

**renfe**

*Eficiencia operacional en ferrocarriles  
de tráfico mixto.*

*Juan-Matías Archilla  
Juan-Carlos Enguix*

*Abril, 18 , 2023*





## Servicios de Viajeros

- **Alta Velocidad**
- Larga Distancia
- Regional
- Cercanías



## Fabricación y Mantenimiento de Material Rodante



## Mercancías y Logística

- Intermodal
- Siderúrgicos
- Multiproducto
- Automoción



## Alquiler de Material Ferroviario

### Presencia en los mercados Internacionales:

Activos en distintos países de Europa, América, África y el Medio Oriente.

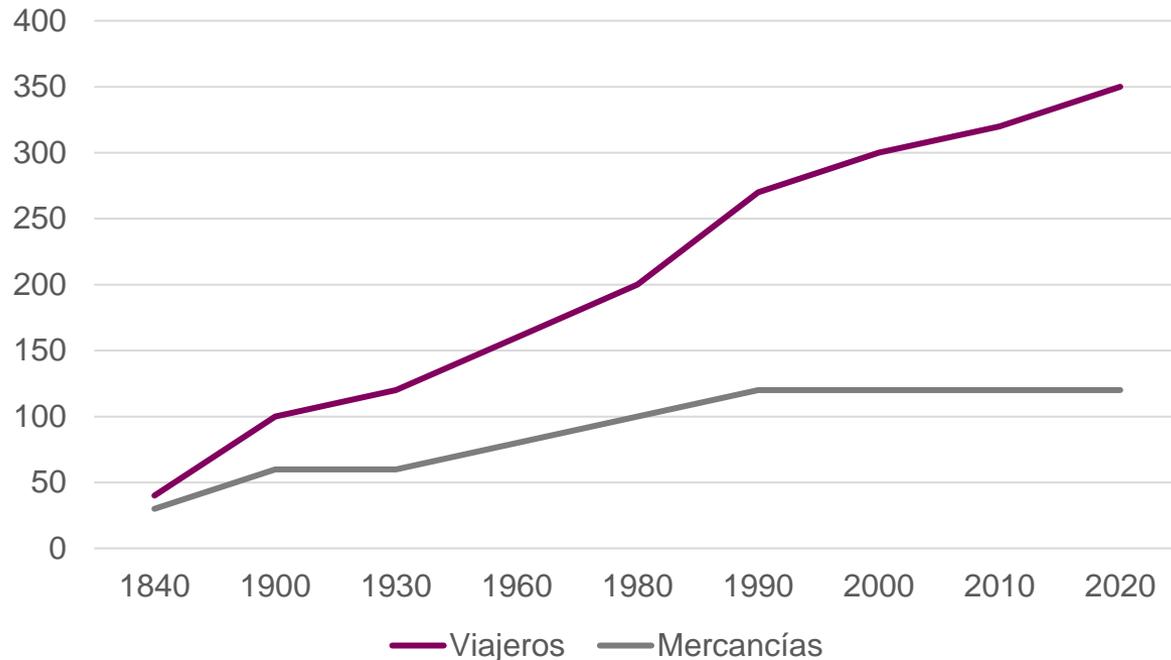
- Proyectos de nueva planta de Alta Velocidad:
  - Texas (Texas Central)
  - Arabia Saudi (Haramain)
  - Rail Báltica
  - Servicios en Francia
- Proyecto de red convencional de nueva planta:
  - Tren Maya (México), Operador sombra (con DB+INECO)



## Ferrocarriles de tráfico mixto y tipos de redes

- TRAFICO MIXTO: Circulación indistinta por las líneas de una red ferroviaria de trenes mercancías y de pasajeros (de todo tipo).
- Redes convencionales: aptas para tráfico mixto en general
  - Ejemplos: Europa, Rusia, India, China, Norteamérica (antiguamente)
  - Hasta los años 70 del siglo XX, lo normal...
  - Llegada de la alta velocidad en Japón (1964), Europa (1981), Corea (2004), Turquía (2014). → Líneas especializadas para viajeros.
  - Ley Staggers (USA), 1980: desregulación y especialización de la red norteamericana.
  - México: De los orígenes a la nacionalización (1837 – 1937), la etapa FNM (1987-1998). Suspensión del tráfico de viajeros en 1997. La red actual opera especializada en mercancías con modelo de explotación norteamericano.

## Evolución de las velocidades máximas



La búsqueda constante de la eficiencia en los dos tipos de tráfico ha llevado, desde aquél entonces a una situación de profunda divergencia entre uno y otro:

- Viajeros.- reducción del tiempo de viaje gracias a los incrementos de velocidad
- Mercancías.- incremento constante de la productividad comercial, técnica y económica (economías de escala).

## Factores que influyen en la eficiencia del tráfico mixto

### Diseño de la línea

- Alineación en alzado (perfil)
- Alineación en planta: curvas
- Peralte, exceso e insuficiencia
- Entreeje

### Infraestructura

- Armamento de la vía -> peso por eje
- Obras de fábrica (puentes, viaductos, pontones) -> Peso por metro lineal
- Gálibo de obra y de circulación (túneles, ¿doble estiba?, electrificación, andenes)
- Conservación de la geometría de vía en tráfico mixto:  $\triangle$  40 a 70% (FRA)

### Material rodante

- Seguridad activa y pasiva. Norma de resistencia longitudinal.
- Peso por eje y por metro lineal
- Contorno de referencia, puertas, estribos.
- Enganches: AAR generalizado, incompatible con el europeo y los trenes autopropulsados de viajeros con enganche automático.



*Fuente: Federal Railroad Administration*

Velocidad máxima de proyecto (km/h)	Velocidad mínima admisible de trenes lentos (km/h)	Radio mínimo curva circular (m)		Longitud mínima de clotoide (m)		Parámetro mínimo en acuerdos verticales (m)	
		Normal	<i>Excepcional</i>	Normal	<i>Excepcional</i>	Normal	<i>Excepcional</i>
140	75	1.000	750	190	160	7.000	5.000
150	80	1.125	900	200	160	8.000	5.900
160	85	1.275	1.000	210	160	9.000	6.300
170	90	1.450	1.110	220	160	10.000	7.100
180	95	1.600	1.250	240	160	11.500	8.000
190	100	1.800	1.400	250	170	12.500	8.900
200	105	2.200	1.850	280	180	15.000	8.900
210	110	2.400	2.050	280	190	16.000	9.600
220	115	2.600	2.200	290	200	17.000	10.600
230	120	2.850	2.450	300	210	19.000	11.500
240	125	3.100	2.650	320	220	21.000	12.600
250	135	3.550	3.100	330	230	22.000	12.600
260	140	3.850	3.350	340	240	24.000	13.600
270	145	4.150	3.600	350	240	26.000	14.300
280	150	4.450	3.900	370	250	28.000	15.400
290	155	4.750	4.200	380	260	30.000	16.500
300	165	5.350	4.750	390	270	32.000	16.500
310	170	5.700	5.100	410	280	34.000	17.000
320	175	6.100	5.400	420	290	36.000	18.000
330	180	6.500	5.750	430	300	39.000	20.000
340	185	6.850	6.100	450	310	41.000	21.000
350	190	7.250	6.500	460	320	45.000	25.000

(Fuente: Normativa española)

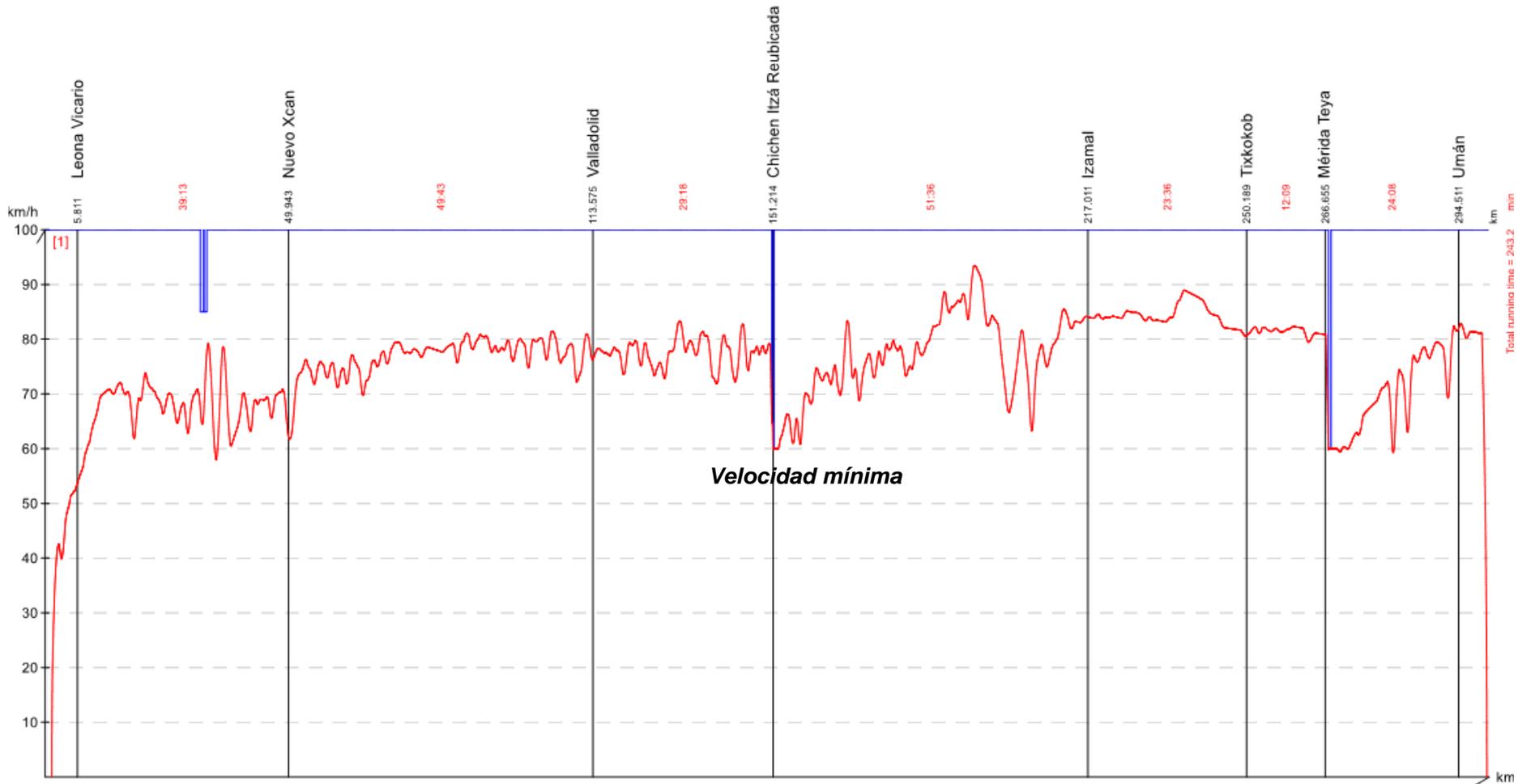


Gráfico de marcha del tren tipo de mercancías Cancún – Mérida. (Fuente: Plan de Operaciones, DB, RENFE, INECO)

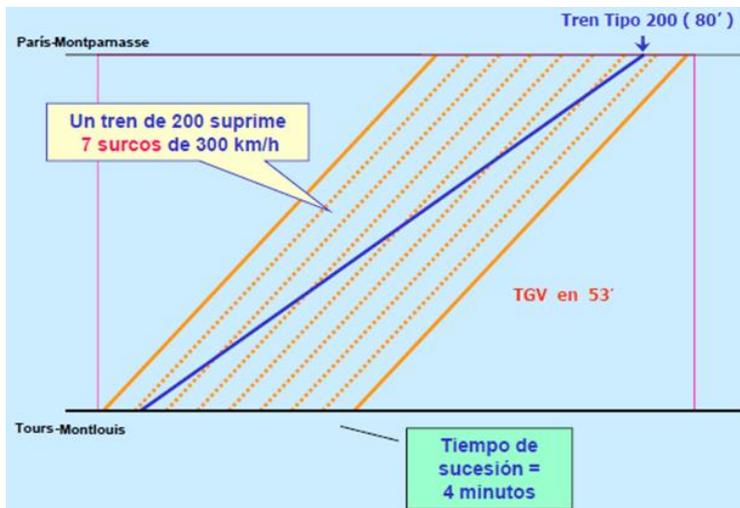


*Fuente: Indian Railways*

## Factores que influyen en la eficiencia del tráfico mixto (II)

### Explotación técnica

- Longitud de las vías de apartado -> Concepto de tren tipo.
  - Secciones de doble vía + vías dobles con bloqueo banalizado
- Señalización y control de trenes -> distancias de frenado
- Distintas velocidades -> efecto de supresión -> reduce capacidad
  - Adelantamientos y cruces dinámicos + trenes en paquete



(Fuente: J. Estrada, ADIF)



(Fuente: Alberto García, RENFE)

## Factores que influyen en la eficiencia del tráfico mixto (III)

### Explotación técnica (II)

- Sistema de explotación:
  - **Horarios rígidos pre-establecidos** (gráfico de circulación)
    - Universal en Europa, Asia, y –antes- en Norteamérica.
    - Compromiso de carga y velocidad (tren tipo)
  - Sistema de “**dispatching**”
    - Actual en Norteamérica: flexible, economías de escala
    - Distorsiona el tráfico de viajeros (AMTRAK, VIA Rail)
- Soluciones de compromiso entre ambos:
  - Marchas discrecionales o facultativas
  - Separación temporal entre tráficos

## Bases para la eficiencia operacional en tráfico mixto

### Diseño de la línea

- Alineación en alzado (perfil) : 12<sup>0/00</sup> máx.
- Alineación en planta: curvas :  $r = 1200$  m
- Peralte, exceso e insuficiencia: 150 mm máx. ( $a_{sc} = 0,65$  m/s<sup>2</sup>)
- Entreeje: 4,7 m.
- Velocidad de diseño: 160 km/h (viajeros) + 100 km/h (mercancías)

### Infraestructura

- Armamento de la vía -> peso por eje: 32,5 tn
- Obras de fábrica -> Peso por metro lineal: 8,75 tn
- Gálibo de obra y de circulación (túneles, ¿doble estiba?, electrificación, andenes): (idealmente), gálibo de electrificación a doble estiba + trenes de viajeros de 2 pisos !!

### Material rodante

- Seguridad activa y pasiva, vinculada a los sistemas de control.
- Peso por eje y por metro lineal: 32,5 tn ; 8,75 tn
- Contorno de referencia, puertas, estribos.
- Enganches: **AAR generalizado** +pasadores para trenes con enganche automático.

## Bases para la eficiencia operacional en tráfico mixto (II)

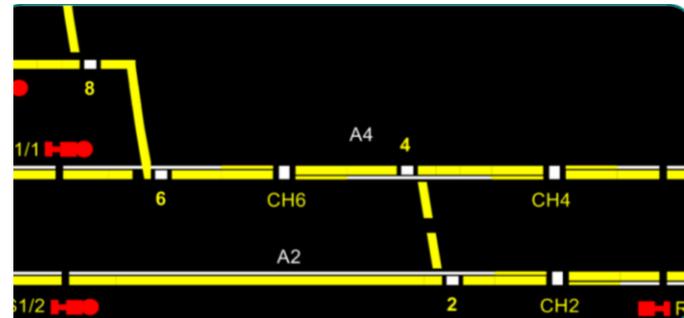
### Explotación técnica

- Sistema de explotación:
  - **Horarios rígidos pre-establecidos** (gráfico de circulación)
  - Con adición de marchas discrecionales
  - Separación temporal entre tráficos de mercancías y viajeros
  - Ventanas de mantenimiento nocturnas (vía única temporal en líneas de vía doble). Programación semanal .
  - Laderos unificados para el tren tipo de mercancías.
  - Compromiso de cargas máximas aptas para velocidades mínimas en curva.
  - Señalización: CTC en vías únicas y BAB en líneas de doble vía.
  - Sistemas de protección del tren: supervisión constante de la velocidad máxima y de la distancia de frenado (PTC, ERTMS, ..)

## Ejemplos y casos extremos

Algunos ejemplos pueden suponer un caso extremo de tráfico mixto optimizado. Entre ellos:

- El Corredor Mediterráneo entre Barcelona y Valencia (imágenes)
- La línea de alta velocidad de Barcelona a Francia
- El ferrocarril industrial apto como metro ligero del Lossetalbahnhof en Kassel (Alemania)







---

## El caso del Tren Maya

El Tren Maya ofrece un buen ejemplo de red de nueva construcción diseñada para un tráfico mixto eficiente desde el punto de vista operacional.

- Velocidad máxima para viajeros. 160 km/h (competitivo en servicio regional < 300 km.
- Velocidad máxima para mercancías: 100 km/h. (V mínimas de aprx. 50 km/h)
- Peso por eje admitido: 32 tn.
- Tren tipo de mercancías: 2 locomotoras + 54 carros (aprox.) = 1.020 m.
- Longitud de los laderos: 1.500 m.
- Longitud de andenes para viajeros: 200 m.
- Señalización y protección: ERTMS N1
- Plan de Operación: horarios rígidos predeterminados con separación temporal entre viajeros y mercancías.

---

## Conclusiones

- Operar trenes de pasajeros a velocidades elevadas y trenes de carga lentos en la misma línea es todo un desafío.
- En algunos países, viajeros y mercancías utilizan líneas ferroviarias especializadas. Pero la mayoría de redes siguen admitiendo tráfico mixto.
- Las grandes diferencias de velocidad reducen la capacidad y las curvas no se pueden optimizar para adaptarse a un tipo de material rodante y una velocidad de circulación en particular.
- La vía también debe mantenerse según lo requieran los trenes de mayor velocidad, mientras que el transporte de mercancías juega un papel importante en el daño de las vías.
- Por su diseño y por el plan de operaciones previsto, el Tren Maya se halla en una posición ventajosa para ser considerado un ejemplo entre las redes de tráfico mixto.

---

Muchas gracias por su atención



*renfe*