



Universidad
Politécnica
de Cartagena

Índice

**Bloque 1.
Sección transversal ferroviaria.**

**Bloque 2.
Geometría de la vía. Trazado**

**Bloque 3
Comportamiento mecánico de la vía**

**Bloque 4.
Calidad y mantenimiento**

**Bloque 5.
Instalaciones**



Universidad
Politécnica
de Cartagena

BLOQUE 3. COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE LA VÍA

Índice

1. Introducción
2. Comportamiento vertical
3. Comportamiento transversal
4. Comportamiento longitudinal



3

Comportamiento transversal

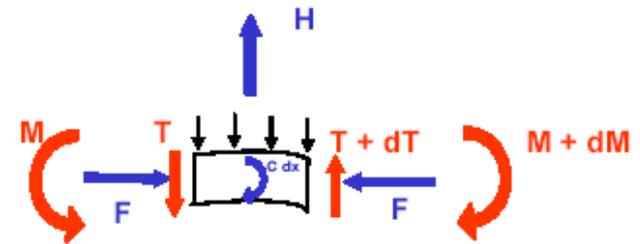
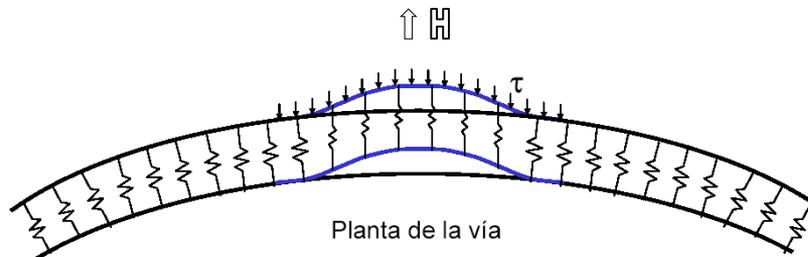
1. Introducción
2. Evaluación de esfuerzos
3. Cuantificación resistencia lateral
4. Conclusiones



1. Introducción

- **Efectos de los esfuerzos transversales**
 - Incomodidad de los viajeros
 - Ripado de la vía
 - Descarrilo
 - Vuelco del carril
 - Vuelco del vehículo

- **Cálculo transversal de la vía**



$$EI \frac{d^4 y}{dx^4} + F \frac{d^2 y}{dx^2} + \tau - \frac{dC}{dx} = 0$$



2. Evaluación de los esfuerzos transversales

- Esfuerzos cuasiestáticos
- Esfuerzos debidos al movimiento de lazo
- Esfuerzos debidos al viento
- Consideraciones prácticas



2. Evaluación de los esfuerzos transversales

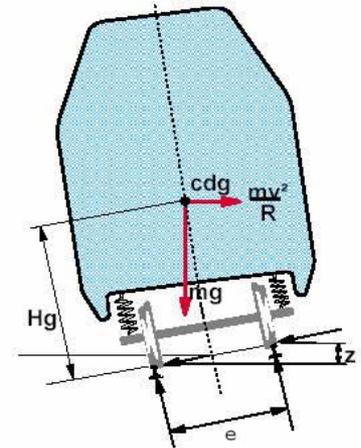
- **Esfuerzos cuasiestáticos**

- Componentes

- Fuerza centrífuga

$$H_c = \frac{2QI_p}{a_c}$$

- Esfuerzo de guiado en curva
- Axil debido a las variaciones térmicas
- Oscilaciones aleatorias debidas a la vía o al tren



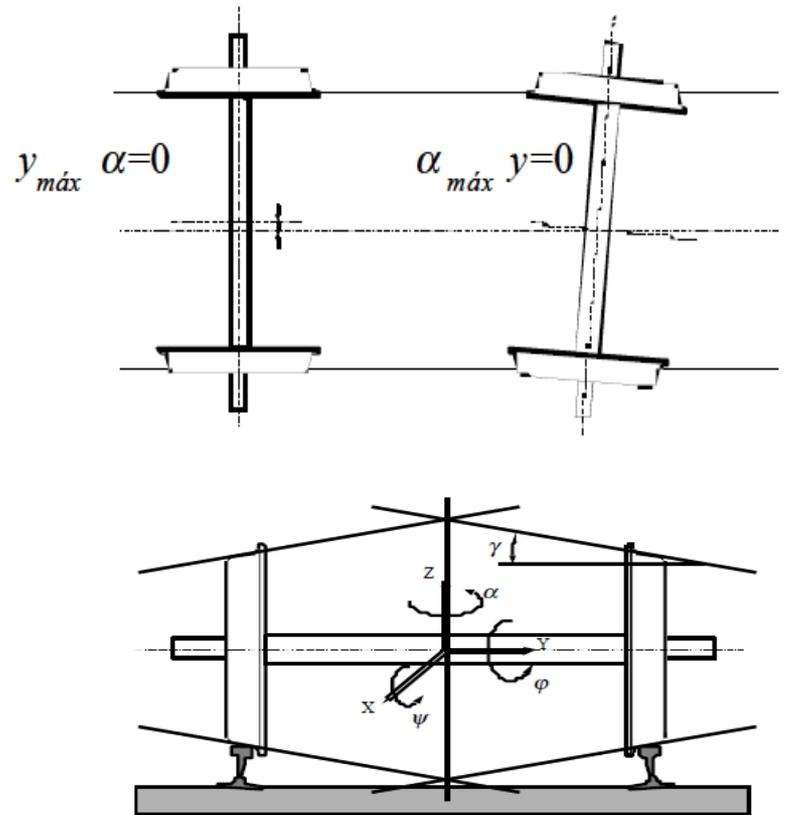
Fuente: Melis Maynar, M. y González Fernández, F.J., 2008. Ferrocarriles metropolitanos

$$H_g = \chi \frac{V}{R}$$



2. Evaluación de los esfuerzos transversales

- **Movimiento de lazo es un movimiento sinusoidal: movimiento lateral + giro respecto al eje vertical**





2. Evaluación de los esfuerzos transversales

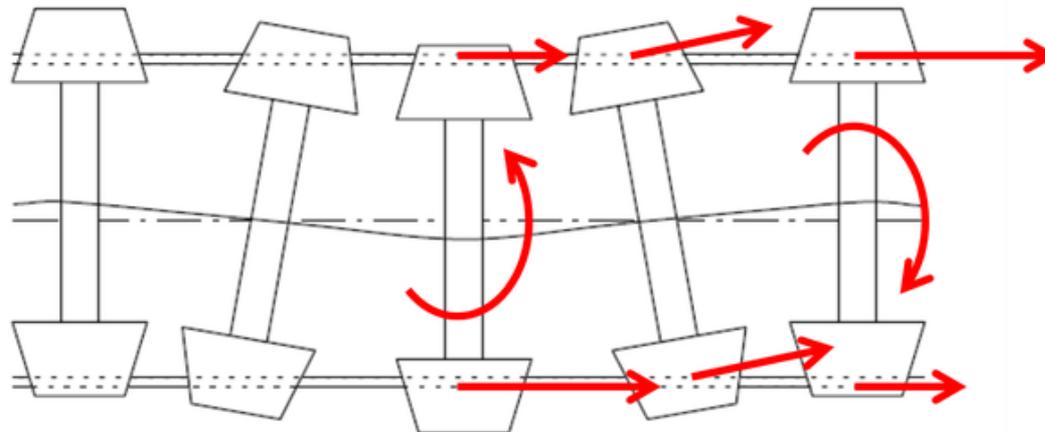
- Esfuerzos debidos al movimiento de lazo
 - Movimiento sinusoidal

$$H_l = ma_l = \frac{2Q}{g} V^2 \frac{\gamma}{er} y$$

$$\text{eje: } \lambda = 2\pi \sqrt{\frac{er}{\gamma}}$$

$$\text{bogie: } \lambda = 2\pi \sqrt{r \frac{(s^2 + e^2)}{\gamma e}}$$

S: empate del bogie





2. Evaluación de los esfuerzos transversales

- **Esfuerzos debidos al viento**

Dependen de:

- Velocidad del viento
- Superficie del tren
- Aerodinámica del tren



2. Evaluación de los esfuerzos transversales

- Esfuerzos debidos al viento

Grado	Nombre usual	Efectos apreciables en tierra	velocidad/ km/hora
0	Calma	Humo vertical	0 a 1
1	Ventolina	Se inclina el humo, las banderas y las veletas no se mueven	1 a 5
2	Flojito	Se siente el viento en la cara. Se -brisa muy débil-se mueven las hojas de los árboles, las banderas y las veletas	6 a 11
3	Flojo	Se agitan las hojas de los árboles. -brisa débil-Las banderas hondean	12 a 19
4	Bonancible	Se levanta polvo y papeles -brisa moderada- pequeñas. Se mueven las ramas pequeñas	20 a 28
5	Fresquito	Se mueven los árboles -brisa fresca- pequeños. Pequeñas olas en los estanques	29 a 38
6	Fresco	Se mueven las ramas -brisa fuerte-grandes. Silban los hilos del telégrafo. Dificultad con los paraguas	39 a 49
7	Frescachón	Todos los árboles en -viento fuerte- movimiento. Es difícil andar contra el viento	50 a 61
8	Temporal	Se rompen las ramas delgadas -duro- de los árboles. Generalmente no se puede andar contra el viento	62 a 74
9	Temporal	Árboles arrancados y daños fuerte -muy duro- en edificios	75 a 88
10	Temporal duro	Graves daños en edificios -temporal-	89 a 102
11	Temporal muy	Destrozos generalizados duro -borrasca-	103 a 117
12	Temporal	Enormes daños -huracan-	Más de 118

Fuente: http://www.revista-anales.es/web/n_9/img/s_7/imag_7_11_grande.jpg

Longitud del coche: 22,15m

Altura del coche: 4,05m

Superficie: 89,71 m²



Esfuerzo lateral con viento de

50 km/h: 29,60 kN (2,9 t)

100 km/h: 85,22 kN (8,5 t)



2. Evaluación de los esfuerzos transversales

- Esfuerzos cuasiestáticos
- Esfuerzos debidos al movimiento de lazo
- Esfuerzos debidos al viento
- **Consideraciones prácticas**



2. Evaluación de los esfuerzos transversales

- **Consideraciones prácticas**

- Esfuerzos cuasiestáticos

$$H_c = \frac{2QI_p}{e} \qquad H_g = \chi \frac{V}{R}$$

- Esfuerzos debidos al movimiento de lazo

$$H_l = ma_l = \frac{2Q}{g} V^2 \frac{\gamma}{er} y$$

- Esfuerzos debidos al viento

Escala de Beaufort

- Fórmula aplicada en la práctica (sin considerar el viento)

Para $V < 200$ km/h

$$H_c = 1,2 \frac{2QI_p}{e} + \frac{2Q \cdot V}{1000}$$

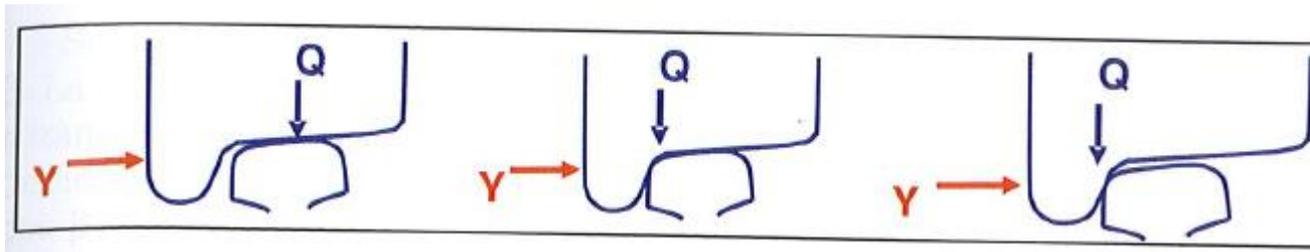
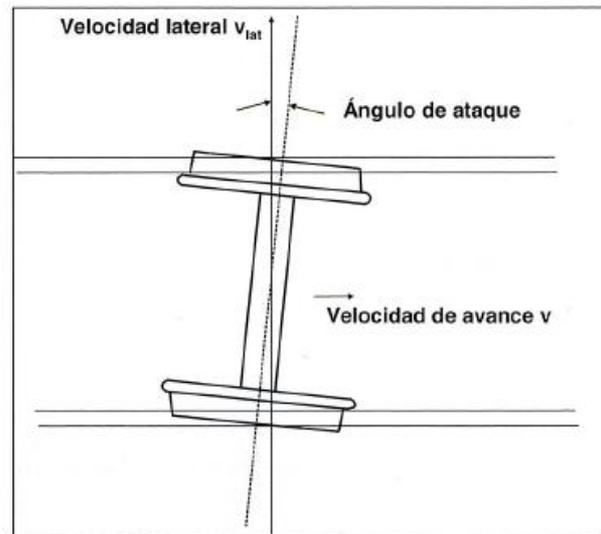
Para $V > 200$ km/h

$$H_c = 1,2 \frac{2QI_p}{e} + \frac{2Q \cdot V}{1200}$$



2. Evaluación de los esfuerzos transversales

- **Consideraciones prácticas:**
criterio de descarrilo de Nadal
(descarrilo por el remonte de la pestaña)



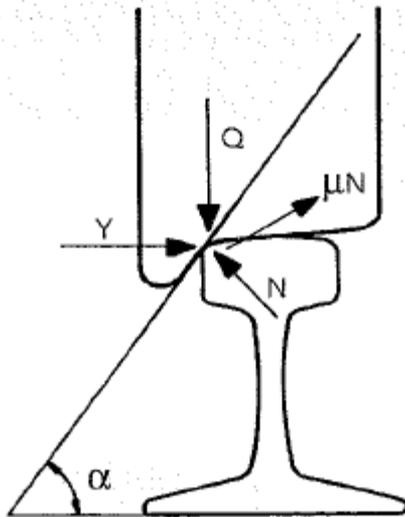


2. Evaluación de los esfuerzos transversales

- **Consideraciones prácticas:**

criterio de descarrilo de Nadal

(descarrilo por el remonte de la pestaña)



$$Q \cos \alpha + Y \operatorname{sen} \alpha = N$$

$$Q \operatorname{sen} \alpha - Y \cos \alpha = \mu N$$

$$\frac{Y}{Q} = \frac{\operatorname{sen} \alpha - \mu \cos \alpha}{\mu \operatorname{sen} \alpha + \cos \alpha} = \frac{\operatorname{tg} \alpha - \mu}{\mu \operatorname{tg} \alpha + 1}$$

$$\beta = \operatorname{arctg} \mu, \quad \frac{Y}{Q} = \operatorname{tag}(\alpha - \beta)$$

Normalmente se toma:

$$\frac{Y}{Q} < 0,8$$



2. Evaluac

- **Consid**
crit
(de

TABLA 6.3.4.1. VALORES DE Y/Q PARA DISTINTOS ÁNGULOS Y ROZAMIENTOS

Coef. rozamiento	0,4	0,35	0,3	0,25	0,2	0,15	0,1
Ángulo beta	Y/Q						
40	0,329	0,378	0,431	0,487	0,547	0,612	0,682
42	0,368	0,419	0,473	0,531	0,594	0,661	0,734
44	0,408	0,460	0,516	0,577	0,642	0,712	0,789
46	0,449	0,503	0,561	0,624	0,692	0,766	0,848
48	0,492	0,548	0,608	0,674	0,745	0,823	0,910
50	0,536	0,594	0,657	0,726	0,801	0,884	0,975
52	0,582	0,642	0,708	0,780	0,860	0,948	1,046
54	0,630	0,693	0,762	0,838	0,922	1,017	1,122
56	0,680	0,746	0,819	0,899	0,989	1,090	1,204
58	0,732	0,801	0,879	0,964	1,061	1,170	1,293
60	0,787	0,860	0,942	1,034	1,138	1,256	1,391
62	0,845	0,923	1,011	1,109	1,221	1,350	1,499
64	0,907	0,990	1,084	1,190	1,312	1,453	1,618
66	0,972	1,062	1,163	1,278	1,412	1,568	1,752
68	1,043	1,139	1,248	1,375	1,522	1,696	1,904
70	1,118	1,222	1,342	1,481	1,644	1,839	2,077
72	1,200	1,313	1,444	1,598	1,781	2,003	2,277
74	1,289	1,413	1,558	1,730	1,937	2,191	2,512
76	1,386	1,523	1,684	1,878	2,115	2,411	2,791
78	1,494	1,645	1,827	2,047	2,321	2,670	3,131
80	1,613	1,783	1,988	2,242	2,564	2,983	3,555
82	1,746	1,938	2,174	2,471	2,854	3,369	4,099
84	1,897	2,116	2,391	2,742	3,209	3,858	4,824

Fuente: Melis Maynar,
M. y González
Fernández, F.J., 2008.
Ferrocarriles
metropolitanos

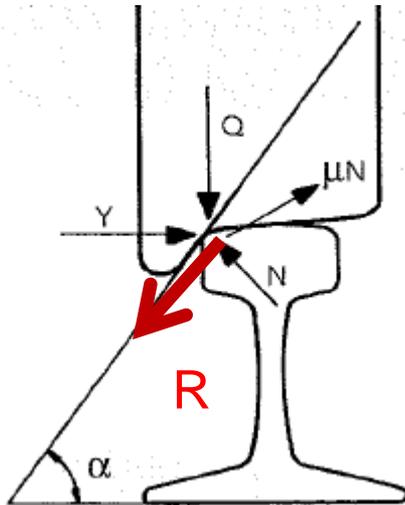


2. Evaluación de los esfuerzos transversales

- **Consideraciones prácticas:**

criterio de descarrilo de Nadal

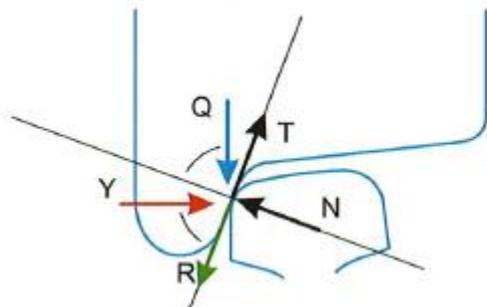
(descarrilo por el remonte de la pestaña)



$$\beta = \arctg \mu, \quad \frac{Y}{Q} = \tan(\alpha - \beta)$$

$$\frac{Y}{Q} < 0,8$$

Si $R < \mu N \rightarrow$ DESCARRILA



Factores que favorecen este descarrilamiento:

- Disminución de peso (menor Q)
- Aumento de la fuerza lateral (Y)



2. Evaluación de los esfuerzos transversales

- **Consideraciones prácticas:**
descarrilo por el remonte de pestaña:
Criterio Japonés

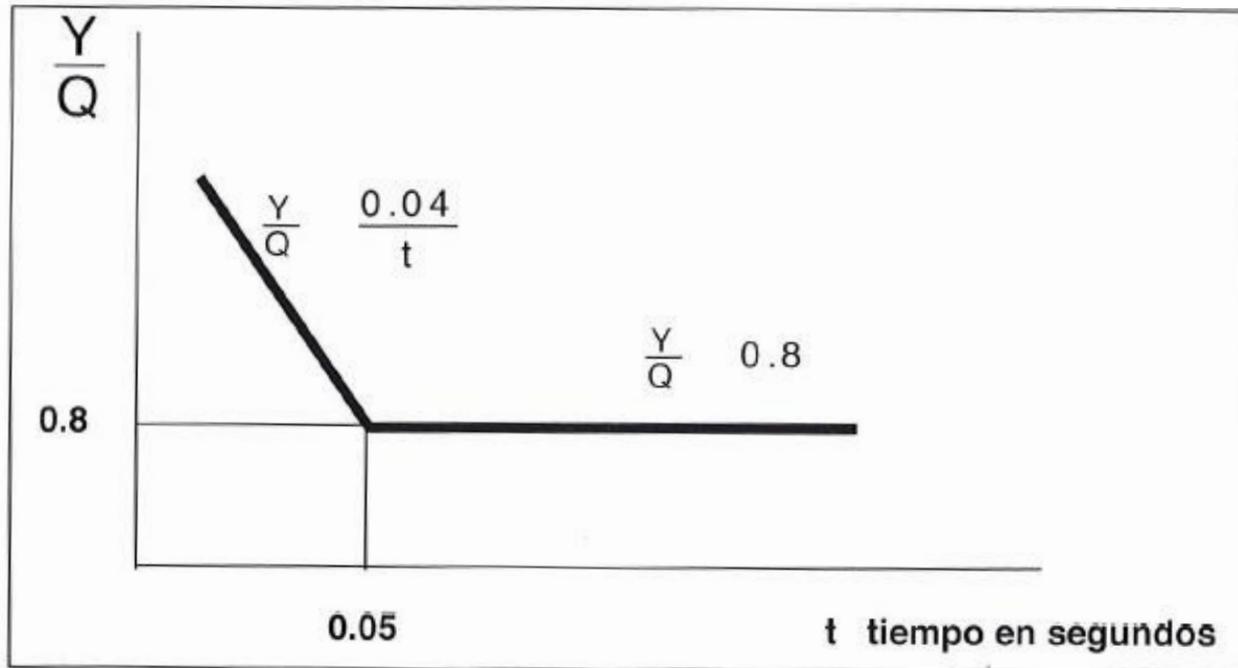
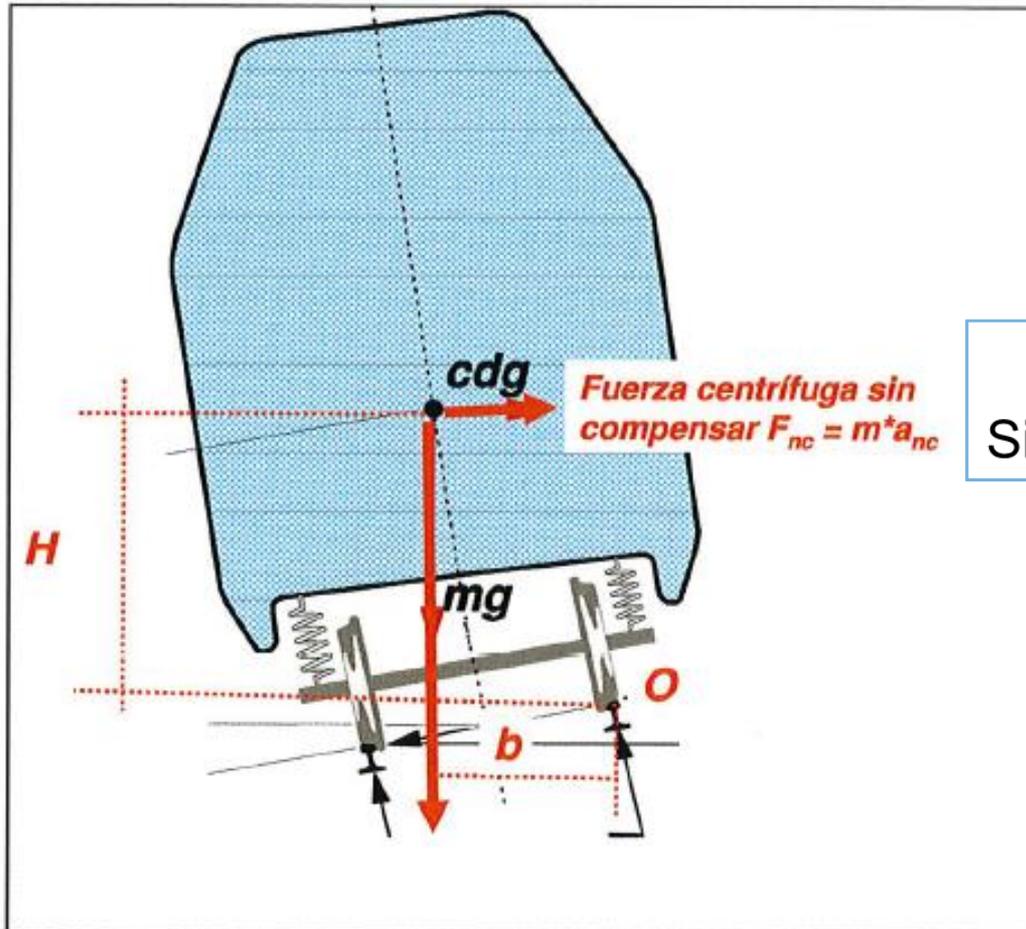


Fig. 6.3.5.1. Criterio de descarrile japonés.



2. Evaluación de los esfuerzos transversales

- Consideraciones prácticas:
vuelco del tren



NO ocurre siempre que:

$$F_{nc} * H < mg * b$$

Siendo O el punto de vuelco



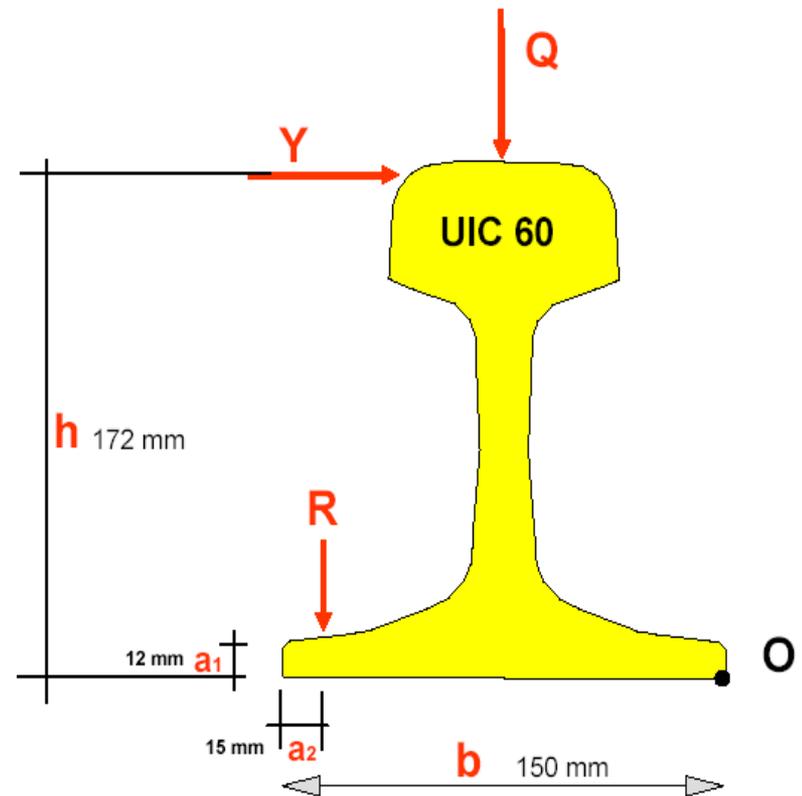
2. Evaluación de los esfuerzos transversales

• Consideraciones prácticas: el vuelco del carril

- Momentos estabilizadores mayores que momentos desestabilizadores

$$Yh \leq Q \frac{b}{2} + NR(b - a_2)$$

- Y: fuerza horizontal
- h: canto del carril
- Q: peso por rueda
- b: ancho del patín
- R: resistencia al arranque ($\approx 2t$)
- N: sujeciones afectadas (4-5)





3. Cuantificación de la resistencia lateral

- ✓ Ensayos con vía no cargada
 - Influencia de la traviesa
 - Influencia del balasto
 - Influencia de la banquetta
 - Influencia de la estructura de vía

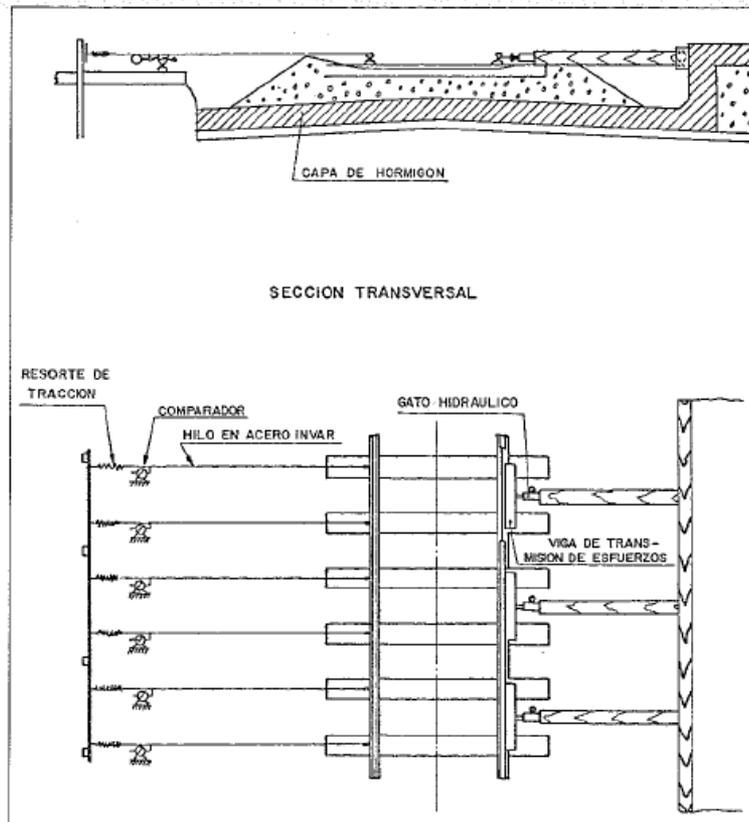
- ✓ Ensayos con vía cargada

- ✓ Formulación: Prud'homme

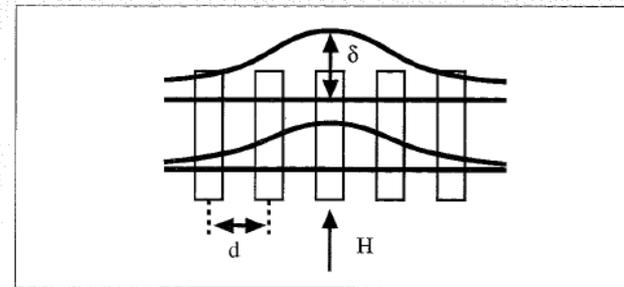


3. Cuantificación de la resistencia lateral

- ✓ Ensayos con vía no cargada
 - Influencia de la traviesa
 - Influencia del balasto
 - Influencia de la banqueta
 - Influencia de la estructura de vía



FORMA GENERAL DEL DESPLAZAMIENTO LATERAL DE UNA VÍA

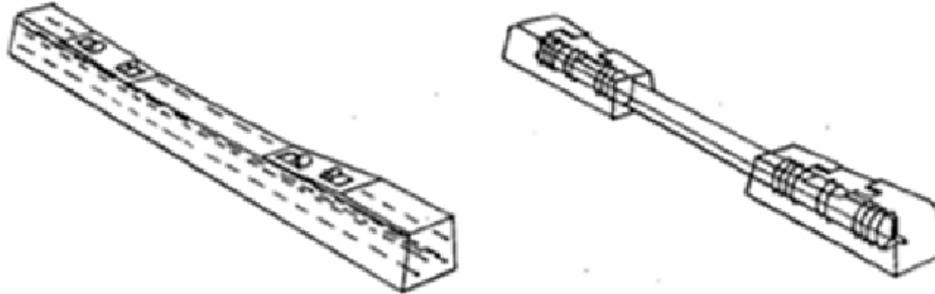


Fuente: López Pita, A. 2006. Infraestructuras ferroviarias. Ediciones UPC.



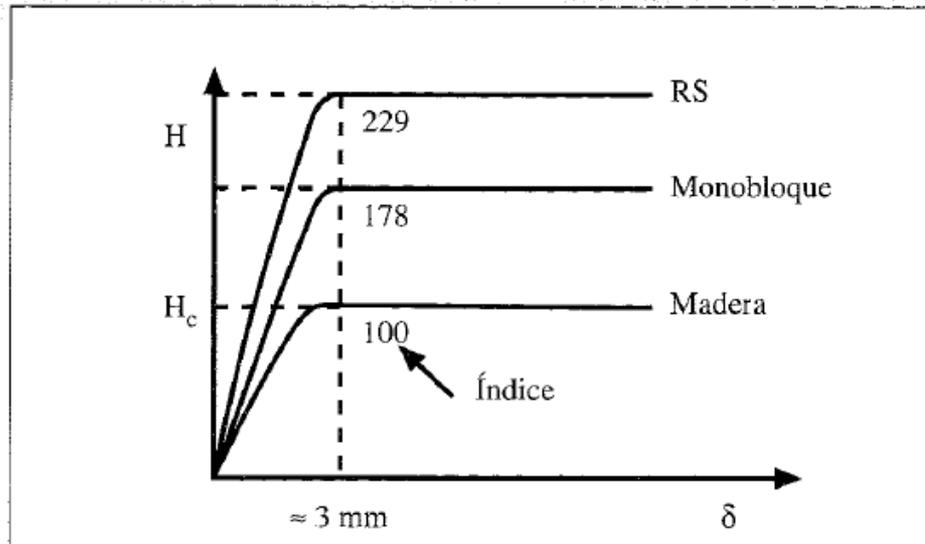
3. Cuantificación de la resistencia lateral

✓ Ensayos con vía no cargada. Influencia de la traviesa



Separación entre traviesas

$$H_{di} = H_{dj} \cdot \frac{d_j}{d_i}$$



H_{di} : resistencia transversal de una vía con traviesas colocadas a la distancia d_j , con $d_i < d_j$ respecto a la resistencia transversal H_{dj}



3. Cuantificación de la resistencia lateral

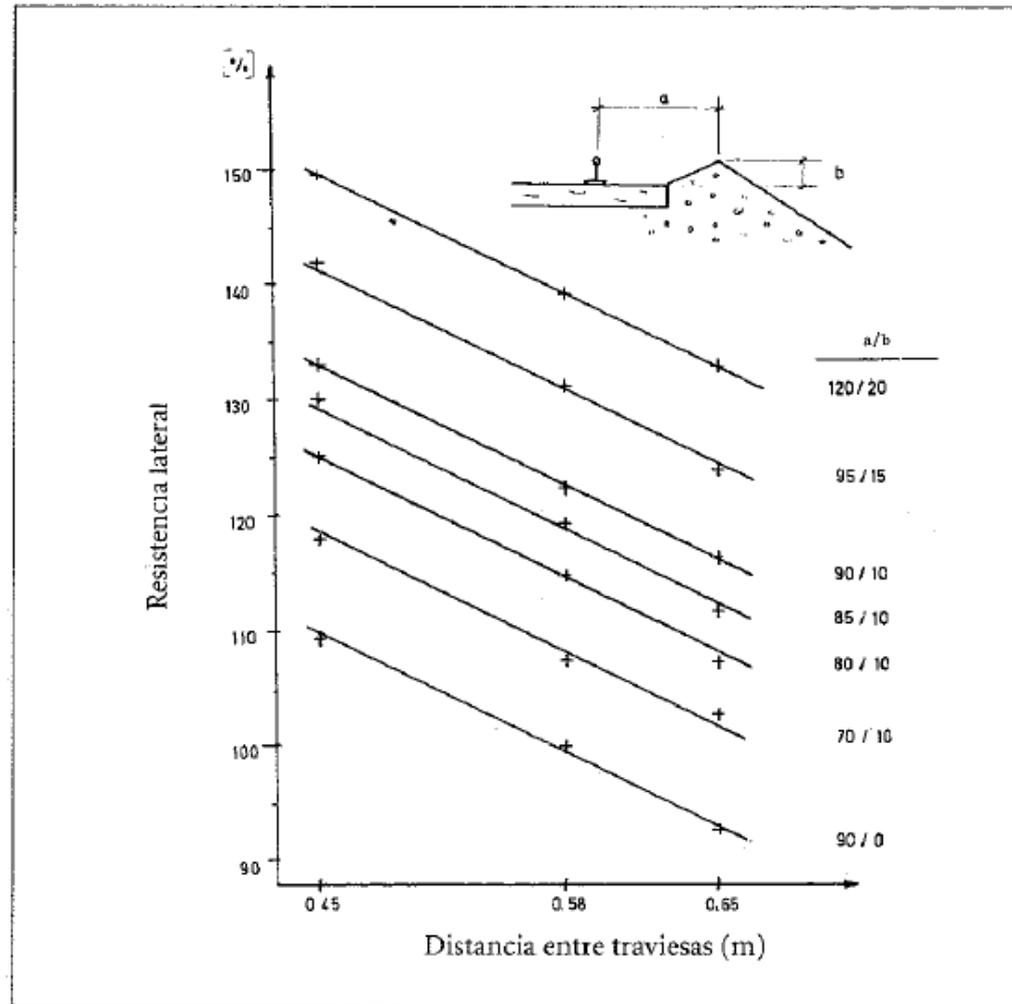
✓ Ensayos con vía no cargada. Influencia del balasto

- Formas de la piedra
 - Deseable
 - Cúbica con aristas
clavazón
enlace
 - No deseable
 - Laja
 - Acicular
 - Redondeada



3. Cuantificación de la resistencia lateral

- ✓ Ensayos con vía no cargada. Influencia de la banqueteta

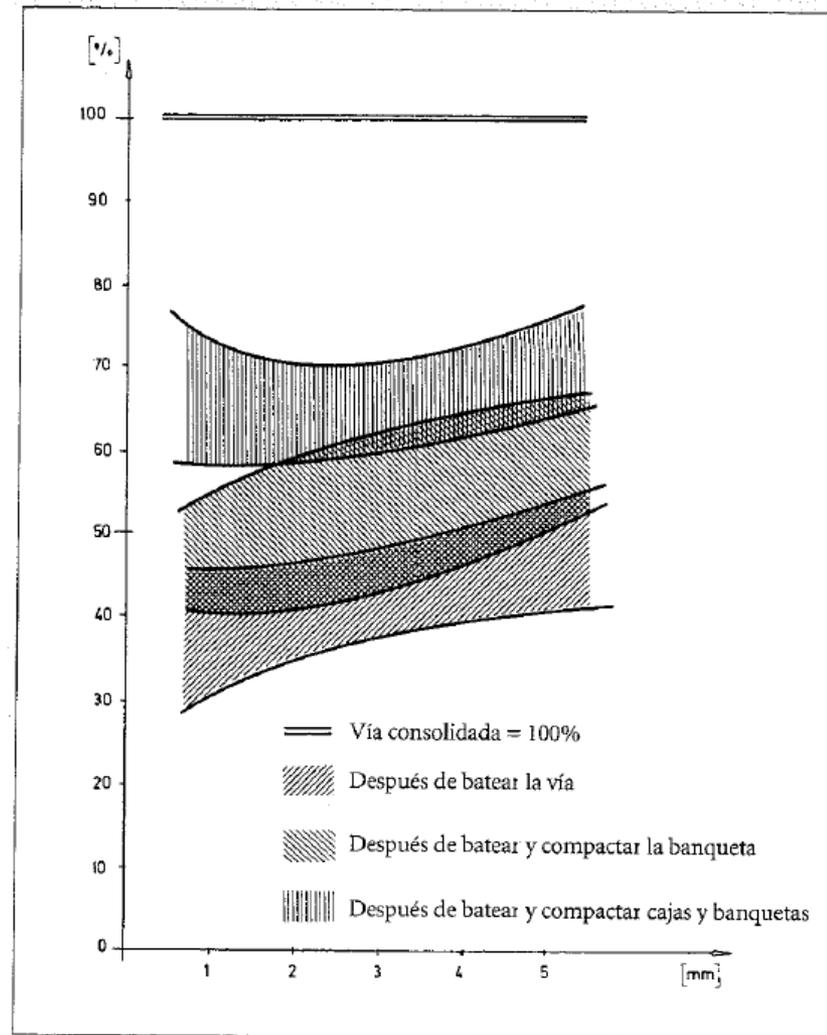


Fuente: López Pita, A. 2006. Infraestructuras ferroviarias. Ediciones UPC.



3. Cuantificación de la resistencia lateral

- ✓ Ensayos con vía no cargada. Influencia de la estructura de vía





3. Cuantificación de la resistencia lateral

- ✓ Ensayos con vía no cargada
 - Influencia de la traviesa
 - Influencia del balasto
 - Influencia de la banquetta
 - Influencia de la estructura de vía

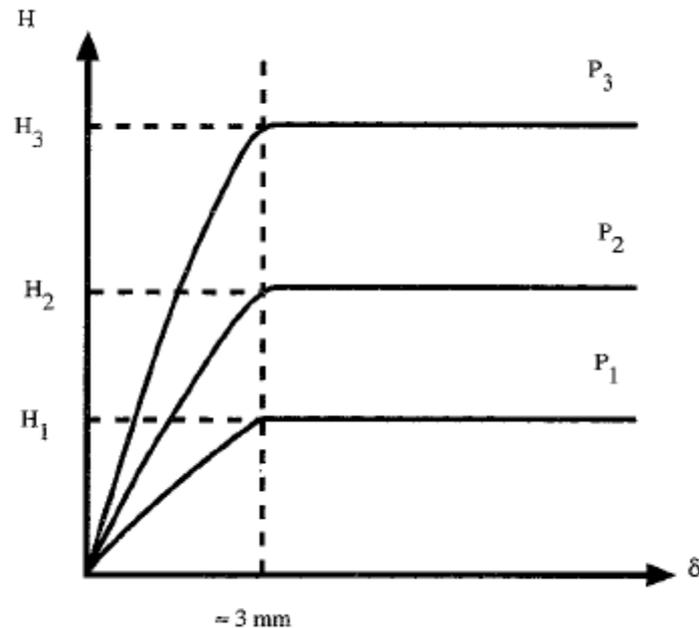
- ✓ Ensayos con vía cargada

- ✓ Formulación: Prud'homme



3. Cuantificación de la resistencia lateral

- ✓ Ensayos con vía cargada. Vagón descarrilador

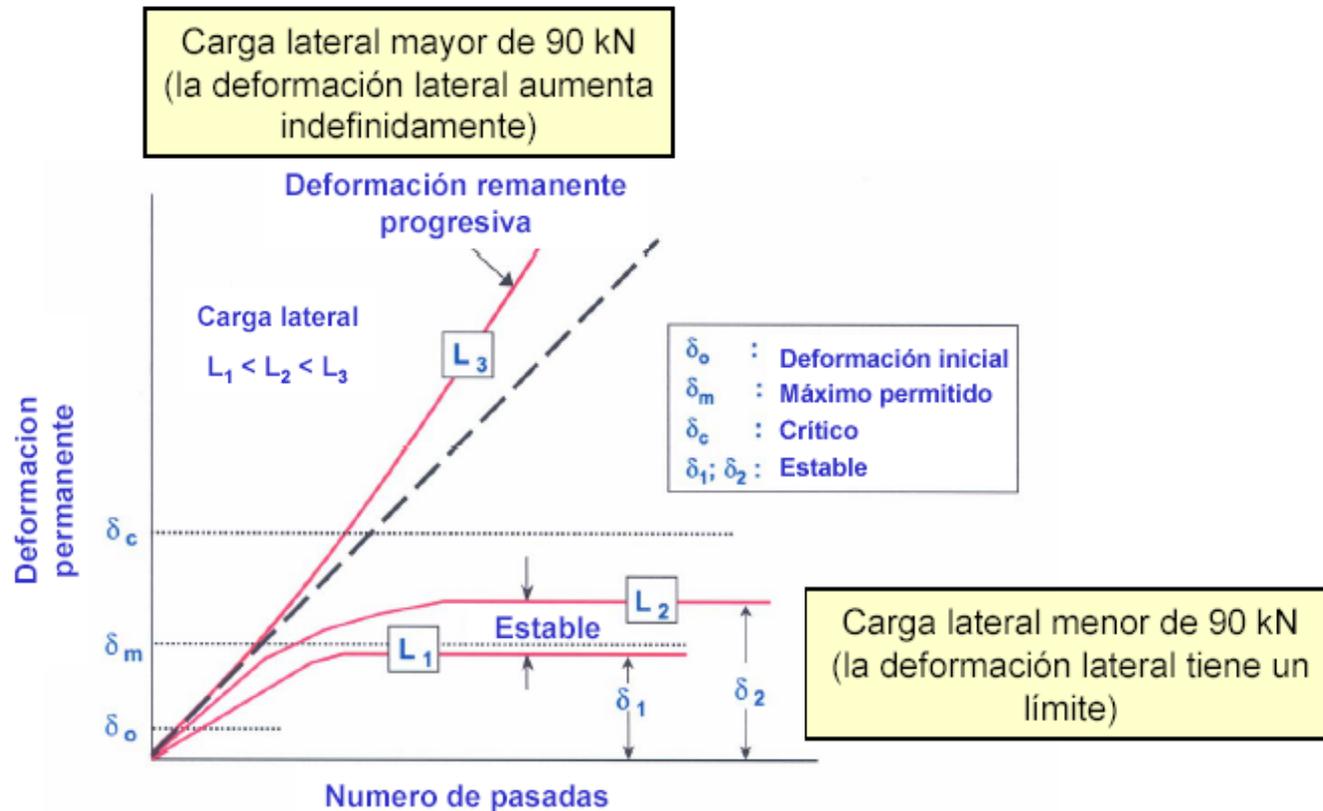


Fuente: López Pita, A. 2006. Infraestructuras ferroviarias. Ediciones UPC.



3. Cuantificación de la resistencia lateral

- ✓ Ensayos con vía cargada. Vagón descarrilador





3. Cuantificación de la resistencia lateral

- ✓ Ensayos con vía no cargada
 - Influencia de la traviesa
 - Influencia del balasto
 - Influencia de la banquetta
 - Influencia de la estructura de vía

- ✓ Ensayos con vía cargada

- ✓ Formulación: Prud'homme



3. Cuantificación de la resistencia lateral

✓ Formulación de Prud'homme

$$L = (a + 2Q) \left(b + c \text{Log} \frac{T}{1000} \right) \qquad L_{\min} = \alpha \left(1 + \frac{2Q}{3} \right)$$

- L: esfuerzo admisible [t/eje]
- Q: Carga por rueda [t]
- T: tonelaje circulado por la vía desde la última nivelación
- a, b, c: parámetros:

	a	b	c
Vía vieja, traviesas de madera	4	0.28	0.06
Vía nueva, traviesas de madera	4	0.23	0.07
Vía vieja, traviesas de hormigón	6	0.27	0.06
Vía nueva, traviesas de hormigón	6	0.23	0.07

- $\alpha=0,85$ con traviesa de madera; $\alpha=1,5$ con traviesa de hormigón
- Se ha de cumplir

$$\frac{L_{\min}}{H} > \delta; \quad \text{normalmente} \quad \delta > 1,5$$



4. Conclusiones

- Tanto los esfuerzos como la resistencia dependen de la carga máxima por eje

$$H_c = 1,2 \frac{2QI_p}{e} + \frac{2Q \cdot V}{1200}$$

$$L_{\min} = \alpha \left(1 + \frac{2Q[\text{ton}]}{3} \right)$$

- Gran influencia de la consolidación sobre la resistencia lateral de la vía.
 - Compactación dinámica
 - Limitación de velocidad
- Para alta velocidad
 - Curvas de radio superior a 4000-5000m
 - Peraltes lo mayor posible (menor insuficiencia)
 - Buena calidad de vía