

Tema 1

Generalidades sobre el ferrocarril

Iñaki Barrón, Eduardo Romo
Maite Escolano, Cristina Contreras, Jaime Borrell, José Luis Alfaro
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 1 - Generalidades sobre el ferrocarril



1. Generalidades

- El ferrocarril como medio de transporte
- El ferrocarril en el mundo
- Tipología del transporte ferroviario de pasajeros
- El concepto de sistema
- Concepto de red
- Prestaciones y conclusiones

2. Aspectos fundamentales

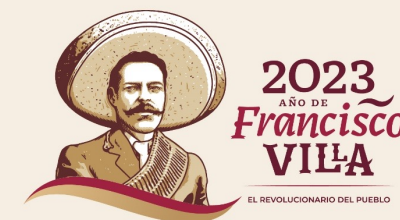
Comentarios generales





El ferrocarril como medio de transporte

Generalidades sobre el ferrocarril





PRINCIPIOS BÁSICOS DEL FERROCARRIL

- Auto-guiado: pestaña, conicidad
- Poca deformación en el contacto
- Bajo rozamiento entre rueda y carril

“Sorprendente”

“300–15–3”

“Superficie de contacto”

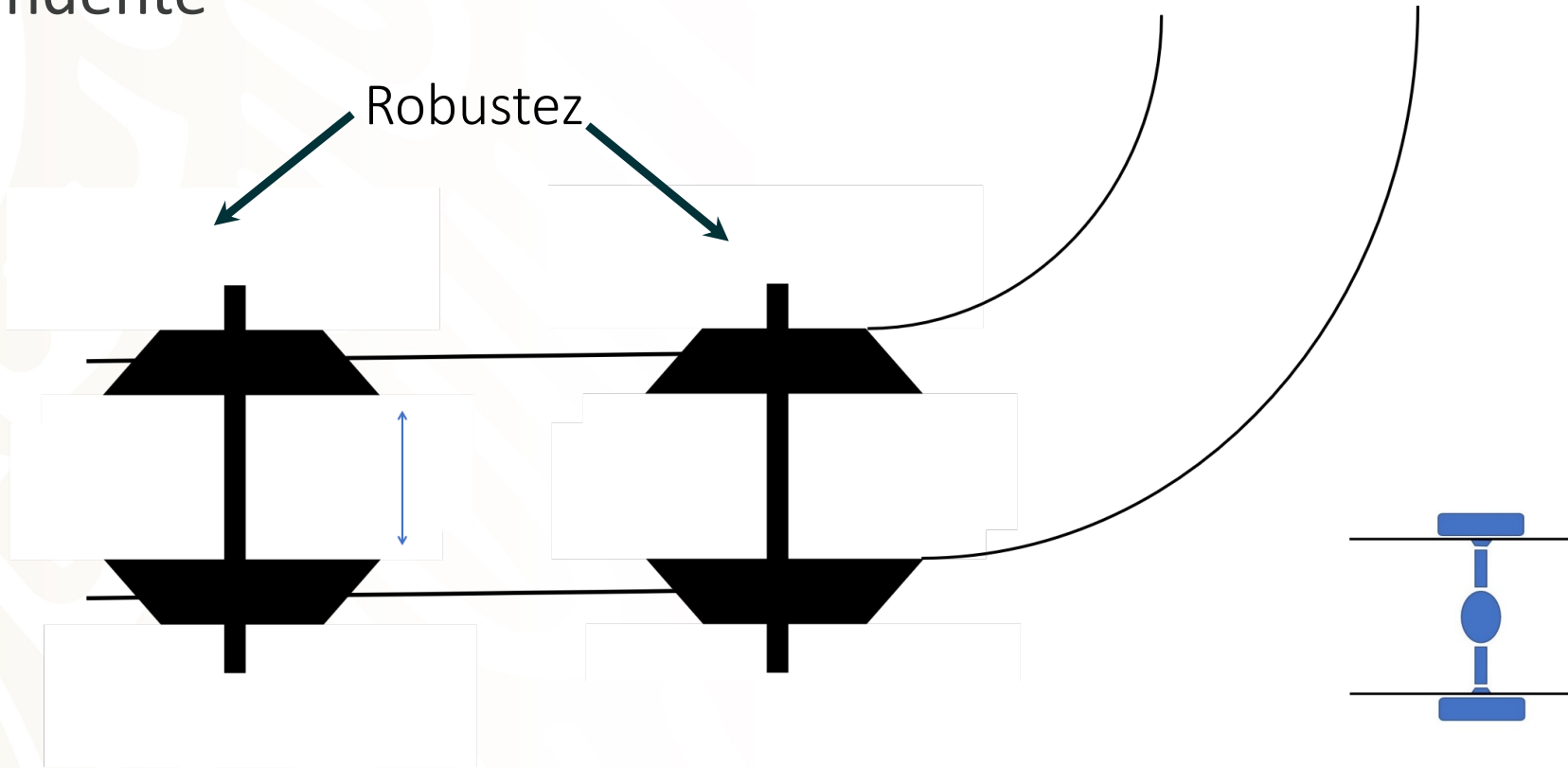




PRINCIPIOS BÁSICOS DEL FERROCARRIL

Autoguiado: conicidad

“Sorprendente”

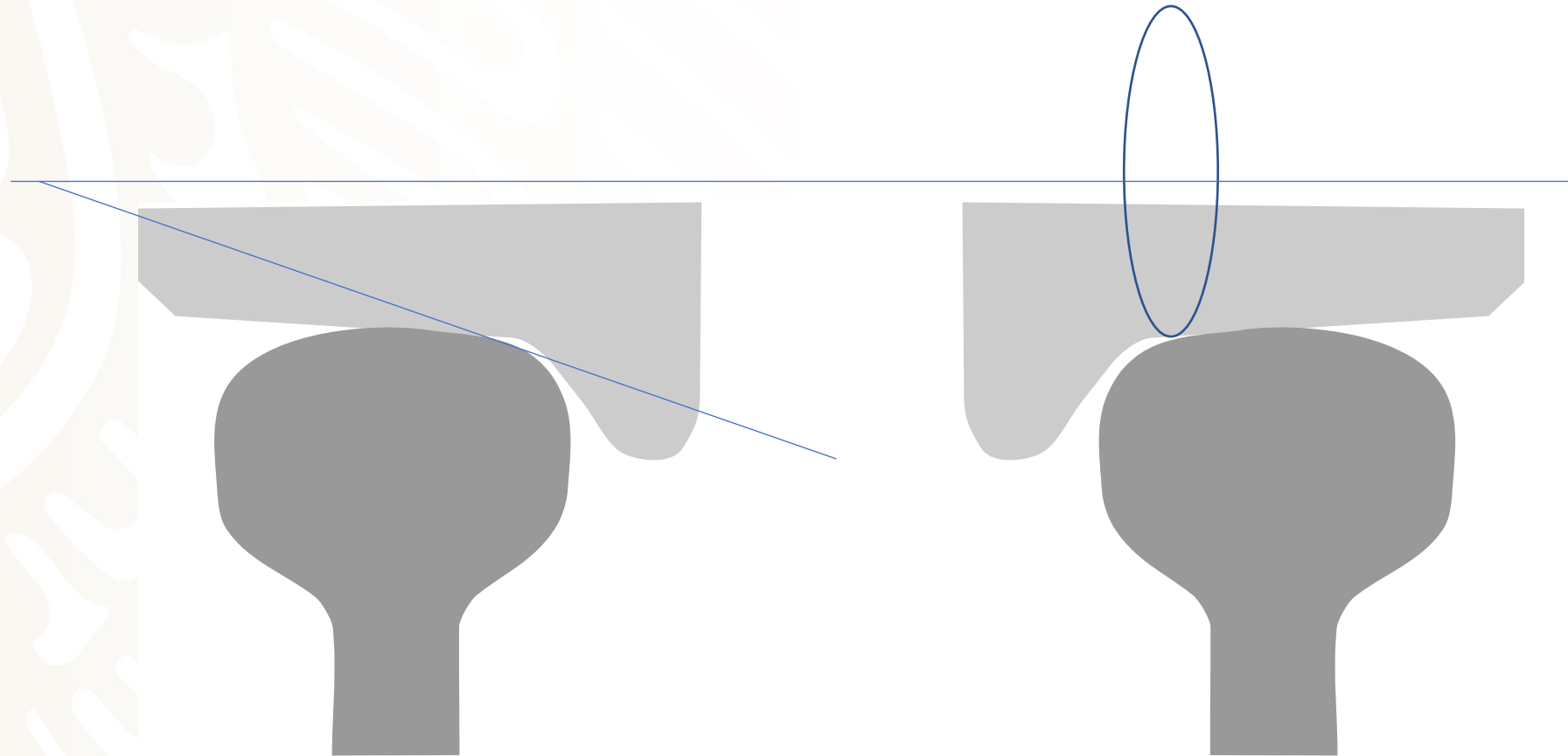


2023
AÑO DE
Francisco
VILLA

EL REVOLUCIONARIO DEL PUEBLO

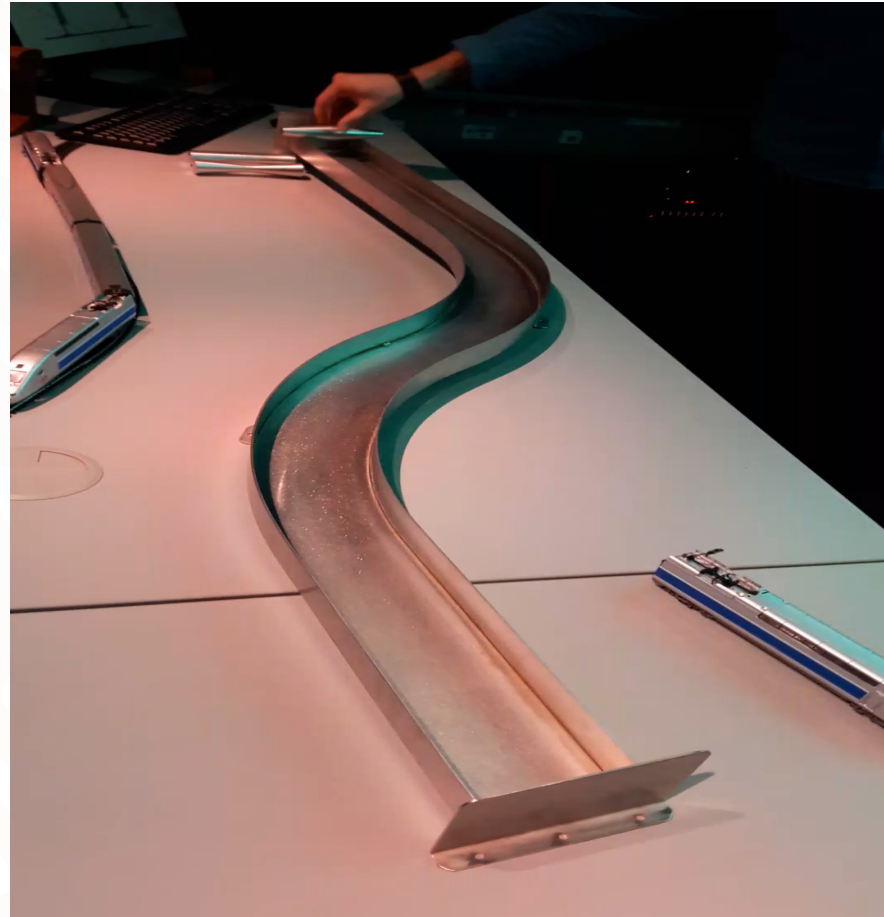


PRINCIPIOS BÁSICOS DEL FERROCARRIL



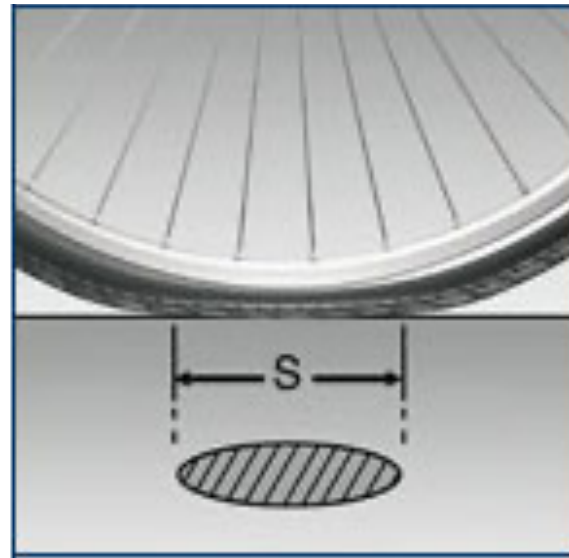
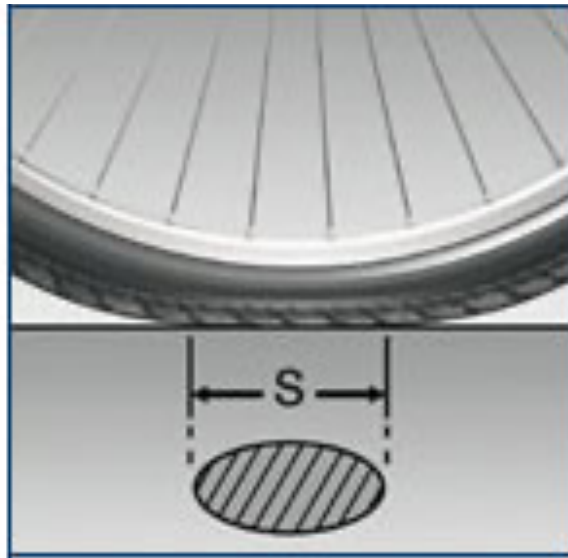


PRINCIPIOS BÁSICOS DEL FERROCARRIL



PRINCIPIOS BÁSICOS DEL FERROCARRIL

Poca deformación en el contacto entre rueda y carril



El contacto rueda-asfalto en los vehículos de carretera sufre una deformación 900 veces mayor que en el Ferrocarril



PRINCIPIOS BÁSICOS DEL FERROCARRIL

Deformación en el contacto entre rueda y asfalto





PRINCIPIOS BÁSICOS DEL FERROCARRIL

Deformación en el contacto entre rueda y carril





PRINCIPIOS BÁSICOS DEL FERROCARRIL

Entre rueda y carril, “muy poca superficie de contacto”
¿Cuánto?

Un tren “AVE serie 100” (España), tiene 26 ejes, 52 ruedas...

La superficie total de contacto entre las 52 ruedas y el carril es de... únicamente la superficie de una tarjeta de crédito



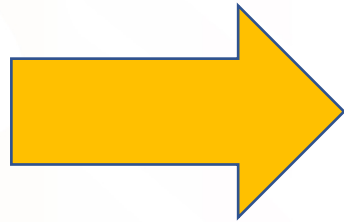
50 cm²



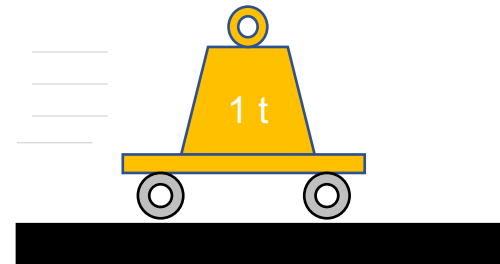


PRINCIPIOS BÁSICOS DEL FERROCARRIL

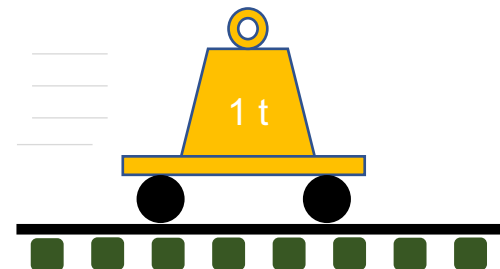
300 kg
660 lb



15 kg
33 lb



3 kg
6,6 lb





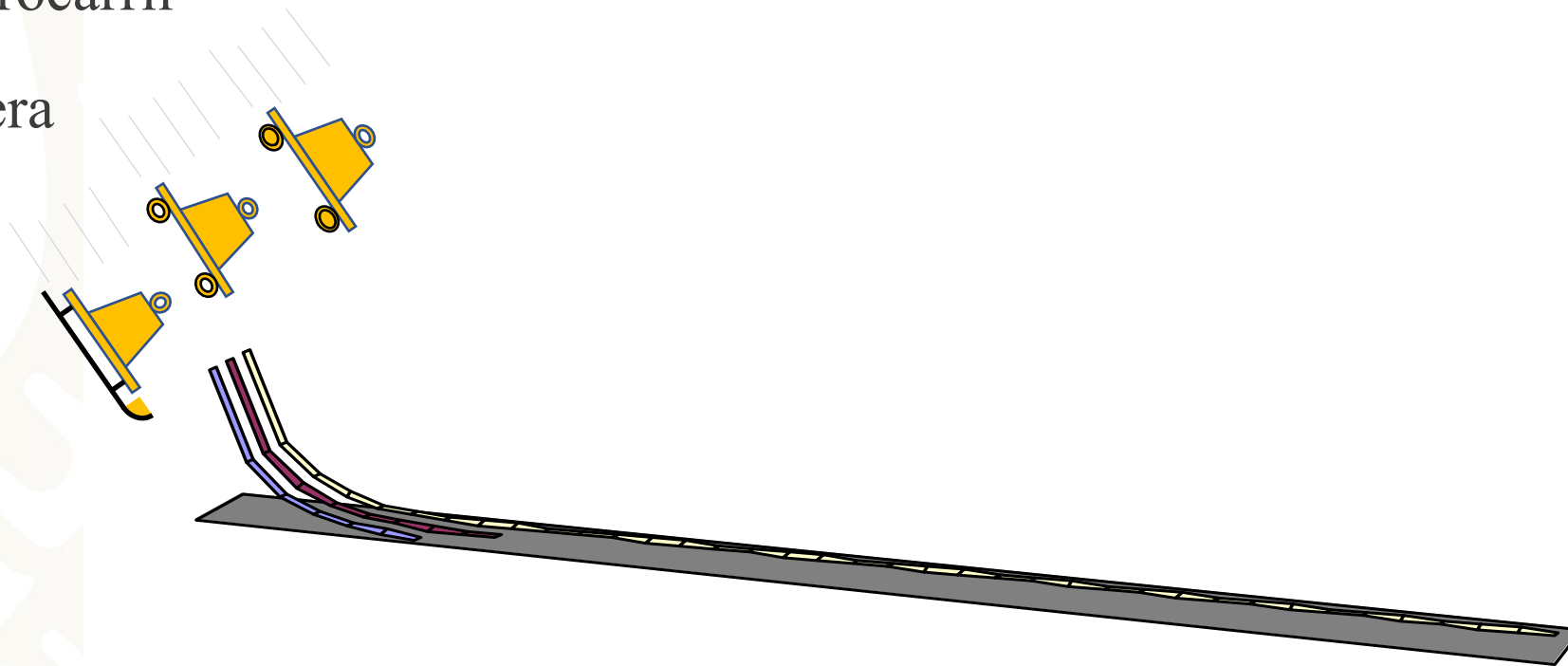
PRINCIPIOS BÁSICOS DEL FERROCARRIL

Comparación de la facilidad de rodadura

Ferrocarril

Carretera

Trineo



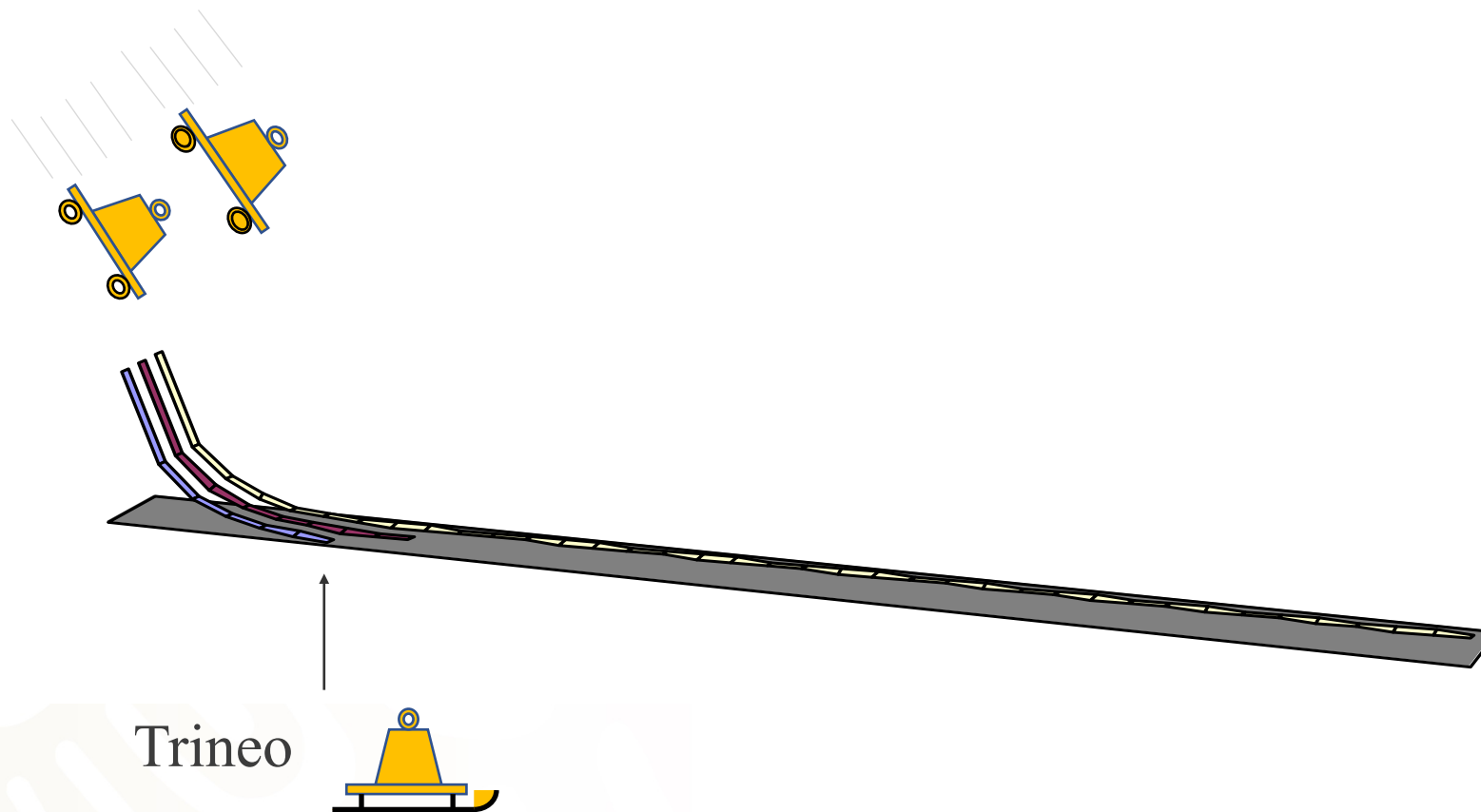


PRINCIPIOS BÁSICOS DEL FERROCARRIL

Comparación de la facilidad de rodadura

Ferrocarril

Carretera



Trineo

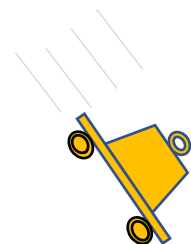




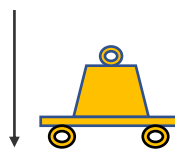
PRINCIPIOS BÁSICOS DEL FERROCARRIL

Comparación de la facilidad de rodadura

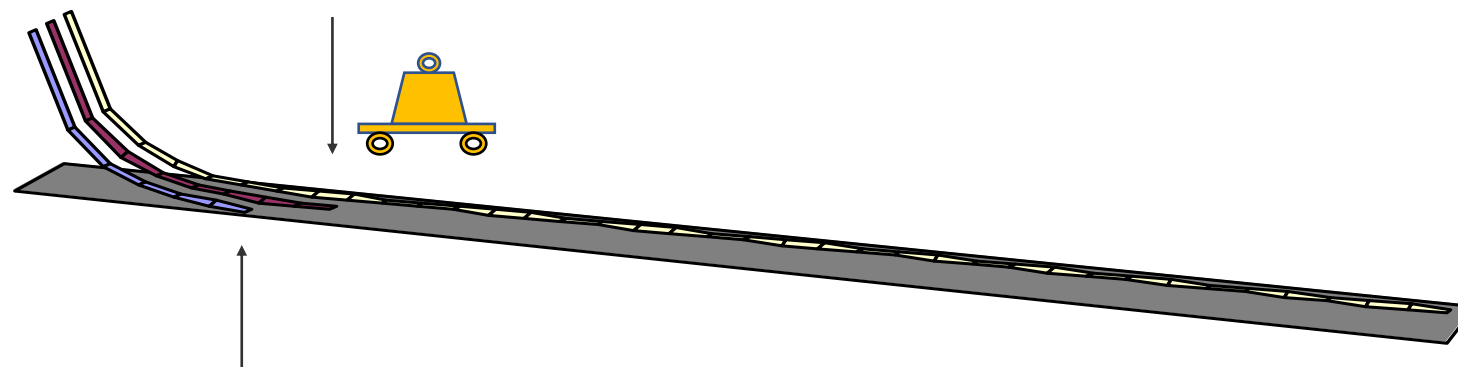
Ferrocarril



Carretera



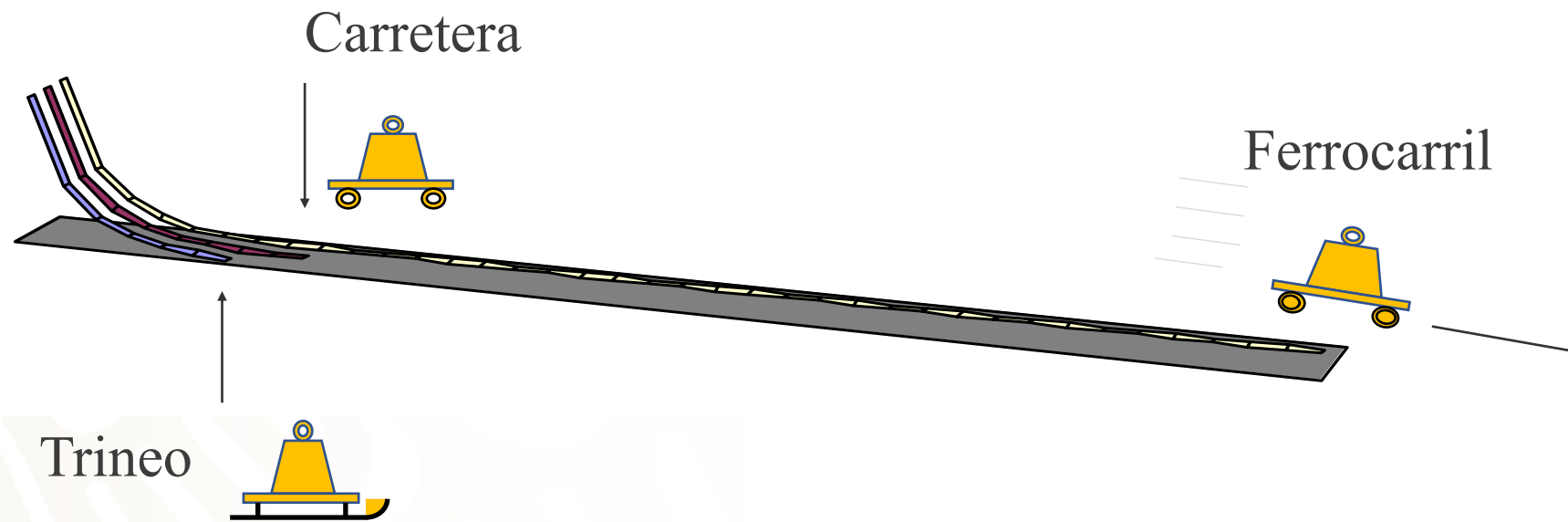
Trineo





PRINCIPIOS BÁSICOS DEL FERROCARRIL

Comparación de la facilidad de rodadura





PRINCIPIOS BÁSICOS DEL FERROCARRIL

Ventajas e inconvenientes

Ventajas:

Gran Capacidad de transporte

Utilización de energía (poca, procedencia)

Respeto por el medio ambiente

Facilidad de automatización. Seguridad

Inconvenientes:

Limitaciones de trazado: rampas

Tracción y frenado: capacidad y distancias

Un grado de libertad: pocas alternativas





PRINCIPIOS BÁSICOS DEL FERROCARRIL

Ventajas e inconvenientes

Capacidad

medio ambiente

Seguridad





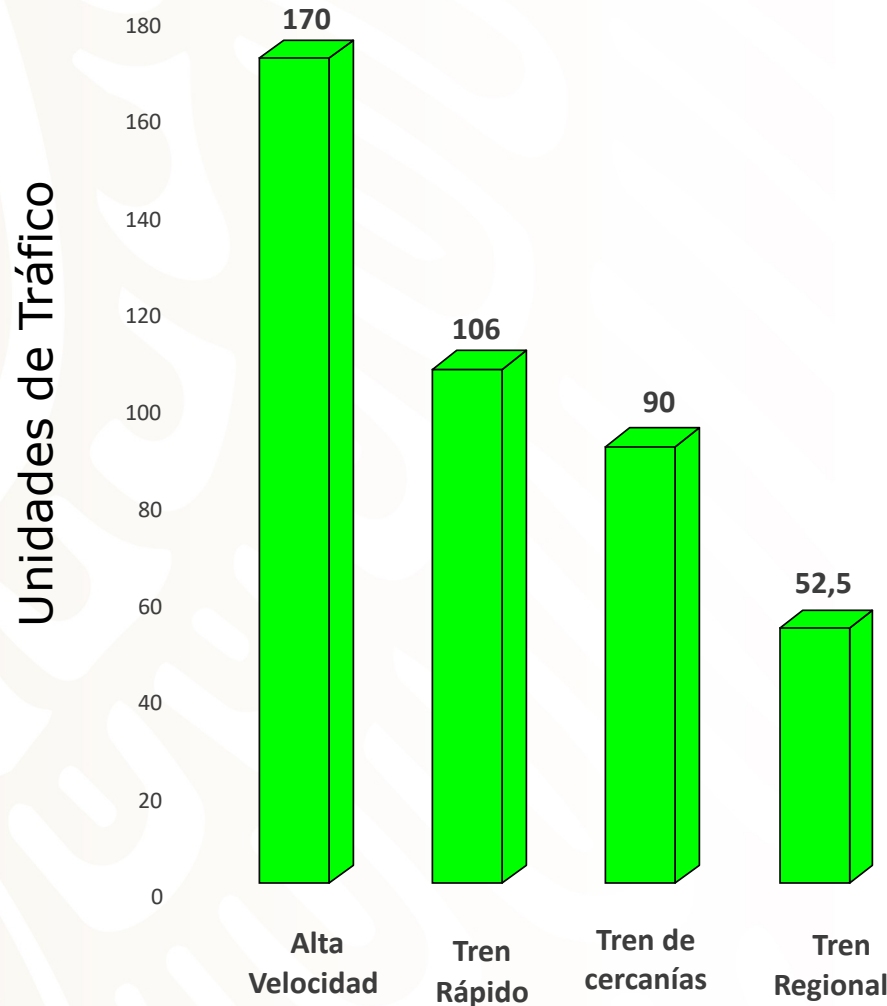
PRINCIPIOS BÁSICOS DEL FERROCARRIL

FERROCARRIL = CAPACIDAD + SOSTENIBILIDAD



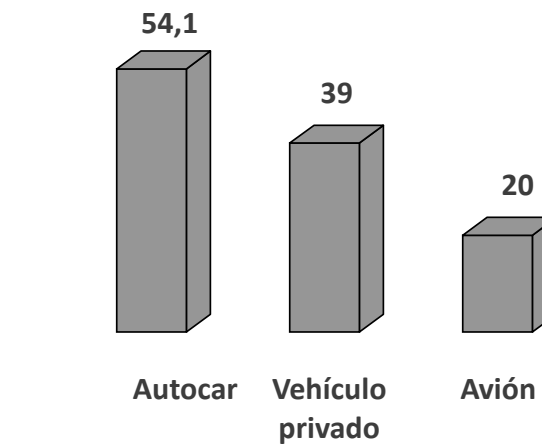


EFICIENCIA ENERGÉTICA



← Ferrocarril

Unidades de tráfico transportadas por unidad de energía
 Fuente: SNCF, ADEME, 1997
 1 kwh = 0,086 Kep




Otros modos →





GASES DE EFECTO INVERNADERO

Emissiones específicas de CO2 por modo de transporte:

	Viajeros g de CO2 / viajero km	Mercancías g de CO2 / tonelada km
 Aviación	244	140
 Carretera	102	51
 Ferrocarril	28	16

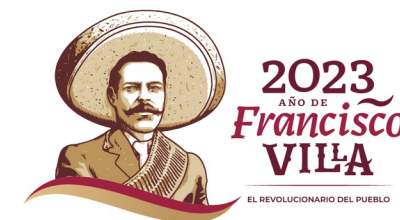
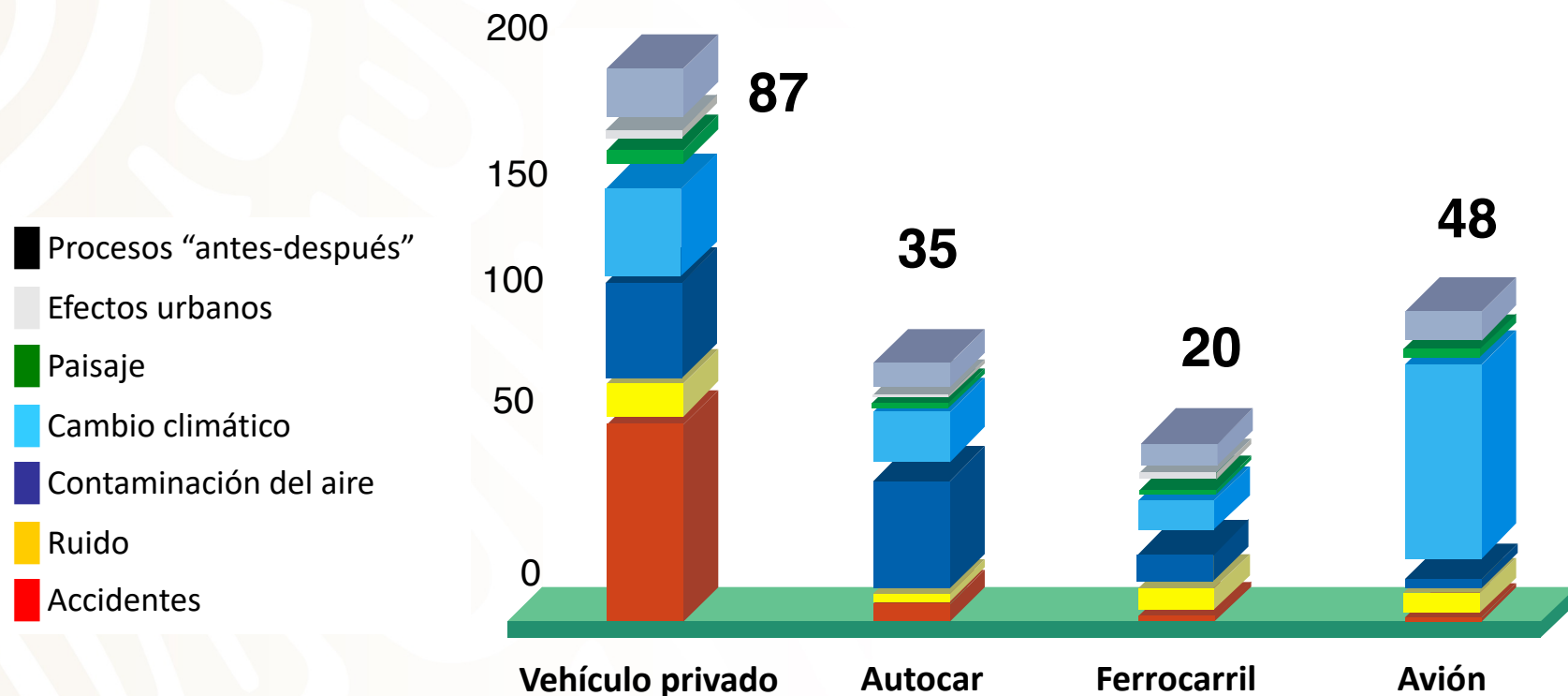




COSTES EXTERNOS

Coste externo = Parte del precio del billete pagado por al Sociedad

Orden de magnitud de los costes externos en un corredor de media distancia, fuera de horas punta y sin considerar congestión (€ por 1000 viajeros * km)





DOMINIOS DE PERTINENCIA

Al ferrocarril le son especialmente idóneas:

Las grandes masas de viajeros (urbanos, suburbanos)

Las grandes masas de mercancías

Las grandes distancias

Las grandes velocidades

...

Allá donde se necesite capacidad y sostenibilidad





NO CONVENCIONALES

Vehículos de sustentación neumática o magnética:

Monorraíl, trenes de levitación magnética, colchón de aire, etc.

No pueden competir en capacidad, flexibilidad de operación...

Ventajas:

- Escasa ocupación de suelo
- Imagen futurista

Inconvenientes:

- Consumo de energía (¿?)
- Desvíos (centímetros-kg frente a metros-toneladas)
- Flexibilidad operativa
- Incompatibilidad con las líneas de FC clásico (efecto red)



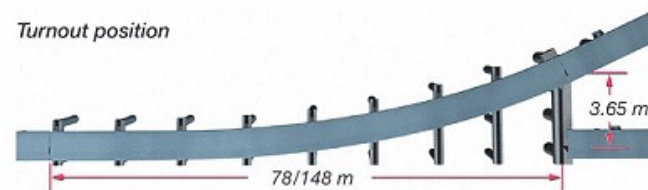
NO CONVENCIONALES



Straight position



Turnout position





NO CONVENCIONALES VS FERROCARRIL



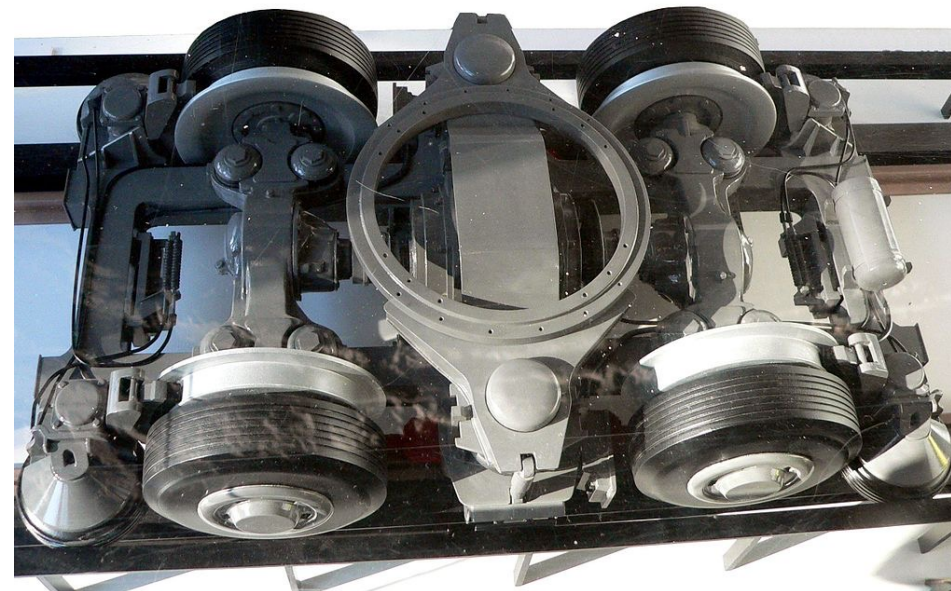


FERROCARRILES “ESPECIALES”

No pueden competir con el ferrocarril clásico en términos de capacidad y flexibilidad de operaciones

Caso particular de los metros sobre neumáticos

París





FERROCARRILES “ESPECIALES”

Trenes sobre neumáticos

Ruidos exteriores

Rampas

Aceleraciones y frenadas

Con o sin raíles metálicos



Santiago de Chile



Lille



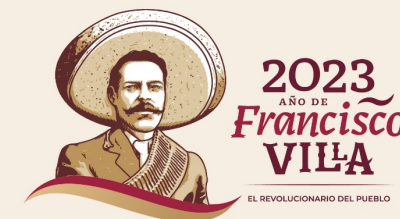
Sapporo





El ferrocarril en el mundo

Generalidades sobre el ferrocarril





El ferrocarril en el mundo

	Longitud de líneas (km)	Viajeros km (Millones)	Toneladas km (Millones)
Europa	328.575	650.000	2.800.000
Asia	407.863	1.750.000	3.000.000
Africa	89.015	65.000	130.000
América	488.220	30.000	3.300.000
Australia	38.068	12.000	110.000
TOTAL MUNDO	1.351.741	2.507.000	9.340.000

En 2014: 1.132.000 3.346.000 9.700.000

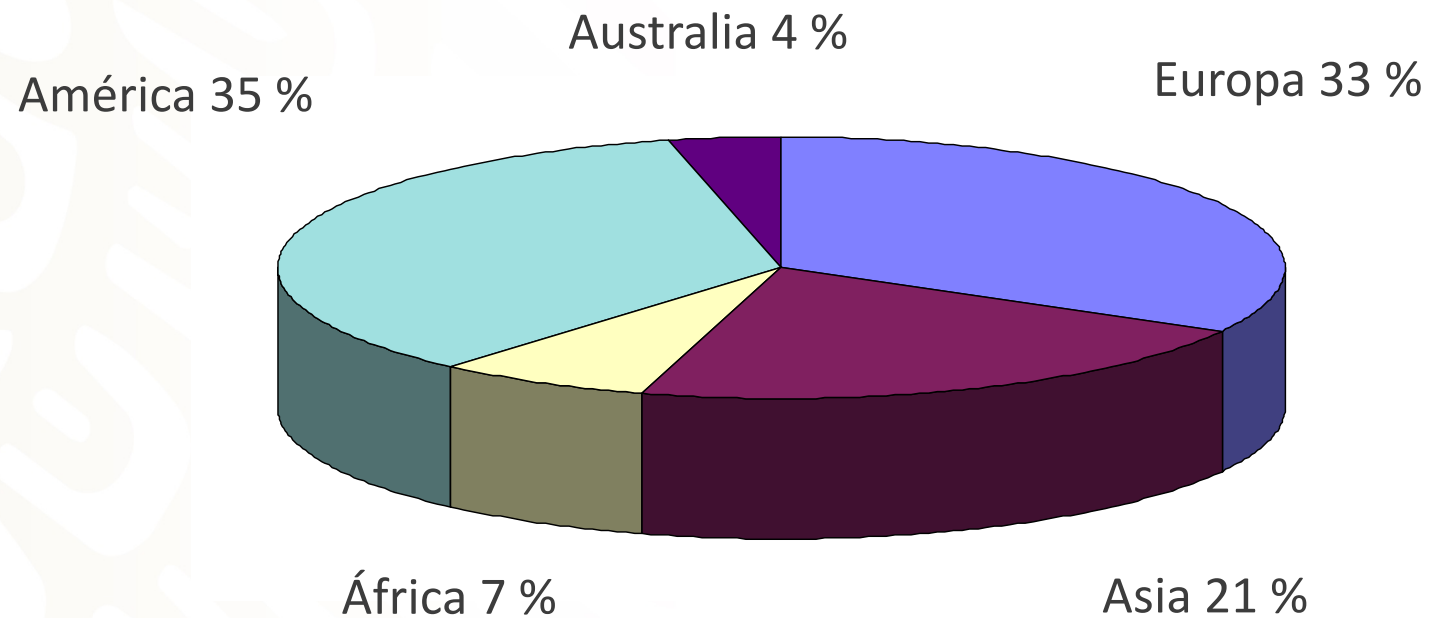
Datos de 2019

Fuente: Elaboración propia, a partir de datos de UIC, CIA, World Bank...



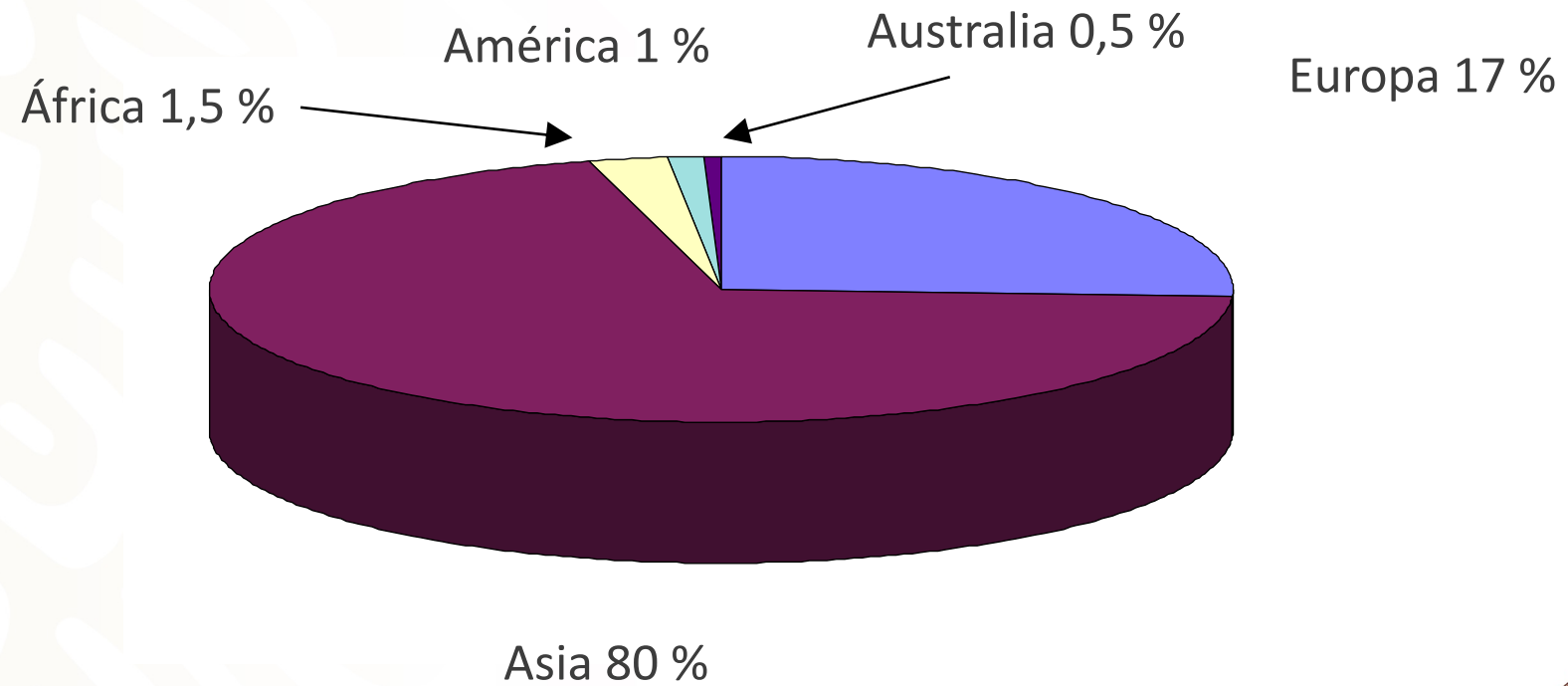


El ferrocarril en el mundo – Longitud de líneas



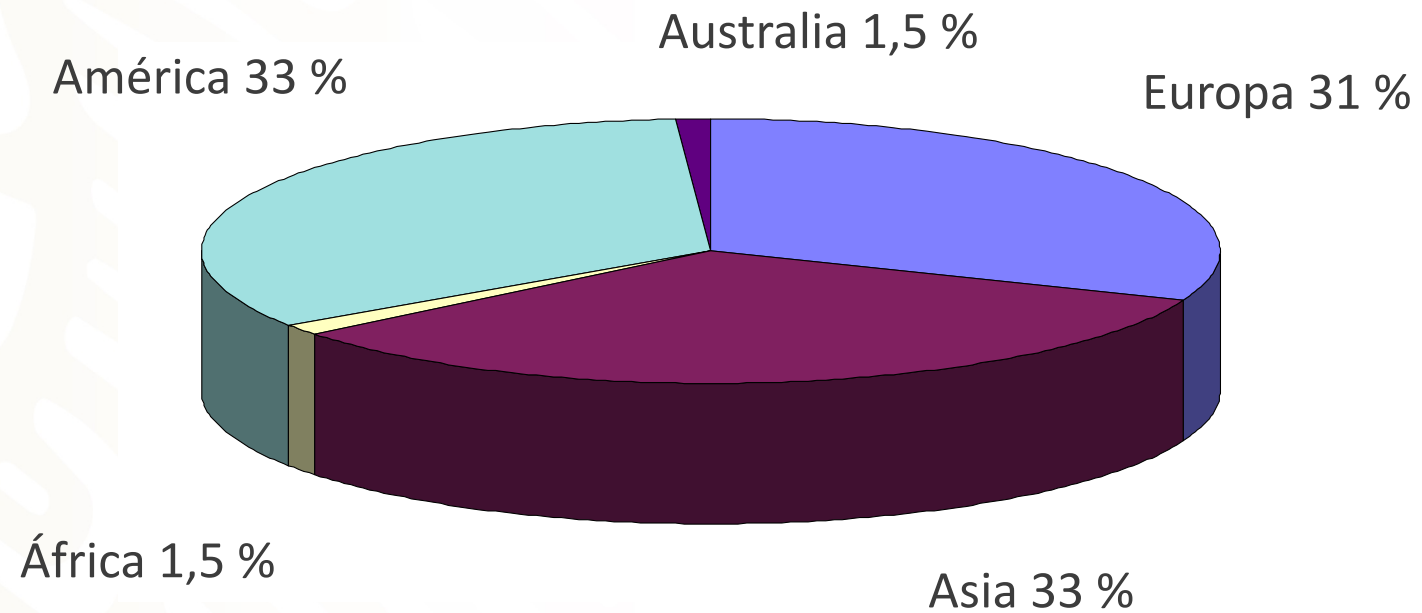


El ferrocarril en el mundo – Tráfico de viajeros



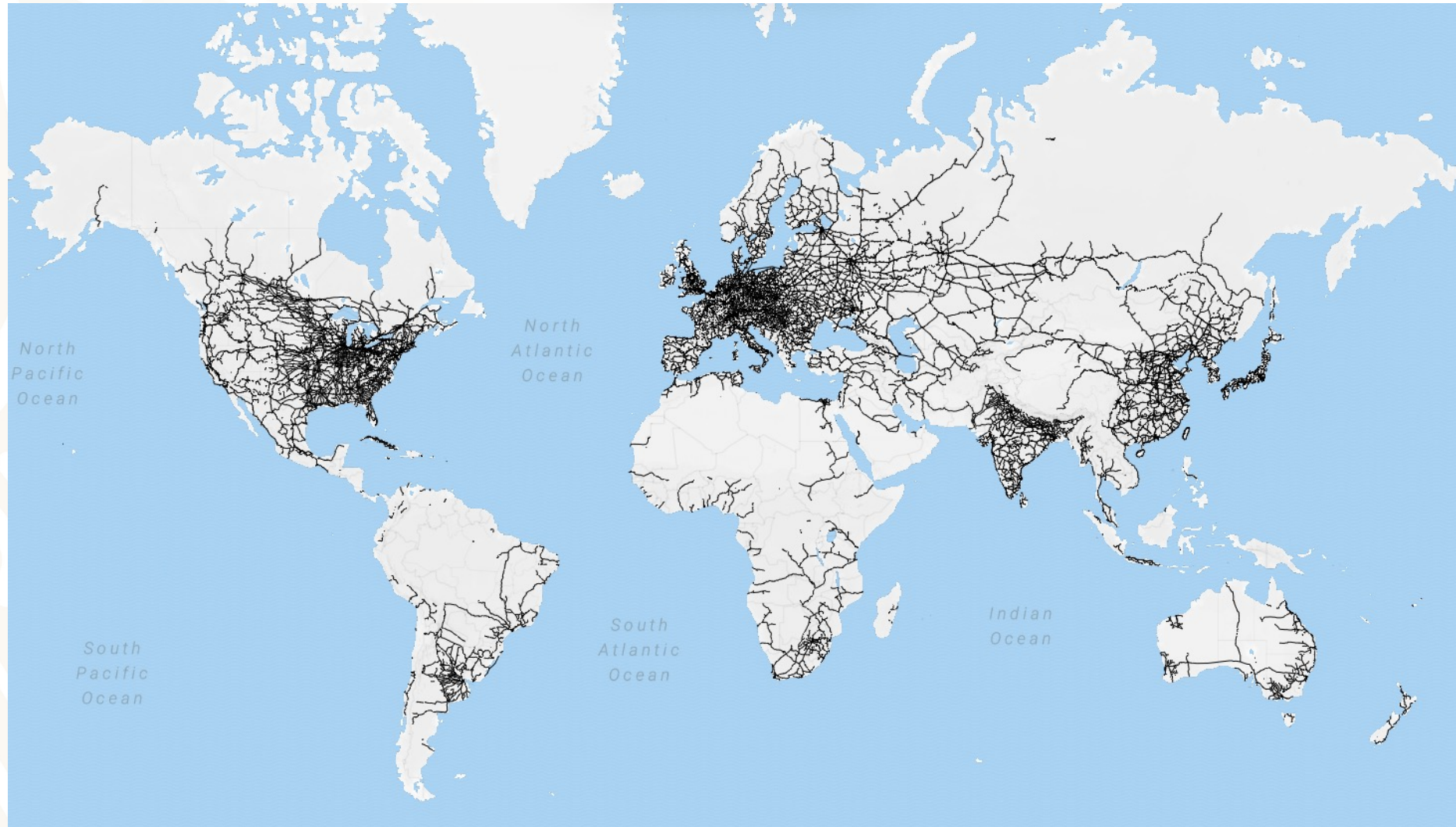


El ferrocarril en el mundo – Tráfico de mercancías



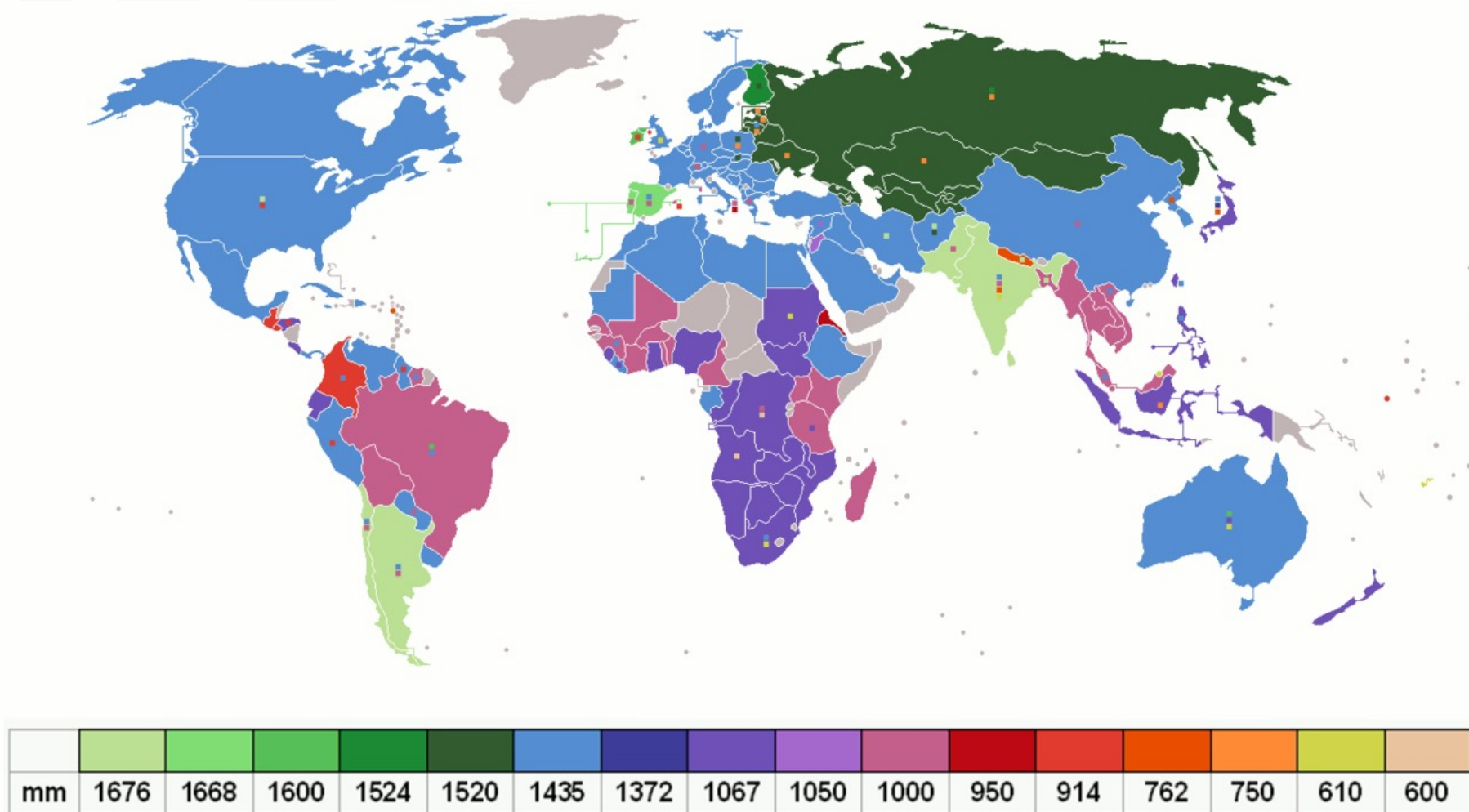


El ferrocarril en el mundo





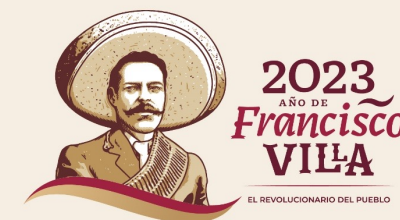
Redes ferroviarias mundiales





Tipología del transporte ferroviario de pasajeros

Generalidades sobre el ferrocarril





¿CÓMO OFRECER CAPACIDAD?





¿CÓMO OFRECER CAPACIDAD?



Los Ángeles





¿CÓMO OFRECER CAPACIDAD?



Los Ángeles





¿CÓMO OFRECER CAPACIDAD?





¿CÓMO OFRECER CAPACIDAD?





¿CÓMO OFRECER CAPACIDAD?



Japón



Noruega



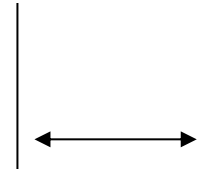
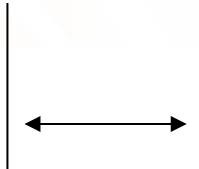


COMBINACIÓN DE CAPACIDADES





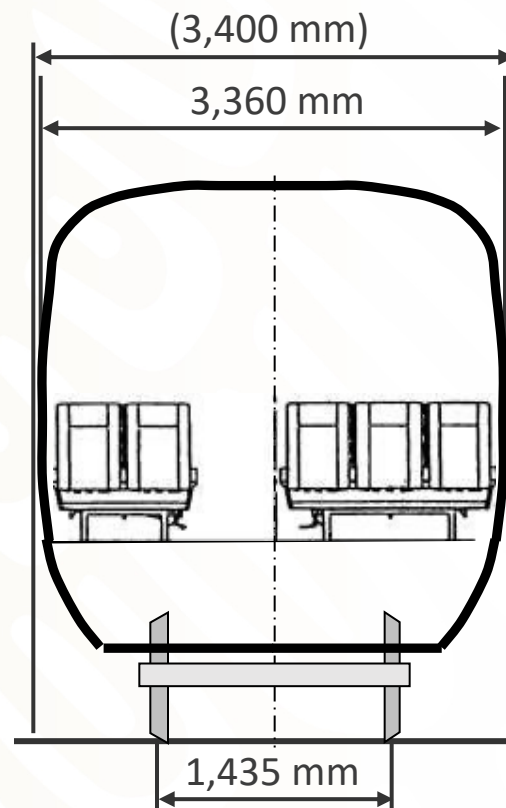
Capacidad



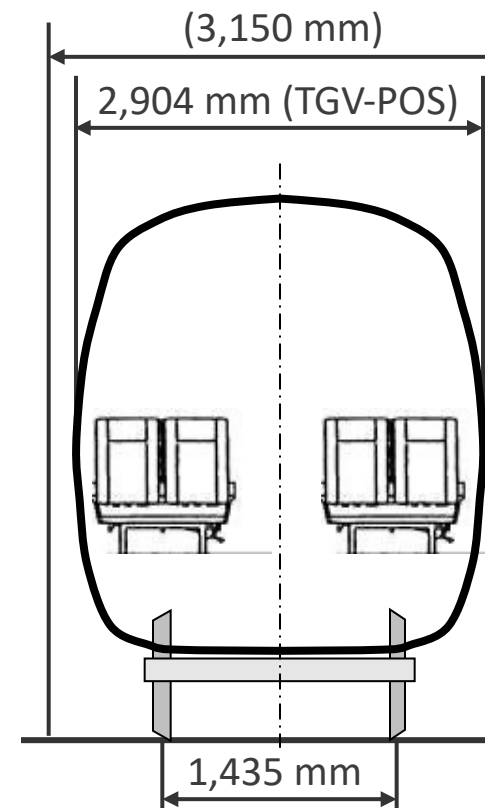


Capacidad

Gálibo Shinkansen



Gálibo europeo





Capacidad...?

El ferrocarril es el único modo de transporte cuyo tamaño no ha aumentado en los últimos 50 años





SERVICIOS FERROVIARIOS DE VIAJEROS

- Servicios urbanos, suburbanos y regionales – “Transporte Público”
- Servicios inter ciudades de altas prestaciones – “Intercity”
- El potencial del ferrocarril clásico. Trenes de caja inclinable
- Los servicios ferroviarios de alta y muy alta velocidad





TRANSPORTE PÚBLICO





¿QUÉ ES EL TRANSPORTE PÚBLICO?

- Transporte Público
 - Servicio de transporte de viajeros
 - Disponible para el público en general
 - Sobre la base de rutas y horarios fijos
- Generalmente en áreas urbanas o suburbanas
- En algunos casos también pueden extenderse a servicios Regionales e Interciudades (a veces, difícil de distinguir)





¿QUÉ ES EL TRANSPORTE PÚBLICO?



Londres





¿QUÉ ES EL TRANSPORTE PÚBLICO?

Por oposición a Transporte Público

- Transporte “semi-público”
 - “Nueva movilidad” o “Para-transit”, ajustable a la demanda individual
 - Colectivo de uso privado (bus escolar...)
 - Taxis
 - ...
- Transporte privado
 - Vehículos clásicos
 - Nuevos modos de transporte individual





¿QUÉ ES EL TRANSPORTE PÚBLICO?



Hong Kong



Hong Kong



Los Ángeles





¿QUÉ ES EL TRANSPORTE PÚBLICO?

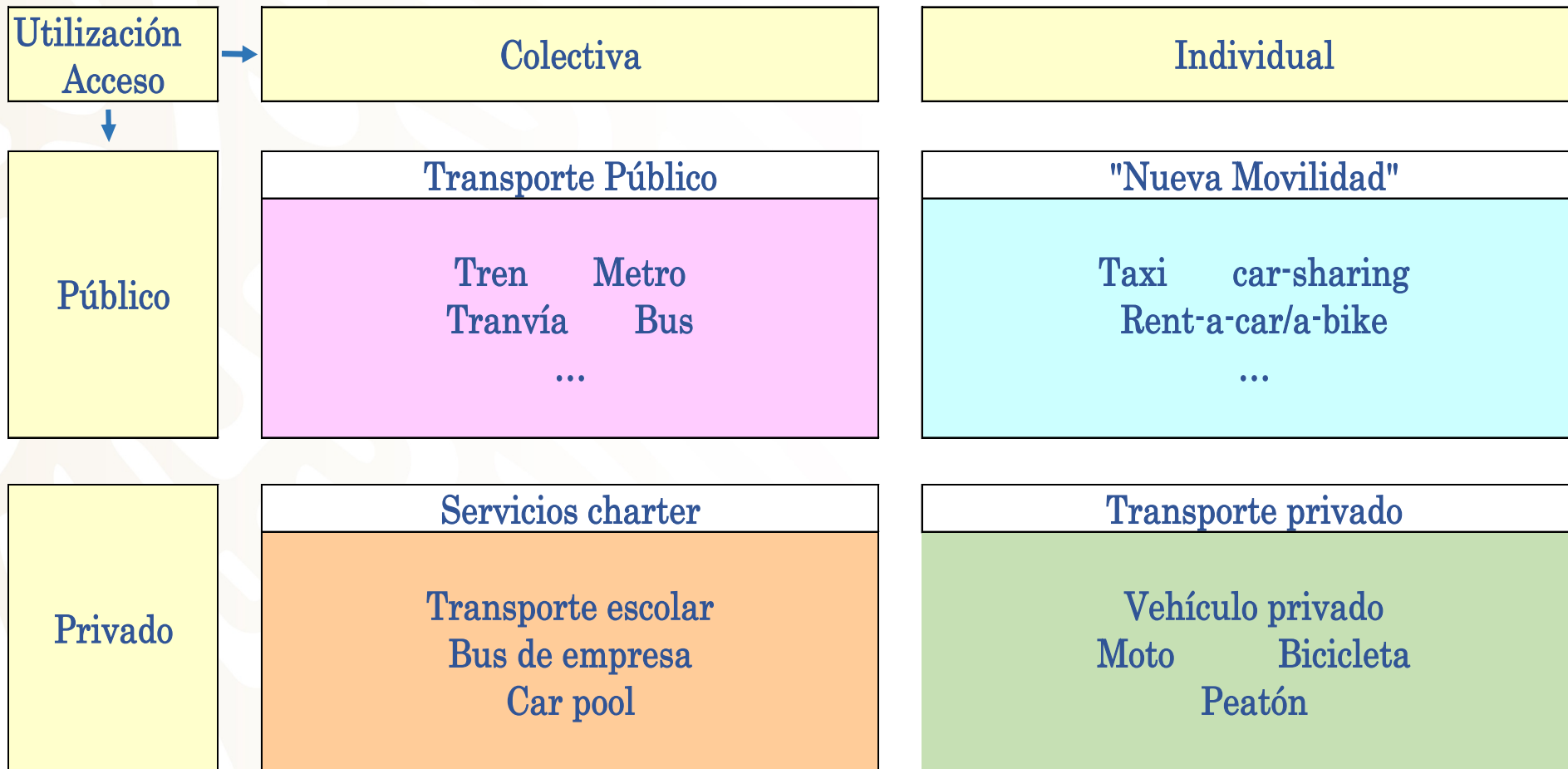
En cualquier caso

- Movilidad combinada (multimodal, público, semi-público, privado)
- Movilidad compartida o vehículos compartidos





¿QUÉ ES EL TRANSPORTE PÚBLICO?





CLASIFICACIÓN DEL TRANSPORTE PÚBLICO

Según la infraestructura

- Tráfico mixto en infraestructura compartida
- Vías reservadas, con intersecciones
- Infraestructura propia e independiente

- Situaciones mixtas (tramos en régimen mixto y tramos en régimen independiente)



CLASIFICACIÓN DEL TRANSPORTE PÚBLICO



Lisboa



Bruselas



Dallas



Hamburgo





CLASIFICACIÓN DEL TRANSPORTE PÚBLICO

Según los vehículos

- Interacción con infraestructura
 - Neumáticos
 - Ruedas metálicas
 - Otros: colchón de aire, magnéticos, cables...
- Sistema de guiado automático o dirigido
- Energía embarcada o externa
- Energía eléctrica o no eléctrica
- Regulación de la marcha y control de tráfico
- Interfaz humana: con conductor, sin conductor, sin personal



CLASIFICACIÓN DEL TRANSPORTE PÚBLICO



San Francisco



Dusseldorf



Dresde



Medellín





CLASIFICACIÓN DEL TRANSPORTE PÚBLICO

• Tipología no ferroviario

- Bus
- BRT
- Trolebús
- Bus guiado
- ...



Dresde



Credit: BVGNils Kremmin



Bilbao



Estambul



Salzburgo



Adelaida





CLASIFICACIÓN DEL TRANSPORTE PÚBLICO

- ARRT – Autonomous Rail Rapid Transit





transporte público FERROVIARIO

Tipología

- Tranvía
- LRT
- Metro
- FC suburbano
- ...



Dresde



Salt-Lake City



Hamburgo



Madrid



CERCANÍAS (OSP)



COMUNICACIONES
SECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA, COMUNICACIONES Y TRANSPORTES



Ignacio BARRON
InnovativeBusiness



REGIONALES (OSP)



COMUNICACIONES
SECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA, COMUNICACIONES Y TRANSPORTES



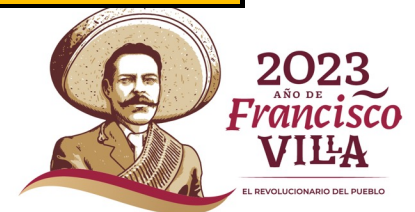
Ignacio BARRON
InnovativeBusiness





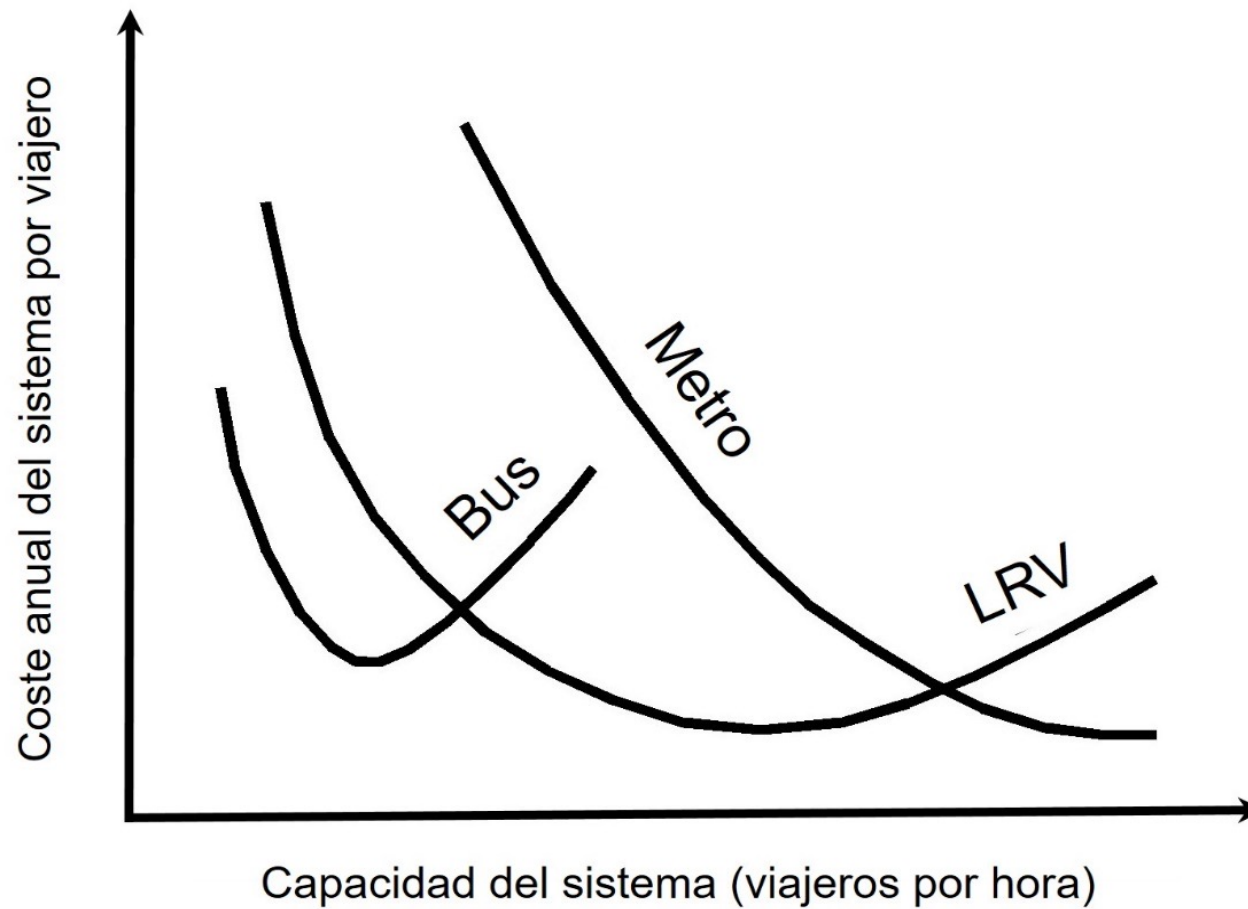
COMPARACIÓN DE PARÁMETROS

Sistema	Capacidad	Velocidad
	Viajeros/hora/dirección	kph
Metro	20 000 - 60 000	25 - 40
Metro ligero	7 000 - 40 000	25 - 40
Tranvía	5 000 - 12000	15 - 25
Autobús en vía exclusiva	2 000 - 10 000	20 - 25
Autobús en tráfico mixto	1 000 - 5 000	10 - 20





COMPARACIÓN DE COSTOS





SERVICIOS INTERCITY



INTERCITY



COMUNICACIONES
SECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA, COMUNICACIONES Y TRANSPORTES



IgnacioBARRON
InnovativeBusiness



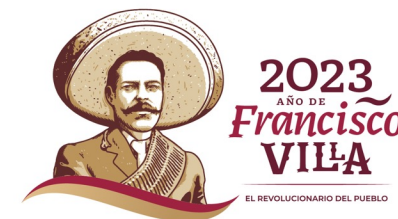
2023
AÑO DE
Francisco
VILLA
EL REVOLUCIONARIO DEL PUEBLO



INTERCITY

El coste de la alta velocidad puede sugerir utilizar líneas existentes, en general mejorando las características principales

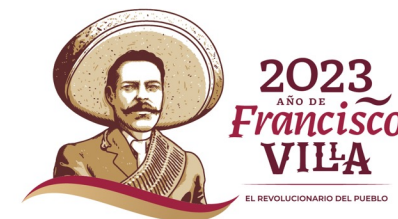
- Sobre líneas convencionales
- Sobre la base de frecuencias
- Solución que puede ser alternativa, provisional o no, a la construcción de una nueva línea de alta velocidad
- Se debe permitir la compatibilidad con otros servicios de mercancías (por capacidad, aerodinámica...)
- ¡¡Cuidado con los tiempos de mejora de la infraestructura!!





¿POR QUÉ SE LIMITA LA VELOCIDAD?

- Razones técnicas: calidad de la vía, potencia de tracción, efectos dinámicos, CAPACIDAD
- Trazado en perfil (rampas)
- Trazado en planta: límites de velocidad en curvas:
 - Confort de los viajeros
 - Estabilidad lateral de la vía (ripado)
 - Descarrilamiento
 - Vuelco
- Medio ambiente: ruido, vibraciones, emisiones
- Seguridad: distancias de frenado, otros,...
- Economía: consumo de energía, costes de mantenimiento,...





Algunos límites (orden de magnitud)

- Sin aviso de señalización en cabina: 120 – 140 km/h (75 – 90 mph)
- Personas en andenes: 160 km/h (100 mph)
- Líneas con pasos a nivel: 160 km/h (100 mph)
- En cualquier caso,
líneas convencionales,
trenes convencionales,
señalización convencional: 200 – 220 km/h (125 – 140 mph)





¿VELOCIDAD O TIEMPOS DE VIAJE?





TIEMPOS TOTALES DE VIAJE

- Velocidades y aceleraciones
- Paradas comerciales
- Frecuencias
- Estaciones
- Intermodalidad
- Accesibilidad
- ...





SERVICIOS INTERCITY EN ESPAÑA





SERVICIOS INTERCITY EN ESPAÑA





SERVICIOS INTERCITY EN ESPAÑA





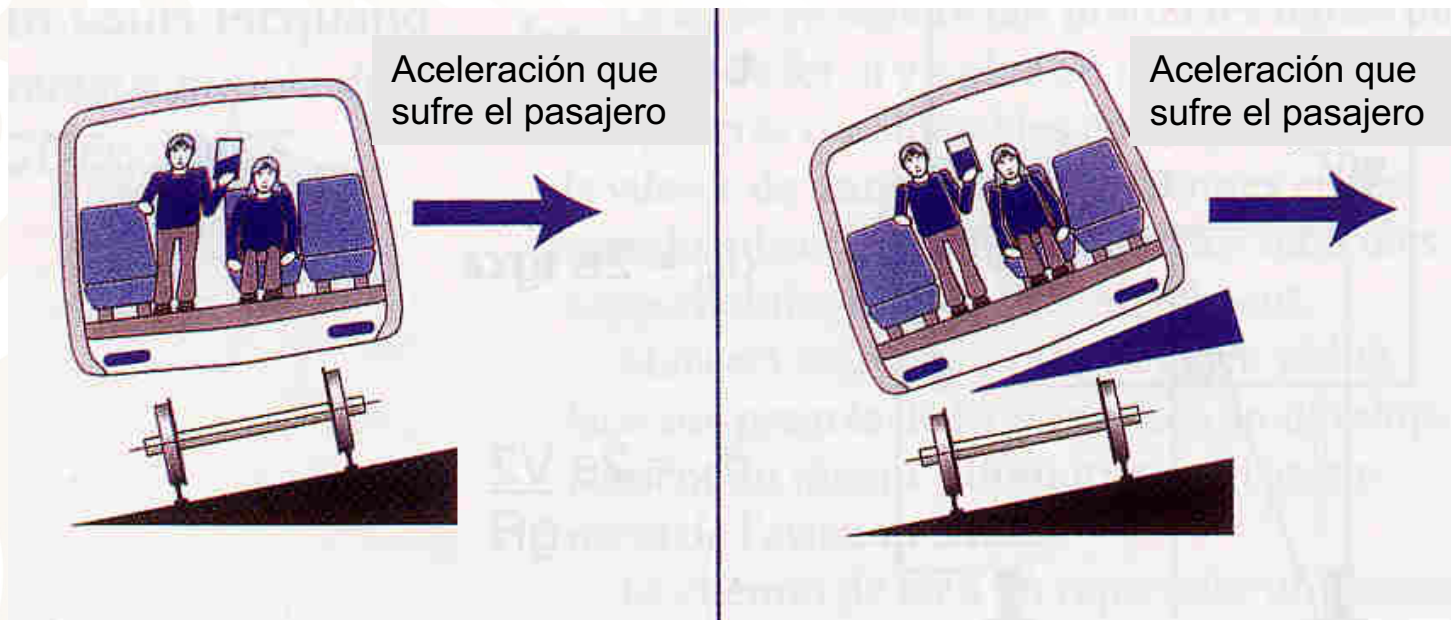
TRENES DE CAJA INCLINABLE

- El primer límite de velocidad en curva en un tren de pasajeros es el confort (aceleración lateral)
- Inclinando la caja del vehículo se puede lograr un “peralte extra”
- En realidad, no se aumenta la velocidad, sino que no se reduce
- La infraestructura debe estar en muy buen estado





TRENES DE CAJA INCLINABLE





TRENES DE CAJA INCLINABLE





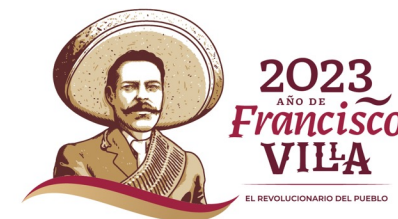
ALTA VELOCIDAD





ALTA VELOCIDAD

- Es la “barrera del sonido el ferrocarril”
- Significa operar a más de 250 km/h (155 mph)
- Requiere nuevas infraestructuras, trenes especiales, señalización especial...
- Consideración y optimización de todos los elementos del sistema ferroviario
- Requiere un compromiso importante de los poderes públicos... durante muchos años





ALTA VELOCIDAD





ALTA VELOCIDAD





ALTA VELOCIDAD REGIONAL



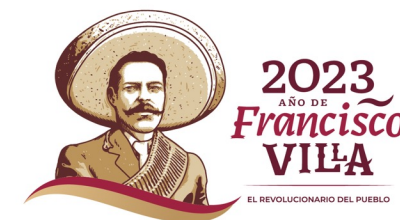


ALTA VELOCIDAD DEL FUTURO





ALTA VELOCIDAD DEL FUTURO





¿ALGUNA PREGUNTA O COMENTARIO?

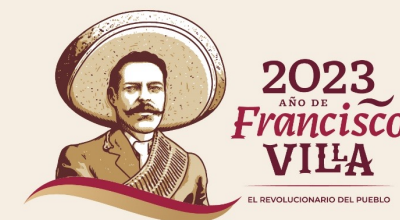
DESCANSO





El concepto de sistema

Generalidades sobre el ferrocarril





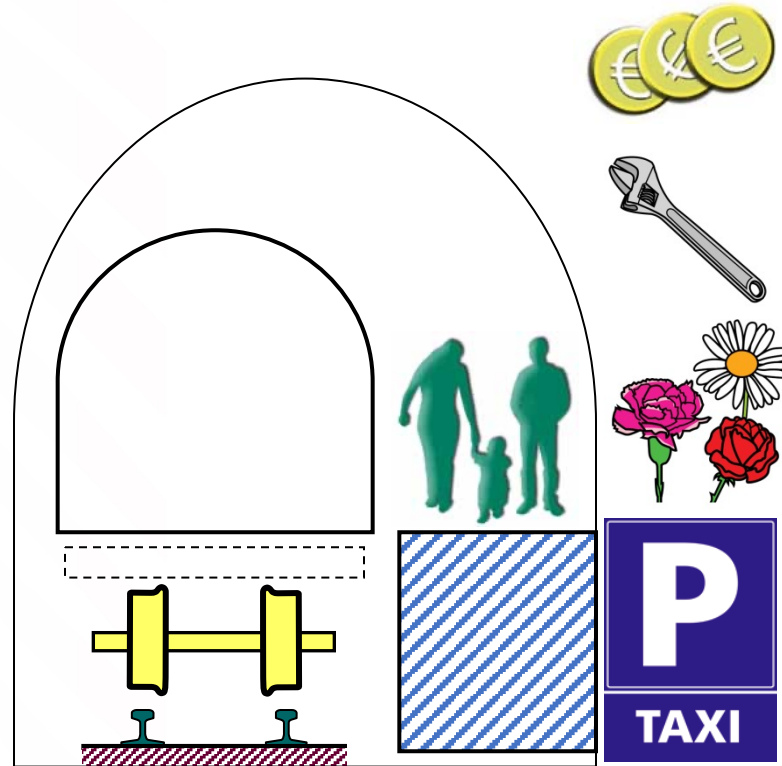
EL FERROCARRIL ES UN SISTEMA COMPLEJO

- El ferrocarril es un sistema complejo, formado por muchos elementos y muy diversos. Sin intención de ser exhaustivos: vías, trenes, estaciones, talleres, puestos de control, sistemas informáticos, estrategia comercial, formación y recursos humanos, sistema financiero, sistema legislativo...
- Los ciclos de vida de los elementos que componen el ferrocarril son muy largos y diferentes para cada elemento
- Las decisiones que se toman en materia de ferrocarriles suelen tener implicaciones durante muchos años, aunque la vida útil del elemento en cuestión sea corta
- La construcción de la infraestructura, y la compra de trenes deben ser **consecuencias y no objetivos**





EL FERROCARRIL ES UN SISTEMA COMPLEJO





EL FERROCARRIL NO ES UN SISTEMA ÚNICO

Un ferrocarril se puede diseñar con...

- **Diferentes conceptos comerciales:** objetivos, servicios a clientes, marketing...
- **Diferentes modelos de explotación:** velocidades máximas y mínimas, paradas...
- **Diferentes tecnologías:** combinar, integrar, hacerlas coherentes

Según se combinen todos los elementos que constituyen un sistema ferroviario, se obtendrán diferentes capacidades, prestaciones, costes...





EL FERROCARRIL NO ES UN SISTEMA ÚNICO

Los parámetros principales que definen a un sistema ferroviario de viajeros son:

- Capacidad (de los trenes, de las líneas, de la explotación)
- Velocidad comercial y tiempos (totales) de viaje
- Frecuencia y fiabilidad
- Accesibilidad y confort, “experiencia del cliente”
- Precio y coste
- Seguridad y protección (protección integral)
- "Libertad"
- ...
- Continuidad en el tiempo: (“antes había un servicio que estaba bastante bien, a las 7.30, pero lo quitaron...”)





EL ferrocarril es ALTA CAPACIDAD

En cualquier caso, ferrocarril ofrece y requiere...

- CAPACIDAD
- MULTIMODALIDAD
- ACCESIBILIDAD
- COMPLEMENTARIEDAD
- ...
- SEGURIDAD





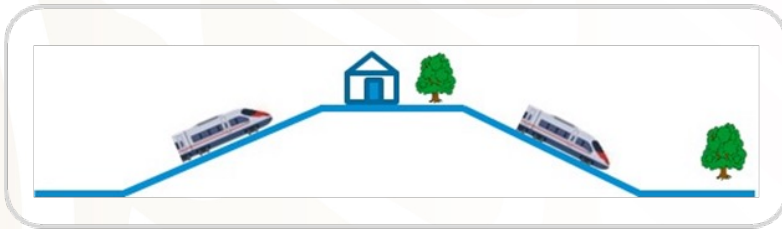
EL ferrocarril es ACCESIBILIDAD



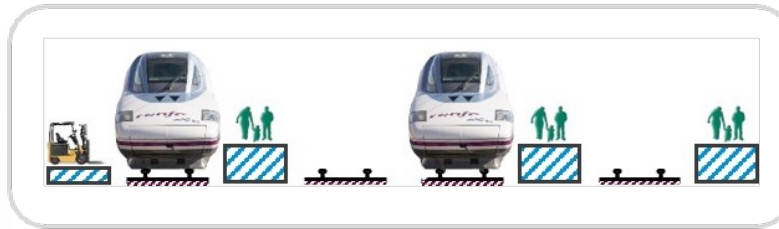


ALGUNOS EJEMPLOS DE INTERACCIONES

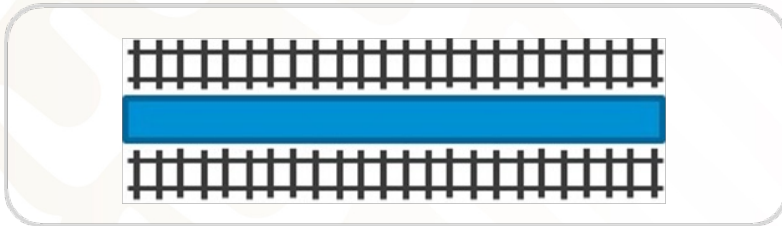
Perfil longitudinal



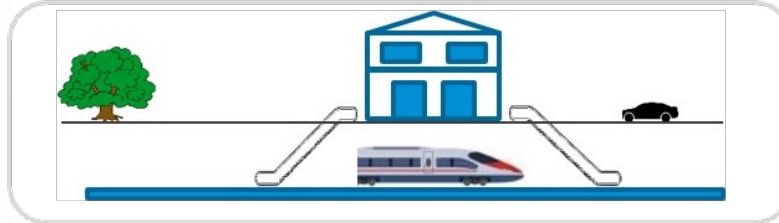
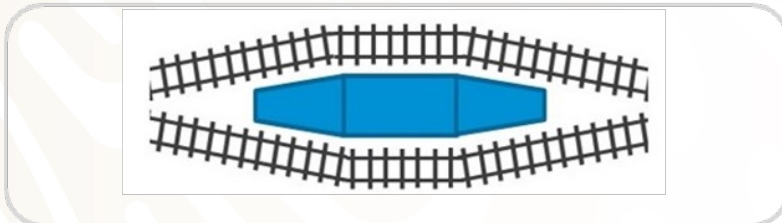
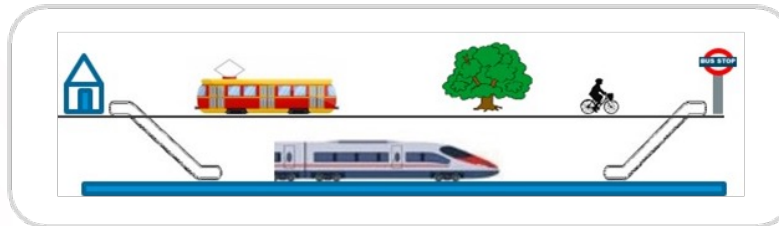
Sección transversal



Diseño en planta



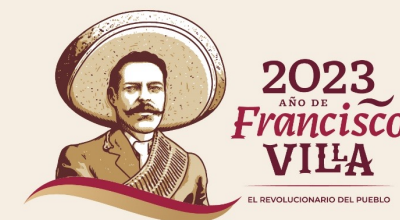
Diseño en alzado longitudinal





Concepto de red

Generalidades sobre el ferrocarril





EL FERROCARRIL DEBE ESTAR INTEGRADO

¿Cómo utilizar el ferrocarril y su capacidad y su sostenibilidad?

En las condiciones que le son adecuadas, el ferrocarril puede ser útil:

- Como solución a problemas de falta de oferta para una demanda de movilidad
- Como herramienta para ordenación del territorio
- **Ventajas:** si el volumen de tráfico lo justifica, sostenibilidad (menos emisiones...)
- **Inconvenientes:** costes fijos, flujos de tráfico mínimos, planificación y decisiones a largo plazo...





EL FERROCARRIL SON DECISIONES

Las decisiones implican muchos elementos y factores

Desde el origen del proyecto, es esencial considerarlos e integrarlos todos al mismo tiempo y definirlos:

- Concepto
- Planificación
- Diseño
- Construcción
- Funcionamiento





EL FERROCARRIL DEBE ESTAR INTEGRADO

En los sistemas ferroviarios hay que tomar decisiones sobre muchos elementos al mismo tiempo:

- Con ciclos de vida muy largos
- Con ciclos de vida muy diferentes
- Con tecnologías que condicionan las decisiones futuras

La construcción de la infraestructura
y la compra de material rodante

son consecuencias, NO deben ser objetivos (finales)





EL FERROCARRIL DEBE ESTAR INTEGRADO

Una línea o una red de ferrocarril debe integrarse en un Sistema de transporte

Decisiones esenciales:

- Planificación de la operación
- Estrategia de las estaciones::
 - Ubicación
 - Accesibilidad
 - Incorporación de flujos
 - Puntos críticos



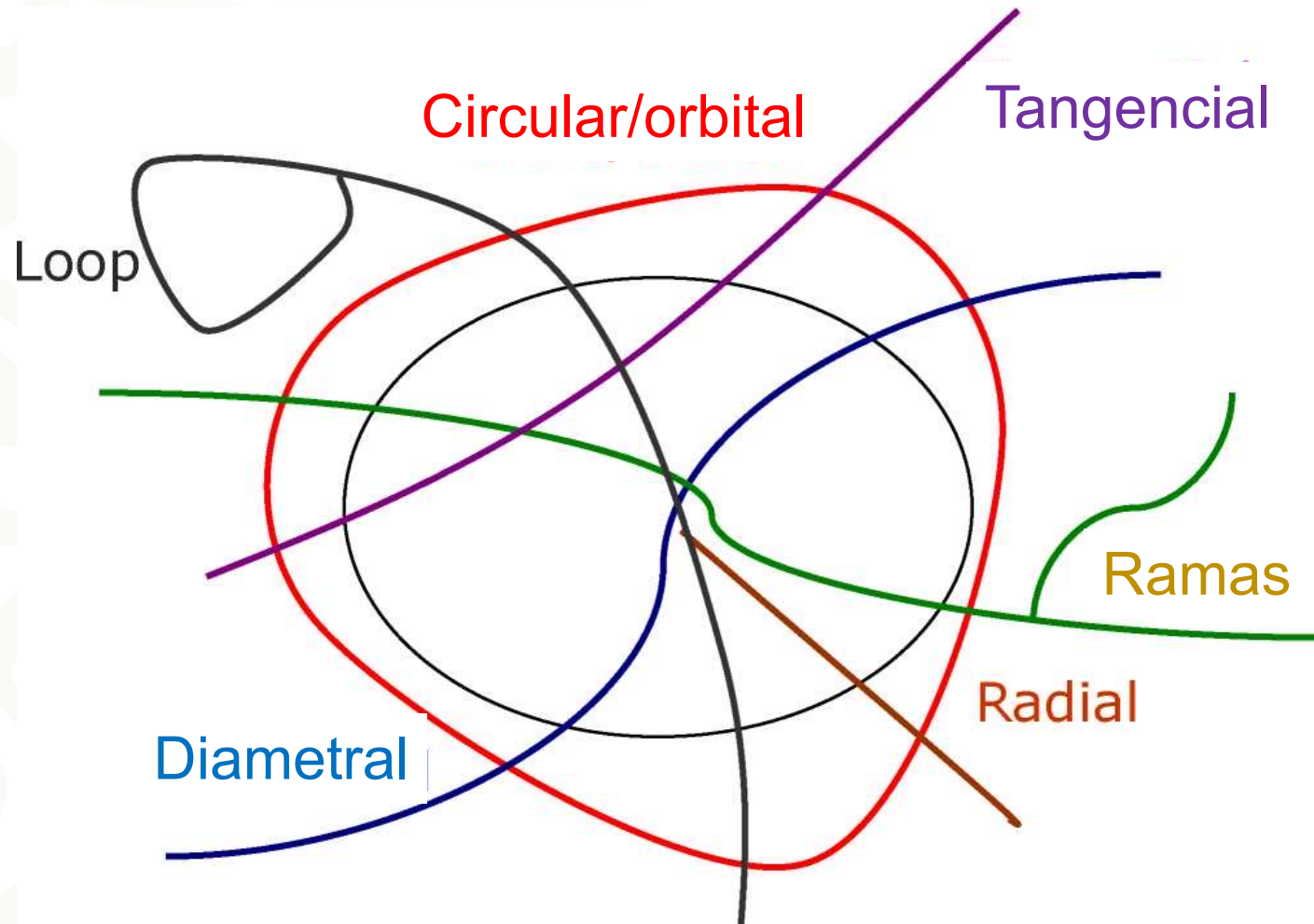


PRINCIPIOS DE LA PLANIFICACION EN RED

- Cobertura de la zona (5 minutos a pie, alimentador, P&R, K&R)
- Rutas troncales con alta frecuencia vs. cobertura de área
- Velocidad operativa (distancia entre estaciones, distancia entre líneas)
- Potenciales de desplazamiento (patrones O-D)
- Desplazamientos directos (en comparación con O-D)
- Conectividad y facilidad de transbordos

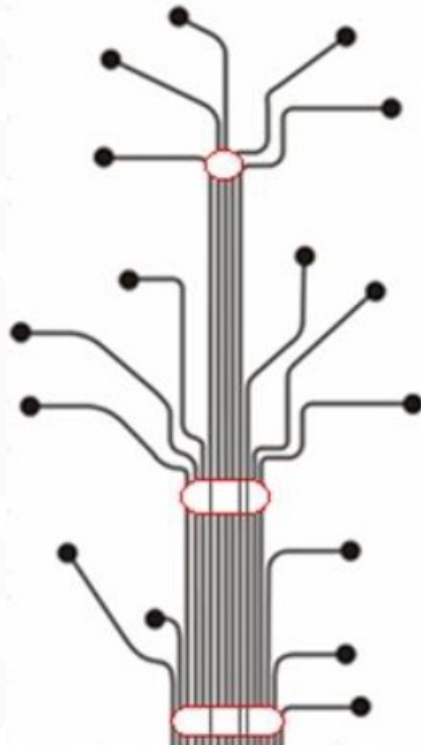


ESQUEMAS DE REDES Y TIPOS DE LÍNEAS

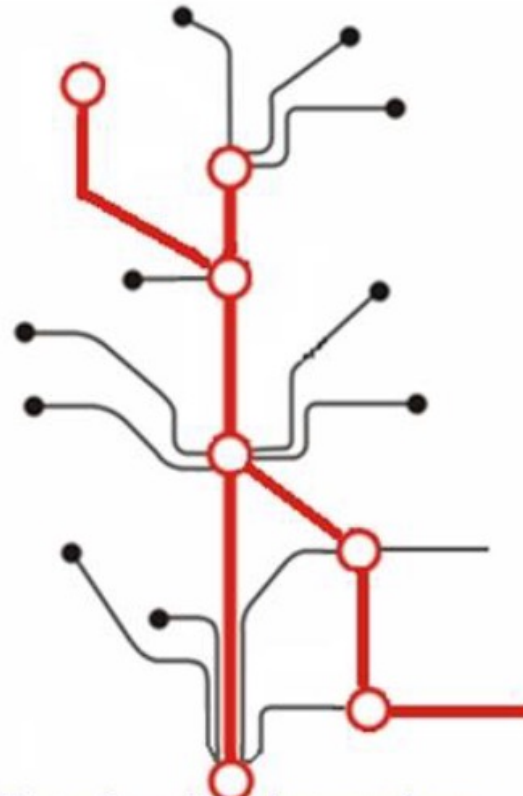




ESQUEMAS DE REDES Y TIPOS DE LÍNEAS



Troncal
con ramas



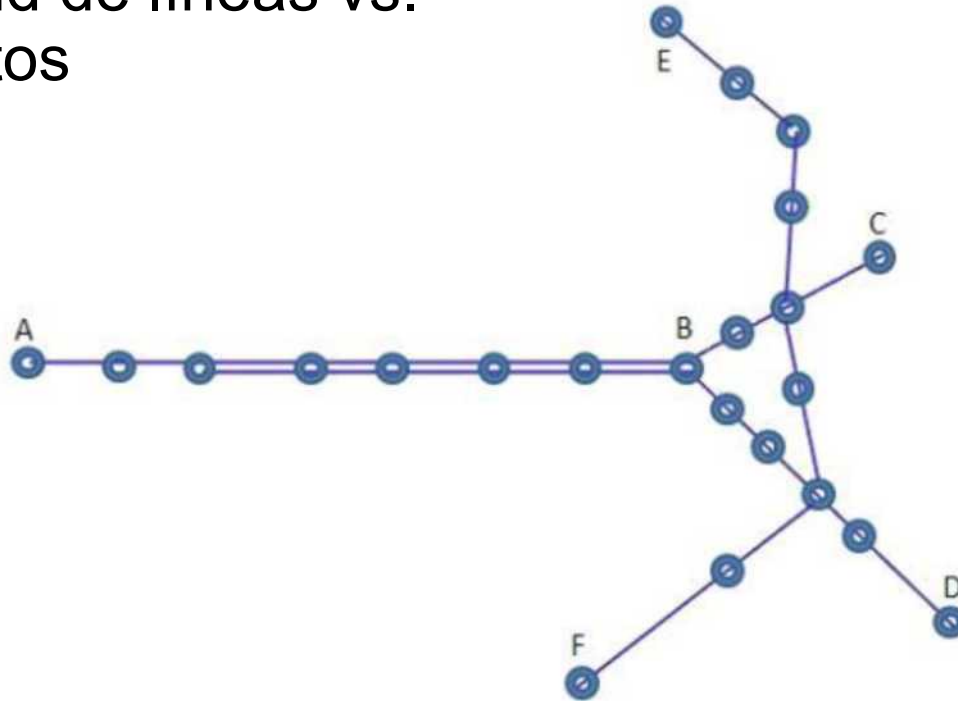
Troncal con ramas
y líneas de aporte





ESQUEMAS DE REDES Y TIPOS DE LÍNEAS

Geometría: longitud de líneas vs.
longitud de trayectos

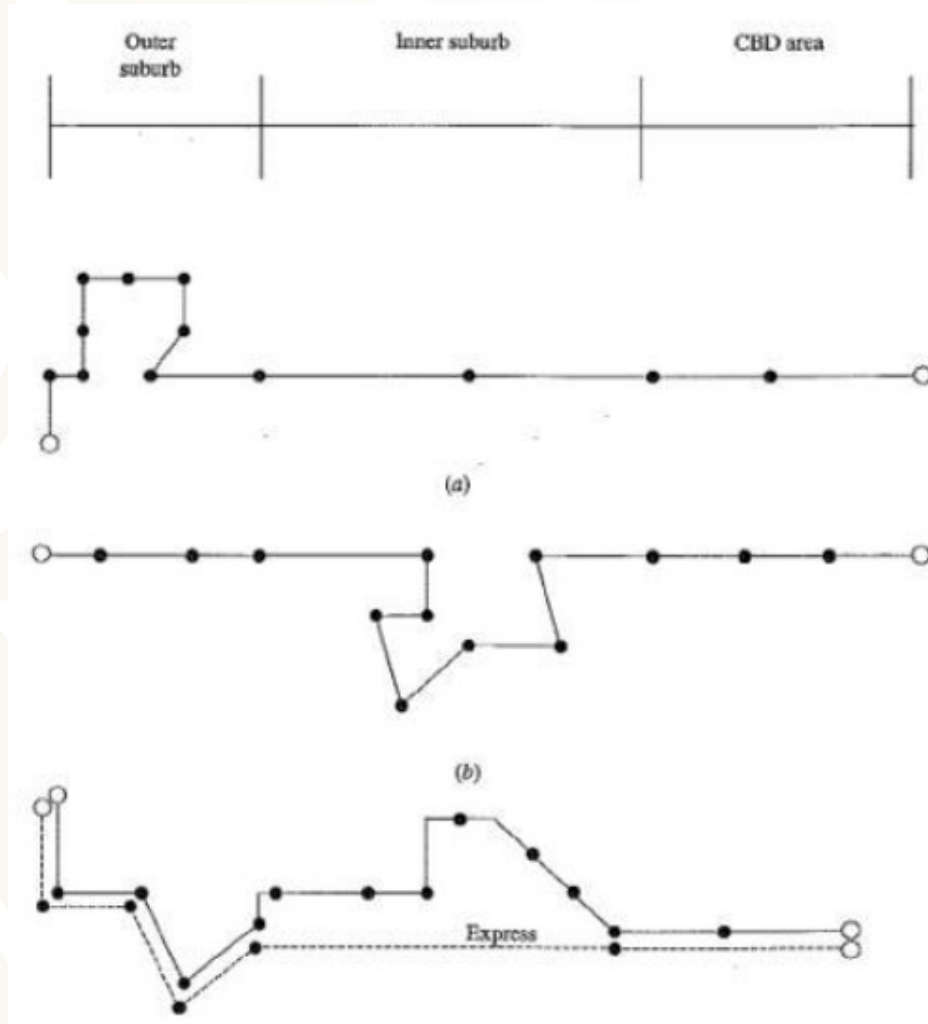


Longitud de línea = [A-C] + [A-D] + [E-F] > Longitud de vía = [A-B] + [B-C] + [B-D] + [E-F]





ESQUEMAS DE REDES Y TIPOS DE LÍNEAS



Espaciado y alineación

Compromiso entre el área cubierta y la calidad del servicio

Alineación directa y distribución en el extremo

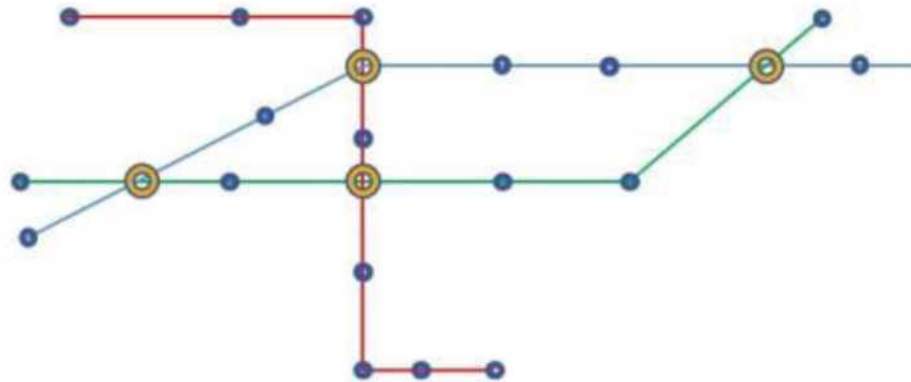
Alineación indirecta en el centro

Enfoque complementario

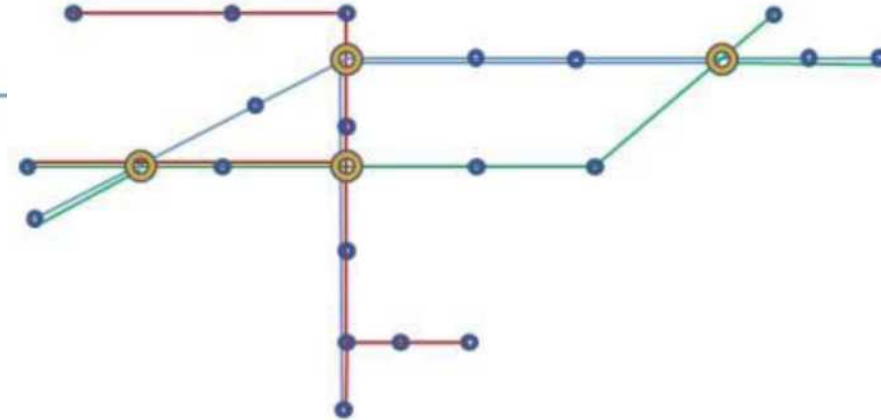




ESQUEMAS DE REDES Y TIPOS DE LÍNEAS



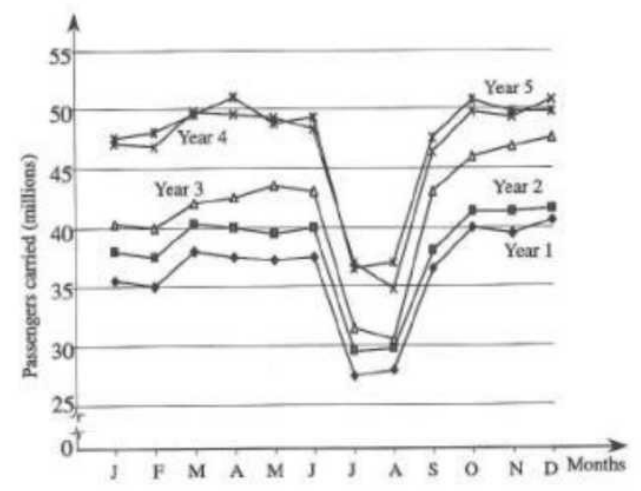
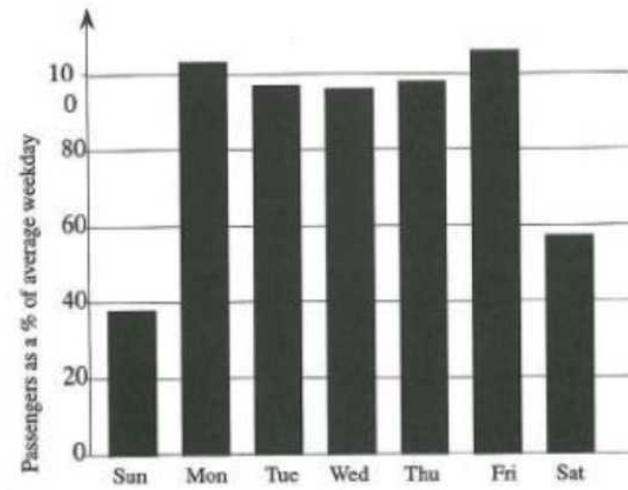
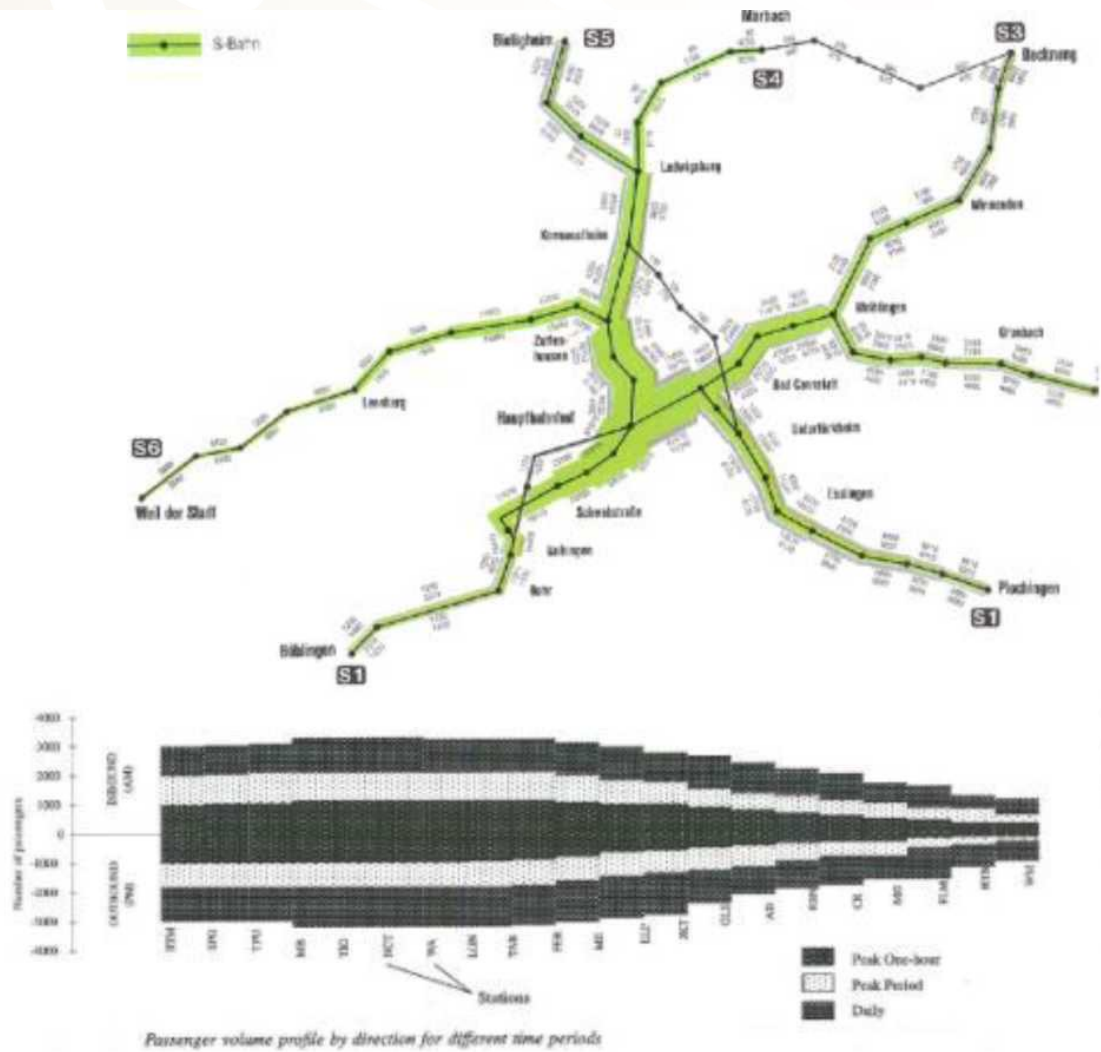
Líneas independientes



Líneas agrupadas o solapadas

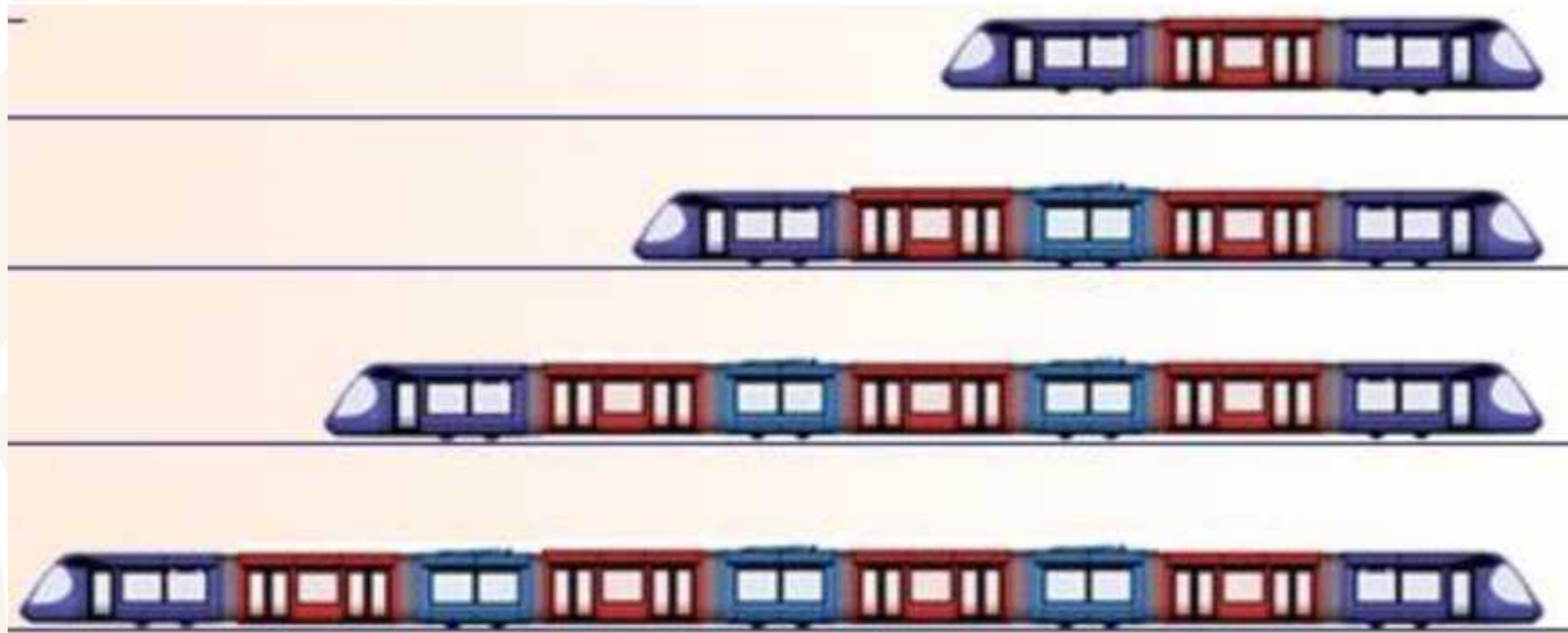


FLUJOS DE TRÁFICO POR RED Y POR LÍNEA





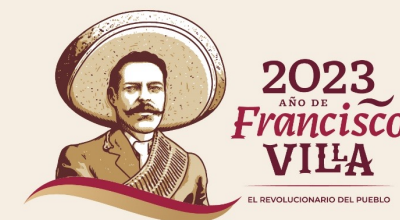
TIPOS DE TRENES: FRECUENCIAS Y VARIACIONES DE TRÁFICO





Prestaciones y conclusiones

Generalidades sobre el ferrocarril





PRESTACIONES DEL SISTEMA

- Ferrocarril significa CAPACIDAD
- Ferrocarril significa MULTIMODALIDAD
- Ferrocarril significa ACCESSIBILIDAD
- Ferrocarril significa COMPLEMENTARIEDAD
- ...





PRESTACIONES PARA LOS CLIENTES

- Velocidad comercial
- Frecuencia
- Accesibilidad
- Confort
- “Libertad”
- Tiempo total de viaje
- Fiabilidad
- Precio
- Seguridad
- ...





Prestaciones PARA LA SOCIEDAD

- Alta Capacidad de transporte ofrecida
 - Aumenta la movilidad y ayuda al desarrollo económico y a reducir la congestión
 - Estructura el territorio y puede ayudar a distribuir la población
- Respeto por el medio ambiente:
 - Eficacia de uso del suelo
 - Eficacia energética
- Seguridad
- Sostenibilidad





SISTEMAS Y SUBSISTEMAS A CONSIDERAR

Infraestructura

- Subestructura
- Superestructura y acometidas
- Señalización
- Elementos complementarios

Material rodante

- Material motor
- Material remolcado
- Material autopropulsado

Estaciones

Instalaciones técnicas

- Puestos de control
- Talleres de mantenimiento de material
- Cocheras
- Bases de mantenimiento de infraestructura

Recursos humanos

Elementos inmateriales

Reglamentos y procedimientos

...





ELEMENTOS ESENCIALES PARA CREAR UN SISTEMA FERROVIARIO DE PASAJEROS

- Planificación estratégica de un sistema
- Consenso para el muy largo plazo

- Definir con detalle los servicios
(la línea solo es un elemento más)
- “Check list”: considerar todos los elementos
- Plan de explotación

- Localización geográfica:
 - Estaciones (localización y funcionalidad)
 - Bases de mantenimiento, catering, etc.
 - Talleres, puestos de control, etc.



¿ALGUNA PREGUNTA O COMENTARIO?





GRACIAS

Iñaki Barrón de Angoiti



inakibarrondea@Outlook.com



www.linkedin.com/in/Iñaki-Ignacio-Barrón-de-Angoiti