



# CIRCULACIÓN EN CURVA, ESFUERZOS Y SOLICITACIONES VERTICALES EN EL FERROCARRIL CONVENCIONAL



GRADO EN INGENIERÍA CIVIL

Trabajo Fin de Grado--Luis Adrián Rincón García



## INTRODUCCIÓN

Aspectos a estudiar en este TFG: Peralte, aceleraciones centrífugas, curvas de transición, longitud de las curvas de transición, calidad geométrica de una vía, solicitaciones verticales ejercidas por los vehículos sobre la vía y análisis mecánico del comportamiento de una vía frente a esfuerzos verticales.

Infraestructura de la vía: Balasto, subbalasto y plataforma

Superestructura de la vía: Carril, sujeciones, placa de asiento, traviesas, suela elástica y almohadilla elástica.

## CIRCULACIÓN EN CURVA

### RADIO (R)

La fórmula  $v = 4,5\sqrt{R}$  nos servirá de referencia, ya que da valores de radios mínimo o bien de velocidades máximas no superables.

### PERALTE (H)

-Peralte teórico (Ht): Anula las fuerzas centrífugas.

$$H_t = \frac{v^2 S}{Rg}$$

-Peralte práctico (Hp ≤ 160 mm): El que realmente se utiliza.

$$H_p = \frac{2}{3} H_t$$

### ACELERACIONES CENTRÍFUGAS SIN COMPENSAR (Ysc)

Aceleración que empuja hacia el exterior de la curva y no se ha compensado con el radio ni el peralte. Equivale a la insuficiencia de peralte.  $Y_{sc} \leq 0,65 \text{ m/s}^2$

$Y_{sc} = \frac{v^2}{R} - \frac{Hg}{S}$  → La aceleración que realmente siente el viajero (Yv) es:   
 Vehículos convencionales:  $Y_v = Y_{sc}(1+\theta)$    
 Vehículos de caja inclinable:  $Y_v = Y_{sc}/(1+\theta)$    
 Coef. De souplesse  $\theta = (0,2-0,3)$

### LONGITUD DE LA CURVA DE TRANSICIÓN (L): $L = (8-10)VH$

### MÁXIMA PENDIENTE DEL DIAGRAMA DE PERALTES (I): $i = H/L \leq 180/v \leq 2,5 \text{ mm/m}$

## SOLICITACIONES VERTICALES

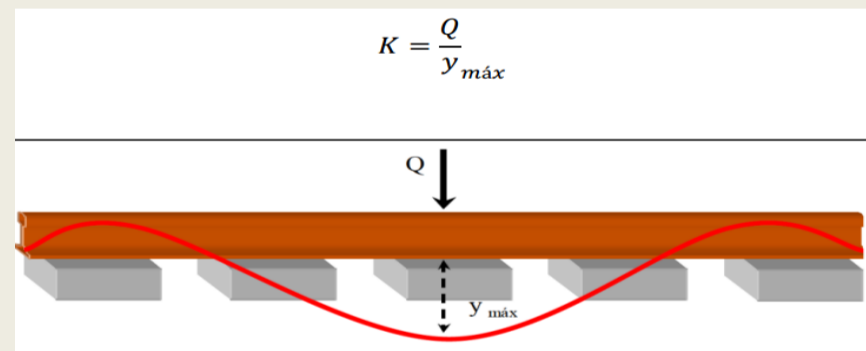
### CARGA DINÁMICA (Qd)

-Eisenmann:  $Q_d = Q_e(1+t.s.\phi)$

Líneas convencionales  $\phi = 1 + ((V-60)/140)$

Líneas de alta velocidad  $\phi = 1 + ((V-60)/380)$

-Qe: carga estática por rueda  
-t: factor de seguridad estadística. Con t=1, para 68,3% de fiabilidad. Con t=2, para 95,5% de fiabilidad. Con t=3, para 99,7% de fiabilidad  
-s: calidad geométrica de la vía. s=0,1 para vías en muy buen estado. s=0,2 para vías en buen estado. s=0,3 para vías en mal estado.



-Prud'Homme: Mayor rigor teórico:

$Q_{din} = 2\sqrt{\sigma^2(\Delta qNS) + \sigma^2(AqS)}$  Adquieren importancia la rigidez vertical de vía(k) y los pesos no suspendidos.   
  $Q_{din. total} = Q_e + Q_{din}$

La desviación típica de las sobrecargas dinámicas generadas por los pesos no suspendidos:

$$\sigma(\Delta qNS) = a.b.\frac{V}{100}\sqrt{m.k}$$

La desviación típica de las sobrecargas dinámicas de los pesos suspendidos:

$$\sigma(\Delta qS) = (0,1 \text{ a } 0,16)Q_e$$

-a = 0,42  
-b: calidad geométrica de la vía. Valores comprendidos entre 0,5 y 1.  
-V: velocidad de circulación.  
-m: peso no suspendido por rueda del vehículo.  
-k: rigidez vertical de la vía

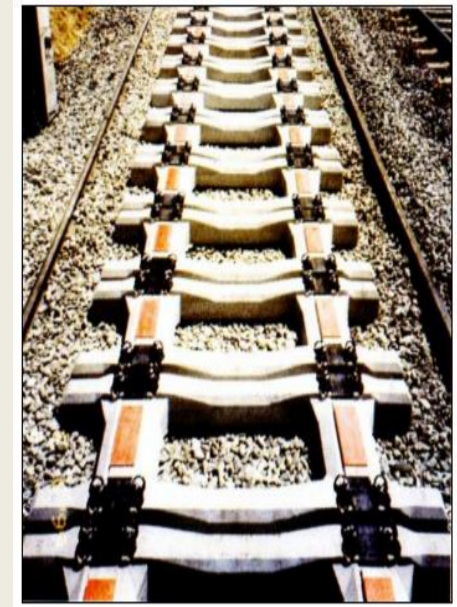
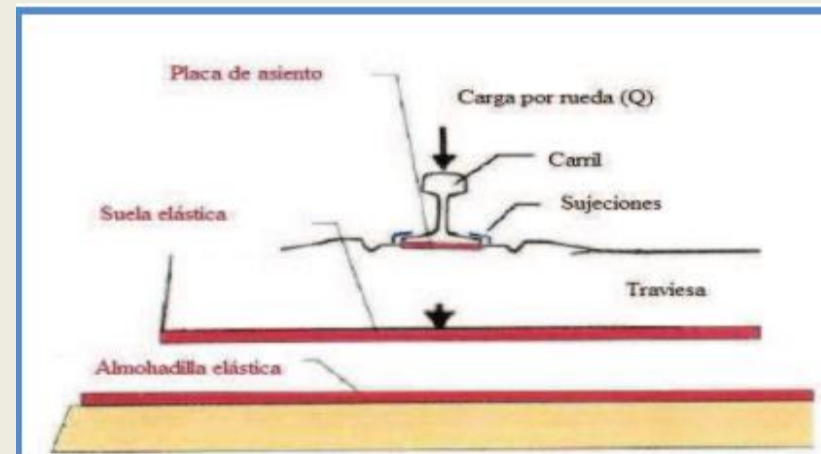
### SOBRECARGA AL CIRCULAR EN CURVA

$$\Delta Q = \frac{Q_e}{Sg}(Y_{sc} hg + g \Delta y)$$

### CARGA TOTAL

$$Q_{tot} = Q_e + Q_d + \Delta Q$$

-Qe carga estática.  
-S: distancia entre ejes de carril.  
-g: 9,81 m/seg<sup>2</sup>  
-hg: altura centro de gravedad  
-Δy: distancia entre la vertical y el eje del vehículo.  
-Ysc: aceleración sin compensar.  
-Qd: carga dinámica



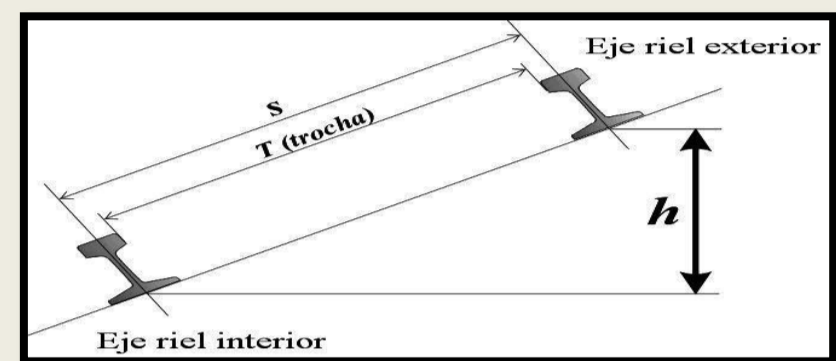
Traviesas cuadro, una posible alternativa a las traviesas convencionales y, ¿de la vía en placa?.

### LIMITACIONES:

-Insuficiencia de peralte (I):  $I = H_t - H_p \leq 115 \text{ mm}$

-Exceso de peralte (E):  $E = H_p - H_t \leq 90 \text{ mm}$

$$Y_s = \frac{I}{Sg}$$



## COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE LA VÍA FRENTE A CARGAS VERTICALES

FÓRMULAS DE ZIMMERMANN: La experiencia puso de manifiesto la bondad de estas fórmulas.

### Asiento máximo

$$Y = \frac{Q_d d^4}{2F c} \sqrt{\frac{F c}{4EId}}$$

-d: distancia entre traviesas.  
-c: coeficiente de balasto.  
-F: área de apoyo de las traviesas por hilo de carril.  
-E: módulo de elasticidad del carril.  
-I: momento de inercia del carril respecto del eje horizontal.

### Momento máximo

$$M = \frac{Q_d d^4}{4} \sqrt{\frac{4EId}{F c}}$$

### Tensión máxima

$$\sigma = \frac{Q_d d^4}{2F} \sqrt{\frac{F c}{4EId}}$$

## CONCLUSIONES: todas estas fórmulas han sido utilizadas en un caso concreto obteniendo las siguientes conclusiones.

- 1-El radio es el factor más influyente para las aceleraciones centrífugas sin compensar y por tanto del confort.
- 2-Tomar como peralte práctico 2/3 del teórico nos permite circular con un rango de velocidades adecuado cumpliendo con el exceso y la insuficiencia de peralte.
- 3-El límite impuesto de aceleración centrífuga sin compensar (0,65 m/s<sup>2</sup>) da lugar a una aceleración que realmente siente el viajero de confort muy bueno.
- 4-El uso de vehículos pendulares permite un aumento de la velocidad en los pasos por curva entorno al 15%.
- 5-El empleo como longitud de transición de  $L = (8-10)VH$  así como del peralte práctico expuesto en el punto 2 ofrece longitudes de curva de transición con un elevado margen de seguridad frente a la inestabilidad de los vehículos.
- 6-Las fórmulas de Eisenmann ofrecen resultados muy similares a una fórmula con más rigor teórico como es la de Prud'Homme, por tanto se demuestra su validez.
- 7-En las curvas se produce un aumento de la carga en las ruedas que dan al exterior de esta, mayor cuanto menor es el radio. Valores que están entre los 0,4-1,4 tn para líneas convencionales.
- 8-De la fórmula de Prud'Homme se deduce: que para disminuir las solicitaciones verticales sobre la vía es conveniente disminuir la masa no suspendida de los vehículos, mejorar la calidad geométrica de la vía y disminuir la rigidez vertical de la vía.
- 9-Las traviesas cuadro ofrecen reducciones respecto a las traviesas convencionales entorno del 60% para los asientos y tensiones y del 30% para los momentos. Además ofrecen una mayor resistencia a esfuerzos transversales ya que tienen mayor superficie lateral.