

Tema 3

El material rodante para viajeros

Iñaki Barrón, Jaime Borrell, Eduardo Romo, José Luis Alfaro, Cristina Contreras
Seminario de Ferrocarriles de Pasajeros
15-17 de marzo 2023



COMUNICACIONES
SECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA, COMUNICACIONES Y TRANSPORTES



Ignacio BARRÓN
InnovativeBusiness

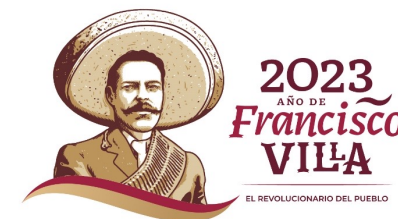


2023
AÑO DE
Francisco VILLA
EL REVOLUCIONARIO DEL PUEBLO



Tema 3 - El material rodante para viajeros

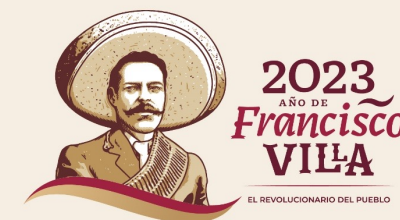
1. Introducción
 2. Tipo de servicios y categorías de vehículos
 3. Tipologías y configuraciones
 4. Características principales
 5. Características comerciales
 6. Características de explotación
 7. Tecnologías de tracción
 8. Tecnologías de frenado
 9. Interacción infraestructura - vehículo
 10. Fabricación
 11. Mantenimiento
- Comentarios generales





3.1 Introducción

El material rodante para viajeros

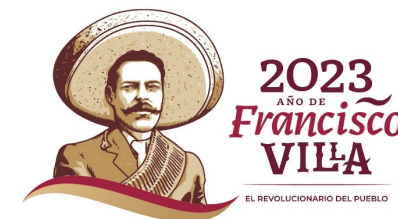




Generalidades sobre material rodante para pasajeros

Para el transporte de pasajeros se puede utilizar una gran variedad de tipos y tamaños, de vehículos y de trenes:

- Tamaños: desde 50 a 1 600 plazas
- Tipos de tracción: eléctrica, diésel, otros (hidrógeno)
- Arquitectura: uno o dos pisos
- Articulados o vehículos independientes
- Autopropulsados o remolcados





Generalidades sobre material rodante para pasajeros

Un tren puede estar formado por:

- Un único vehículo



- Una o varias locomotoras remolcando y/o empujando cierto número de vehículos



- Uno o varios trenes autopropulsados unidos entre sí





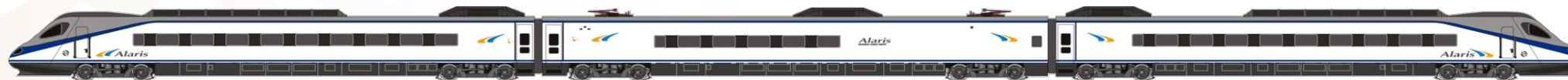
Generalidades sobre material rodante para pasajeros

Los trenes autopropulsados pueden clasificarse en:

- Tracción concentrada



- Tracción distribuida

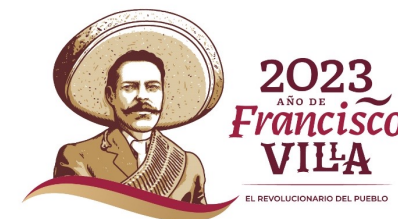




Generalidades sobre material rodante para pasajeros

Algunos apriorismos:

- Los trenes nuevos son buenos, los viejos, malos
Eso no es cierto y solo depende del mantenimiento
- Los trenes regionales y de cercanías no requieren confort
Todos los trenes deben tener cualidades adecuadas al servicio que prestan
- Los trenes de alta velocidad son lujosos
Los trenes de altas prestaciones son para todo tipo de pasajeros

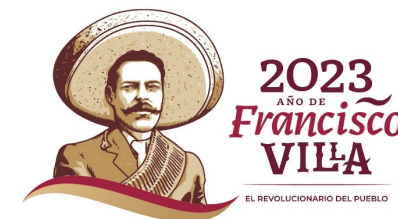




Generalidades sobre material rodante para pasajeros

Algunos apriorismos:

- Servicios urbanos y suburbanos (tranvía, LRT, metro)
- Servicios suburbanos o de cercanías (50 km, frecuencia, capacidad)
- Servicios regionales (en ocasiones, difíciles de definir)
- Servicios Intercity diurnos
- Servicios de larga distancia nocturnos
- Servicios de alta velocidad (altas prestaciones)
- Servicios turísticos



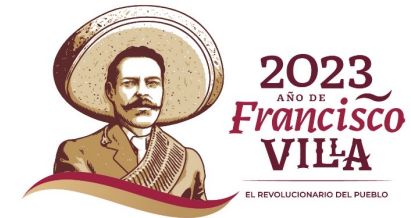


Generalidades sobre material rodante para pasajeros





Generalidades sobre material rodante para pasajeros

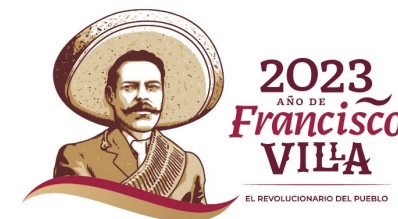




Generalidades sobre material rodante para pasajeros

En cualquier caso:

- El material rodante debe ser el adecuado a cada servicio
- En ocasiones, un mismo tren puede prestar servicios diferentes
- Los trenes no se compran en la tienda (pueden ser de ocasión)
- Los trenes necesitan un período de fabricación , formación del personal de conducción y de mantenimiento, homologación...
- Los trenes tienden a ser estándar y modulares (costes, LC)
- Los trenes aportan seguridad (robustez)





Desaparecer y aparecer

Los trenes que desaparecieron hace 30 o más años, no son los mismos que los que aparecen ahora

Ha habido un cambio tecnológico a la vez que el cambio generacional y ello conlleva un cambio cultural y de percepción del modo de transporte y de la movilidad

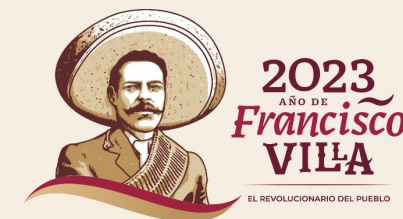




3.2

Tipo de servicios y categorías de vehículos

El material rodante para viajeros





Transición hacia movilidad sostenible

Descarbonización en el corazón de los ODS

Limitar el Calentamiento Global

Acuerdo de París de 2015.
Neutralidad emisiones 2050.
2°C aumento de temp.



Limitar la Polución Urbana

Endurecimiento límites OMS
de calidad del aire.
Aumento *diesel ban* ~2040.



Reducir dependencia de combustibles fósiles

Búsqueda global de alternativas.
Energías renovables como
seguridad energética.



Los trenes que se fabriquen hoy
circularán más allá de 2050



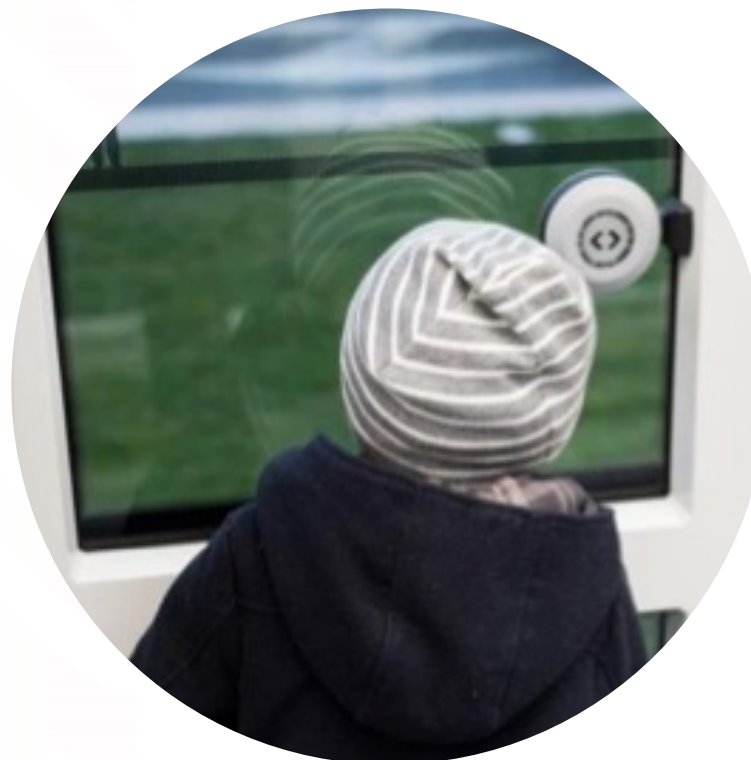


Transición hacia movilidad sostenible

Del transporte a la movilidad

Los trenes transportan

Los pasajeros se mueven



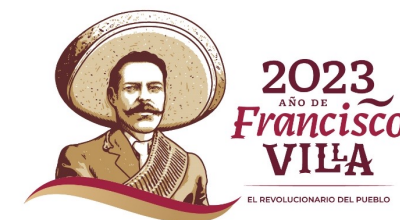
El pasajero
en el centro
del diseño





Tipo de servicios

Distancia





Categorías de vehículos

Características en función de las necesidades

Tranvías y metros ligeros

70-80 km/h, paradas frecuentes, alta aceleración, frenado urbano
Volúmenes limitados de pasajeros, numerosos de pie
Compatibilidad con calles, rotura rígida, seguridad peatonal...

Metro

90-110 km/h, paradas frecuentes, alta aceleración
Grandes volúmenes de pasajeros, gran mayoría de pie
Operaciones dentro de túneles, tiempos de permanencia cortos

Trenes de cercanías

120-140 km/h, aceleración media o alta
Grandes volúmenes de pasajeros, numerosos de pie
Versatilidad dentro y fuera del centro de la ciudad



Sistemas urbanos





Categorías de vehículos

Características en función de las necesidades



Trenes de cercanías

120-140 km/h, aceleración media o alta, distancias cortas y medias
Grandes volúmenes de pasajeros, **numerosos de pie**
Versatilidad dentro y fuera del centro de la ciudad

Trenes regionales media y larga distancia *servicios turísticos*

120-160 km/h, a veces **200 km/h**, distancias medias y largas
Principalmente **sentados**, casos intermedios sentados y de pie
Líneas de baja y media densidad, **servicios a bordo**, casos de **piso bajo**

Locomotoras + coches

140-160-200 km/h, esfuerzo de tracción variado, largas distancias
Requerimientos locomotoras: muy variados, versatilidad
Requerimientos coches: equivalentes a trenes regionales

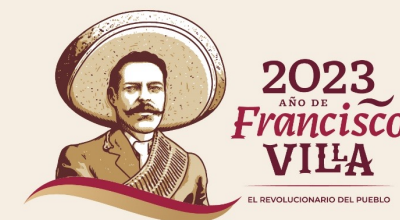
Trenes de alta velocidad

200-350 km/h, potencia, aerodinámica, distancias medias y largas
Estabilidad, pasaje **sentado**, vida a bordo de pie (bar, aseos...)
Altos niveles de **confort, servicios** e instalaciones a bordo...



3.3 Tipologías y configuraciones

El material rodante para viajeros





Configuraciones de material rodante

Material rodante
Rolling Stock

Propulsado
Self-propelled

Locomotora
Locomotive
mercancías y/o pasajeros



Automotor/Unidad Múltiple
Multiple Unit
pasajeros



Remolcado
Trailer

Coche
Coach, carriage, passenger car
pasajeros



Vagón
Wagon, freight car
mercancías





Material rodante de pasajeros

No articulado

Articulado



Configuraciones especiales

Dos pisos



Combinación
1 y 2 pisos



Piso bajo



Basculante



Automotor / Unidad Múltiple

Tracción distribuida

Tracción concentrada

Loco. + coches

Convencional





Material rodante convencional

Coche Cabina

Cabina de mando
Cabina de reversibilidad
Coche piloto

Tracción simple

Tracción múltiple



Tren reversible
Push-Pull

Loco. + coches

Convencional



Pros

- Flexibilidad en la composición
- Estandarización vehículos
- Independencia vehículo motor (adquisición/mantenimiento)



Arquitectura de tracción

Automotor / Unidad Múltiple

Tracción distribuida



Tracción concentrada



Tracción distribuida

- Aumento de capacidad
- Pero mayor complejidad, mayor número de elementos, mayor cableado...

Recomendable en unidades cortas (<100-150 metros) por precio y capacidad

Designación en función de configuración de ejes: [IRS 60650](#) (trasposición de la ficha UIC 650)

Arquitectura articulada



Articulada

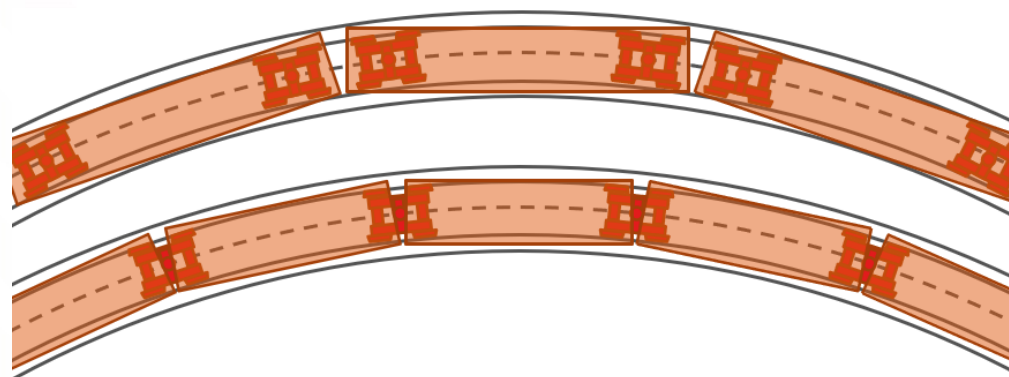


Más coches

Convencional



Más bogies



Inscripción en curva sin voladizos

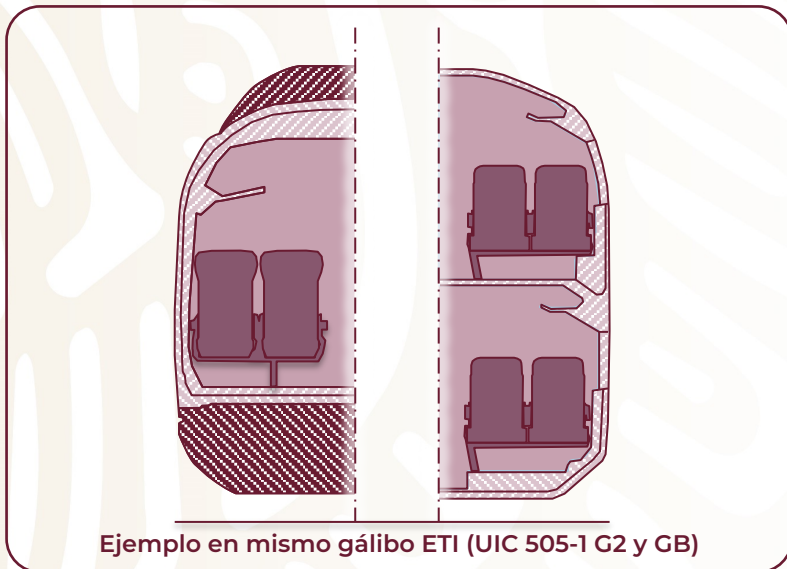
Pros

- Seguridad: comportamiento ante descarrilamiento, encabalgamiento, impacto
- Eficiencia: menor número de bogies → mantenimiento, aerodinámica y energía
- Confort: comportamiento dinámico, rodadura entre coches
- Capacidad: mayor anchura y menos bogies → más volumen útil

A cambio de

- Peso por eje, acoplado/desacoplado, número vehículos y componentes

Dos pisos



Ejemplo en mismo gálibo ETI (UIC 505-1 G2 y GB)



Piso superior continuo

Piso intermedio sobre bogies

Observaciones

- **Capacidad** - máxima utilización volumen disponible
- Mayor coste por coche (estimación 50% UNIFE)
- Estructura rígida pero compleja de diseñar
- **Accesibilidad**: inconvenientes (escaleras) y ventajas (piso bajo)



Piso superior continuo

Acceso en piso bajo

Combinación 1 y 2 pisos

- Capacidad
- Accesibilidad
- Diversidad



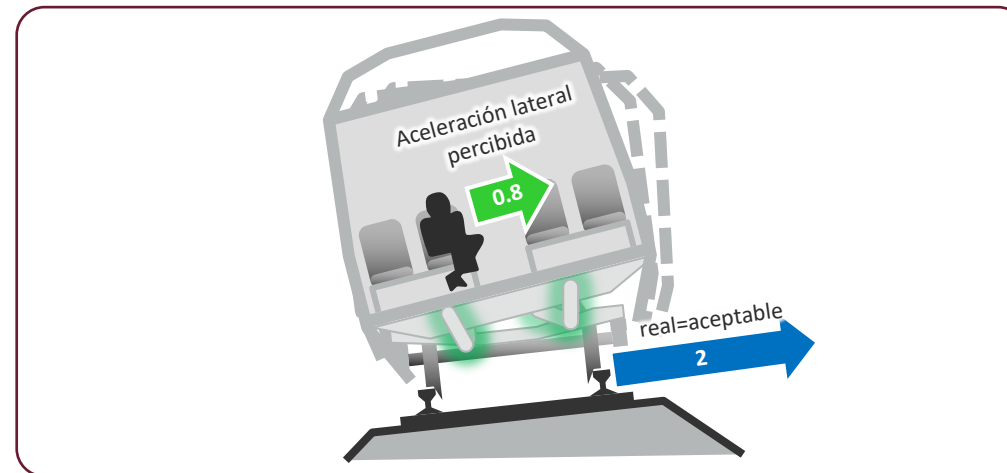
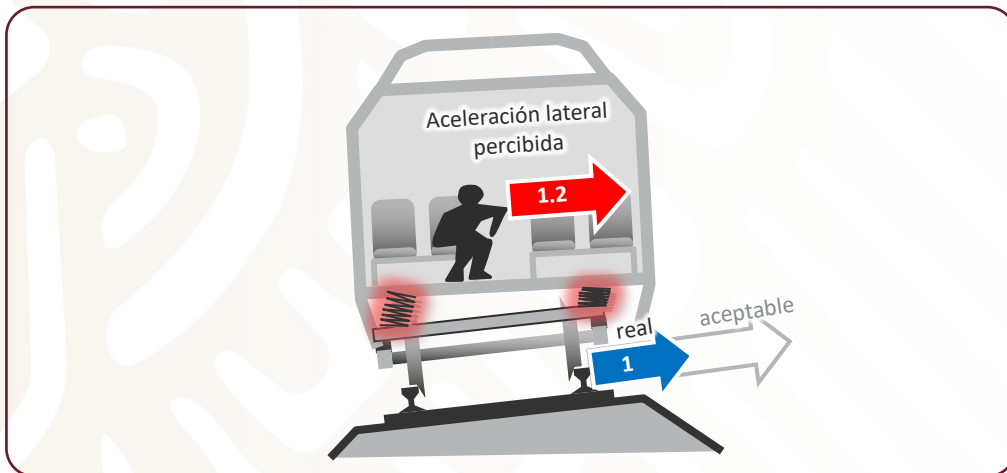
Configuración basculante

En líneas con curvas:

- El peralte compensa parte de la aceleración lateral
- Reducción confort por aceleración no compensada
- **La velocidad se limita en curva por confort**

Bascular o inclinar el coche:

- **Aumenta el confort**
- **Permite mayor velocidad**
- No precisa modificar la infraestructura



2023
AÑO DE
**Francisco
VILA**

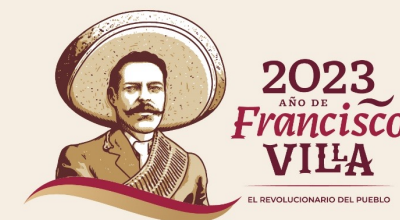
EL REVOLUCIONARIO DEL PUEBLO



3.4

Características principales

El material rodante para viajeros



Requerimientos esenciales

Capacidad y tiempo de viaje

Material rodante

- **Capacidad del tren**
 - Arquitectura
 - articulación, tracción, pisos
 - Longitud, anchura
 - Disposición interior
 - Confort
 - Servicios a bordo

- **Capacidad del sistema**
 - *Capacidad del tren*
 - *Prestaciones del tren*
 - *Duración de paradas*
 - *Capacidad de la línea*
 - *Capacidad de la estación*



Sistema



Requerimientos esenciales

Capacidad y tiempo de viaje

Material rodante

- **Tiempo de viaje**

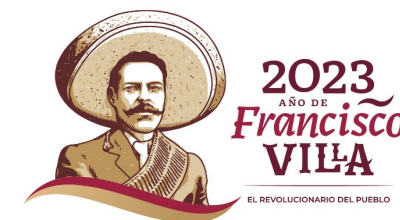
- Velocidad máxima
- Potencia (rampa)
- Aceleración
- Deceleración
- Basculación
- Duración de paradas

- **Tiempo de viaje puerta-a-puerta**

- *Tiempo en el tren*
- *Tiempo en la estación*
- *Tiempo entre origen y estación + estación y destino*
localización, intermodalidad...



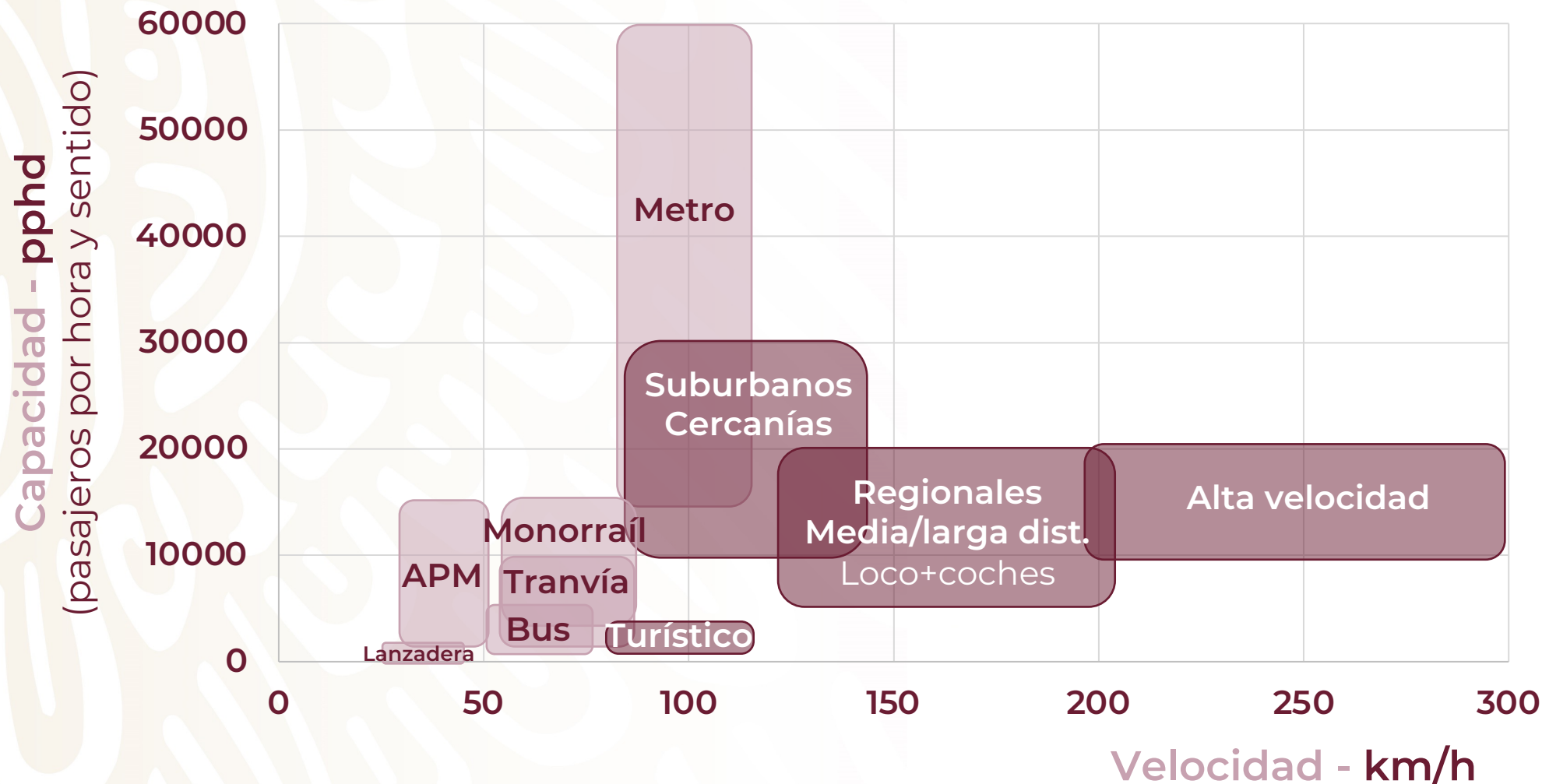
Sistema





Requerimientos esenciales

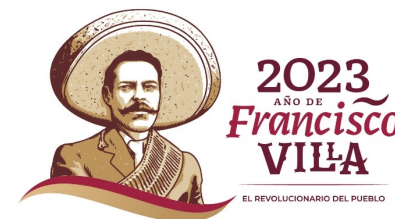
Capacidad y tiempo de viaje





Compatibilidad con infraestructura y entorno

- **Gálibo (loading gauge):** *dinámico y estático, recta, inscripción en curva, línea, taller...*
- **Ancho de vía (track gauge):** *y características del rail (ángulo, perfil, material...).*
- **Radio de curva (curve radius):** *línea general, taller, condiciones específicas, contracurva...*
- **Alimentación (power supply):** *tensión, frecuencia, corriente...*
- **Catenaria (catenary):** *altura, descentramiento, material, tensión, esfuerzo vertical...*
- **Señalización (signalling):** *compatibilidad vehículo, visibilidad, equipo embarcado, captación...*
- **Sistemas de detección (detection systems):** *circuitos de vía, contadores de ejes, cajas calientes...*
- **Compatibilidad electromagnética (EMC):** *normativas, instalaciones, señalización, entorno...*
- **Andén (platform):** *altura, longitud, distancia horizontal, distribución puertas...*
- **Túnel (tunnel):** *sección, longitud, velocidad, evacuación, ondas de presión, tipología...*
- **Taller (depot/workshop):** *dimensiones, características, equipamiento...*
- **Clima (climate):** *rango/variación temperatura, humedad, nieve, helada...*
- **Ambiente (environment):** *salinidad, arena, polvo de desierto...*

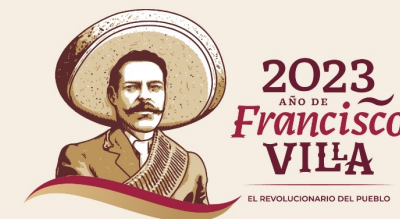




3.5

Características comerciales

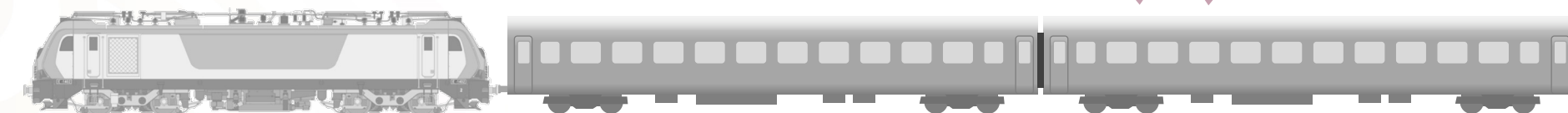
El material rodante para viajeros





El transporte de personas

La diferencia está en la “carga”



La “carga” del material rodante de pasajeros puede ser:

- **muy delicada** – temperatura, dinámica, necesidades fisiológicas...
- **muy exigente** – confort, iluminación, calidad, servicios, urgencia, puntualidad...
- **e incluso incívica** – vandalismo, agresión, robo...



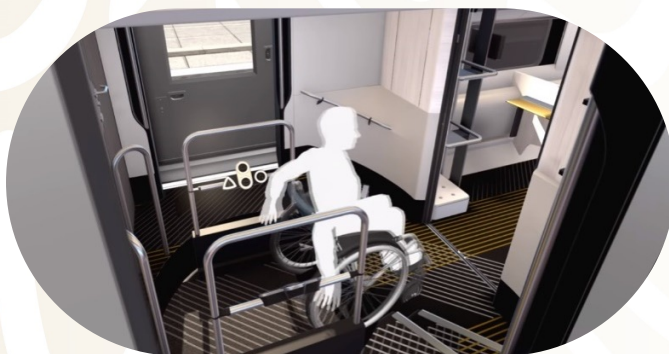
Bienvenida a bordo

Espacios y ergonomía

- **Ambientes:** número, características, diferenciación...
- **Asientos:** tipo, equipamiento, funcionalidad...
- **Equipaje:** tipos, volumen, visibilidad, distribución...
- **Especial:** bicicletas, cochecitos, esquís, tablas surf, instrumentos...

Accesibilidad y diseño universal

- **Deambulación:** acceso, movilidad a bordo...
- **Aprehensión:** asideros, barras, pomos, fijaciones...
- **Localización:** etiquetado, braille, iluminación...
- **Comunicación:** sincronizada, multicanal...



Vida a bordo

Restauración

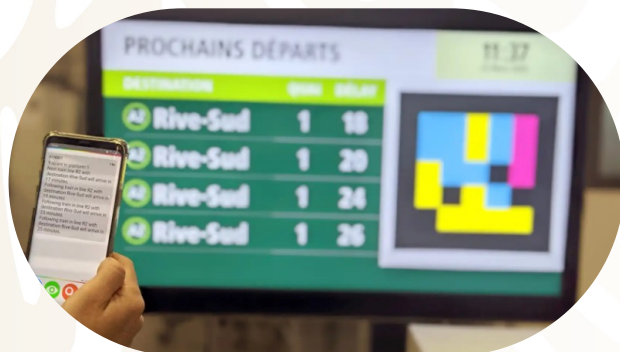
- **Zonas dedicadas:** coche bar, restaurante, autoservicio...
- **A la plaza:** incluido, a demanda, zonas, servicio...

Comunicación

- **Información:** visual, sonora, automática, remota, manual...
- **Conectividad:** cobertura telefonía, WiFi, Internet a bordo...

Entretenimiento

- **Multimedia:** vídeo, audio, portal contenidos, zonas multimedia...
- **Otros:** zonas especiales, equipos, guardería, multifuncional...



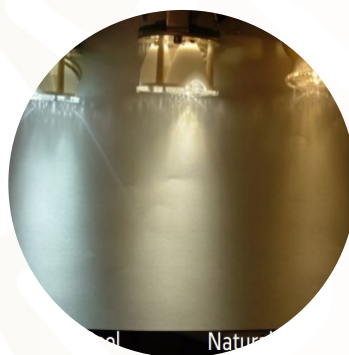
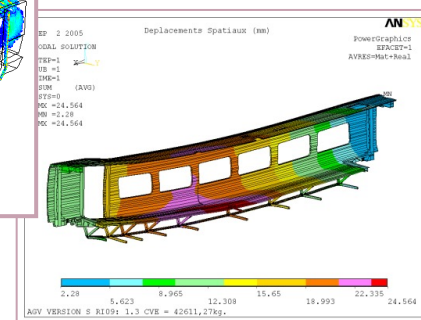
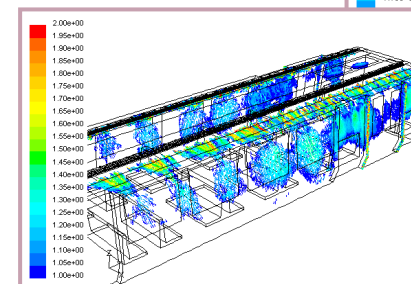
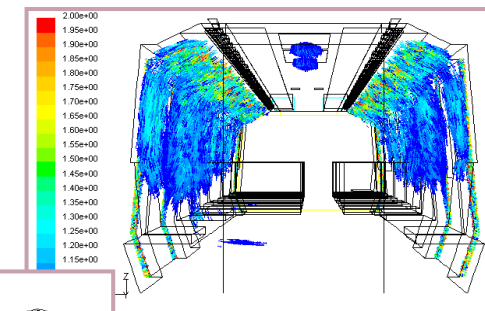
Confort y percepción

Confort

- **Térmico:** normativa, distribución y gradiente, frío/calor, corrientes...
- **Acústico:** ruido, frecuencias, repetición, inteligibilidad...
- **Dinámico:** movimiento lateral, longitudinal, vertical, intensidad, frecuencia...
- **Vibratorio:** localización, intensidad, frecuencia...

Percepción

- **Iluminación:** directa/indirecta, temperatura color, regulación...
- **Estética:** diseño y estilo, materiales, colores...
- **Calidad percibida:** acabados, ajustes, alineamiento, calidades...



Higiene y seguridad

Higiene

- **Aseos:** cantidad, distribución, equipamiento, capacidad...
- **Limpieza:** diseño sin esquinas, accesible, materiales, servicio...
- **Residuos:** papeleras, reciclaje, servicio...

Seguridad

- **Videovigilancia:** distribución, almacenaje, operación...
- **Antivandalismo:** interiores, pintura antigraffiti...
- **Protecciones:** candado equipaje, compartimentos...
- **Cierres:** tipo, control acceso...



Necesidades más básicas en la Pirámide de Maslow

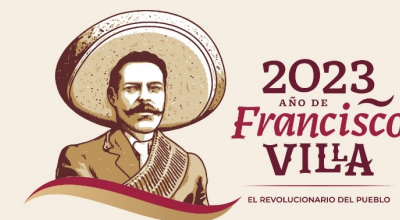




3.6

Características de explotación

El material rodante para viajeros



Características de explotación

Personal de conducción

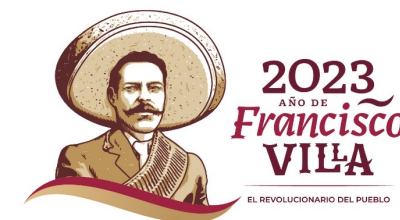
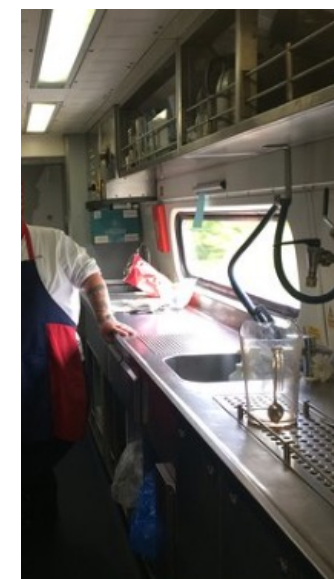
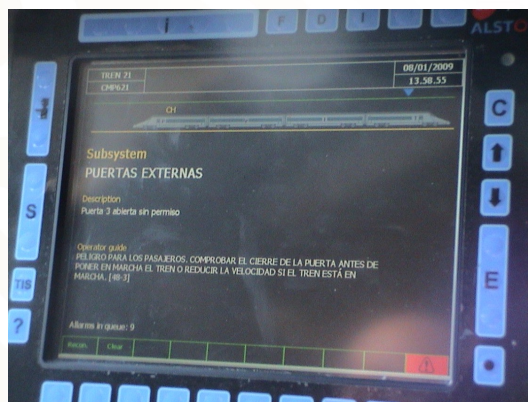
- **Acceso:** desde andén, desde la vía, en emergencia, evacuación...
- **Cabinas de conducción:** ergonomía, visibilidad, climatización...

Personal de servicio al viajero

- **Dependencias:** para atender al cliente, para el personal...
- **Servicios al pasajeros:** instalaciones, equipos, almacenaje...
- **Sistemas, interfonía, megafonía:** localización, uso, redundancia...

Personal de asistencia técnica

- **Autodiagnóstico:** automático, a demanda, cabina, tablet...
- **Conexión remota:** pupitre, resolución averías, descargas...

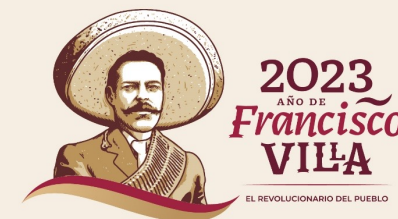




3.7

Tecnologías de tracción

El material rodante para viajeros





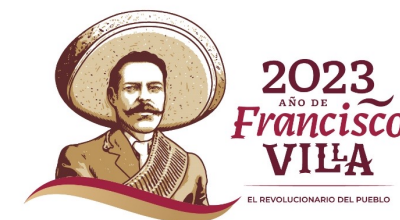
Prestaciones de tracción

Criterios de dimensionamiento



Criterios de dimensionamiento:

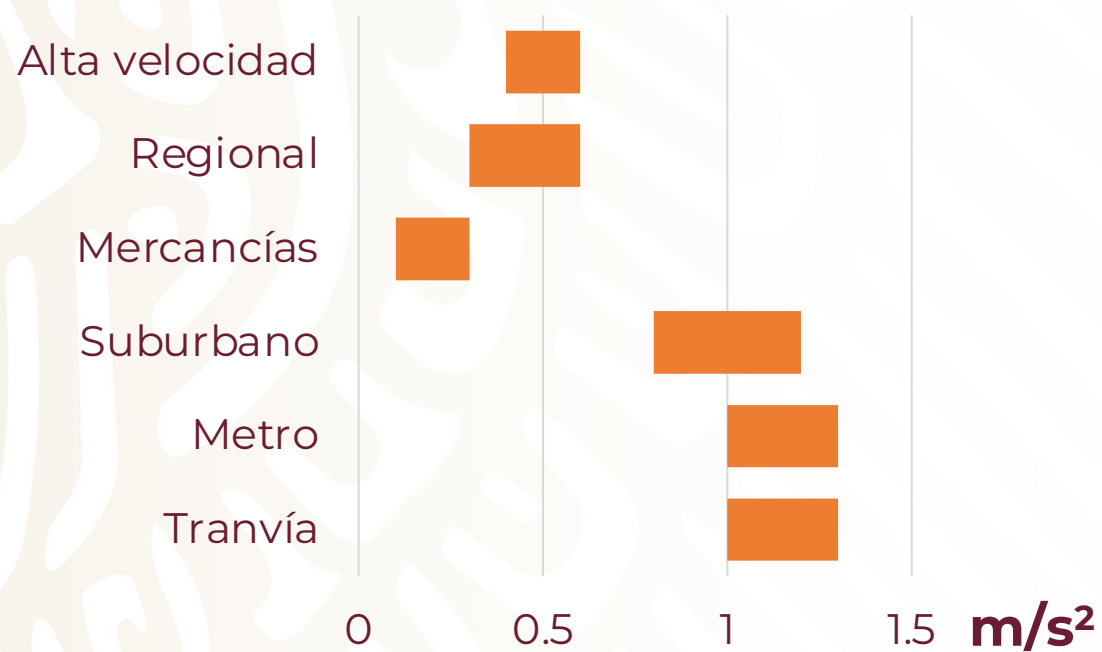
- Máximo **esfuerzo** en rueda
Para iniciar el movimiento
- Máxima **velocidad** en servicio
Para respetar el horario
- Máxima **potencia** de los motores
Para proporcionar la dinámica
aceleración, velocidad, freno



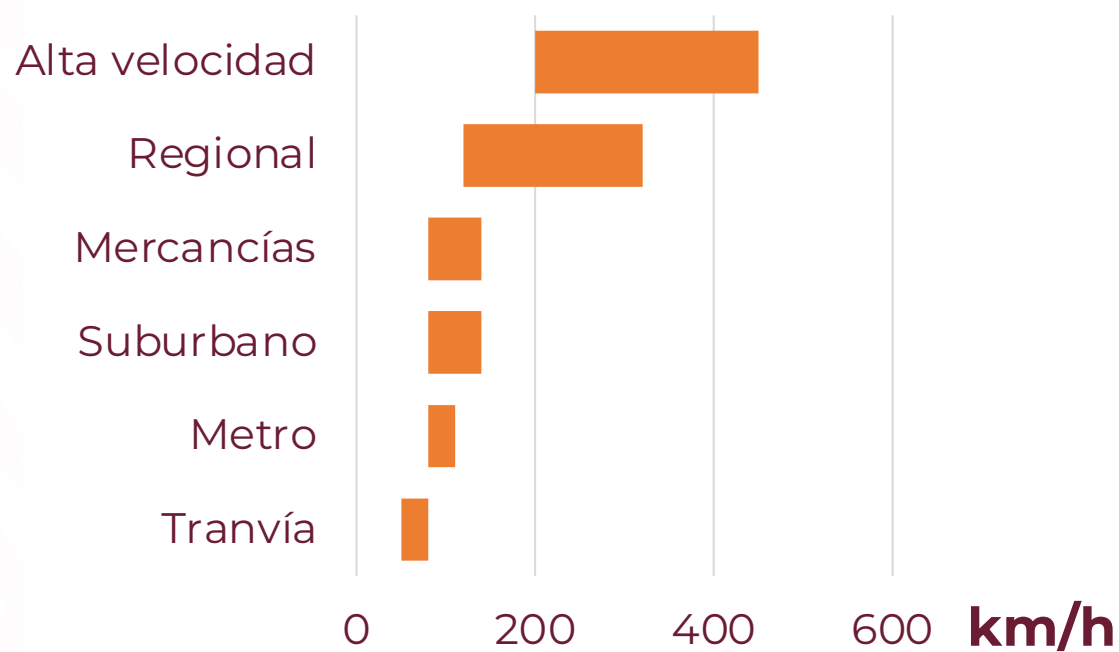


Prestaciones de tracción

Aceleraciones y velocidades habituales



Máxima **aceleración** aproximada



Máxima **velocidad** en servicio



Tracción eléctrica

Componentes principales

Captación de catenaria

Adaptación de tensión

Pilotado del motor

Motor



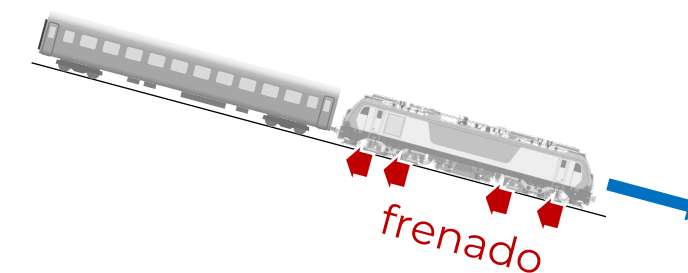
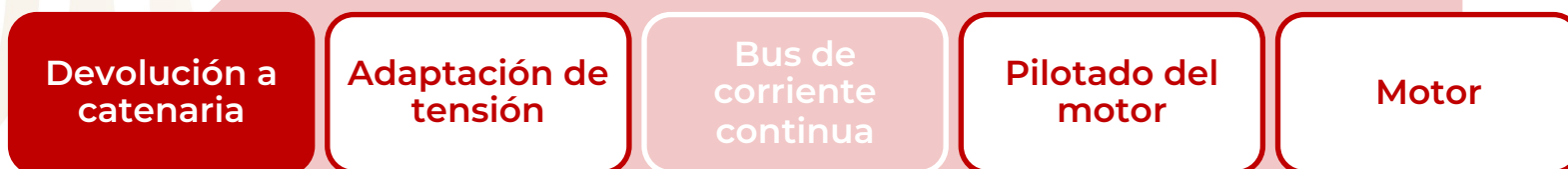
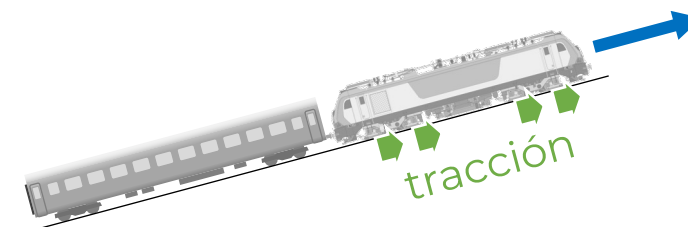


Tracción eléctrica Sistema reversible

Alterna: 15-25 kV
Continua: 1500-3000 V

1500-1800 V
3000 V

Tracción



Frenado regenerativo



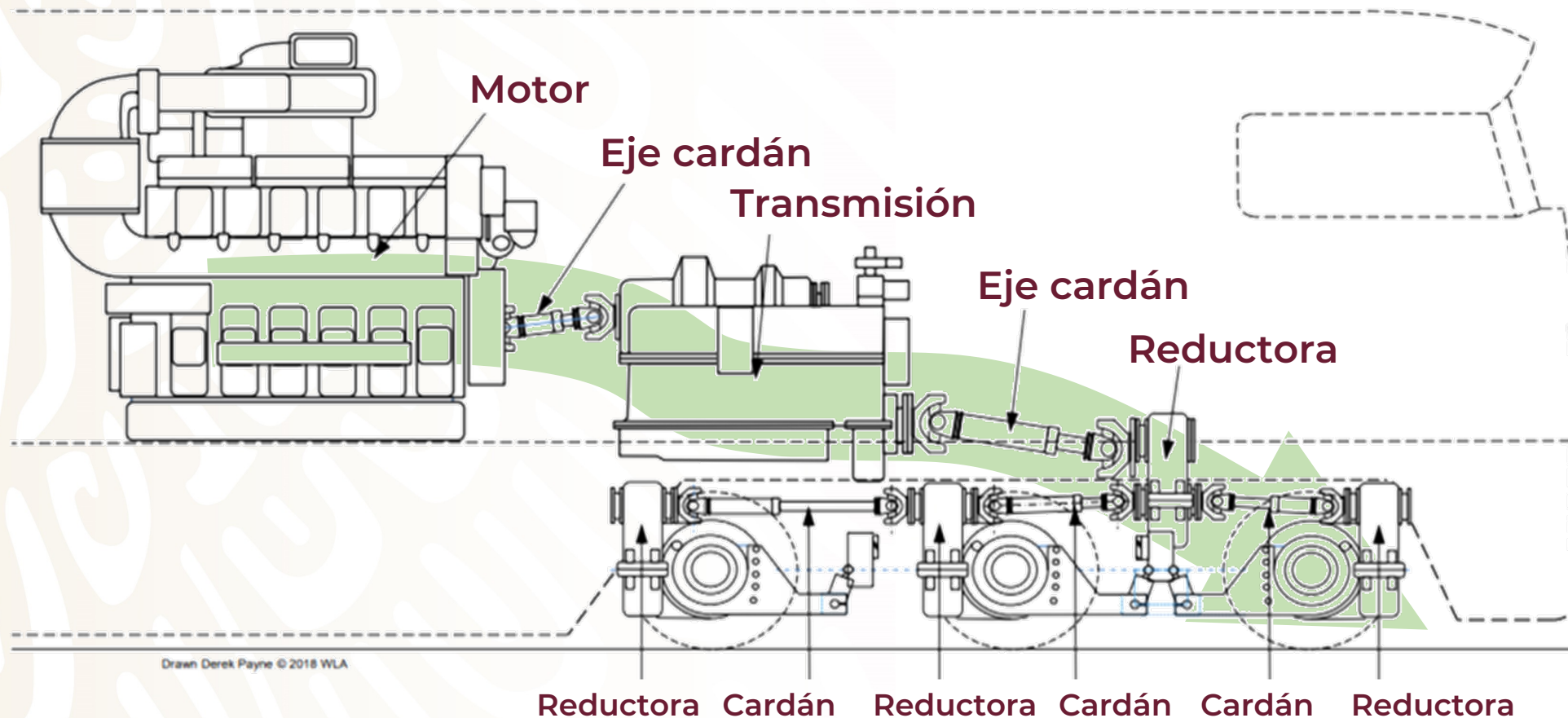
Frenado reostático



Tracción diésel

Componentes principales

Ejemplo locomotora Western Class 52

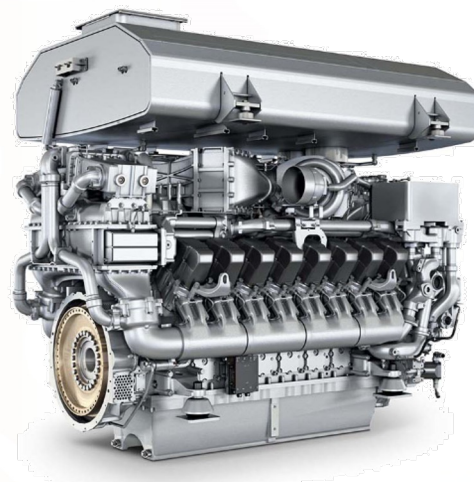


Tracción diésel

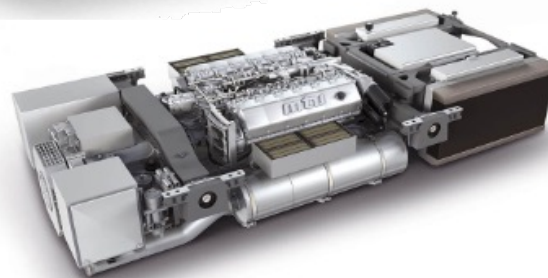
Tipologías

Tipos de motor

- **Específicos ferroviarios**
potentes, fuertes, fiables
pesados, grandes, caros



- **Derivados de camión**
pequeños, ligeros, económicos
menor fiabilidad y duración
sólo aptos en algunos trenes



Los motores derivados de camión facilitan la tracción distribuida

La transmisión eléctrica facilita tracciones híbrida y dual

Tipos de transmisión

- **Mecánica:** casi no utilizado, por muy elevado
- **Hidráulica:** transmisión a través de sistema hidráulico
- **Eléctrica:** con un generador y sistema de tracción eléctrica



Tecnologías de tracción En Unidades Múltiples

- **EMU**
 - **Pantógrafo**
 - Suministro energético: **Catenaria**
 - Sólo en vías electrificadas
- **DMU**
 - **Diésel**
 - Suministro energético: **Gasóleo**
 - Circulación en diésel bajo catenaria
- **DEMU**
 - **Pantógrafo y diésel**
 - Suministro energético: **Gasóleo y catenaria**
 - Diésel sólo necesario sin electrificación

Vía
electrificada



Vía sin
electrificar



bi-modo
(dual)



2023
AÑO DE
Francisco
VILLA

EL REVOLUCIONARIO DEL PUEBLO

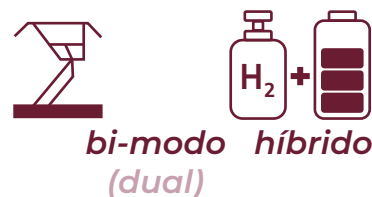
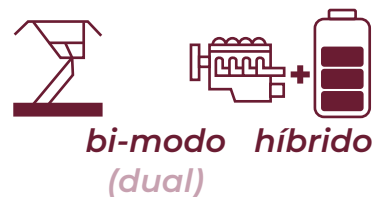
Reducción de emisiones en vías sin electrificar

En Unidades Múltiples

- **DEMU hybrid**
 - **Pantógrafo, diésel y baterías**
 - Suministro energético: **Gasóleo y Catenaria**
 - Batería para regeneración de energía
- **BEMU**
 - **Pantógrafo, y baterías**
 - Suministro energético: **Catenaria**
 - Batería para 80-100 km sin catenaria
- **FCMU**
 - **Pila de combustible con baterías**
 - Suministro energético: **Hidrógeno**
 - Batería para regeneración de energía
- **FCEMU**
 - **Pantógrafo, pila de combustible, y baterías**
 - Suministro energético: **Hidrógeno y/o Catenaria**
 - Batería para regeneración de energía

Vía
electrificada

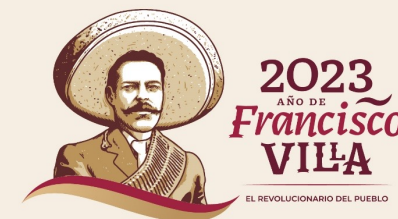
Vía sin
electrificar





3.8 Tecnologías de frenado

El material rodante para viajeros





Introducción y principios

El contacto rueda carril

- Ofrece **mínima resistencia** al avance
- Pero también **baja adherencia**

El tren de pasajeros

- Transporta viajeros de pie
- La deceleración debe ser limitada

- **Largas distancias de frenado**
- **Frenado inteligente**
Sistema de control de deslizamiento

Criterios de dimensionamiento:

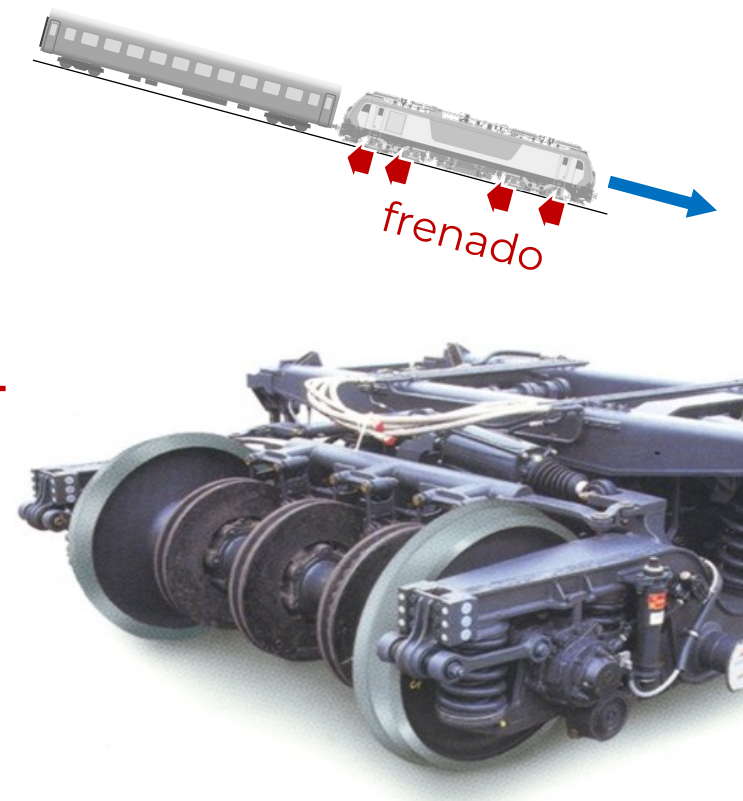
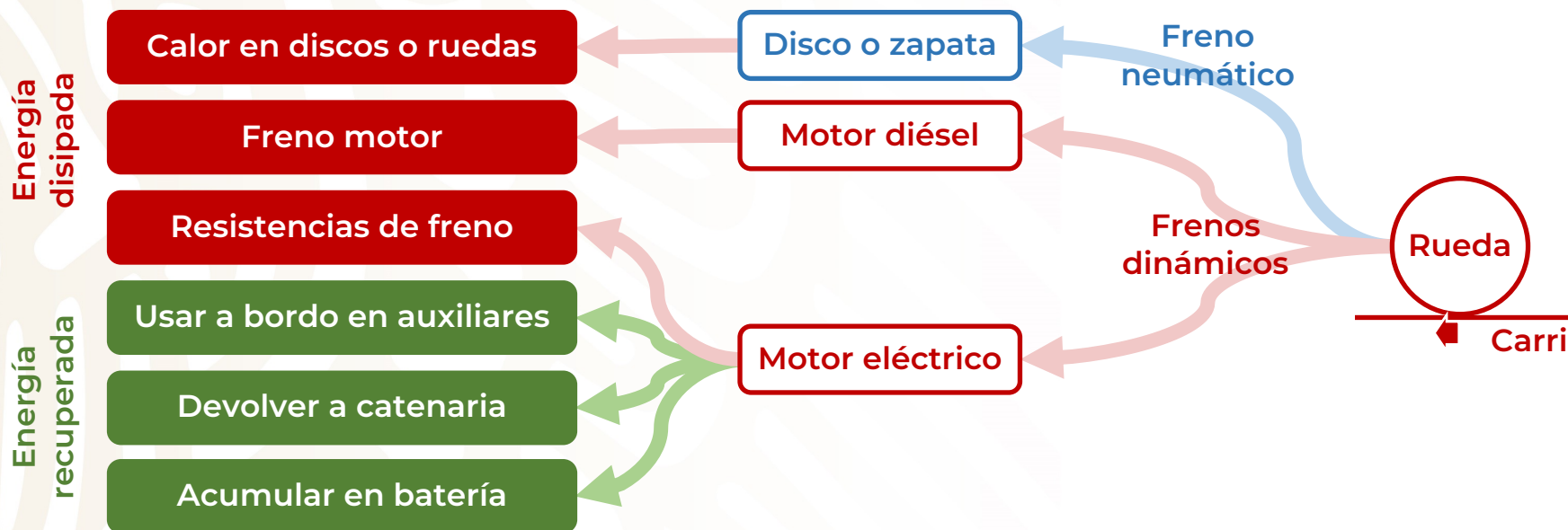
- **Distancia** de frenado
Seguridad
- **Deceleración** máxima
Confort
- **Energía** disipada en freno
Integridad

Principios:

- Margen en el cálculo
Considerar **baja adherencia** disponible (15%)
- Margen en la arquitectura
Freno **todos los ejes** del tren

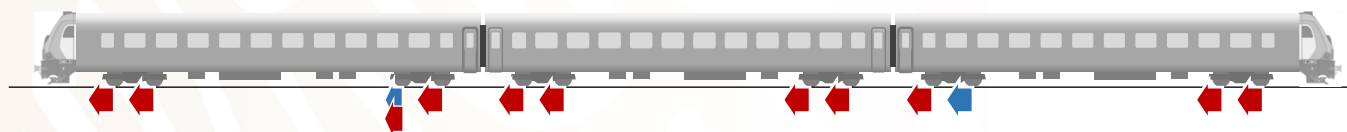


Tecnologías de frenado Basadas en adherencia rueda-carril



Freno conjugado o blending

- Combinación automática entre freno **neumático** y **dinámico**
- Optimiza uso de adherencia y reduce uso de freno neumático



Tecnologías de frenado Independientes de la adherencia rueda-carril

Otras tecnologías de frenado

- **Freno magnético** (*Eddy-current brake*)
induce **corrientes de Foucault** en el raíl
- **Freno de patín** (*electromagnetic shoe/pad*)
patín de fricción imantado al raíl
- **Freno aerodinámico**
sólo utilizado en prototipo

Ventajas:

- Alternativa cuando falta adherencia rueda-carril
- Reducción distancia de frenado
Patín utilizado en tranvías (compatibilidad tráfico urbano)
Patín y magnético usado en algunas vías alemanas

Uso muy limitado:

- Coste
- Afección infraestructura
calentamiento raíl, degradación, interferencia electromagnética

