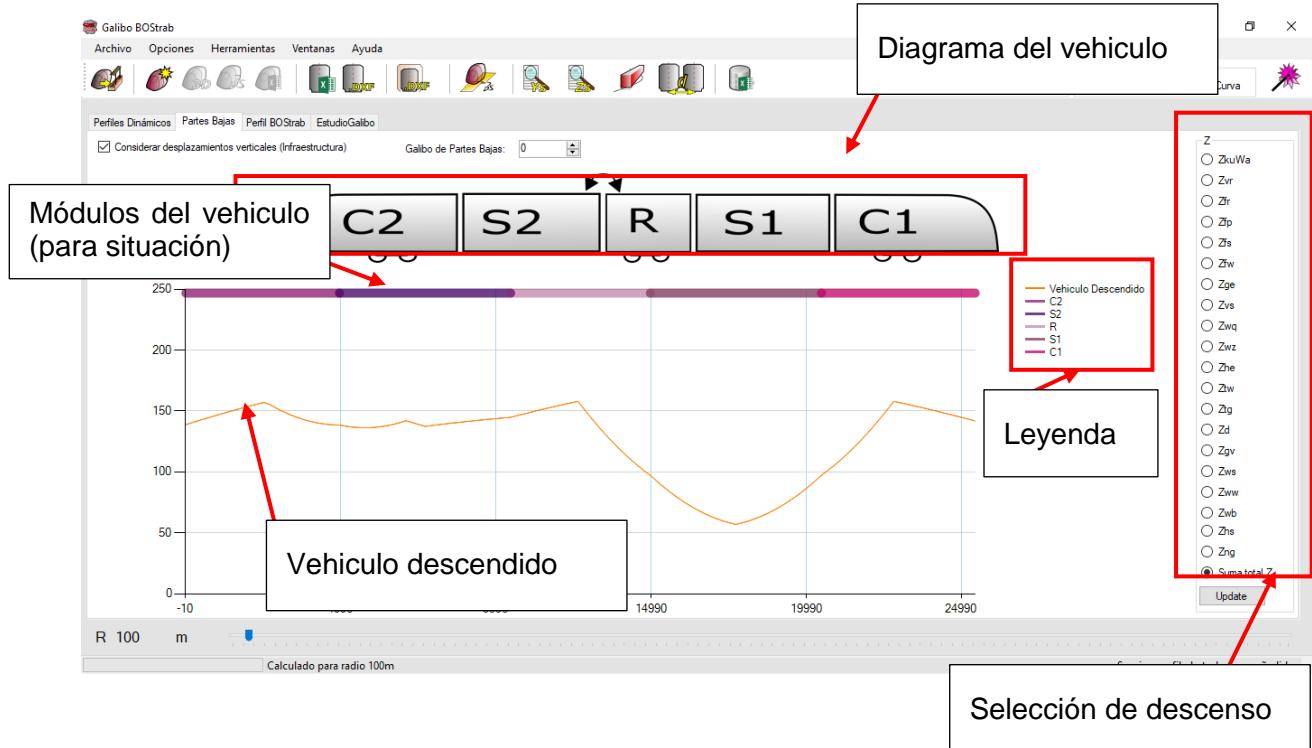
## 5.2 Perfil BOStrab

El perfil dinámico total del vehículo para el radio de curva de cálculo (interior o exterior) se puede ver en la pestaña *Perfil BOStrab*.



### 5.3 Partes bajas

Los descensos del vehículo puede verse a lo largo de su longitud en la pestaña de Partes bajas.



En la gráfica se representa el descenso total del vehículo en las curvas verticales.

El descenso presentado es la suma de las Zs de la norma de un punto situado en el lateral del vehículo (por lo tanto, incluye los descensos máximos a balanceo), a la altura de bastidor del coche C (Primer punto incluido de la sección de cabina)

Encima de la gráfica también da la opción de añadir un galibio de partes a bajas a mantener, así como para dejar de considerar desplazamientos elásticos de infraestructura.

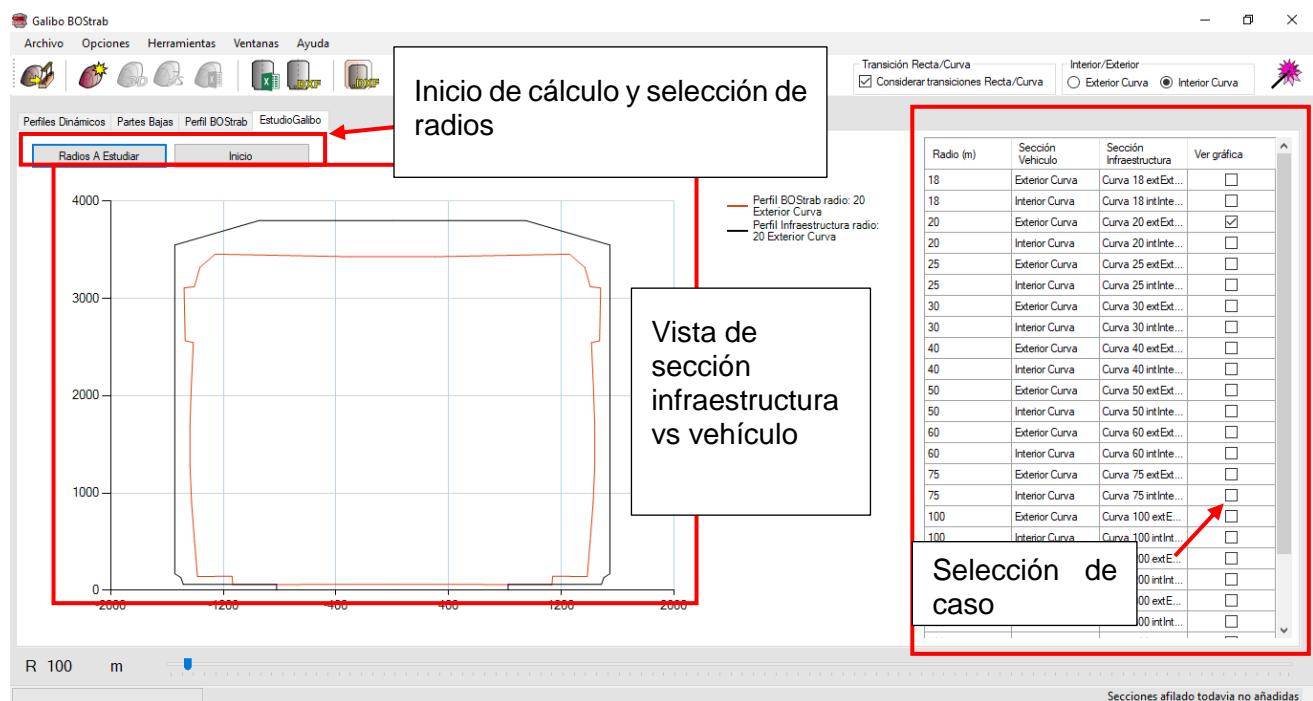
Mediante el selector de descensos podemos visualizar cada uno de los descensos por separado. (Explicación de cada uno de ellos en [2].) Es necesario pulsar en *Update* para refrescar el gráfico.

La correspondencia de los descensos mostrados en la gráfica y la longitud del vehículo es a través de la leyenda. La imagen superior solo está como recordatorio de articulaciones y nomenclatura.

Si se ha añadido un afilado, los descensos a lo largo de su longitud de afilado también aparecen representados en la gráfica.

#### 5.4 Estudio Gálibo

Mediante la pestaña *Estudio gálibo* es posible examinar automáticamente las interferencias con la infraestructura. Para cada radio elegido en Radios, aparecerá (si se hubiera introducido) la selección correspondiente.



El DKE BOStrab del vehículo será el que corresponda a cada caso (Radio, exterior interior...).

Hay que tener en cuenta que el cálculo de los DKE que ahí aparecen tendrá en consideración los parámetros de solución de ese momento (Viento, impacto lateral, presencia o no de plataforma...)

La norma BOStrab considera unas reducciones especiales para el caso de que el

vehículo se encuentre en andén. Para activarlo, pinchar en: 

## 6. Selección de afilado

Una vez en la ventana de cálculo, es posible añadir un afilado de cabina haciendo click en: 

Se abrirá la siguiente ventana:



Mediante el cursor horizontal podremos seleccionar el radio del afilado. La distancia a la que se crea una sección de afilado se puede modificar en *Opciones > Más Opciones > Distancia secciones de afilado*.

Una vez guardado, las secciones estáticas del afilado anteriormente calculadas se incorporan al cálculo como secciones estáticas del vehículo. Para ocultarlas en la pestaña de *Perfiles Dinámicos: Opciones > Mostrar/Ocultar*

El afilado de cabina No se guarda en el proyecto (Si lo hacen sus atributos (Longitud, radio y distancia entre secciones) Y será necesario re-seleccionarlo ( + Guardar) cada vez que carguemos al programa el archivo.

## 7. Exportaciones

### 7.1 DKE

El galibio del vehículo se puede exportar a Excel pinchando en . Para cada radio seleccionado (*Opciones > Radios estudio*) obtendremos el galibio exterior e interior.

Nota: El DKE es calculado mediante una librería gráfica para cada radio. Ello hace que el DKE para cada radio no contenga el mismo número de puntos tal y como generalmente es la salida en los Excel's de gálibo tradicionales.

También es posible exportar el plano del DKE directamente al formato .dxf pinchando en

## 7.2 Estudio gálibo

Los planos del estudio (DKE + Infraestructura) calculado en 7.4 son posibles exportarlos as .dxf haciendo click en:

## 7.3 Superficie de partes bajas

La superficie de partes bajas (Acercamiento de la via a lo largo de todo el vehiculo) se puede exportar para Catia en . El archivo generado es un Excel con la macro "GSD\_Point\_Spline\_Loft\_From\_Excel". El uso de esta macro se explica en el anexo I.

## 7.4 Afilado de cabina

El afilado de cabina es posible descargarlo en puntos 3D (formato xyz) para su uso en RHINO o AutoCAD en .

También es posible en Excel y en Excel preparado para CATIA .

## 7.5 Máximos salientes

El saliente interior y exterior máximo del vehiculo puede verse en . Para modificar los radios de curva calculados. Opciones > Radios estudio

## 7.6 Distancia mínima entre vías

La distancia mínima a mantener entre 2 vías paralelas, calculada siguiendo la norma [1] puede verse en:



## ANEXO I

Empleo de la macro de CATIA  
“GSD\_Point\_Spline\_Loft\_From\_Excel”



Para obtener el 3D directamente en CATIA a partir del Excel:

1. Abrir una nueva Part en CATIA.
2. En el Excel, correr la macro Feuil1.Main (Alt+ F8)
3. Seleccionar el tipo de macro
  - “3, splines and loft” completa para la superficie de partes bajas.
  - “1, points” para el afilado de caja.

## ANEXO V. Norma Gálibo BOStrab

Se presenta a continuación de esta página la traducción de la norma alemana TRStrab Lichtraum. La traducción es proporcionada por la Comisión Europea.

1. -----IND- 2015 0289 D-- ES- ----- 20150629 --- --- PROJET

# **Normas técnicas para tranvías**

## **Dimensionamiento del gálibo de tranvías**

### **(Normas técnicas - Dimensionamiento del gálibo [TRStrab Lichtraum])<sup>1</sup>**

**Edición: domingo, 01 de diciembre de 1996  
en la versión de miércoles, 25 de marzo de 2015**

---

<sup>1</sup> Notificado de conformidad con la Directiva 98/34/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 22 de junio de 1998, por la que se establece un procedimiento de información en materia de las normas y reglamentaciones técnicas y de las reglas relativas a los servicios de la sociedad de la información (DO L 204 de 21.7.1998, p. 37), modificada por última vez por el artículo 26, apartado 2, del Reglamento (UE) nº 1025/2012 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2012 (DO L 316 de 14.11.2012, p. 12).

## Preámbulo

Las Normas técnicas para tranvías (TRStrab) se consideran la norma técnica general reconocida para la construcción y el funcionamiento de tranvías y concretan los requisitos fundamentales de la Ordenanza sobre la construcción y el funcionamiento de los tranvías (Straßenbahn-Bau- und Betriebsordnung, BOStrab).

Están fijadas por el Comité Técnico de los Estados Federados Alemanes (Bund-Länderfachausschuss) para la BOStrab (BLFA BOStrab) y publicadas por el Ministerio Federal de Transportes e Infraestructuras Digitales en su Boletín Oficial, el Verkehrsblatt.

Se puede divergir de las Normas técnicas si se garantiza al menos la misma seguridad.

# Índice

<b>PREÁMBULO</b>	<b>2</b>
<b>ÍNDICE</b>	<b>3</b>
<b>1 GENERALIDADES</b>	<b>5</b>
1.1 Ámbito de aplicación	5
1.2 Requisitos básicos	8
<b>2. DEFINICIONES Y SÍMBOLOS DE LAS FÓRMULAS</b>	<b>9</b>
2.1 Definiciones	9
2.1.1 Conceptos técnicos del gálibo	9
2.1.2 Conceptos técnicos del vehículo	11
2.1.3 Conceptos técnicos de la vía	16
2.2 Símbolos de las fórmulas	17
<b>3 PROCEDIMIENTO</b>	<b>24</b>
<b>4. FACTORES DE INFLUENCIA SOBRE EL GÁLIBO NECESARIO</b>	<b>26</b>
4.1 Generalidades	26
4.2 Características del vehículo determinantes para el gálibo	27
4.2.1 Geometría del vehículo	27
4.2.2 Tolerancias de la construcción laterales, juegos y desgaste	27
4.2.3 Recorridos de resorte laterales	28
4.2.4 Tolerancias de la construcción verticales y desgaste	28
4.2.5 Recorridos de resorte verticales y compresión de resortes	28
4.2.6 Flexión de la caja de vagón	29
4.2.7 Transposición vertical	29
4.3 Características de la vía determinantes para el gálibo	29
4.3.1 Cambios en la posición de la vía condicionados por el servicio incluyendo tolerancias de fabricación	30
4.3.2 Cambios elásticos en la posición de la vía condicionados por el servicio	30
4.3.3 Deterioro de los carriles	31
4.3.4 Influencia de las agujas de cambio	34
4.4 Cargas estáticas y dinámicas del vehículo	35
4.4.1 Cargas de base estáticas en dirección vertical	35
4.4.2 Cargas estáticas y cuasiestáticas en dirección transversal	35
4.4.3 Cargas dinámicas en dirección transversal	35

4.4.4	Cargas dinámicas en dirección vertical	36
4.5	Posición del vehículo en la vía	36
<b>5.</b>	<b>DESPLAZAMIENTOS</b>	<b>38</b>
5.1	Desplazamientos transversales	38
5.1.1	Saliente geométrica en curva	41
5.1.2	Desplazamiento transversal debido al juego de vía	42
5.1.3	Desplazamientos transversales debidos a factores de influencia técnicos del vehículo	45
5.1.4	Desplazamientos transversales debidos a factores de influencia técnicos de la vía	46
5.2	Desplazamientos verticales	48
5.2.1	Desplazamientos verticales debidos a factores de influencia técnicos del vehículo	48
5.2.2	Desplazamientos verticales debidos a factores de influencia técnicos de la vía	49
<b>6.</b>	<b>TRANSPOSICIONES</b>	<b>52</b>
6.1	Generalidades	52
6.2	Transposiciones debido a fuerzas estáticas y dinámicas (movimientos de balanceo)	54
6.3	Transposiciones debidas a factores de influencia técnicos (escora del vehículo)	56
6.4	Transposiciones debidas a factores de influencia técnicos de la vía (inclinación de la vía)	56
6.4.1	Divergencia de las altitudes recíprocas de los carriles	56
6.4.2	Divergencia de la altura longitudinal de la vía	58
<b>7.</b>	<b>GÁLIBO NECESARIO Y DISTANCIA DE SEGURIDAD</b>	<b>59</b>
7.1	Gálibo lateral necesario	59
7.1.1	Trayecto de vía única	59
7.1.2	Trayecto de vía múltiple	60
7.1.3	Cálculo aproximativo	62
7.2	Gálibo vertical necesario	63

# 1 Generalidades

## 1.1 Ámbito de aplicación

Estas directivas estipulan de qué modo pueden cumplirse las disposiciones de los artículos 18 y 34 de la Ordenanza sobre la construcción y el funcionamiento de los tranvías (BOStrab), de 11 de diciembre de 1987 (Boletín Oficial Federal de la República Federal de Alemania I p. 2648) en cuanto a la determinación del gálibo necesario para un funcionamiento seguro de los vehículos. Estas disposiciones son vinculantes para tranvías de dos rieles convencionales y con dirección de los vehículos a través de ruedas con pestaña interior en un estado apto para el funcionamiento.

Se puede divergir de estas Directivas si se garantiza al menos la misma seguridad. Para instalaciones o vehículos ya existentes o en construcción se aplica el artículo 65, apartado 3 de BOStrab.

El objeto de las presentes Normas técnicas, sobre la base de

- el artículo 2, apartado 2, letra a), de la Directiva 2004/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 29 de abril de 2004, sobre la seguridad de los ferrocarriles comunitarios,
- el artículo 1, apartado 3, letra a), de la 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 (texto refundido; DO L 191 de 18.7.2008, p. 1), así como
- el artículo 2, apartado 2, letra b), artículo 2, apartado 3, letra b), y artículo 65, punto 2, de la Directiva 2012/34/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de noviembre de 2012, por la que se establece un espacio ferroviario europeo

está exento de la aplicación de las especificaciones basadas en estas directrices en la República Federal de Alemania, según el artículo 65 de la Ley sobre el transporte de personas (PBefG), de 21 de marzo de 1961 (Boletín Oficial Federal de la República Federal de Alemania I, p. 241), modificada por última vez por el artículo 2, apartado 147, de la Ley de 7 de agosto de 2013 (Boletín Oficial Federal de la República Federal de Alemania I, p. 3154).

Edición: 1 de diciembre de 1996  
en la versión de miércoles, 25 de marzo de 2015

A pesar de que el Comité Técnico de los Estados Federados Alemanes para la BOStrab considera las directivas BOStrab sobre el dimensionamiento del gálibo como las normas técnicas generales reconocidas conforme al artículo 2, apartado 1, de la BOStrab, deberán tenerse en cuenta las siguientes referencias a disposiciones legales existentes del Estado Federal relativas a la transposición de Directivas de la Unión Europea:

- Las especificaciones técnicas sobre productos de estas Normas técnicas solamente podrán aplicarse en la medida en que no diverjan de las disposiciones legales aplicables del Estado Federal relativas a la transposición de Directivas de la Unión Europea. Esto es de aplicación, especialmente, para:
  - la Ley relativa a la facilitación de productos en el mercado (Ley de seguridad de productos; ProdSG), de 8 de noviembre de 2011 (Boletín Oficial Federal de la República Federal de Alemania I, p. 2179),
  - la Ley sobre compatibilidad electromagnética de los equipos (EMVG), de 26 de febrero de 2008 (Boletín Oficial Federal de la República Federal de Alemania I, p. 220), modificada por última vez por el artículo 4, apartado 119, de la Ley de 7 de agosto de 2013 (Boletín Oficial Federal de la República Federal de Alemania I, p. 3154),
  - La Ley de telecomunicaciones (TKG), de 22 de junio de 2004 (Boletín Oficial Federal de la República Federal de Alemania I, p. 1190), modificada por última vez por el artículo 22 de la Ley, de 25 de julio de 2014 (Boletín Oficial Federal de la República Federal de Alemania I, p. 1266),

y los reglamentos adoptados con fundamento en estas leyes.

- Lo mismo se aplica a especificaciones técnicas sobre productos en estas Normas técnicas en relación con disposiciones legales de la Unión Europea que sean directamente aplicables, a menos que la República Federal de Alemania mantenga o decrete una desviación de acuerdo con el artículo 114 del Tratado de Funcionamiento de la Unión Europea (DO C 115 de 9.5.2008, p. 49).
- Los requisitos de estas Normas técnicas no serán oponibles por organismos públicos a la comercialización de productos en la República Federal de Alemania siempre que se hayan fabricado o comercializado legalmente en otro Estado miembro de la Unión Europea o Turquía, o en un Estado de la AELC que sea parte en el Acuerdo EEE. Si la autoridad, según el artículo 54, apartado 1, frase

tercera, de la Ley sobre el transporte de personas (PBefG), en la versión de 8 de agosto de 1990 (Boletín Oficial Federal de la República Federal de Alemania I, p. 1690), modificada por última vez por el artículo 2, apartado 147, de la Ley de 7 de agosto de 2013 (Boletín Oficial Federal de la República Federal de Alemania I p. 3154) tiene pruebas de que un determinado producto que se haya fabricado o comercializado legalmente en otro Estado miembro de la Unión Europea o Turquía, o un Estado de la AELC que sea parte en el Acuerdo EEE no alcanza el nivel de protección que se corresponda con lo descrito en este Reglamento, puede prohibir la comercialización de este producto o retirarlo del mercado, después de:

- haberle comunicado al fabricante o distribuidor por escrito de acuerdo con qué partes de la Normativa técnica nacional no puede comercializarse el producto en cuestión, y
- haber expuesto, mediante todos los hechos científicos relevantes, los motivos relativos de interés público por los cuales estas partes de la Normativa técnica se deben aplicar al producto y por qué no son aceptables unas medidas menos restrictivas, y
- haber solicitado al operador económico que comunique cualquier observación en un plazo determinado (de al menos cuatro semanas o 20 días laborables) antes de que se tomen medidas individuales contra este para restringir la comercialización del producto, y
- haber considerado convenientemente estas observaciones en el momento de tomar una decisión final.
- A continuación, la autoridad, según el artículo 54, apartado 1, frase tercera, de la Ley sobre el transporte de personas (PBefG), en la versión de 8 de agosto de 1990 (Boletín Oficial Federal de la República Federal de Alemania I, p. 1690), modificada por última vez por el artículo 4, apartado 21, de la Ley de 29 de julio de 2009 (Boletín Oficial Federal de la República Federal de Alemania I p. 2258) deberá comunicar la medida de carácter individual que tomará para restringir la comercialización del producto al operador económico en cuestión indicando las vías de recurso disponibles.

## 1.2 Requisitos básicos

Considerando el alto nivel actual de protección generalmente reconocido en la República Federal de Alemania, las Normas técnicas para tranvías - Dimensionamiento del gálibo de ferrocarriles (TRStrab Lichtraum) fijan una serie de estipulaciones, tanto para concretar la normativa nacional como para armonizarla con la normativa europea para aplicaciones de tranvías y para estipular la aplicación de más reglas de la técnica.

El gálibo debe contemplarse para vehículos de transporte de personas y para vehículos de carga.

Al determinar el gálibo es necesario asegurarse de que ningún objeto fijo o móvil perjudica el espacio que debe respetarse para la circulación segura de los vehículos.

Pueden requerirse determinados suplementos al gálibo, especialmente debido a los condicionamientos técnicos constructivos. Estos se encuentran fuera del gálibo. El cálculo de los mismos no forma parte de la Norma TRStrab Lichtraum.

## 2. Definiciones y símbolos de las fórmulas

### 2.1 Definiciones

#### 2.1.1 Conceptos técnicos del gálibo

##### **Gálibo**

es el espacio perteneciente a cada vía que debe mantenerse libre de objetos fijos y móviles para garantizar un funcionamiento seguro de los vehículos (artículo 18, apartado 1 BOStrab).

Las dimensiones del ancho del gálibo se calculan tomando como referencia la línea central de la vía, y las de su altura conforme a la tangente de superficie de rodadura conjunta según el proyecto técnico.

##### **Gálibo necesario**

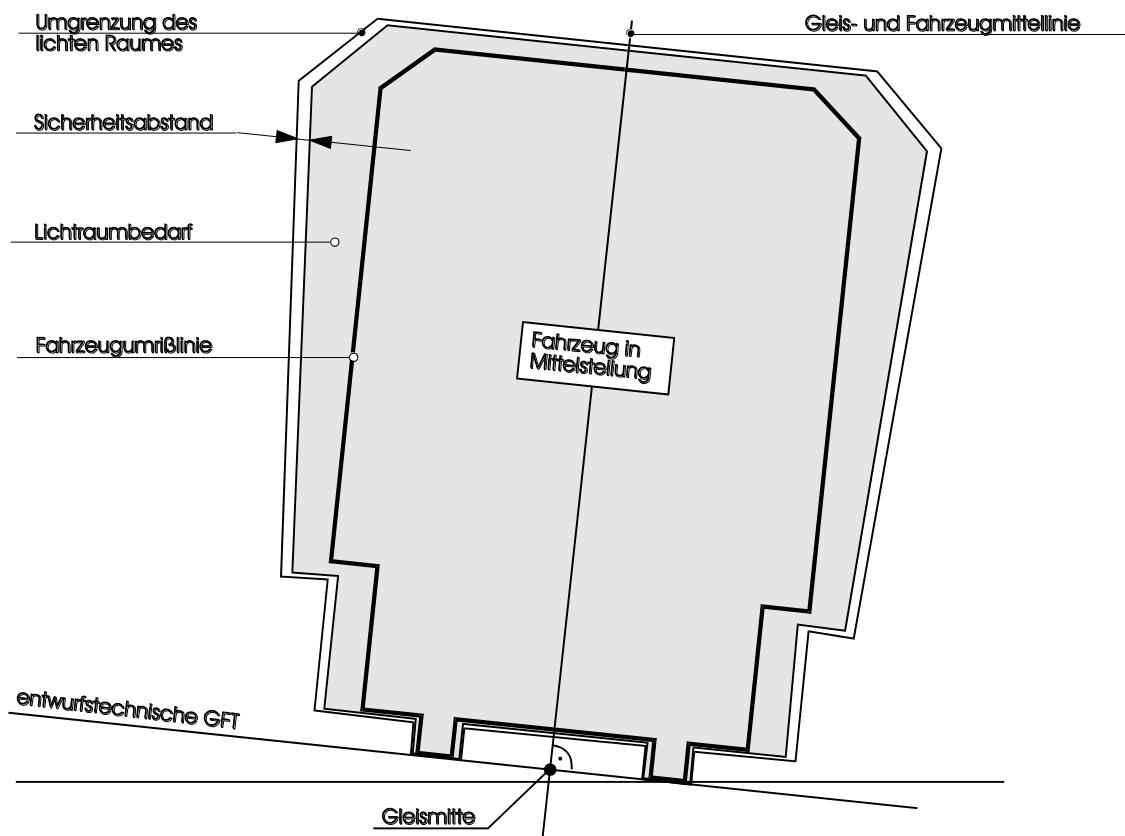
es el espacio que necesita el vehículo considerando los movimientos horizontales y verticales, así como todas las tolerancias y desgastes.

##### **Delimitación del gálibo**

La delimitación del gálibo resulta del gálibo necesario de los vehículos añadiendo eventualmente una distancia de seguridad.

##### **Distancia de seguridad**

es la distancia entre el gálibo necesario y la delimitación del gálibo (artículo 18, apartado 4 BOStrab).



*Figura 1: Conceptos técnicos del gálibo (representación esquemática)*

Umgrenzung des lichten Raumes	Delimitación del gálibo
Gleis- und Fahrzeugmittellinie	Línea central de la vía y del vehículo
Sicherheitsabstand	Distancia de seguridad
Lichtraumbedarf	Gálibo necesario
Fahrzeugumrißlinie	Contorno del vehículo
Entwurfstechnische GFT	Tangente de superficie de rodadura conjunta (GFT) según el proyecto técnico
Gleismitte	Centro de la vía
Fahrzeug in Mittelstellung	Vehículo en posición central

## 2.1.2 Conceptos técnicos del vehículo

### Línea central del vehículo

en un corte transversal del vehículo, es el eje vertical situado de forma perpendicular al eje longitudinal del vehículo y, cuando las piezas del vehículo están en posición central, se sitúa de forma perpendicular a la superficie de rodadura conjunta.

### Posición central de las piezas del vehículo

es la posición teórica de construcción de todas las piezas del vehículo.

### Eje longitudinal del vehículo

es la recta de unión entre dos puntos de articulación pertenecientes a una caja de vagón.

### Centro de la articulación de la caja de vagón

es el eje transversal situado en el centro entre los puntos de articulación / centros del tren de rodaje. Sirve como punto de origen para las coordenadas x.

### Punto de articulación

es un punto de dirección cinemática de la caja del vagón.

### Punto de contorno

es un punto P en la línea de contorno del vehículo. Está determinado por tres coordenadas

- x, medida desde el centro de los puntos de articulación de la caja del vagón,
  - b, medida desde la línea central del vehículo, y
  - h, medida desde la tangente de superficie de rodadura conjunta
- .

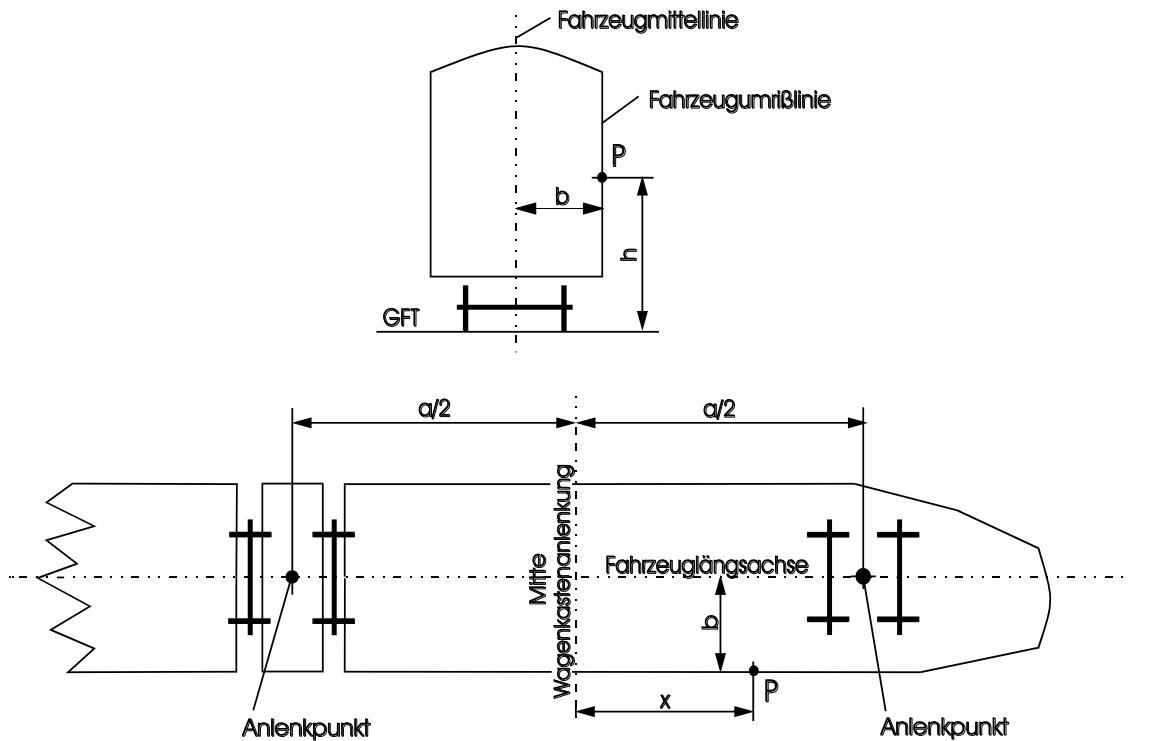


Figura 2: Conceptos técnicos del vehículo (representación esquemática)

Fahrzeugmittellinie	Línea central del vehículo
Fahrzeugumrißlinie	Contorno del vehículo
GFT	Tangente de superficie de rodadura conjunta (GFT)
Anlenkpunkt	Punto de articulación
Mitte Wagenkastenanlenkung	Centro de la articulación de la caja de vagón
Fahrzeulgängsachse	Eje longitudinal del vehículo

### Posición central del vehículo

es la posición del vehículo en la que los juegos de vía reales están distribuidos simétricamente y en que todas las piezas del vehículo se hallan en posición central.

### Altitud de un punto del vehículo

en cualquier posición del vehículo se mide como la distancia más corta hasta la tangente de superficie de rodadura conjunta (GFT) según el proyecto técnico. Durante la compresión del resorte, la altitud del mismo punto del vehículo disminuye en la medida del recorrido del resorte.

### **Saliente geométrica en curva**

es el desplazamiento lateral de un punto del vehículo con respecto al eje de la vía que resulta exclusivamente de la geometría de curva.

### **Saliente geométrica vertical**

es el desplazamiento vertical de un punto del vehículo con respecto a la GFT que resulta exclusivamente de la geometría de curva.

### **Distancia de los niveles de los círculos de medición**

El círculo de medición es un círculo de corte a través de la superficie de rodadura situado en paralelo a las caras internas de las ruedas.

La distancia  $m$  de los niveles de los círculos de medición es el ancho de referencia para el peralte de vía. La medida  $m$  asciende a:

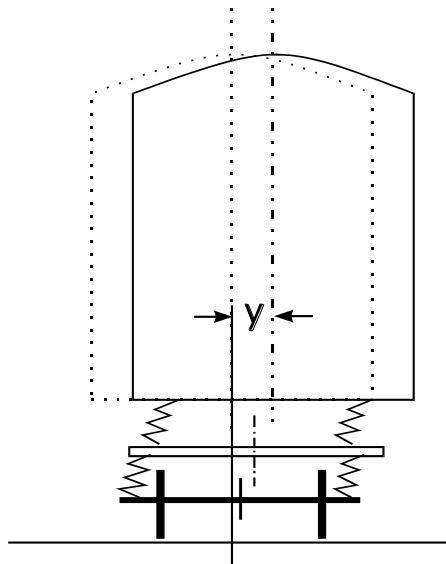
*1500 mm con un ancho de vía de 1435 mm, 1450 mm y 1458 mm*

*1065 mm con un ancho de vía de 1000 mm*

*1165 mm con un ancho de vía de 1100 mm*

### **Desplazamiento transversal**

es el desplazamiento de un corte transversal del vehículo paralelo a la GFT según el proyecto técnico debido a tolerancias de la construcción y de la posición por agotamiento de juegos, desgastes y recorridos de resortes en el vehículo y en la vía.

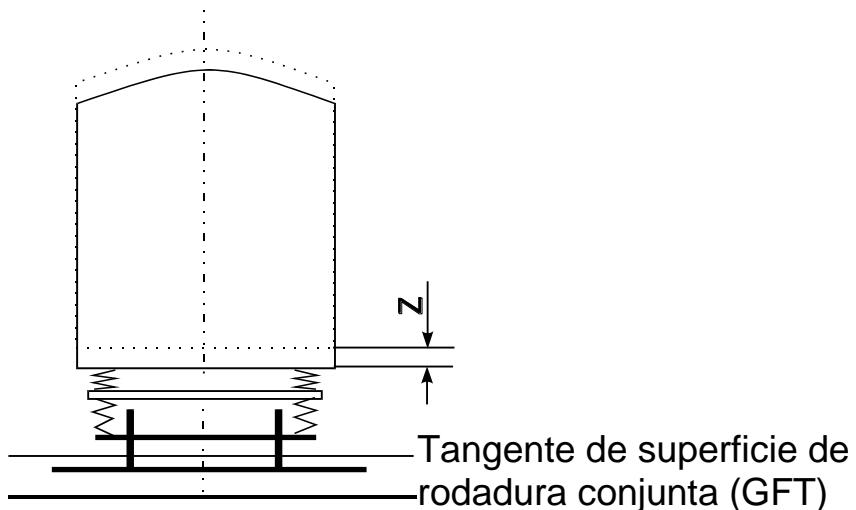


**Tangente de superficie de rodadura conjunta (GFT)**

*Figura 3: Desplazamiento transversal*

### **Desplazamiento vertical**

es el desplazamiento de un corte transversal del vehículo perpendicular a la GFT según el proyecto técnico debido a tolerancias de la construcción y de la posición por agotamiento de juegos, desgastes y recorridos de resortes en el vehículo y en la vía.



*Figura 4: Desplazamiento vertical*

### **Transposición transversal**

es el componente de recorrido de los puntos del vehículo en paralelo hacia la GFT según el proyecto técnico que resulta del balanceo del vehículo debido a fuerzas (impactos laterales, fuerza centrífuga, fuerza del viento), a tolerancias de la

construcción y de la posición por agotamiento de juegos, desgastes y recorridos de resortes en el vehículo y en la vía.

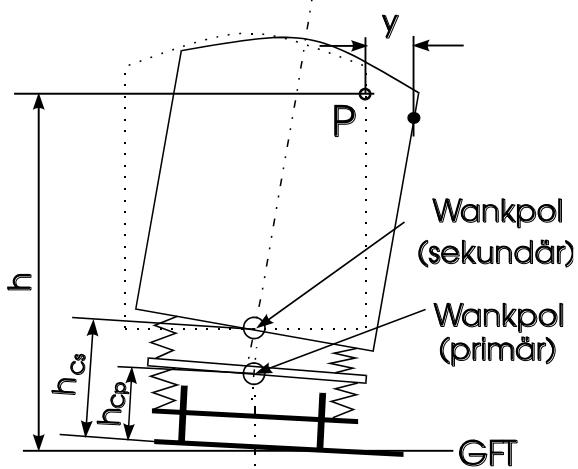


Figura 5: Transposición transversal

Wankpol (sekundär)	Polo de balanceo (secundario)
Wankpol (primär)	Polo de balanceo (primario)
GFT	Tangente de superficie de rodadura conjunta (GFT)

### Transposición vertical

es el componente de recorrido de los puntos del vehículo en vertical hacia la GFT según el proyecto técnico que resulta del balanceo del vehículo debido a fuerzas (impactos laterales, fuerza centrífuga, fuerza del viento), a tolerancias de la construcción y de la posición por agotamiento de juegos, desgastes y recorridos de resortes en el vehículo y en la vía.

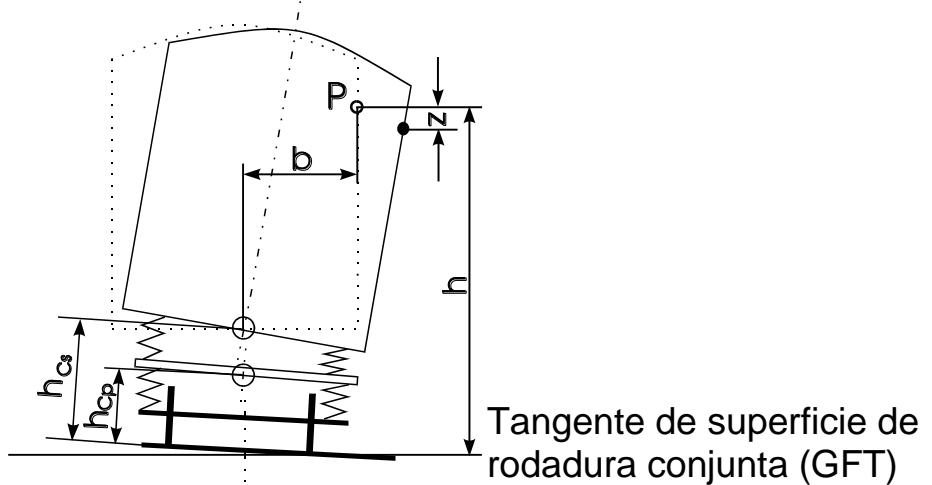


Figura 6: Transposición vertical

### Polo de balanceo

en el corte transversal de un vehículo es el punto alrededor del cual gira la línea central del vehículo durante el balanceo de la caja de vagón o del bogie sobre el resorte de soporte de suspensión. La distancia del polo de balanceo hacia la GFT es la altura del polo de balanceo ( $h_{Cp}$  o  $h_{Cs}$ ).

### 2.1.3 Conceptos técnicos de la vía

#### Eje de la vía

es el eje de referencia de la vía según el proyecto técnico.

En la posición teórica de la vía con la medida de base del ancho de vía, los centros de las vías se sitúan sobre el eje de la vía.

#### Centro de la vía

es un punto del eje de la vía.

#### Línea central de la vía

en un corte transversal de la vía, es el eje vertical situado de forma perpendicular a la GFT según el proyecto técnico y que conduce a través del centro de la vía.

La línea central de la vía constituye la línea de referencia para el ancho técnico del gálibo.

### **Distancia de la vía**

es la distancia horizontal entre los ejes de las vías contiguas.

### **Vías contiguas**

Las vías son contiguas si entre ellas no existe ninguna instalación relevante para el gálibo, esto es, objetos fijos o espacios de seguridad.

### **Tangente de superficie de rodadura conjunta (GFT)**

es la recta de unión que discurre sobre los vértices de las cabezas de carril de una vía.

La GFT en la posición teórica de la vía (GFT según el proyecto técnico) constituye la línea de referencia para la altura técnica del gálibo.

### **Centro de la vía**

es el punto en la mitad del ancho de vía real.

### **Ensanchamiento de vía**

es un aumento del tamaño del ancho de vía nominal fabricado o condicionado por el desgaste.

### **Juego de vía**

Al determinar el gálibo se calcula con suficiente exactitud el juego de vía, que consiste en la diferencia entre el ancho de vía y la medida de la separación entre las caras interiores de las pestañas.

### **Desviación**

Modificación del factor de influencia dentro de las posiciones límite por m recorrido de vía.

## **2.2 Símbolos de las fórmulas**

<b>Denominación</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Conceptos de Directivas del gálibo</b>
---------------------	-------------------------	---

#### **Conceptos de alineamiento técnico**

s	mm	Separación entre las caras interiores de las pestañas
---	----	---

$\Delta s$	mm	Desgaste de pestaña (por eje) incluyendo el juego de vía nominal
------------	----	--

S	mm	Ancho de vía
$\Delta S$	mm	Desgaste de carriles incluyendo ensanchamiento de vía
$\Delta S_a$	mm	parte de $\Delta S$ correspondiente al lado exterior de curva
$\Delta S_i$	mm	parte de $\Delta S$ correspondiente al lado interior de curva
$\sigma \approx S - s$	mm	Juego de vía
max $\sigma$	mm	Juego de vía máximo
$\approx \text{max } \Delta s + \text{max } \Delta S$		
$a_s$	mm/m	Desviación del desgaste de carril

### **Conceptos técnicos del vehículo**

a	mm	Distancia de los puntos de articulación de las cajas de vagón / centros del tren de rodaje
e	mm	Distancia entre los centros del tren de rodaje y la articulación de las cajas de vagón
p	mm	Posición del eje
C		Polo de balanceo
S		Centro de gravedad de la masa de la caja de vagón
P <i>(punto del vehículo)</i>		Punto en la línea de contorno del vehículo.
x	mm	Distancia de un punto del vehículo P del centro de la articulación de la caja del vagón
b	mm	Distancia de un punto del vehículo P de la línea central del vehículo en posición central de las piezas del vehículo
h	mm	Altitud de un punto del vehículo P con respecto a la posición teórica de la GFT
hs	mm	Altura del centro de gravedad de la caja de vagón
hw	mm	Altura del punto expuesto al viento
hc	mm	Altura del polo de balanceo C (general)
h <sub>cp</sub>	mm	Altura del polo de balanceo de la suspensión primaria
h <sub>cs</sub>	mm	Altura del polo de balanceo de la suspensión secundaria

$c_p$	$N/mm$	Constante del resorte de la suspensión primaria
$c_s$	$N/mm$	Constante del resorte de la suspensión secundaria
$n_p$		Número de pares de resortes de la suspensión primaria
$n_s$		Número de pares de resortes de la suspensión secundaria
$w_p$	$mm$	Recorrido estático del resorte de la suspensión primaria
$w_s$	$mm$	Recorrido estático del resorte de la suspensión secundaria
$b_p$	$mm$	Base de sustentación de la suspensión primaria
$b_s$	$mm$	Base de sustentación de la suspensión secundaria
$\eta \approx \eta_p + \eta_s$	<i>rueda</i>	Ángulo de balanceo
$\eta_p$	<i>rueda</i>	Parte del ángulo de balanceo correspondiente a la suspensión primaria
$\eta_s$	<i>rueda</i>	Parte del ángulo de balanceo correspondiente a la suspensión secundaria
$\eta^*$	<i>rueda</i>	Ángulo de balanceo adicional debido a la transposición del centro de gravedad (suspensión de base)
$\delta$	<i>rueda</i>	Ángulo de inclinación debido a una divergencia de las altitudes recíprocas de los carriles
$\delta^*$	<i>rueda</i>	Ángulo de inclinación adicional debido a la transposición del centro de gravedad (vía de base)
$f_F$		Factor de ampliación del ángulo $\eta$ (suspensión de base)

### **Conceptos técnicos de la vía**

$r$	$mm$	Radio de la curva de la vía
$r_a$	$mm$	Radio de la curva de acuerdo vertical
$u$	$mm$	Peralte de la vía
$\Delta u$	$mm$	Divergencia de las altitudes recíprocas de los carriles
$\Delta h$	$mm$	Desgaste de la altura de cabeza de carril
$m$	$mm$	Distancia de los niveles de los círculos de medición

$\alpha_Q$  Desviación del desplazamiento transversal de la vía

$\alpha_V$   $mm/m$  Desviación del desplazamiento vertical de la vía

### **Velocidades, aceleraciones, fuerzas**

$v$   $km/h$  Velocidad de circulación permitida

$g$   $m/s^2$  Aceleración de la gravedad

$m_F$   $kg$  Masa del vehículo (caja de vagón) suspendido

$m_s$   $kg$  Parte de la masa suspendida de la caja de vagón sostenida por un tren de rodaje

$a_q$   $m/s^2$  Aceleración transversal por excedente de fuerza centrífuga o por bajada de pendiente

$a_s$   $m/s^2$  Aceleración transversal por impacto lateral

$p_w$   $N/m^2$  Presión del viento

$A_w$   $m^2$  Superficie expuesta al viento

$F_Q$   $N$  Fuerza de masa por excedente de fuerza centrífuga o por bajada de pendiente ( $a_q$ )

$F_s$   $N$  Fuerza de masa por impacto lateral ( $a_s$ )

$F_w$   $N$  Fuerza del viento

### **Gálibo lateral necesario**

$y$   $mm$  Desplazamientos y transposiciones laterales

$y_n$   $mm$  Gálibo lateral necesario de un punto del vehículo

$y_d$   $mm$  Gálibo necesario entre vías contiguas

$y_s$   $mm$  Distancia de seguridad en dirección transversal

### **Magnitudes de referencia para determinar el gálibo lateral necesario**

$y_1$   $mm$  Desplazamiento transversal del punto de articulación 1

$y_2$   $mm$  Desplazamiento transversal del punto de articulación 2

$f_1$   $mm$  Factor de aumento y de reducción del desplazamiento  $y_1$

$f_2$   $mm$  Factor de aumento y de reducción del desplazamiento  $y_2$

### **Saliente geométrica en curva**

$b_a$	$mm$	Distancia de un punto P del vehículo en la curva lateral exterior desde el centro de la vía debido a la saliente geométrica en curva incluyendo la mitad del ancho del vehículo
$b_i$	$mm$	Distancia de un punto P del vehículo en la curva lateral interior desde el centro de la vía debido a la saliente geométrica en curva incluyendo la mitad del ancho del vehículo
$y_{\delta 0}$	$mm$	Desplazamiento transversal del centro de la vía (desplazamiento paralelo)
$y_{\delta 1,2}$	$mm$	Desplazamiento transversal de los trenes de rodaje 1 y 2
$y_{ss}$	$mm$	Desplazamiento transversal del punto del vehículo debido al juego de vía
$y_{sw}$	$mm$	Desplazamiento transversal del punto del vehículo debido a la desviación del centro de la vía

***Desplazamiento transversal debido a factores de influencia técnicos del vehículo***

$y_{TR}$	$mm$	Tolerancia de la construcción de ejes montados
$y_{TA}$	$mm$	Tolerancia de la construcción de caja de grasa
$y_{TD}$	$mm$	Tolerancia de la construcción de corona giratoria / pivote del bogie
$y_{TP}$	$mm$	Tolerancia de la construcción de suspensión primaria
$y_{TW}$	$mm$	Tolerancia de la construcción de caja de vagón
$y_{SA}$	$mm$	Juego transversal de la caja de grasa
$y_{SD}$	$mm$	Juego transversal del pivote del bogie
$y_{FR}$	$mm$	Suspensión del aro de la rueda
$y_{FP}$	$mm$	Suspensión primaria
$y_{FS}$	$mm$	Suspensión secundaria, estática
$y_{DS}$	$mm$	Suspensión secundaria, dinámica

***Desplazamiento transversal debido a factores de influencia técnicos de la vía***

$y_{GV}$	$mm$	Desplazamiento de la vía
$y_{GW}$	$mm$	Cambio de desplazamiento de la vía
$y_{GE}$	$mm$	Elasticidad transversal de la vía y el carril

***Transposición transversal de un punto del vehículo P debido al balanceo***

$y_w$	$mm$	por una fuerza lateral, general
$y_{wQ}$	$mm$	por fuerza centrífuga o bajada de pendiente
$y_{ws}$	$mm$	por impacto lateral
$y_{ww}$	$mm$	por fuerza del viento

***Transposición transversal de un punto del vehículo P debido a la posición del ángulo del vehículo***

$y_{WB}$	$mm$	por tolerancia de ajuste, referida al ancho del vehículo
$y_{WZ}$	$mm$	por carga asimétrica
$y_{HE}$	$mm$	por divergencia de las altitudes recíprocas de los carriles, parte elástica
$y_{HS}$	$mm$	por divergencia de las altitudes recíprocas de los carriles, parte condicionada por el funcionamiento

***Gálibo vertical necesario***

***Desplazamientos verticales***

$Z_{pu}$	$mm$	Gálibo vertical necesario de un punto del vehículo hacia abajo
$Z_{po}$	$mm$	Gálibo vertical necesario de un punto del vehículo hacia arriba
$Z_{KU}$	$mm$	Saliente geométrica vertical en cimas
$Z_{WA}$	$mm$	Saliente geométrica vertical en columpio
$Z_{VR}$	$mm$	Desgaste de aro de rueda
$Z_{TW}$	$mm$	Tolerancia de ajuste de la altura de la caja de vagón (altura desde el suelo, altura de referencia)
$Z_{TG}$	$mm$	Tolerancia de la construcción del techo (suelo) incluyendo dispositivos auxiliares para la altura de referencia
$Z_{FR}$	$mm$	Suspensión del aro de la rueda
$Z_{FP}$	$mm$	Recorrido estático del resorte de la suspensión primaria incluyendo disposición de los resortes no equilibrada
$Z_{DP}$	$mm$	Recorrido dinámico del resorte de la suspensión primaria
$Z_{FS}$	$mm$	Recorrido estático del resorte de la suspensión secundaria incluyendo disposición de los resortes no equilibrada

ZDS	<i>mm</i>	Recorrido dinámico del resorte de la suspensión secundaria
ZFW	<i>mm</i>	Flexión de la caja de vagón
ZGE	<i>mm</i>	Elasticidad vertical de la vía
ZGV	<i>mm</i>	Desplazamiento vertical de la vía
ZVS	<i>mm</i>	Desgaste vertical del carril

#### ***Transposiciones verticales***

ZW	<i>mm</i>	Transposición por una fuerza lateral, general
ZWQ	<i>mm</i>	Transposición por excedente de fuerza centrífuga o por bajada de pendiente
ZWS	<i>mm</i>	Transposición por impacto lateral
ZWW	<i>mm</i>	Transposición por fuerza del viento
ZHE	<i>mm</i>	Transposición por divergencia de las altitudes recíprocas de los carriles, elástica
ZHS	<i>mm</i>	Transposición por divergencia de las altitudes recíprocas de los carriles, condicionada por el funcionamiento
ZWB	<i>mm</i>	Transposición debido a la tolerancia de ajuste de la caja del vagón
ZWZ	<i>mm</i>	Transposición debido a una carga asimétrica
ZNG	<i>mm</i>	Transposición debido a movimientos de cabeceo a causa de desplazamientos verticales de la vía
ZS	<i>mm</i>	Distancia de seguridad en dirección vertical

### 3 Procedimiento

Las directivas establecen cuáles son los factores de influencia sobre el gálibo necesario que deben tenerse en cuenta y cómo valorarlos.

En el caso del vehículo examinado, primero es preciso determinar la saliente geométrica en curva en la posición teórica de la vía y en posición central del vehículo en la vía.

Tras calcular la saliente geométrica en curva, se observa al vehículo en las posiciones más desfavorables en la vía.

En las posiciones extremas se calculan los efectos de los factores de influencia conforme al apartado 4 sobre un punto del vehículo desfavorable para el gálibo. Dichos cálculos se realizan para cada factor de influencia por separado.

Los factores de influencia se clasifican en factores no casuales (que no aparecen por azar) y casuales (que aparecen por azar). Los efectos de los factores no casuales se suman aritméticamente. Los efectos de los factores casuales se suman bajo una raíz cuadrada común para considerar la posibilidad de coincidencia de valores máximos en la misma dirección según el artículo 18, apartado 3 BOStrab.

El gálibo lateral necesario se compone de

- el ancho del vehículo,
- la saliente geométrica en curva,
- el gálibo necesario debido a factores de influencia no casuales y
- el gálibo necesario debido a factores de influencia casuales.

Para el recorrido recto de vía única debe fijarse el gálibo necesario de la misma medida a ambos lados. En una vía en curva el gálibo necesario es de diferente medida en el exterior y en el interior de la curva.

En trayectos con vías contiguas, el gálibo necesario de la vía contigua en la dirección utilizada se calcula del mismo modo que en el caso de una vía única. En la dirección de la vía contigua se une el principio de probabilidad para ambas vías, esto es, los efectos de los factores de influencia de ambos lados se suman

conjuntamente en una raíz cuadrada, de modo que el gálibo necesario entre dos vías es en general menor que el doble del gálibo necesario en una vía única.

Para determinar el gálibo necesario con respecto a la distancia del suelo y del techo de los vehículos, así como con respecto al andén, el gálibo necesario debe calcularse en dirección vertical. Aquí se procede de forma análoga al cálculo del gálibo lateral necesario.

Entre el gálibo necesario y el contorno del gálibo debe haber una distancia de seguridad ajustada al cálculo exacto del gálibo necesario (artículo 18, apartado 4 BOStrab).

## 4. Factores de influencia sobre el gálibo necesario

### 4.1 Generalidades

Al calcular el gálibo necesario es preciso tener en cuenta los siguientes factores de influencia técnicos del vehículo y de la vía. Aquí hay que distinguir entre factores no casuales y casuales.

**No casuales** (nc) son juegos y desgastes constructivos o de funcionamiento, así como recorridos de resorte debidos a la carga estática o cuasiestática. En las situaciones de funcionamiento permitidas estos valores pueden en un caso extremo aparecer simultáneamente y en la misma dirección con su valor máximo.

**Casuales** (c) son tolerancias de la construcción, así como recorridos de resorte debidos a cargas dinámicas por inestabilidades en la marcha del vehículo en la vía y debido a fuerzas del viento. Se puede presuponer con suficiente seguridad que estos valores no aparecen simultáneamente y en la misma dirección con su valor máximo.

Los factores de influencia están provistos de valores de ejemplo ligados a la práctica. Se trata aquí de valores orientativos que pueden esperarse en servicios de transporte con técnica convencional y con un estado promedio de mantenimiento y conservación del vehículo y la vía.

Los valores de ejemplo —con excepción de algunos puntos tomados directamente de las directivas de alineamiento de vías sobre BOStrab y las directivas de superestructura / directivas de superestructura adicional de la asociación de empresas de transporte alemanas— no son valores máximos y varían tanto hacia arriba como hacia abajo en los diferentes servicios de transporte.

Estos pueden consultarse para la planificación siempre que no haya datos detallados sobre el vehículo y la vía.

Si es preciso calcular el gálibo necesario para los documentos de construcción conforme al artículo 60 o el artículo 62 de BOStrab, para los factores de influencia deberán asignarse siempre los valores individuales de cada empresa de transporte.

## 4.2 Características del vehículo determinantes para el gálibo

Los datos de este apartado, especialmente los valores de ejemplo, se refieren a vehículos de transporte de personas.

Para vehículos de carga se aplica el mismo procedimiento, pero los valores a considerar pueden divergir considerablemente de los valores de ejemplo.

### 4.2.1 Geometría del vehículo

La geometría del vehículo se determina por:

- el contorno exterior espacial de la caja de vagón incluyendo piezas adicionales superpuestas,
- en vehículos articulados, el contorno de la caja de vagón de cada caja de vagón,
- la posición geométrica de los trenes de rodaje y, dentro de los trenes de rodaje, la posición de los ejes, los puntos de articulación de la
- caja de vagón y la posición de todos los sistemas de resortes y de la limitación de resortes,
- en vehículos articulados, la posición geométrica de cada articulación,
- según cada tipo de vehículo, otras características constructivas.

### 4.2.2 Tolerancias de la construcción laterales, juegos y desgaste

	nc / c	Valor de ejemplo/ Valor máximo
Desgaste máximo de pestaña incluyendo juego de vía nominal	nc	25 mm
Tolerancia de la construcción-ejes montados	c	± 1 mm
Tolerancia de la construcción-caja de grasa	c	± 0,5 mm
Juego-caja de grasa	nc	± 1 mm
Tolerancia de la construcción-corona giratoria / pivote del bogie incluyendo desgaste	nc	± 1 mm
Tolerancia del montaje de la unión giratoria	c	± 1 mm
Tolerancia del montaje de la suspensión primaria	c	± 1 mm

Tolerancia de la construcción de la mitad del ancho de la caja de vagón c  $\pm 3 \text{ mm}$

Tolerancia del montaje de los dispositivos montados en la caja de vagón c  $\pm 5 \text{ mm}$

Tolerancia del montaje del tomacorrientes de techo c  $\pm 5 \text{ mm}$

#### **4.2.3 Recorridos de resorte laterales**

	nc / c	Valor de ejemplo/ Valor máximo
Suspensión del aro de la rueda (estática y dinámica)	nc	$\pm 2 \text{ mm}$
Suspensión del aro de la rueda (estática y dinámica)	nc	$\pm 3 \text{ a } \pm 8 \text{ mm}$
Suspensión secundaria		
recorrido de resorte estático	nc	$0 \text{ a } \pm 20 \text{ mm}$
recorrido de resorte dinámico	c	$\pm 5 \text{ a } \pm 15 \text{ mm}$
Enlongación transversal del tomacorrientes de línea de contacto aérea	c	$\pm 20 \text{ mm}$

#### **4.2.4 Tolerancias de la construcción verticales y desgaste**

Desgaste de aros de rueda no corregidos por compensación de alturas nc  $- 10 \text{ mm}$

Tolerancia de ajuste de vagón-altura desde el suelo c  $\pm 5 \text{ mm}$

Tolerancia de ajuste del borde inferior de la caja de vagón incluyendo los dispositivos para la altura desde el suelo c  $- 6 \text{ mm}$

Tolerancia de la construcción del borde superior del techo incluyendo los dispositivos del techo para la altura desde el suelo c  $\pm 8 \text{ mm}$

#### **4.2.5 Recorridos de resorte verticales y compresión de resortes**

Suspensión del aro de la rueda (estática y dinámica) nc  $- 1 \text{ mm}$

Suspensión primaria

    compresión desigual nc  $- 3 \text{ a } - 5 \text{ mm}$

    recorrido estático del resorte (recorrido entre "vehículo vacío" y "vehículo completo") nc  $-10 \text{ a } -15 \text{ mm}$

recorrido de resorte dinámico	c	$\pm 5 \text{ a } \pm 10 \text{ mm}$
Suspensión secundaria		
compresión desigual	nc	$0 \text{ a } -5 \text{ mm}$
recorrido estático del resorte (recorrido entre "vacío" y "completo")	nc	$0 \text{ a } -50 \text{ mm}$
recorrido de resorte dinámico	c	$\pm 10 \text{ a } \pm 30 \text{ mm}$

#### 4.2.6 Flexión de la caja de vagón

hacia los soportes exteriores:	nc	<i>1 % de la distancia entre los apoyos</i>
--------------------------------	----	---

#### 4.2.7 Transposición vertical

debido a una ocupación asimétrica (distribución asimétrica de los asientos y las plazas de pie) referida al ancho de la caja de vagón	nc	$5 \text{ mm}$
debido a la tolerancia de ajuste de la caja de vagón con respecto al ancho de la caja de vagón	c	$\pm 5 \text{ mm}$

### 4.3 Características de la vía determinantes para el gálibo

Los parámetros de trazado de la vía, las tolerancias de construcción, los cambios de posición bajo la influencia del funcionamiento, así como los estados de desgaste determinan las posibles posiciones de los vehículos en el trayecto y, por lo tanto, el espacio que debe dejarse libre para ello en la instalación.

Los valores de ejemplo se refieren a la vía estándar y a anchos de vía similares a la vía estándar, pero son neutrales en cuanto al ancho de vía. Solo los valores mencionados sobre la modificación de las altitudes recíprocas de los carriles tiene efectos mayores en cuanto a la transposición transversal de puntos del vehículo en vías métricas y en anchos de vía similares a las vías métricas.

Las fórmulas expuestas en el apartado 4.3.3 utilizan números redondos prescindiendo de la exactitud matemática. El error mayor asciende a ca. 1,0 mm, el error medio es de menos de 0,3 mm, por lo que se pueden considerar insignificantes.

### 4.3.1 Cambios en la posición de la vía condicionados por el servicio incluyendo tolerancias de fabricación

		nc / c	Valor de ejemplo/ Valor máximo
<b>Desplazamiento transversal de las vías</b>			
vías en carril fijo		c	$\pm 5 \text{ mm}$
vías desplazables			
recta / curva	$r \geq 800 \text{ m}$	c	$\pm 25 \text{ mm}$
curva	$800 \text{ m} > r > 40 \text{ m}$	c	$\pm (25 + 1000/r) \text{ mm}$
curva	$r \leq 40 \text{ m}$	c	$\pm 50 \text{ mm}$
vías fijadas contra el borde del andén			
recta / curva	$r \geq 800 \text{ m}$	c	$\pm 3 \text{ mm}$
curva	$r \leq 800 \text{ m}$	c	$\pm 5 \text{ mm}$
El desplazamiento transversal de las vías se modifica dentro de las dos posiciones extremas con una desviación de		c	$\pm 1,5 \text{ mm}$
<b>Desplazamiento vertical de las vías</b>			
vías en carril fijo		c	$+ 2 / - 4 \text{ mm}$
vías desplazables		c	$+ 2 / - 10 \text{ mm}$
El desplazamiento vertical de las vías se modifica dentro de las dos posiciones extremas con una desviación de		c	$1,5 \text{ mm/m}$
<b>Divergencia de las altitudes recíprocas de los carriles</b>			
vías en carril fijo		c	$2 \text{ mm}$
vías desplazables		c	$20 \text{ mm}$

### 4.3.2 Cambios elásticos en la posición de la vía condicionados por el servicio

### **Elasticidad transversal de la vía y los carriles**

en las rectas y en las curvas con $r \geq 800$ m	nc	$\pm 1$ mm
en curvas con $r \leq 800$ m		
en dirección a la curva exterior	nc	+ 2 mm
en dirección a la curva interior	nc	- 1 mm

### **Elasticidad vertical de la vía y los carriles**

vías en carril fijo (superestructuras de vía sin balasto, carriles de garganta sobre infraestructura de vía de hormigón)	nc	- 2 mm
vías desplazables (vías de traviesa, sistemas masa-resorte, formas especiales)	nc	- 5 mm

### **Modificación elástica de las altitudes recíprocas**

vías en carril fijo	nc	1 mm
vías desplazables	nc	2 mm

## **4.3.3 Deterioro de los carriles**

### **4.3.3.1 Ensanchamiento de vía y deterioro lateral**

El ancho de vía máximo se compone, además del desgaste, del juego de vía previsto y de las tolerancias de fabricación. Debido al desgaste de ambos carriles en conjunto, no puede sobrepasarse el ancho de vía máximo según las directivas sobre alineamiento de vías para BOStrab.

	nc / c	Valor de ejemplo/ Valor máximo
a) en las rectas y en las curvas con $r \geq 800$ m max S = 1450 mm		
El ensanchamiento de vía incluyendo el desgaste de carril debe asignarse en su valor total por separado a la derecha o a la izquierda.	nc	$\Delta S = 15$ mm
El desgaste total de uno a otro carril se modifica con una desviación de	c	1,5 mm/m
b) en curvas con radios de $r \geq 40$ m max S = 1465 mm		

El ensanchamiento de vía incluyendo el desgaste de carril de nc  $\Delta S = 30 \text{ mm}$

se determina nc - 5 mm

en 75 % en el lado exterior de la curva  $\Delta S_a = 22,5 \text{ mm}$

en 25 % en el lado interior de la curva  $\Delta S_i = 7,5 \text{ mm}$

c) en curvas con radios de  $800 \text{ m} > r > 40 \text{ m}$

$$\max S [\text{mm}] \frac{600}{r [\text{mm}]} + 1450$$

La distribución del ensanchamiento de vía incluyendo nc  $\Delta S [\text{mm}] \frac{600}{r [\text{mm}]} +$  (Ecuación 1)  
el desgaste máximo de carril

en los dos carriles depende de su carga en las rectas contiguas conforme a la figura 7.

Supuesto 1: El ensanchamiento de vía comienza en el carril exterior

Parte de carril exterior

$$\Delta S_a [\text{mm}] \frac{300}{r [\text{mm}]} + 15 \quad (\text{ec. 1a})$$

Parte de carril interior

$$\Delta S_i [\text{mm}] \frac{300}{r [\text{mm}]} \quad (\text{ec. 1b})$$

Supuesto 2: El ensanchamiento de vía comienza en el carril exterior

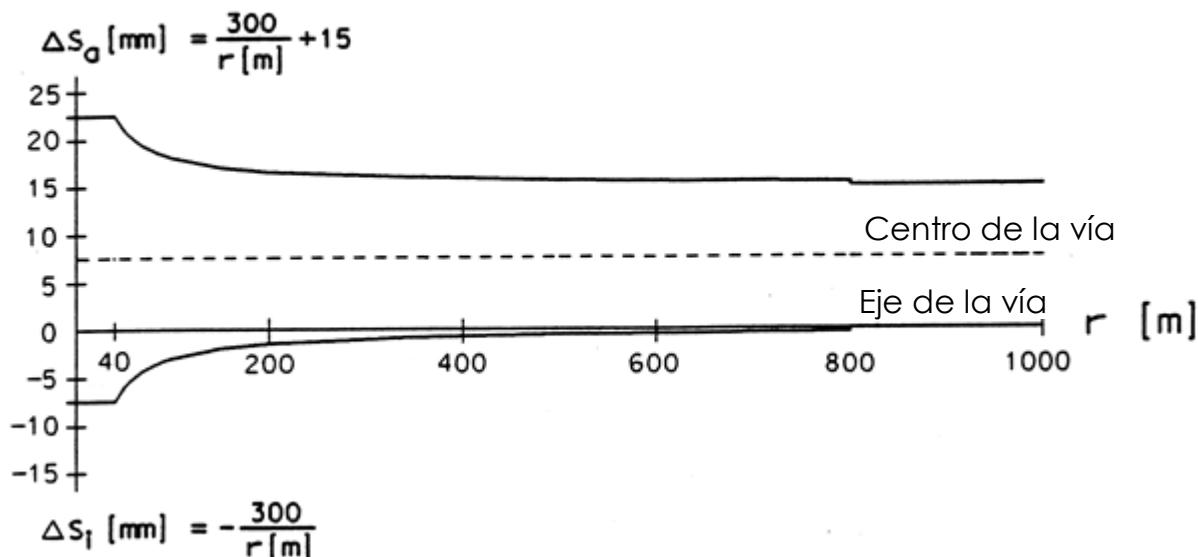
Parte de carril exterior

$$\Delta S_a [\text{mm}] \frac{900}{r [\text{mm}]} \quad (\text{ec. 1c})$$

Parte de carril interior

$$\Delta S_i [\text{mm}] \frac{300}{r [\text{mm}]} - 15 \quad (\text{ec. 1d})$$

### Supuesto 1



### Supuesto 2

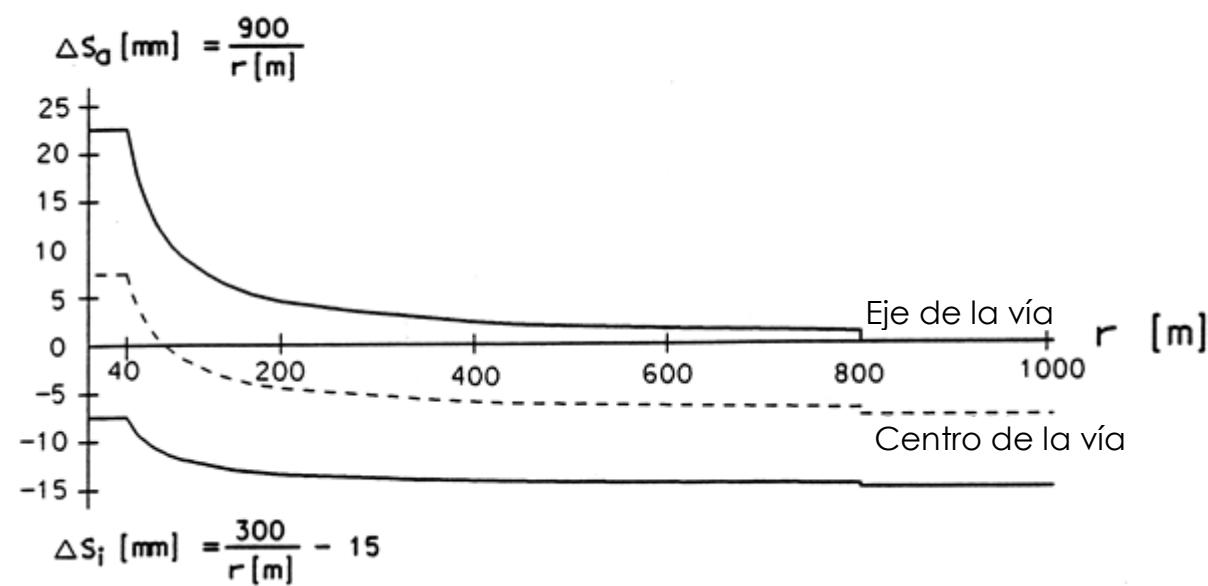


Figura 7: Distribución del ensanchamiento de vía incluyendo el desgaste de carril dependiente del radio de la curva

#### 4.3.3.2 Deterioro vertical

nc / c	Valor de ejemplo / Valor máximo
--------	---------------------------------

a) Vías en carril fijo

Las vías en carril fijo no se estudiarán a fondo.

Por lo tanto, se considerará ampliamente el desgaste de altura de los carriles.

P. ej.

en el carril S 49	nc	25 mm
en el carril S 41	nc	14 mm
en carriles de garganta dependientes de la altura de pestaña	nc	23 mm

#### b) vías desplazables

Las vías desplazables se estudiarán a fondo por turnos.

Desgaste de carriles entre dos estudios: nc - 5 mm

### 4.3.4 Influencia de las agujas de cambio

#### Ensanchamiento de vía

Por motivos constructivos, en el ámbito de las puntas reales de las agujas de cambio son necesarios ensanchamientos de vía sistemáticos de hasta 6 mm dependiendo del radio de la aguja. Esta medida es parte del ancho de vía máximo y, por lo tanto, no tiene ninguna influencia adicional sobre el desplazamiento transversal del vehículo. nc 6 mm

#### Elevación en carriles de garganta planos

En carriles de garganta planos el vehículo se eleva en la medida de la diferencia entre la altura máxima de pestaña y la profundidad mínima de garganta. nc + 6 mm

#### Corazón de carriles de garganta planos y contra-carril de garganta profundo

Las agujas de cambio con corazones de carriles de garganta planos y contra-carriles de garganta profundos ocasionan una inclinación transversal del vehículo. nc 6 mm

Nota:

*Por regla general, en las agujas de cambio no se agotan los límites del desgaste ni los valores de ejemplo de las modificaciones de la posición de vía de los trayectos condicionados por el servicio. Por lo tanto, la superposición de los valores reales con los valores de ejemplo antes mencionados sobre el ensanchamiento de vía y la elevación de carriles de garganta planos no influye de forma adicional sobre el gálibo necesario. Además, los choques con los topes de carriles de garganta planos solo*

provocan aceleraciones verticales mínimas, de manera que su influencia sobre el balanceo dinámico adicional puede pasarse por alto.

## 4.4 Cargas estáticas y dinámicas del vehículo

### 4.4.1 Cargas de base estáticas en dirección vertical

En general, es preciso considerar los dos estados de carga:

- Vehículo vacío
- Vehículo totalmente ocupado conforme a BOStrab

Con ello se abarcan todos los estados intermedios técnicamente relevantes para el gálibo.

La ocupación ocasiona una compresión estática del resorte del vehículo y un descenso del centro de gravedad. En algunos casos, la ocupación asimétrica de los pasajeros provoca una posición inclinada del vehículo. Las cargas cuasiestáticas y dinámicas se superponen a las cargas de base estáticas.

### 4.4.2 Cargas estáticas y cuasiestáticas en dirección transversal

Las cargas estáticas y cuasiestáticas resultan de la bajada de nc  $a_q = + 1,0 \text{ m/s}^2$  pendiente y la aceleración centrífuga previstas en el proyecto técnico.

$$\text{Aceleración transversal} \quad a_q = \frac{v^2}{3,6^2 r} - g * \frac{u}{m} \quad (\text{ec. 2})$$

$a_q$	$[\text{m/s}^2]$	$g$	$[\text{m/s}^2]$
$v$	$[\text{km/h}]$	$u$	$[\text{mm}]$
$r$	$[\text{m}]$	$m$	$[\text{mm}]$

La fuerza lateral debido a la bajada de pendiente y a la aceleración centrífuga asciende a

$$F_Q = m_F * |a_q|$$

### 4.4.3 Cargas dinámicas en dirección transversal

Se consideran las siguientes cargas dinámicas:

- Viento lateral  $z \quad p_w = \pm 200 \text{ N/m}^2$

eficaz en la altura del centro de gravedad de la superficie de la caja de vagón *(correspondiente a 60 km/h)*

$$F_w = A_w * |p_w|$$

- Aceleración-impacto lateral z  $a_s = \pm 0,50 \text{ m/s}^2$

eficaz en la medida del centro de gravedad de la masa de la caja de vagón

$$F_s = m_s * |a_s|$$

En el caso de las cargas de impacto hay que tener en cuenta que la imperfección causante en la vía no hace efecto de forma simultánea sobre los trenes de rodaje de un vehículo, sino sucesivamente. Esto significa que la fuerza de masa resulta de la aceleración y de la parte de masa  $m_s$  sostenida por el tren de rodaje respectivo de la caja de vagón.

#### **4.4.4 Cargas dinámicas en dirección vertical**

Las compresiones de resorte estáticas se superponen a los recorridos de resorte resultantes de las cargas dinámicas verticales. Los recorridos de resorte dinámicos se proponen directamente como recorridos de ejemplo en los apartados 4.2.5 y se toman como valores casuales en el cálculo del gálibo necesario.

### **4.5 Posición del vehículo en la vía**

Al calcular el gálibo necesario es preciso tomar como base la posición respectivamente más desfavorable del vehículo en la vía.

Esta es

- en las rectas, la posición de marcha oblicua,
- en curvas, la posición de marcha oblicua y la posición de longitud de cuerda del vehículo

Siempre que se trate de vehículos de bogie convencionales, se ha de suponer aquí que cada uno de los dos ejes montados de un bogie circula sobre el mismo carril.

En la posición de marcha oblicua también hay que considerar el lado interno de la curva.

	<b>Posición de marcha oblicua</b>	<b>Posición de longitud de cuerda</b>
<b>Curva</b>		
<b>Recta</b>		

*Figura 8: Posición determinante del vehículo en la vía con el ejemplo de un vehículo de bogie convencional (vehículos o piezas de vehículos con tres bogies o trenes de rodaje y cajas de vagón rígidas)*

La consideración geométrica de la posición de marcha oblicua del vehículo en las rectas y en las vías en curva requiere una diferenciación según la dirección de los efectos.

Los signos de los factores de influencia indican el sentido en el que surtirá efecto el respectivo factor de influencia.

En vía en curva + significa "hacia el exterior de la curva" y - "hacia el interior de la curva". En dirección vertical + significa "hacia arriba" y - "hacia abajo". Al considerar los movimientos de cabeceo del vehículo + significa "hacia arriba" y - "hacia abajo".

En el resumen de los factores de influencia (ecuaciones 14 a 20) todos los valores individuales en el mismo sentido entran con su valor absoluto. Del mismo modo, en un encuentro entre trenes, los valores de ambos trenes en dirección al centro de las vías contiguas se consideran valores absolutos.

En el caso de vehículos que por su diseño cinemático se diferencian de los vehículos de bogie convencionales o de los vehículos con tren de rodaje único, de forma análoga se tomará como base la posición de marcha oblicua y de longitud de cuerda geométricamente más desfavorable en vías rectas y en curva.

## 5. Desplazamientos

Los desplazamientos son modificaciones del trayecto de componentes del vehículo o de la vía

- en dirección transversal en paralelo a la GFT según el proyecto técnico (desplazamientos transversales)
- en dirección vertical perpendicular a la GFT según el proyecto técnico (desplazamientos verticales)

### 5.1 Desplazamientos transversales

Al determinar el gálibo necesario se recopilan

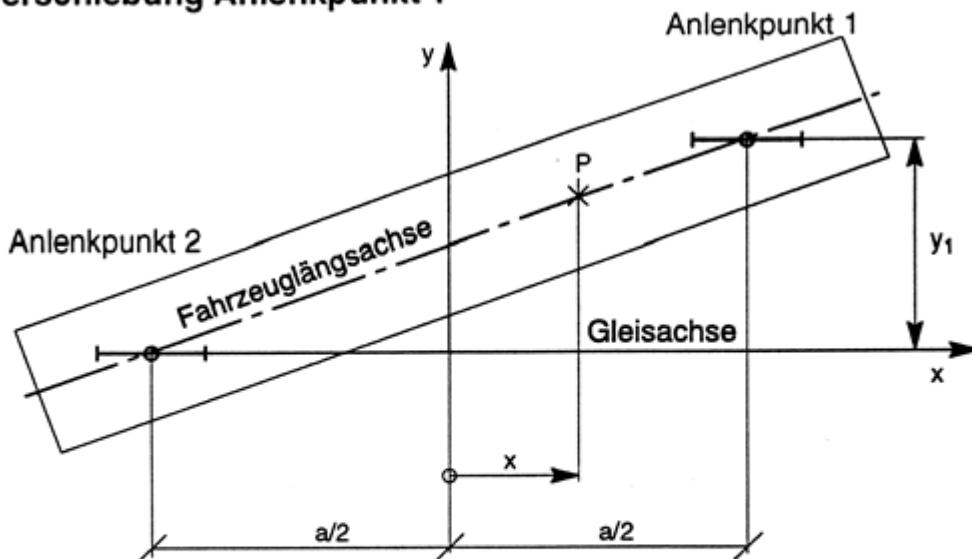
- la saliente geométrica en curva,
- el desplazamiento transversal debido al juego de vía  $\sigma$ ,
- los desplazamientos transversales debidos a factores de influencia técnicos del vehículo
- los desplazamientos transversales debidos a factores de influencia técnicos de la vía.

Para cada lado de una vía debe calcularse el valor máximo del desplazamiento transversal.

Los desplazamientos transversales debidos a influencias de la vía y del tren de rodaje conducen a una posición angular de la caja de vagón hacia el eje de la vía.

Para calcular los efectos de los desplazamientos de los puntos de articulación sobre el punto de la caja de vagón estudiado, debe considerarse para ambos puntos de articulación un factor dependiente de la posición de los puntos estudiados hacia el centro de la articulación de la caja de vagón (figura 9).

### Verschiebung Anlenkpunkt 1

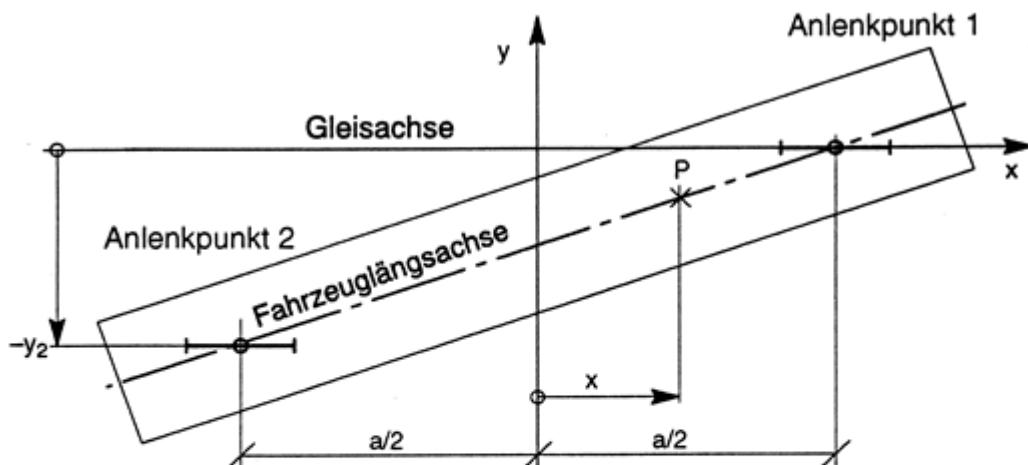


$$y(x) = y_1 \cdot \left( \frac{1}{2} + \frac{x}{a} \right)$$

**Faktor Anlenkpunkt 1 :**  $f_1 = \frac{y(x)}{y_1} = \frac{1}{2} + \frac{x}{a}$  (Gl 3a)

Verschiebung Anlenkpunkt 1	Desplazamiento punto de articulación 1
Anlenkpunkt 1	Punto de articulación 1
Anlenkpunkt 2	Punto de articulación 2
Fahrzeuggängsachse	Eje longitudinal del vehículo
Gleisachse	Eje de la vía
Faktor Anlenkpunkt 1:	Factor punto de articulación 1:

### Verschiebung Anlenkpunkt 2



$$y(x) = y_2 \cdot \left( \frac{1}{2} - \frac{x}{a} \right)$$

**Faktor Anlenkpunkt 2:**  $f_2 = \frac{y(x)}{y_2} = 1 - f_1$  (Gl 3b)

Figura 9: Factores para el desplazamiento de la caja de vagón debido al desplazamiento transversal de los puntos de articulación

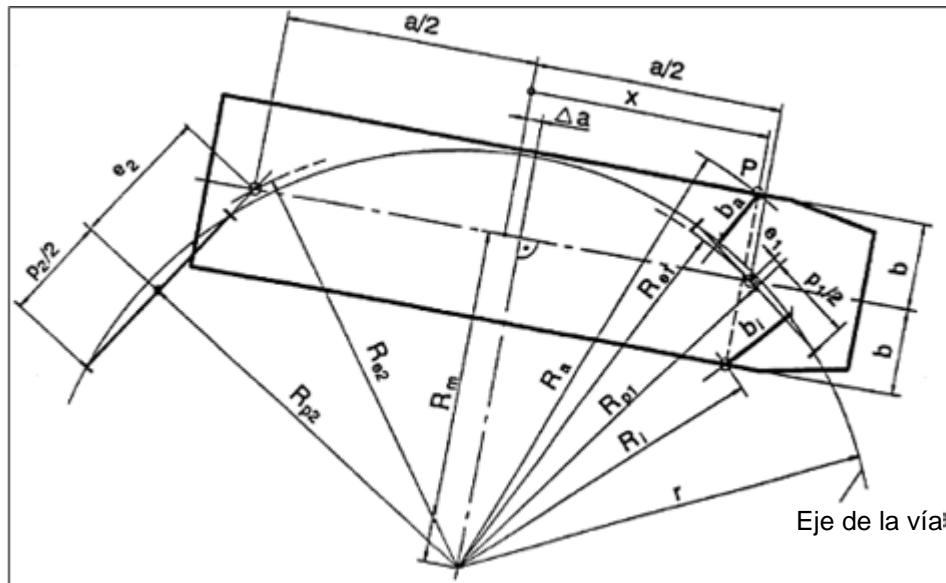
Verschiebung Anlenkpunkt 2	Desplazamiento punto de articulación 2
Anlenkpunkt 1	Punto de articulación 1
Anlenkpunkt 2	Punto de articulación 2
Fahrzeuggängsachse	Eje longitudinal del vehículo
Gleisachse	Eje de la vía
Faktor Anlenkpunkt 2:	Factor punto de articulación 2:
(Gl 3b)	(Gl 3b)

### 5.1.1 Saliente geométrica en curva

El cálculo de la saliente geométrica en curva debe realizarse con el vehículo en posición central (valores nominales de vía y vehículo).

Las influencias de la curva pueden —dependiendo de la geometría del vehículo— surtir efectos de hasta el largo del vehículo sobre las siguientes curvas o rectas de transición.

Dependiendo del diseño del vehículo, fuera de la vía en curva pueden aparecer valores de saliente superiores a los de dentro de la vía en curva.



magnitudes matemáticas de referencia:  $\Delta a$ ,  $R_a$ ,  $R_e$ ,  $R_i$ ,  $R_p$ ,  $R_m$

Figura 10: Saliente geométrica en curva incluyendo la mitad del ancho del vehículo

Curva exterior:

$$b_a = \sqrt{\left( \sqrt{r^2 - \frac{a^2}{4} - \frac{p_1^2 + p_2^2}{8} + \frac{e_1^2 + e_2^2}{2}} - \left( \frac{p_1^2 - p_2^2}{8a} - \frac{e_1^2 - e_2^2}{2a} \right)^2 + b \right)^2 + \left[ x - \left( \frac{p_1^2 - p_2^2}{8a} - \frac{e_1^2 - e_2^2}{2a} \right) \right]^2} - r \quad (\text{ec. 4a})$$

Curva interior:

$$b_i = r - \sqrt{\left( \sqrt{r^2 - \frac{a^2}{4} - \frac{p_1^2 + p_2^2}{8} + \frac{e_1^2 + e_2^2}{2}} - \left( \frac{p_1^2 - p_2^2}{8a} - \frac{e_1^2 - e_2^2}{2a} \right)^2 - b \right)^2 + \left[ x - \left( \frac{p_1^2 - p_2^2}{8a} - \frac{e_1^2 - e_2^2}{2a} \right) \right]^2} \quad (\text{ec. 4b})$$

para  $p_1 = p_2 = p$  und  $e_1 = e_2 = 0$ :

$$\text{Curva exterior: } b_a = \sqrt{\left( \sqrt{r^2 - \frac{a^2}{4} - \frac{p^2}{4}} + b \right)^2 + x^2} - r \quad (\text{ec. 4c})$$

$$\text{Curva interior: } b_i = r - \sqrt{\left( \sqrt{r^2 - \frac{a^2}{4} - \frac{p^2}{4}} - b \right)^2 + x^2} \quad (\text{ec. 4d})$$

### 5.1.2 Desplazamiento transversal debido al juego de vía

El juego de vía se compone de

- juego de vía nominal, (nc)
- desgaste de pestaña, (nc)
- ensanchamiento de vía y (nc)
- desgaste de carriles. (nc)

Para considerar el gálibo debe tomarse como base el juego de vía de mayor tamaño admisible para el caso estudiado.

Con respecto al desgaste de pestaña del vehículo se supone que este se distribuye de forma simétrica en ambas ruedas de un eje montado.

El desgaste de carriles en las rectas se considera en un solo lado como el caso más desfavorable.

El desgaste máximo de los carriles, incluyendo el ensanchamiento de vía y la distribución sobre los carriles interiores y exteriores dependiendo del radio, se desprenden de la figura 7. Debido a un aumento asimétrico del ancho de las vías también se desplaza el centro de la vía (figura 11).

El juego de vía máximo es de:

- con radio de curva  $r \leq 40$  m:  $\max \sigma = 55$  mm
- con radio de curva  $40 < r < 800$  m:  $\max \sigma = \frac{600}{r \text{ [m]}} + 40$  mm
- con radio de curva  $r \geq 800$  m  $\max \sigma = 40$  mm

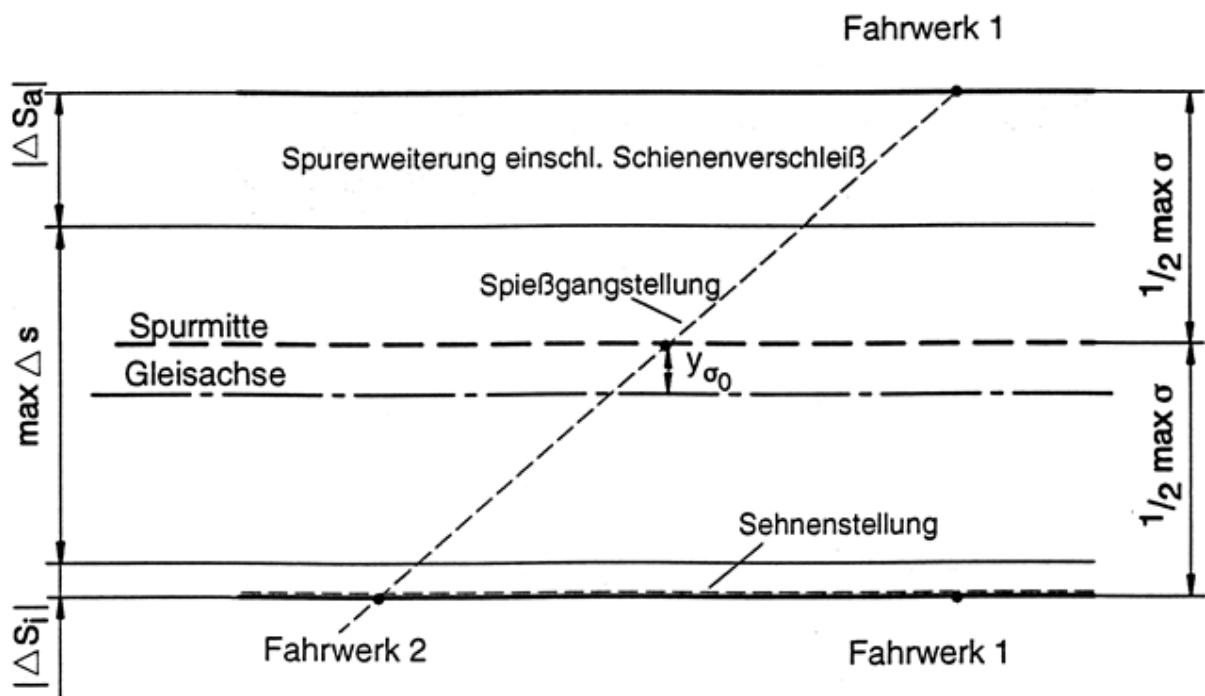


Figura 11 a Desplazamiento transversal debido al juego de vía máximo

Fahrwerk 1	Tren de rodaje 1
Spurerweiterung einschl. Schienenverschleiß	Ensanchamiento de vía incluyendo desgaste de carril
Spießgangstellung	Posición de marcha oblicua
Spurmitte	Centro de la vía
Gleisachse	Eje de la vía
Sehnenstellung	Posición de longitud de cuerda
Fahrwerk 2	Tren de rodaje 2

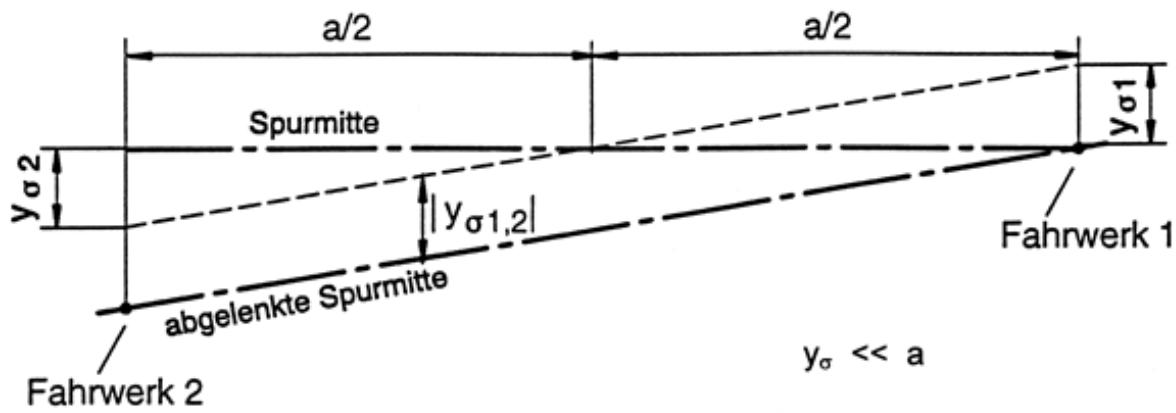


Figura 11 b: Desplazamiento transversal de los trenes de rodaje debido al cambio del desgaste de carril (desviación del centro de la vía)

Fahrwerk	Tren de rodaje
Spurmitte	Centro de la vía
abgelenkte Spurmitte	Centro de la vía desviado

Juego de vía máximo:  $\max \sigma = |\Delta S_a| + |\Delta S_i| + \max \Delta s$   $\Delta S_a, \Delta S_i$  conforme a la figura 11a

considerando la dirección:

mitad de juego de vía:  $\frac{1}{2} \max \sigma$  + en dirección a la curva exterior  
- en dirección a la curva interior

Desplazamiento del centro de la vía:  $y_{\sigma 0} = \frac{|\Delta S_a| - |\Delta S_i|}{2}$

Influencia del juego de vía sobre el punto del vehículo estudiado:

$$y_{ss} = \left| \frac{1}{2} \max \sigma \cdot f_1 - \frac{1}{2} \max \sigma \cdot f_2 + y_{\sigma 0} \right| \quad (\text{Posición de marcha oblicua})$$

(ec. 5a)

$$y_{ss} = \left| -\frac{1}{2} \max \sigma \cdot f_1 - \frac{1}{2} \max \sigma \cdot f_2 + y_{\sigma 0} \right| \quad (\text{Posición de longitud de cuerda})$$

Desplazamiento de los trenes de rodaje debido al cambio (desviación) del desgaste de carril:

$$y_{\sigma 1,2} = \pm \alpha_s \cdot \frac{a}{2} \quad y_{\sigma} < a$$

El cambio del desgaste de carril tiene como consecuencia una desviación del centro de la vía que tiene efectos sobre la posición de marcha oblicua del vehículo.

Al considerar la marcha oblicua se presupone el desgaste de carril máximo en un tren de rodaje, de manera que la desviación del centro de la vía, desplazada en paralelo, solo surte efectos sobre el segundo tren de rodaje.

Influencia de la desviación del centro de la vía sobre el punto estudiado:

$$y_{sw} = y_{\sigma 1} \cdot f_1 + y_{\sigma 2} \cdot f_2 - |y_{\sigma 1,2}|$$

$$y_{sw} = \alpha_s \cdot \frac{a}{2} \cdot (f_1 - f_2 - 1) \quad \text{con} \quad f_1 = 1 - f_2 :$$

$$y_{sw} = -\alpha_s \cdot a \cdot f_2 \quad (\text{ec. } 5b)$$

### 5.1.3 Desplazamientos transversales debidos a factores de influencia técnicos del vehículo

Los desplazamientos transversales dentro del sistema del vehículo se deben a

- Tolerancias de construcción, (c)
- Juegos, (nc)
- Desgaste y (nc)
- Recorridos de resorte transversales (nc, c)

Para considerar el gálibo se utilizan, de las tolerancias de construcción —que son casuales—, los valores máximos dirigidos hacia el exterior del campo de tolerancia.

Los **juegos** son recorridos libres previstos por la construcción y, por tanto, no son casuales.

Los **desgastes** son recorridos transversales que en el ascenso se mantienen lo más reducidos posibles, pero que por motivos de rentabilidad por regla general se utilizan hasta el límite de lo permitido. Por lo tanto, no son casuales.

Los **recorridos de resorte transversales** aparecen en los sistemas de suspensión de los vehículos. Hay que distinguir entre

- recorridos de resorte transversales con fuerza de retroceso reducida (recorridos de resorte "libres")

Estos se recomiendan, por ejemplo, para la construcción de sistemas de resortes neumáticos a fin de obtener un alto grado de confort en la marcha. Los recorridos de resorte se utilizan sin fuerzas laterales dignas de mención y, por lo tanto, no son casuales, al igual que los juegos;

y

- recorridos de resorte transversales debidos a fuerzas laterales dinámicas.

Estos salen fuera del los recorridos de resorte "libres" y son casuales. Aquí pueden colocarse los recorridos "del lado seguro" hasta el tope; pero hay que procurar tomar como base valores empíricos realistas. Dado que los recorridos de resorte transversales dinámicos presentan por lo general valores relativamente bajos, se puede prescindir de calcular los recorridos a través de las fuerzas y las constantes de resortes, especialmente porque la amplitud de tolerancia en constantes de resortes transversales de elementos de resortes es relativamente grande. Aquí habría que emplear datos de recorridos directos procedentes de la experiencia práctica.

Para ruedas con resorte de goma es preciso considerar el recorrido de resorte transversal máximo.

#### **5.1.4 Desplazamientos transversales debidos a factores de influencia técnicos de la vía**

Estos desplazamientos transversales se deben a

- cambios en la posición de la vía condicionados por el funcionamiento, incluyendo tolerancias de fabricación ( $nc$ ,  $c$ )
- cambios elásticos en la posición de la vía condicionados por el funcionamiento ( $nc$ )

Las tolerancias de construcción en la fabricación de vías no se examinarán por separado en adelante. La posición límite de ambos bordes de rodamiento son relevantes para el gálibo, y están establecidas en las normas o en las instrucciones

de funcionamiento internas. Por consiguiente, no es necesario considerar por separado las tolerancias y cambios debidos al funcionamiento.

La elasticidad transversal de los carriles y las vías abarca las enlongaciones horizontales y de retroceso de la cabeza de carril bajo el efecto de las fuerzas de guiado. Se han considerado las fuerzas de guiado más intensas en las curvas de los carriles exteriores en curva.

Los cambios en la posición de la vía debidos al funcionamiento se producen por lo general solo en marcos de vías de traviesa depositados en balasto (vías tendidas de forma desplazable). Especialmente en curvas estrechas estos son resultado de una superposición de las influencias de las fuerzas de guiado y de las tensiones de carril condicionadas por la temperatura. En el ámbito de los andenes, se tomaron valores de ejemplo correspondientes muy bajos debido a la distancia estipulada de las vías con respecto a los bordes del andén.

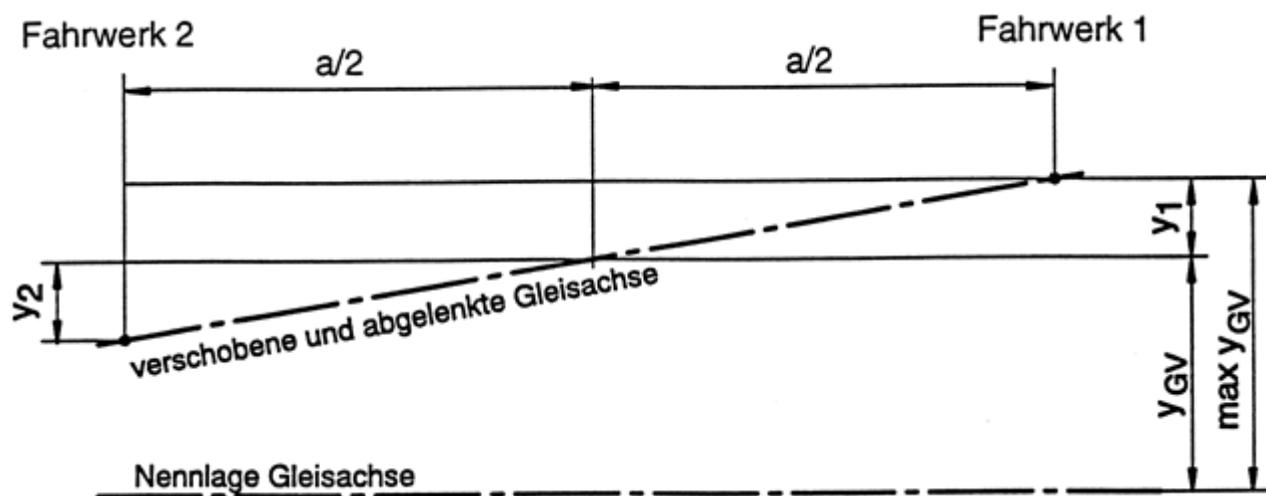


Figura 12: Desplazamiento transversal de los trenes de rodaje debido al desplazamiento de vía

Fahrwerk 1	Tren de rodaje 1
Fahrwerk 2	Tren de rodaje 2
Verschobene und abgelenkte Gleisachse	Eje de la vía desplazado y desviado
Nennlage Gleisachse	Posición nominal del eje de vía

Desplazamiento de vía máximo:  $\text{max } y_{\text{GV}}$

Desplazamiento de los trenes de rodaje debido a un cambio (desviación) del desplazamiento transversal de la vía en un ángulo  $\alpha_Q$ :

$$y_{1,2} = \pm \alpha_Q \cdot \frac{a}{2}$$

Influencia del cambio del desplazamiento transversal (desviación) sobre el punto estudiado:

$$y_{GW} = y_1 \cdot f_1 + y_2 \cdot f_2 \quad (\text{ec. 6a})$$

Influencia del desplazamiento transversal sobre el punto estudiado (desplazamiento paralelo):

$$y_{GV} = \max |y_{1,2}|$$

$$y_{GV} = \max y_{GV} - \alpha_Q \cdot \frac{a}{2} \quad (\text{ec. 6b})$$

## 5.2 Desplazamientos verticales

Al determinar el gálibo necesario se recopilan los desplazamientos verticales debidos a factores de influencia técnicos del vehículo y de la vía.

### 5.2.1 Desplazamientos verticales debidos a factores de influencia técnicos del vehículo

Aquí se trata de

- tolerancias de construcción, (c)
- compresión estática del resorte debido a la ocupación (nc)
- recorridos de resorte dinámicos (c)
- desgaste de ruedas (nc)
- flexión de la caja de vagón (nc)

Las tolerancias de construcción y los recorridos de resorte dinámicos deben considerarse tanto hacia arriba para el gálibo necesario en la zona del techo, como hacia abajo para la zona del suelo, mientras que la compresión estática del resorte y la flexión de la caja de vagón solo tienen efectos hacia abajo.

La compresión estática del resorte debe referirse a la carga útil máxima.

Deben suponerse los recorridos dinámicos de resorte correspondientes al estado permitido del vehículo y de la vía de la empresa de transporte respectiva.

El desgaste de ruedas puede referirse al desgaste permitido para el intervalo de reajuste, siempre que la altura de la caja de vagón se reajuste con regularidad.

### **5.2.2 Desplazamientos verticales debidos a factores de influencia técnicos de la vía**

Los factores de influencia técnicos de la vía son

- deterioro vertical de los carriles (nc)
- cambio de posición vertical de la vía (c)
- elasticidad vertical de la vía  
(compresión del resorte bajo carga) (nc)
- cimas y columpios (nc)

En las cimas resulta un gálibo necesario en la zona del suelo entre los puntos de apoyo de la caja de vagón y en la zona del techo en los saledizos del vehículo fuera de la zona de apoyo.

En el caso de columpios se genera la necesidad contraria.

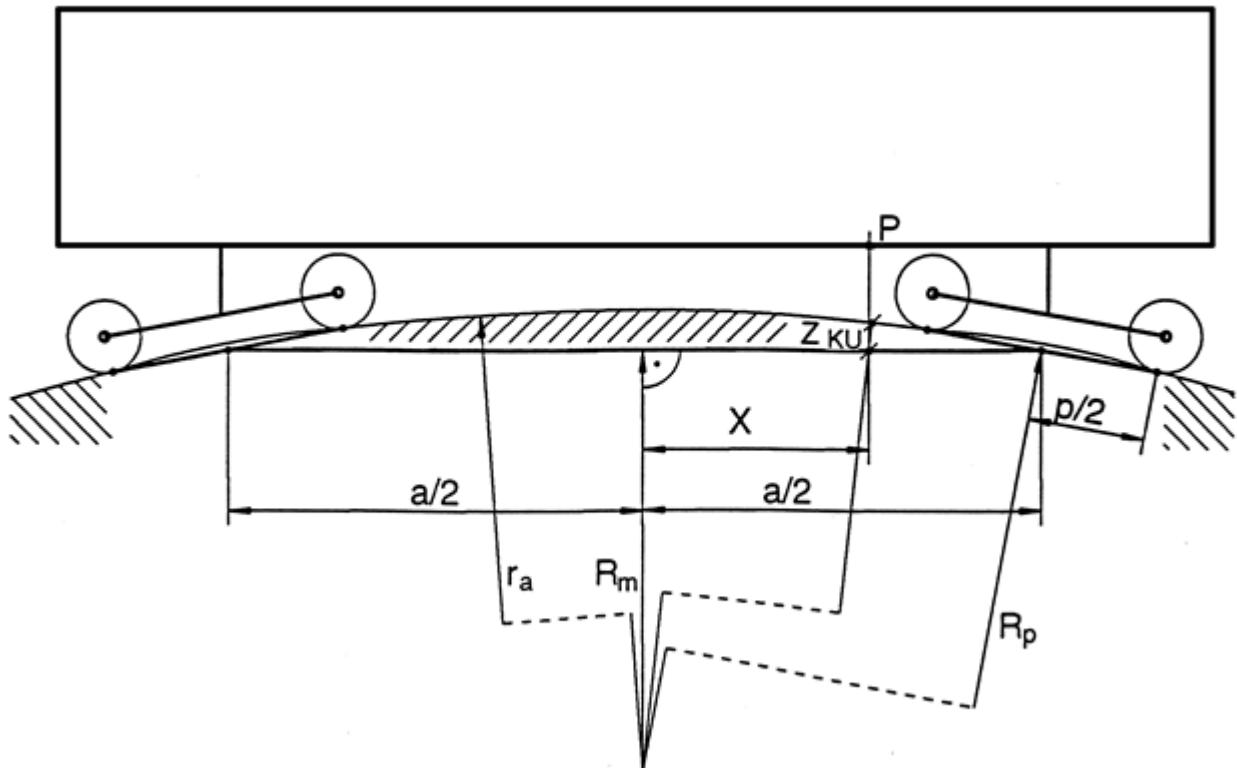


Figura 13 a: Saliente geométrica vertical en cimas

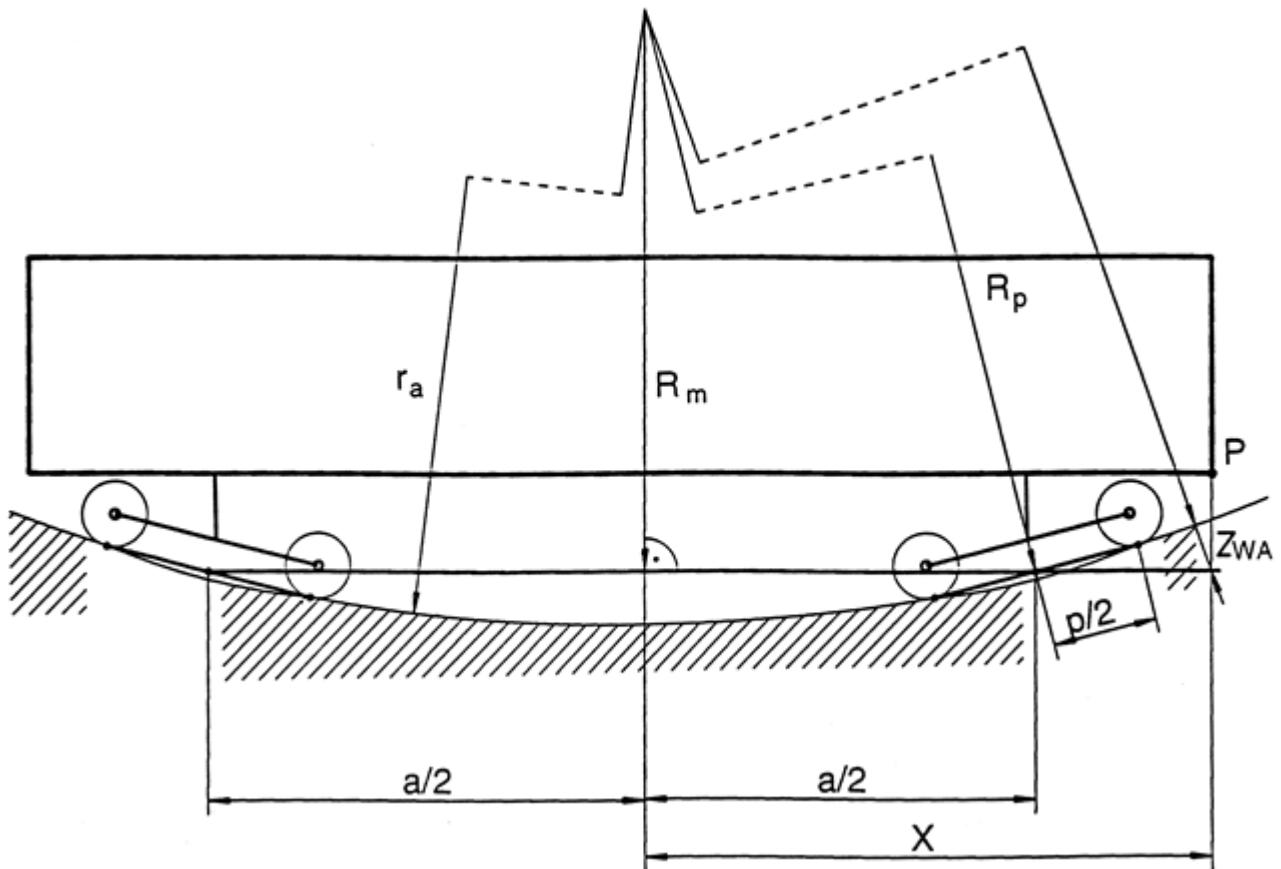


Figura 13 b: Saliente geométrica vertical en columpios

La influencia de diferentes distancias entre los ejes en los vehículos puede pasarse por alto debido a los grandes radios de redondeo verticales ( $p_1 = p_2 = p$ ).

De la geometría del vehículo y la vía resultan las siguientes salientes geométricas verticales debajo del vehículo:

$$z_{KU} = r_a - \sqrt{r_a^2 - \frac{a^2}{4} - \frac{p^2}{4} + x^2} \quad (\text{ec. 7a})$$

$$z_{WA} = \sqrt{r_a^2 - \frac{a^2}{4} - \frac{p^2}{4} + x^2} - r_a \quad (\text{ec. 7b})$$

En túneles el trazado de las cimas en la zona del suelo se corresponde con un columpio sobre el techo del vehículo. Asimismo, el trazado del columpio en la zona del suelo se corresponde con una cima sobre el techo. Por lo tanto, sobre el techo

del vehículo es determinante la ecuación 7b en el caso de trazado en cimas y la ecuación 7a en el caso de trazado de columpios.

El deterioro vertical de los carriles debe calcularse en vías de carril fijo con su valor total, mientras que en vías con tendido desplazable que son rebateadas con regularidad, es determinante el deterioro entre dos intervalos de bateado si con este se reconstruye la altura teórica de la vía.

Del mismo modo, el cambio de posición vertical de la vía debido al funcionamiento en vías con tendido desplazable puede referirse al cambio permitido entre dos intervalos de bateado.

La elasticidad vertical de la vía se debe calcular directamente como recorrido.

## 6. Transposiciones

### 6.1 Generalidades

En el caso de las transposiciones en el nivel de corte transversal (transposiciones transversales y verticales) se trata de movimientos de balanceo, es decir, de cambios en el ángulo de la línea central del vehículo con respecto a la línea central de la vía según el proyecto técnico, que en la posición teórica coincide con la línea central constructiva del vehículo.

Cada movimiento de balanceo tiene como consecuencia un componente transversal y y un componente vertical z.

Al calcular las transposiciones a través de los movimientos de balanceo se deben tener en cuenta las siguientes influencias:

- movimientos de balanceo a través de fuerzas transversales debidas a
  - bajada de pendiente del vehículo detenido en vía peraltada
  - aceleración transversal cuasiestática de un vehículo en marcha con el excedente de fuerza centrífuga permitido
  - viento lateral
  - aceleración transversal dinámica (dinámica de baja frecuencia durante la marcha del vehículo en vía recta y en curva)
- movimientos de balanceo debidos a tolerancias de la construcción del vehículo
- movimientos de balanceo debidos a una ocupación asimétrica del vehículo
- movimientos de balanceo debidos a una divergencia de las altitudes reciprocas de los carriles

En el nivel del corte longitudinal han de considerarse los movimientos de cabeceo del vehículo, esto es, cambios de ángulo de los ejes longitudinales del vehículo con respecto a los ejes de vía según el proyecto técnico. En los movimientos de cabeceo solo es técnicamente relevante para el gálibo el componente z perpendicular.

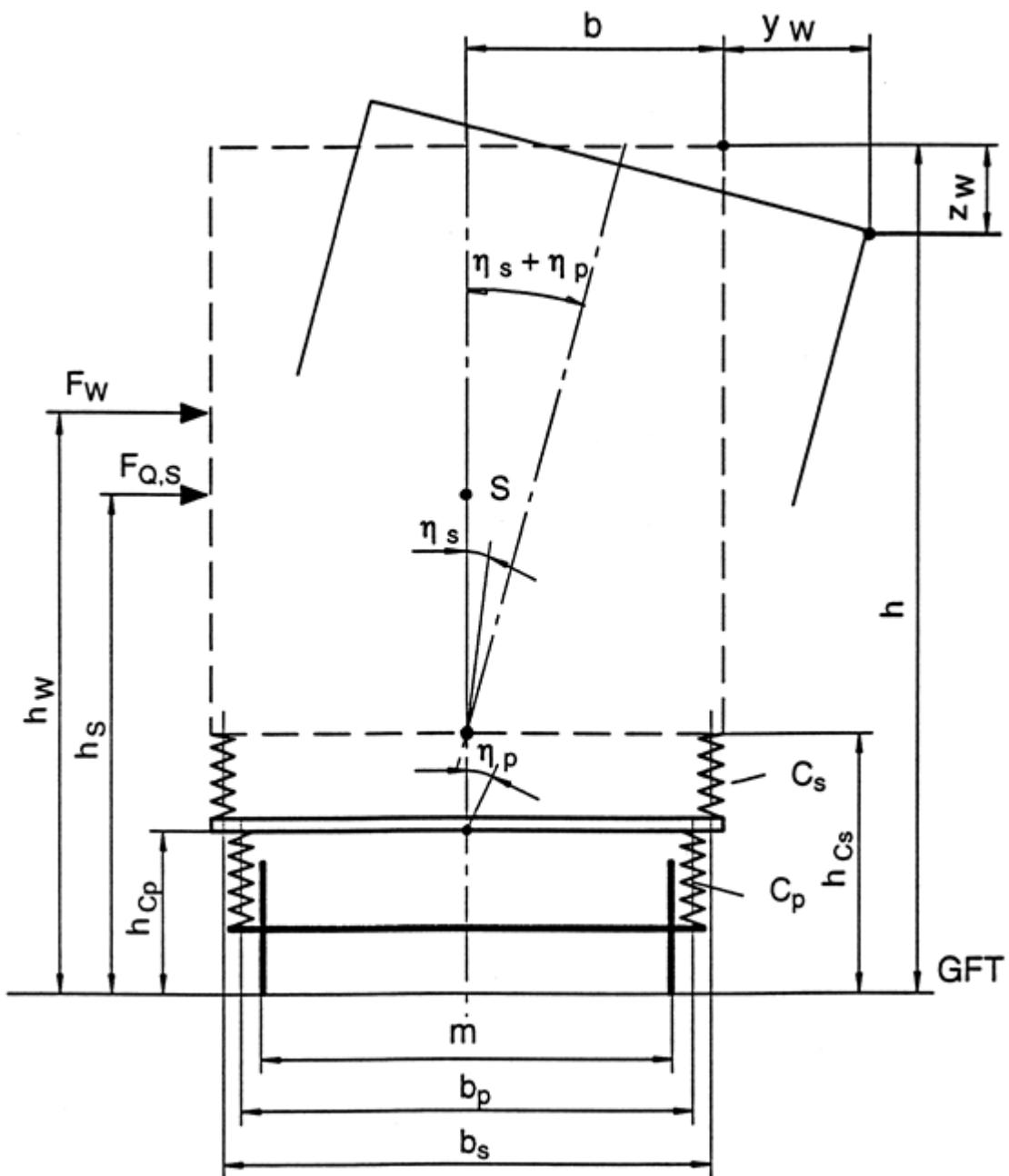


Figura 14: Esquema de transposiciones de los resortes del vehículo

Al calcular las transposiciones a través de los movimientos de cabeceo se deben tener en cuenta las siguientes influencias:

- Divergencia de la posición de la altura longitudinal de la vía con respecto a la posición teórica
- eventualmente, aceleración de arranque y desaceleración de frenado

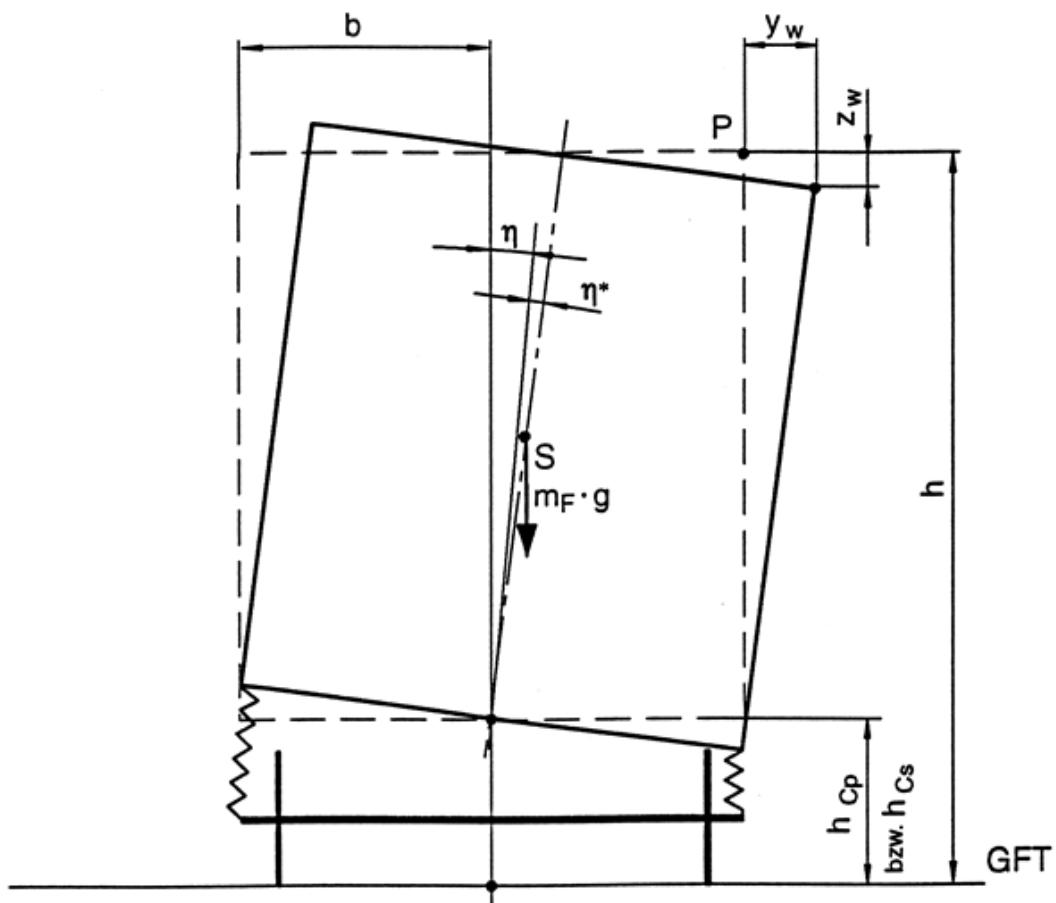
## 6.2 Transposiciones debido a fuerzas estáticas y dinámicas (movimientos de balanceo)

Los movimientos de balanceo del vehículo debidos a bajada de pendiente, fuerza centrífuga, impacto lateral y viento lateral dependen de la masa de la caja de vagón, de la disposición de los elementos de suspensión y de la característica del resorte.

Las masas de los trenes de rodaje pueden pasarse por alto.

Se supone que las características del resorte son lineales. Si existen características del resorte progresivas, estas pueden linealizarse como valor medio hacia "el lado seguro".

Sin embargo, en beneficio de la claridad se recomienda considerar ambos sistemas de resorte por separado, puesto que así pueden pasarse por alto las interdependencias. Para las alturas de los polos de balanceo se puede tomar como base con la suficiente exactitud el borde superior de los elementos de suspensión tanto en estado vacío como de ocupación total.



*Figura 15: Ángulo de inclinación debido a la fuerza lateral incluyendo el aumento del ángulo por transposición del centro de gravedad*

Suspensión primaria (ejes montados)

$$\tan \eta_p = F \cdot \frac{h_{s,w} - h_{Cp}}{0,5 \cdot n_p \cdot c_p \cdot b_p^2} \quad (\text{ec. 8a})$$

Suspensión secundaria (caja de vagón)

$$\tan \eta_s = F \cdot \frac{h_{s,w} - h_{Cs}}{0,5 \cdot n_s \cdot c_s \cdot b_s^2} \quad (\text{ec. 8a})$$

Dado que en un movimiento de balanceo de la caja de vagón el centro de gravedad se desplaza, la posición excéntrica conduce a un aumento del ángulo adicional.

Factor de aumento para considerar el ángulo de balanceo adicional producido por la transposición del centro de gravedad (resortes de base):

$$f_F = 1 + \frac{\tan \eta^*}{\tan \eta} = 1 + m_F \cdot g \cdot \left[ \frac{h_s - h_{Cp}}{0,5 \cdot n_p \cdot c_p \cdot b_p^2} + \frac{h_s - h_{Cs}}{0,5 \cdot n_s \cdot c_s \cdot b_s^2} \right] \quad (\text{ec. 9})$$

Con ello, para un punto del vehículo P a una distancia b de la línea central del vehículo, incluyendo el factor de aumento para considerar la transposición del centro de gravedad (con  $\sin \eta \approx \tan \eta$  )

la transposición transversal

$$y_w = F \cdot \left[ (h - h_{Cp}) \cdot \frac{h_{s,w} - h_{Cp}}{0,5 \cdot n_p \cdot c_p \cdot b_p^2} + (h - h_{Cs}) \cdot \frac{h_{s,w} - h_{Cs}}{0,5 \cdot n_s \cdot c_s \cdot b_s^2} \right] \cdot f_F \quad (\text{ec. 10})$$

la transposición transversal debido a la fuerza lateral

$$z_w = F \cdot b \cdot \left[ \frac{h_{s,w} - h_{Cp}}{0,5 \cdot n_p \cdot c_p \cdot b_p^2} + \frac{h_{s,w} - h_{Cs}}{0,5 \cdot n_s \cdot c_s \cdot b_s^2} \right] \cdot f_F \quad (\text{ec. 11})$$

También hay que considerar el factor de aumento en las posiciones de balanceo debidas a tolerancias de la construcción del vehículo y a la ocupación asimétrica del vehículo.

Los movimientos dinámicos de cabeceo de los vehículos debidos a la aceleración de arranque y a la desaceleración de frenado pueden pasarse por alto, a no ser que se trate de un vehículo cuya disposición de los trenes de rodaje y elementos de suspensión permita recorridos de cabeceo considerables. En este caso, para calcular la transposición vertical se procede de forma análoga a en el cálculo de la horizontal.

### **6.3 Transposiciones debidas a factores de influencia técnicos (escora del vehículo)**

Las transposiciones con un componente en dirección transversal y vertical resultan

- de la tolerancia de ajuste de la caja de vagón, referida al borde inferior del larguero de caja o a la altura del suelo sobre el lado izquierdo y derecho de la caja de vagón,

y

- de la ocupación asimétrica del vehículo, por ejemplo, en caso de disposición asimétrica de los asientos y las plazas de pie.

Los hábitos de los pasajeros, por ejemplo, preferir un lado del vehículo debido a los rayos de sol, pueden pasarse por alto, puesto que esto solo afecta a una zona parcial de la carga.

### **6.4 Transposiciones debidas a factores de influencia técnicos de la vía (inclinación de la vía)**

#### **6.4.1 Divergencia de las altitudes recíprocas de los carriles**

Debido a la divergencia de las altitudes recíprocas de los carriles, el vehículo es conducido a la correspondiente posición oblicua (ángulo de inclinación  $\delta$ ) con respecto a la posición teórica según el proyecto técnico. La transposición del centro de gravedad que esto conlleva conduce a un aumento de esta posición oblicua (ángulo de inclinación adicional  $\delta^*$  según la figura 16).

El factor de aumento referido a la base de la vía puede igualar por aproximación al factor de aumento referido a la base del resorte. Dado que  $\eta^*$  siempre es mayor que  $\delta^*$ , esta es una simplificación hacia el "lado seguro".

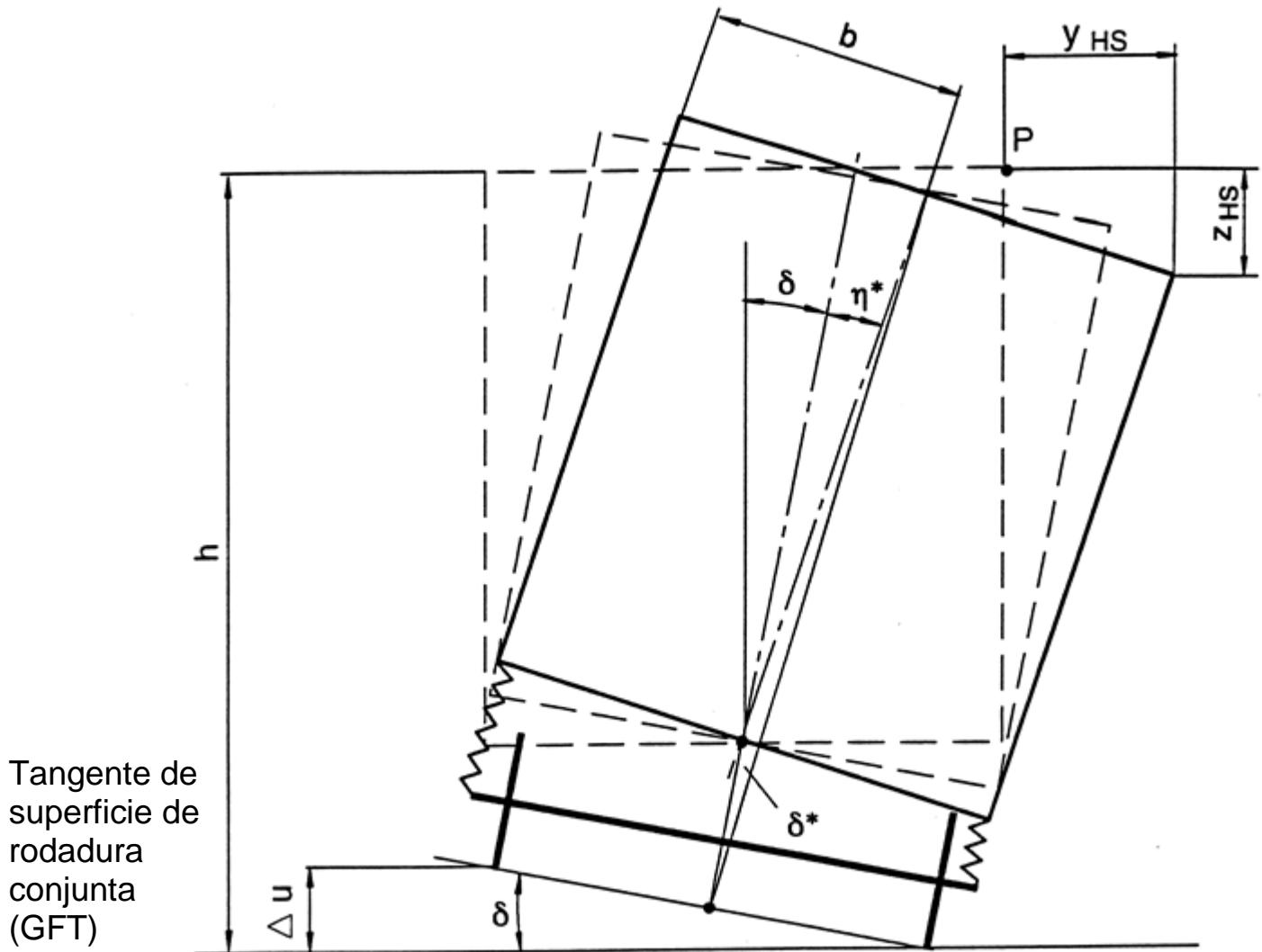


Figura 16: Ángulo de inclinación debido a divergencias de las altitudes recíprocas de los carriles incluyendo el aumento del ángulo por transposición de centro de gravedad

Transposición transversal del punto P:

$$y_{HS, HE} = \Delta u_{HS, HE} \cdot \frac{h}{m} \cdot f_F \quad f_F \text{ según el apartado 6.2} \quad (\text{ec. 12a})$$

Transposición vertical del punto P a una distancia b de la línea central del vehículo:

$$z_{HS, HE} = \Delta u_{HS, HE} \cdot \frac{2b}{m} \cdot f_F \quad (\text{ec. 12b})$$

La divergencia de la altitud recíproca de los carriles se refiere a la GFT según el proyecto técnico. Así, la construcción de una vía con el peralte previsto no conduce a una posición oblicua del vehículo relevante para el gálibo ( $\delta = 0^\circ$ ). Pero, dado que

puede producirse una transposición del centro de gravedad como consecuencia de la bajada de pendiente o de la aceleración centrífuga, es preciso considerar el ángulo de balanceo  $\eta$  y el ángulo de balanceo adicional  $\eta^*$  conforme al apartado 6.2.

#### 6.4.2 Divergencia de la altura longitudinal de la vía

Las divergencias de la altura longitudinal de la vía en sentido longitudinal conducen a movimientos de cabeceo del vehículo con un gálibo necesario vertical adicional.

$$Z_{NG} = \Delta Z_{GV} \cdot \left( \frac{x}{a} - \frac{1}{2} \right) \quad (\text{ec. 13})$$

$\Delta Z_{GV}$  = divergencia de la altura longitudinal de la vía a una distancia a

$$\max \Delta Z_{GV} = \alpha v * a$$

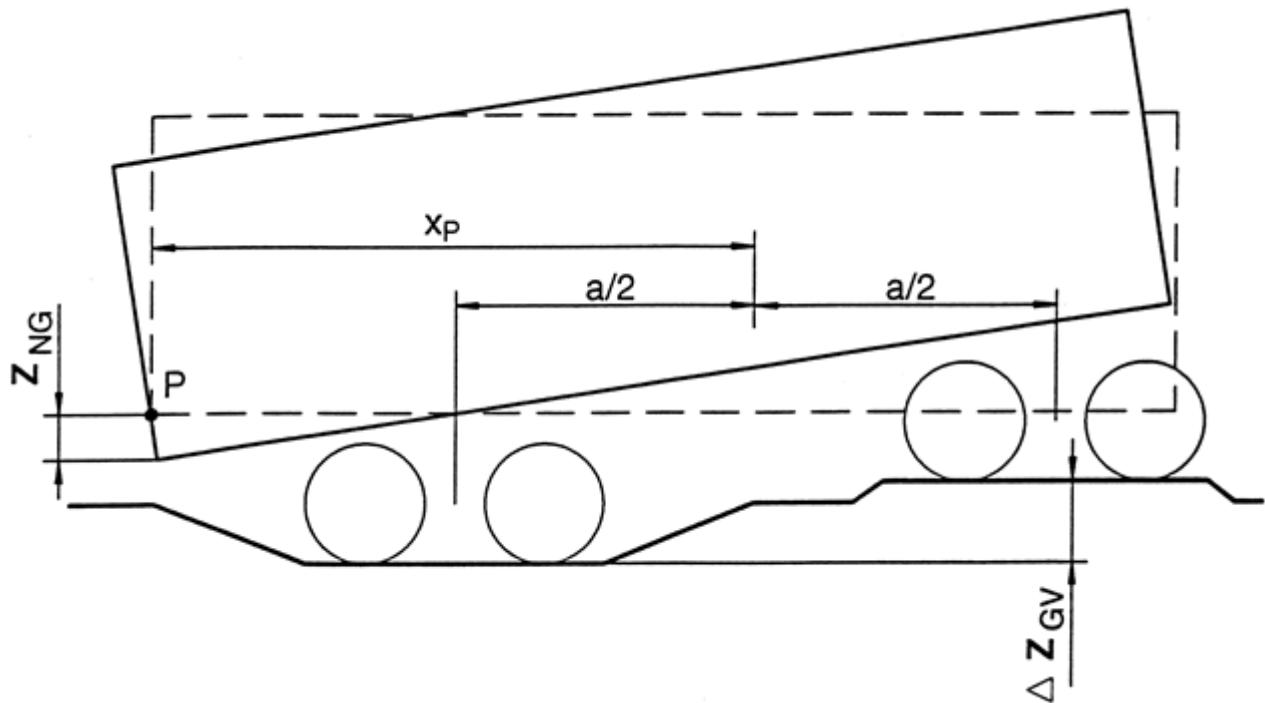


Figura 17: Cabeceo debido a una divergencia de la altura longitudinal de la vía

## 7. Gálibo necesario y distancia de seguridad

Conforme al artículo 18, apartado 4 BOStrab, entre el gálibo necesario y el contorno del gálibo debe haber una distancia de seguridad ajustada al cálculo exacto del gálibo necesario.

Si el gálibo necesario se calcula según estas directivas con todos los estados de funcionamiento permitidos, se puede prescindir de esta distancia de seguridad.

Para ello se debe asegurar que todos los factores de influencia tomados como base para el cálculo se mantengan conforme al apartado 4 tanto durante la construcción como en los estados de funcionamiento permitidos. Esto presupone que se realizan controles regulares a los vehículos y a las instalaciones de las vías, cuya frecuencia debe adaptarse a cada avance del desgaste.

Los supuestos para los recorridos dinámicos de resorte deben adoptarse de tal manera que no se superpongan en los estados de funcionamiento permitidos.

En el caso de un cálculo aproximativo conforme al apartado 7.1.3, al gálibo necesario calculado de forma aproximada hay que sumar una distancia de seguridad suficiente que no puede ser inferior al valor mínimo ys.

### 7.1 Gálibo lateral necesario

#### 7.1.1 Trayecto de vía única

El gálibo lateral necesario de un punto del vehículo de la coordenada longitudinal x en la altura h sobre la GFT se compone de

- la distancia de un punto del vehículo hasta el eje de la vía según el proyecto técnico (saliente geométrica en curva incluyendo la mitad del ancho del vehículo  $b_{a,i}$ )
- el desplazamiento transversal debido al juego de vía,
- los desplazamientos transversales y transposiciones transversales debidos a factores de influencia no casuales en la misma dirección y

- los desplazamientos transversales y transposiciones transversales debidos a factores de influencia casuales en la misma dirección.

Mientras que la saliente geométrica en curva, incluyendo la mitad del ancho del vehículo, el desplazamiento transversal debido al juego de vía y las necesidades individuales no casuales deben sumarse aritméticamente, en el caso de los valores máximos casuales en una misma dirección se considera la probabilidad de una coincidencia, por lo que se suman los valores como cuadrados bajo una raíz cuadrada, apoyándose en la ley de Gauss de la propagación de errores:

$$y_p = b_{a,i} + y_{ss} + y_{sa} + y_{sd} + y_{fr} + y_{fp} + y_{fs} + y_{ge} + y_{wq} + y_{wz} + y_{he} + \sqrt{y_{sw}^2 + y_{tr}^2 + y_{ta}^2 + y_{td}^2 + y_{tp}^2 + y_{tw}^2 + y_{ds}^2 + y_{gw}^2 + y_{gv}^2 + y_{ww}^2 + y_{ws}^2 + y_{wb}^2 + y_{hs}^2} \quad (\text{ec. 14})$$

En el caso de un trazado en vía única, se determina el gálibo necesario hacia ambos lados de la vía correspondiente a las posiciones más desfavorables del vehículo conforme al apartado 4.5.

### 7.1.2 Trayecto de vía múltiple

En el caso de un trazado de vía múltiple se debe diferenciar entre las vías no contiguas y contiguas. En las vías no contiguas el cálculo del gálibo necesario se realiza igual que para las vías únicas.

Entre las vías contiguas se puede proceder de forma diferente, como sigue:

- La influencia del viento solo se considera para un vehículo.
- El desplazamiento transversal de las vías entre sí solo se considera para una vía.
- Los desplazamientos transversales y transposiciones transversales resultantes de factores de influencia casuales pueden resumirse para una vía bajo una misma raíz cuadrada.

Al determinar la distancia mínima entre vías contiguas, es necesario considerar la influencia adicional de

- las agujas de cambio que desvían hacia fuera previstas para el montaje posterior,

- las vías en curvas siguientes
- peraltes diferentes

para el gálibo necesario.

Para vías rectas contiguas en las que se encuentran dos vehículos con la misma construcción en posición de marcha oblicua, resulta para el mismo punto del vehículo de ambos vehículos el siguiente gálibo necesario como base para la distancia entre los ejes de vías:

$$y_d = 2 \cdot (b_a + y_{ss} + y_{sa} + y_{sd} + y_{fr} + y_{fp} + y_{fs} + y_{ge} + y_{wq} + y_{wz} + y_{he}) + \\ + \sqrt{2 \cdot (y_{sw}^2 + y_{tr}^2 + y_{ta}^2 + y_{td}^2 + y_{tp}^2 + y_{tw}^2 + y_{ds}^2) + y_{gw}^2 + y_{gv}^2 + y_{ww}^2 + 2 \cdot (y_{ws}^2 + y_{wb}^2 + y_{hs}^2)} \quad (ec. 15)$$

Si entre las vías contiguas existe una diferencia de altura, para el vehículo situado en la vía en mayor altura habrá que considerar un punto del vehículo correspondientemente más bajo. En este caso resultan para cada término de la función aditiva dos valores individuales con excepción de los componentes  $y_{gw}$ ,  $y_{gv}$  y  $y_{ww}$ , que solo se consideran de manera simple. Para  $y_{ww}$  se utiliza el mayor de los dos valores.

En el caso de un encuentro de trenes en dos vías en curva contiguas se toma como base

- el vehículo en la curva interior en posición de marcha oblicua circulando a la velocidad máxima permitida y
- el vehículo en la curva exterior detenido en la posición más desfavorable.

Aquí, las siguientes influencias del balanceo

- una aceleración transversal cuasiestática del vehículo que circula por la curva interior con el excedente de fuerza centrífuga máximo permitido y
- una bajada de pendiente del vehículo detenido en la curva exterior peraltada actúan de forma opuesta.

Para los dos puntos más desfavorables del vehículo es necesaria la siguiente distancia entre los ejes de vías:

(Index a: vehículo en curva interior, Index b: vehículo en curva exterior)

$$\begin{aligned}
 y_d = & b_{aa} + b_{ib} + y_{SSa} + y_{SSb} + y_{SAa} + y_{SAb} + y_{SDa} + y_{SDb} + y_{FRa} + y_{FRb} + y_{FPa} + y_{FPb} + \\
 & + y_{FSa} + y_{FSb} + y_{WZa} + y_{WZb} + y_{HEa} + y_{HEb} + y_{GEa} + y_{GEB} + y_{WQa} + y_{WQb} + \\
 & + \sqrt{y_{SWa}^2 + y_{SWb}^2 + y_{TRa}^2 + y_{TRb}^2 + y_{TAa}^2 + y_{TAb}^2 + y_{TDa}^2 + y_{TDb}^2 + y_{TPa}^2 + y_{TPb}^2 + y_{DSa}^2 + y_{DSb}^2 + } \\
 & + y_{TWa}^2 + y_{TWb}^2 + y_{WBa}^2 + y_{WBb}^2 + y_{HSa}^2 + y_{HSb}^2 + y_{WSa}^2 + y_{GWb}^2 + y_{GVb}^2 + y_{Wa;b}^2
 \end{aligned}
 \quad (\text{ec. 16})$$

Si en entre vías en curva existe una diferencia de altura, se procederá del mismo modo que en las vías contiguas rectas.

### 7.1.3 Cálculo aproximativo

Si para determinar el gálibo necesario lateral de un punto del vehículo solo es posible realizar un cálculo aproximativo debido a tolerancias del vehículo y a características de la suspensión no conocidas, así como a tolerancias de la construcción de la vía y a la elasticidad de la vía no conocidas, es preciso considerar, junto con la saliente geométrica en curva,

como mínimo

- el juego de vía máximo,
- el desplazamiento de vía máximo,
- la divergencia máxima de las altitudes recíprocas de los carriles,

sin tener en cuenta la influencia de la transposición del centro de gravedad ( $y^*_{HS}$ ) con las medidas máximas permitidas para la empresa de transporte respectiva.

En este caso, para un vehículo con el confort de suspensión habitual y presuponiendo un estado de mantenimiento normal del vehículo y de la vía, es preciso sumar al gálibo necesario calculado una distancia de seguridad  $y_s$ , dependiendo de la altura del punto del vehículo estudiado, con un transcurso lineal de al menos 60 mm en la zona del suelo y 120 mm en la zona del techo para determinar el gálibo de paso libre en vías contiguas para cada vía.

Para los trayectos de vía única se aplica:

$$y_p = b_{a,i} + y_{ss} + \sqrt{y_{GV}^2 + y_{HS}^{*2}} + y_s \quad (\text{ec. 17})$$

Para vías rectas contiguas se aplica:

$$y_d = 2 \cdot (b_a + y_{ss}) + \sqrt{y_{GV}^2 + 2y_{HS}^{*2}} + 2y_s \quad (\text{ec. 18})$$

Para vías curvas contiguas se aplica:

(Index a: vehículo en curva interior, Index b: vehículo en curva exterior)

$$y_d = b_{aa} + b_{ib} + y_{ssa} + y_{ssb} + \sqrt{y_{GVb}^2 + y_{HSA}^{*2} + y_{HSb}^{*2}} + 2y_s \quad (\text{ec. 19})$$

## 7.2 Gálibo vertical necesario

El gálibo vertical necesario de un punto del vehículo a una distancia b de la línea central del vehículo se compone de

- la saliente geométrica vertical debida a una cima o un columpio,
- los desplazamientos y transposiciones verticales debidos a factores de influencia no casuales y
- los desplazamientos y transposiciones verticales debidos a factores de influencia casuales.

De forma análoga al apartado 7.1, el gálibo vertical necesario de un punto del vehículo a una distancia b de la línea central del vehículo es

por debajo del suelo del vehículo

$$\begin{aligned} z_{PU} = & z_{KU,WA} + z_{VR} + z_{FR} + z_{FP} + z_{FS} + z_{FW} + z_{GE} + z_{VS} + z_{WQ} + z_{WZ} + z_{HE} + \\ & + \sqrt{z_{TW}^2 + z_{TG}^2 + z_{DP}^2 + z_{DS}^2 + z_{GV}^2 + z_{WS}^2 + z_{WW}^2 + z_{WB}^2 + z_{HS}^2 + z_{NG}^2} \end{aligned} \quad (\text{ec. } 20a)$$

por encima del techo del vehículo

$$\begin{aligned} z_{PO} = & z_{KU,WA} + z_{WQ} + z_{WZ} + z_{HE} + \sqrt{z_{TW}^2 + z_{TG}^2 + z_{DP}^2 + z_{DS}^2 + z_{WS}^2 + z_{WW}^2 + z_{WB}^2 + z_{HS}^2 + z_{NG}^2} \\ & \quad (\text{ec. } 20b) \end{aligned}$$

El gálibo vertical necesario —que junto con la altura libre sobre el suelo y bajo el techo que debe comprobarse es de especial interés también para la colocación de los escalones de acceso— debe ser sometido en principio a un cálculo exacto. En especial para el dimensionamiento de la zona de acceso con un escalón lo más bajo posible no son suficientes los cálculos aproximativos análogos a lo expuesto en apartado 7.1.3.