

Geometría de la Vía y Trazado Ferroviario

**Del diseño conceptual
a la dinámica vehicular**

**Cátedra Ferrocarriles - Facultad
de Ingeniería, UNCuyo**

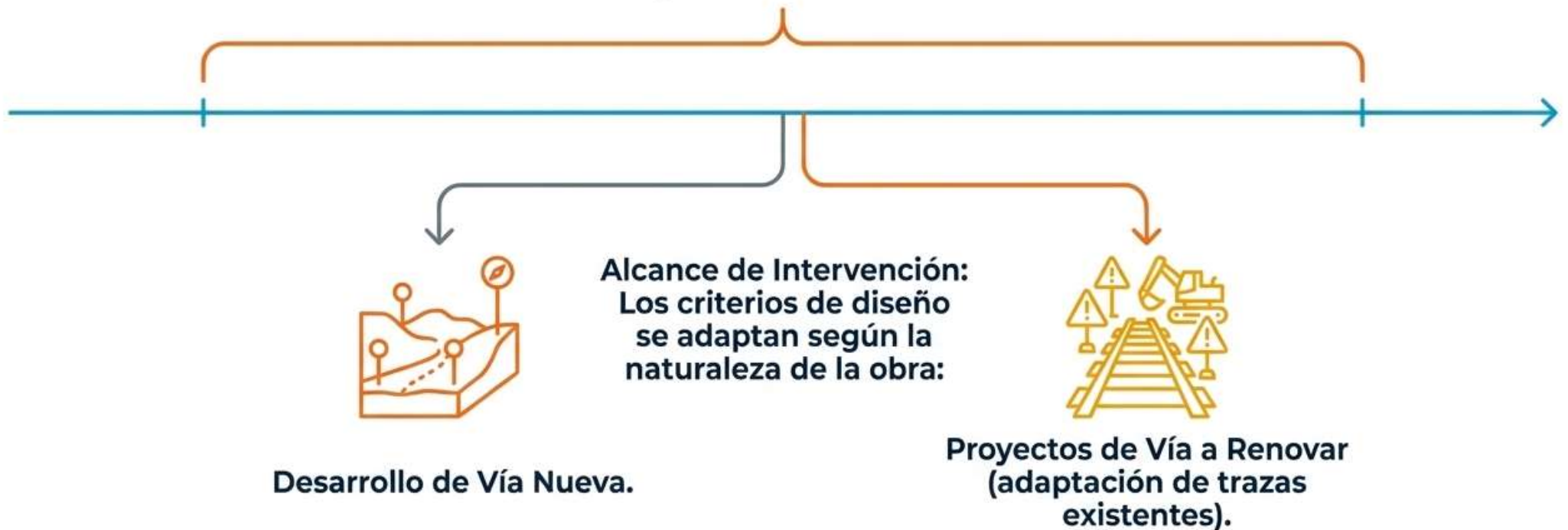
Ing. Mariano Méndez



El Horizonte del Proyecto Ferroviario

Un proyecto ferroviario se concibe con una visión a largo plazo, evaluando rigurosamente los beneficios sociales frente a las inversiones requeridas.

Horizonte de Proyecto: Planificación estructurada para una vida útil operativa de entre 20 a 40 años.



Condiciones Generales de un Proyecto



Entorno Físico y Geográfico

- Topografía y relieve
- Geología del suelo
- Hidrología superficial y subterránea



Parámetros Técnicos

- Trocha (ancho de vía)
- Sistemas de tracción
- Sistemas de señalización y comunicaciones



Infraestructura y Entorno

- Obras de Arte (puentes, viaductos, túneles)
- Interferencias (rutas, ríos, urbanizaciones)

Condiciones de Operación y Tráfico



Transporte de Pasajeros

- Larga y media distancia: Recorridos superiores a 150 km.
- Sistemas de Cercanía: Recorridos menores a 150 km (conexión con ciudades dormitorio).
- Sistemas Suburbanos: Operación dentro de un mismo núcleo urbano.
- Sistemas Urbanos: Tranvías y subterráneos.



Transporte de Cargas

- Sistemas Generales: Diversidad de mercancías.
- Sistemas Dedicados: Transporte de una carga predominante.
- Sistemas Especializados: Operaciones industriales o mineras.

El diseño también debe contemplar escenarios de Tráfico Mixto.

CONDICIONES DE OPERACIÓN Y TRÁFICO

Transporte de pasajeros

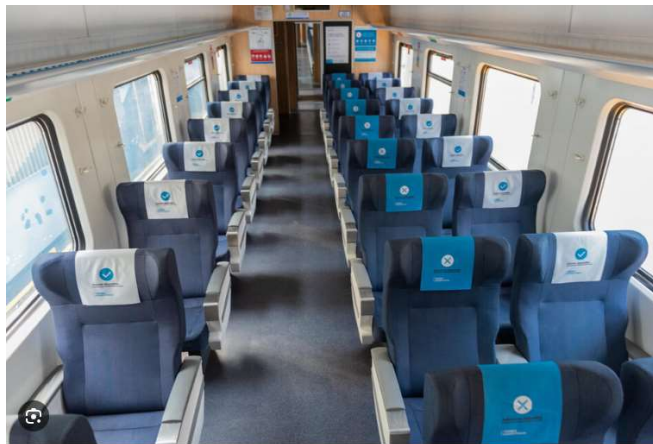


**Tren de
cercanías**



**Tren sub
urbano /
urbano**

**Tren de
larga
distancia**



El Desafío del Entorno: Topografía y Obras de Arte

La geografía dicta la viabilidad del trazado. Superar obstáculos naturales requiere integrar la topografía con ingeniería estructural avanzada.



Ubicación: San Antonio de los Cobres.

Concepto: Adaptación a curvas de nivel complejas en terrenos montañosos.



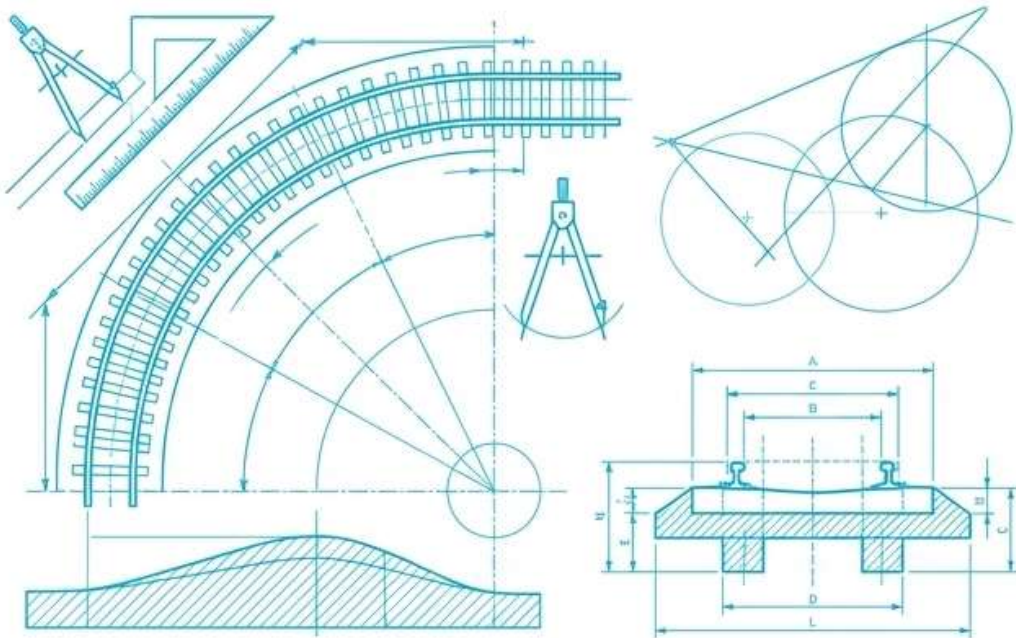
Estructura: Viaducto La Polvorilla.

Concepto: Estructuras mayores necesarias para mantener la pendiente y alineación geométrica sobre grandes depresiones.

Dos Paradigmas de la Vía

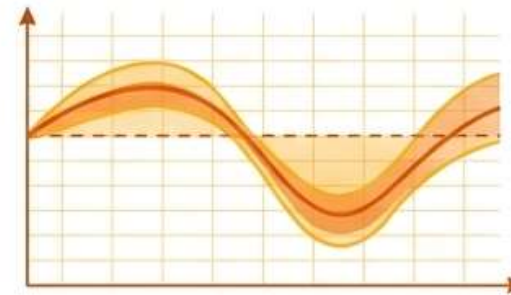
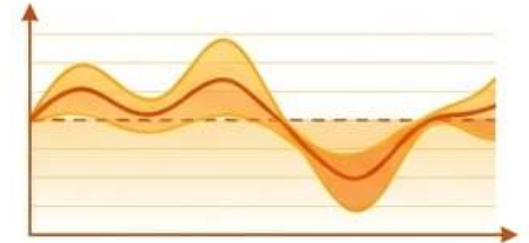
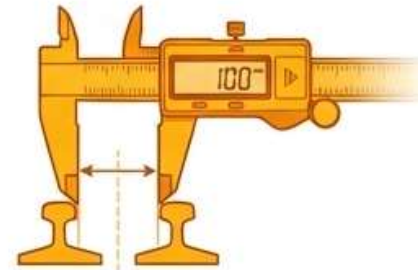
Diseño para Construcción

- **Enfoque:** Lo estático y lo ideal.
- **Variables:** Alineaciones en planta y perfil, peralte, anchos de entrevía, radios mínimos.
- **Objetivo:** Trazar el camino geométrico perfecto.



Parámetros de Mantenimiento

- **Enfoque:** Lo dinámico y lo real.
- **Variables:** Degradación, nivelación, trocha, tolerancias milimétricas.
- **Objetivo:** Controlar la interacción vehículo-vía a lo largo del tiempo.



Diseño Geométrico: La Planta

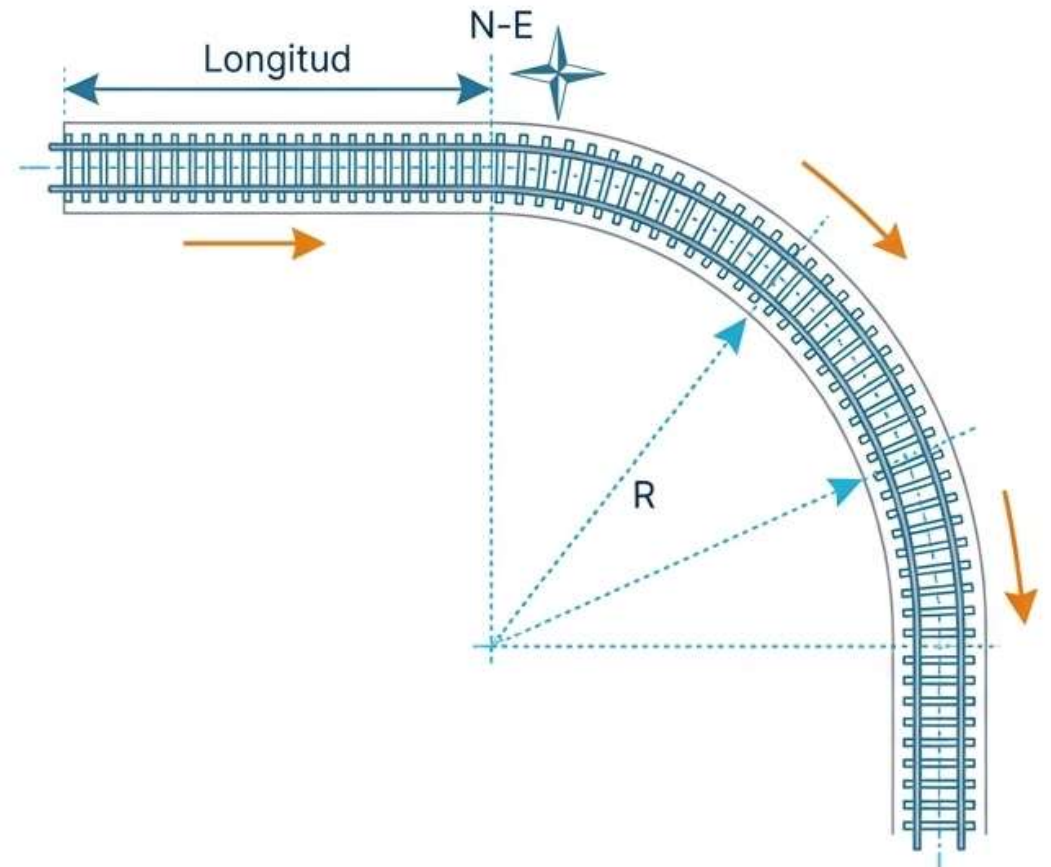
Variables de construcción en relación con el trazado bidimensional.

Alineaciones Rectas

- Representan la menor distancia para unir dos puntos.
- Definidas únicamente por su longitud y su orientación (N-E).

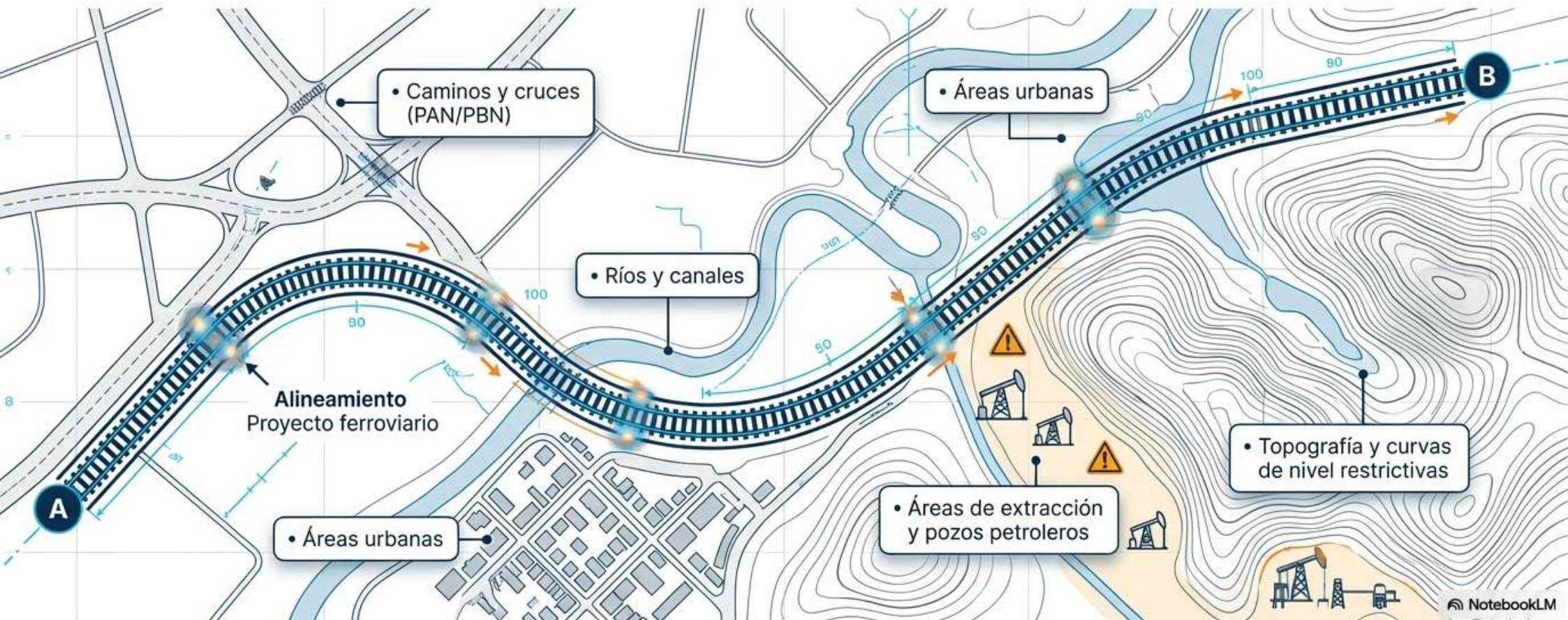
Alineaciones Curvas

- Su función principal es unir de forma fluida los tramos rectos.
- Se caracterizan fundamentalmente por su radio y su longitud.
- Pueden configurarse como curvas simples o compuestas.

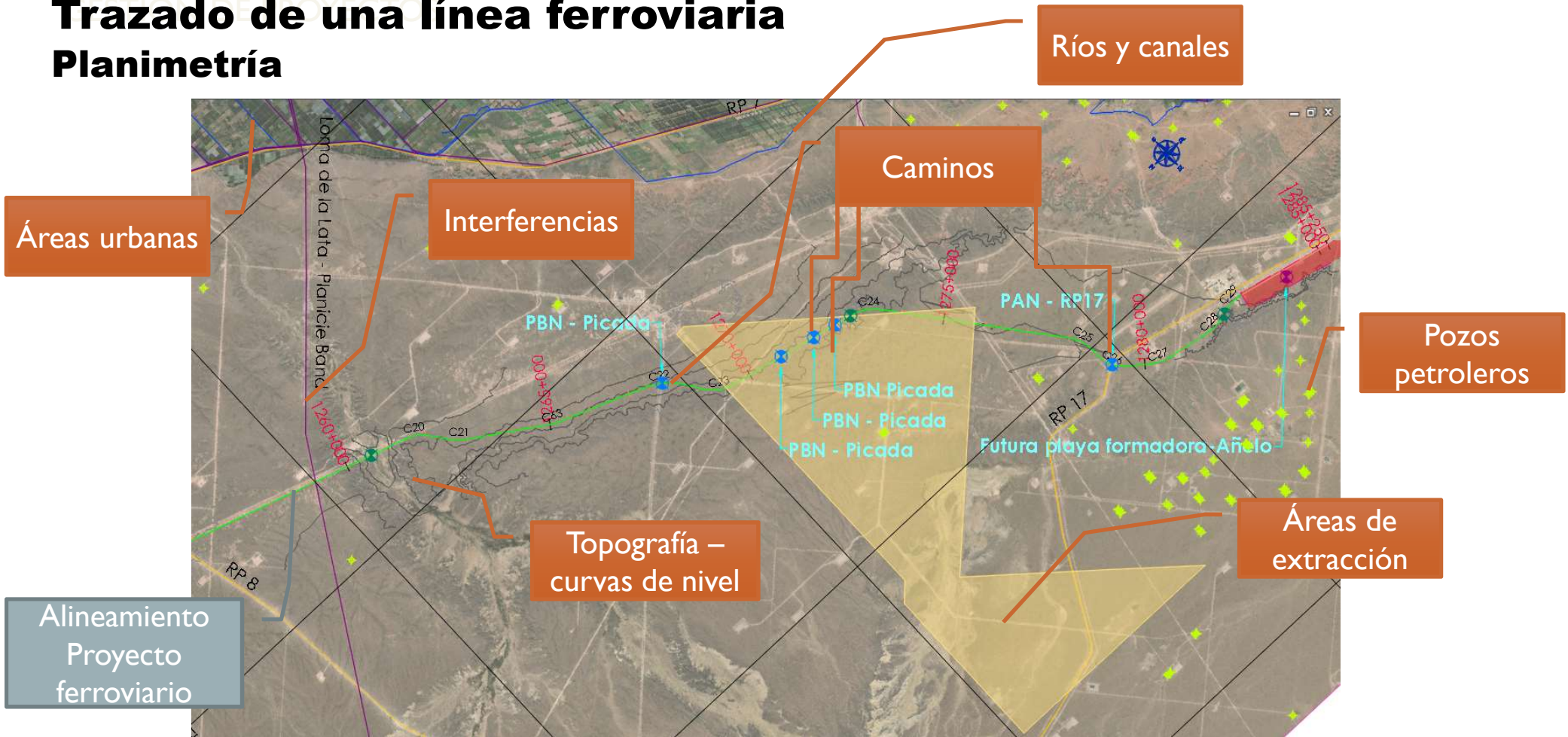


Navegando las Interferencias del Entorno

El alineamiento del proyecto ferroviario es el resultado de esquivar y negociar múltiples obstáculos físicos y jurisdiccionales en el terreno natural.



Trazado de una línea ferroviaria Planimetría



Diseño Geométrico: El Perfil

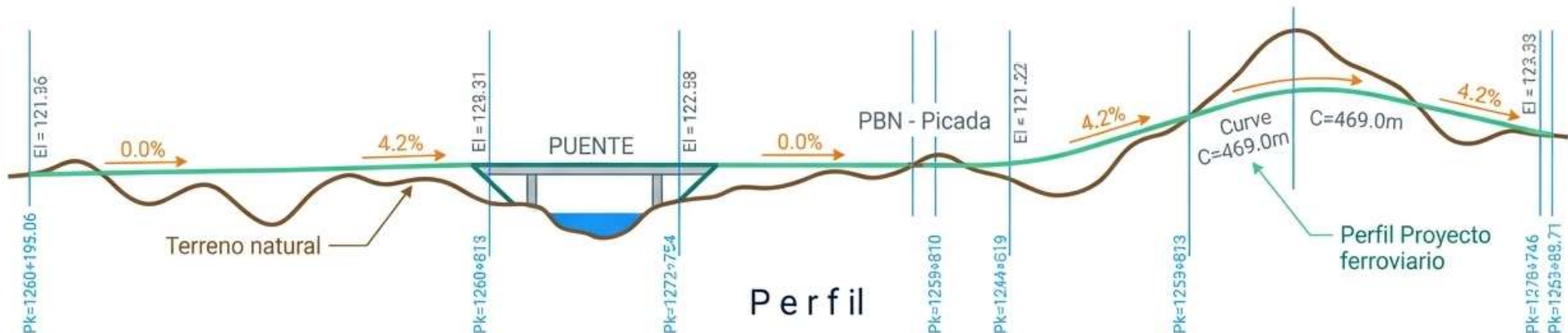
La adaptación de la vía a las variaciones de cota del terreno natural.

Alineaciones Rectas (Rasantes)

- Definidas por su longitud y su pendiente (rampa o declive).

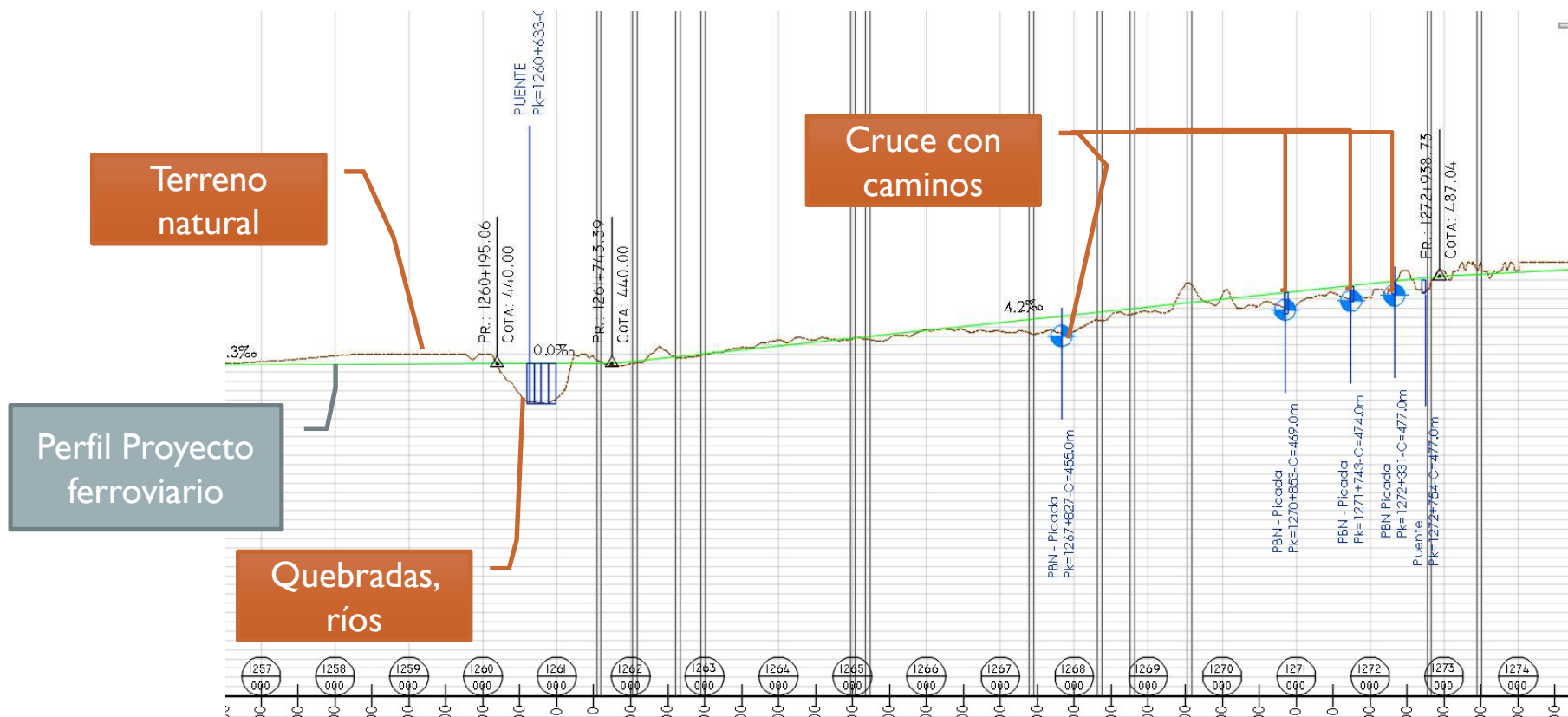
Alineaciones Curvas (Acuerdos Verticales)

- Función: Unir tramos con diferentes pendientes de manera suave para evitar despegues o impactos.
- Se caracterizan por su radio y longitud.
- Pueden ser curvas de geometría circular o parabólica.



Trazado de una línea ferroviaria

Altimetría



Disposiciones Constructivas para la Circulación

Planta y Perfil

- Curvas de transición
- Entrevía
- Límites de rampa y curvas de acuerdo vertical



El Límite del Radio

- Las curvas de menor radio limitan la velocidad máxima y aumentan drásticamente los costos de operación y mantenimiento.
- El radio mínimo está condicionado por la instalación del RLS (espacio libre de obstáculos).

Geometría Transversal

- **Peralte:** Elevación del riel exterior en curvas para contrarrestar la fuerza centrífuga.
- **Sobrecancho:** Incremento de la trocha en curvas cerradas para facilitar la inscripción de los bogies.

La Vía Dinámica: Indicadores de Degradación

Una vez construida, la circulación vehicular y las cargas cíclicas inician un proceso inevitable de degradación del camino de rodadura. El mantenimiento se define por el control de cuatro parámetros geométricos fundamentales:

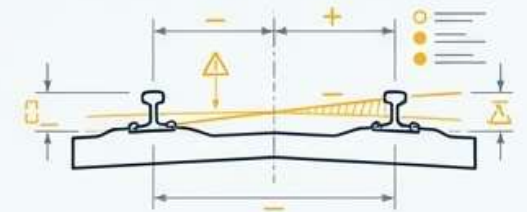
1

Nivelación Longitudinal



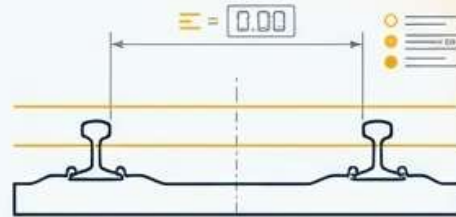
2

Nivelación Transversal



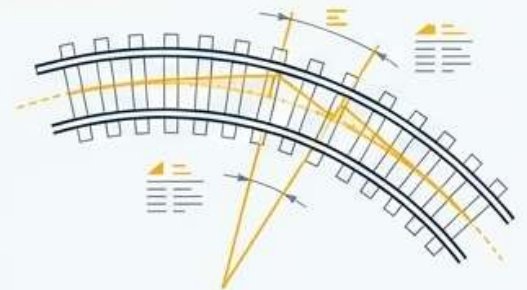
3

Trocha (Ancho de vía)



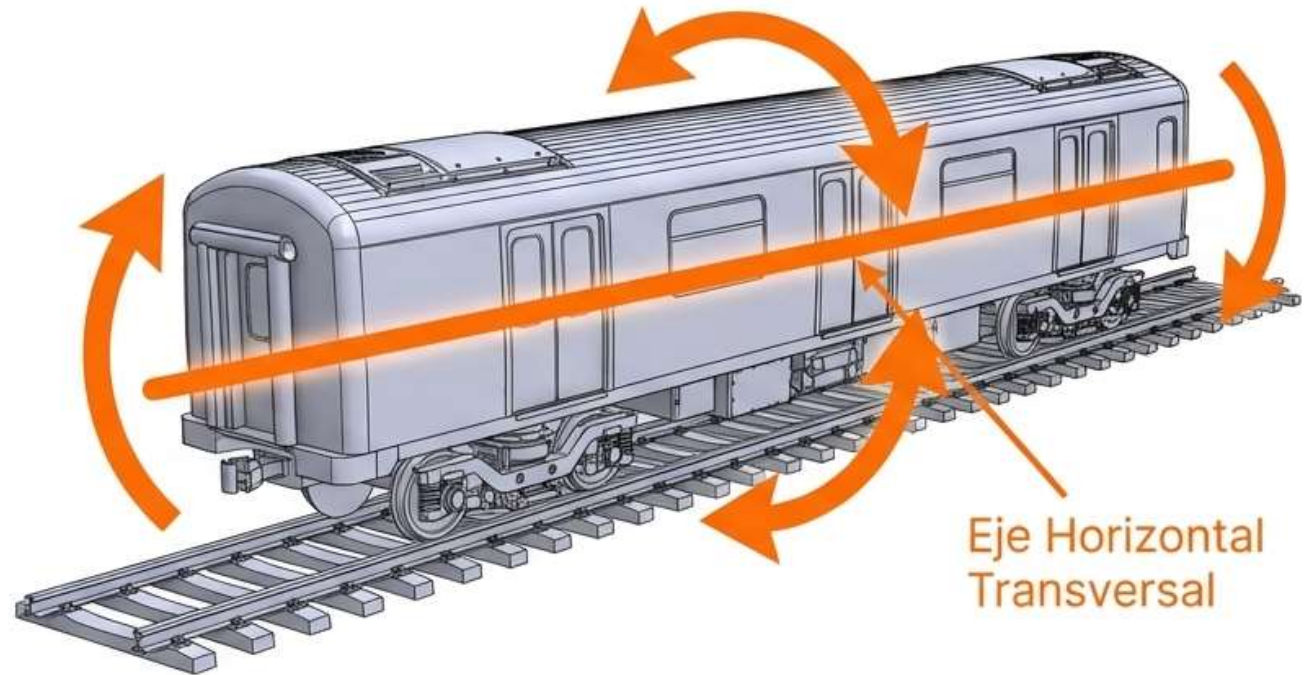
4

Alineación



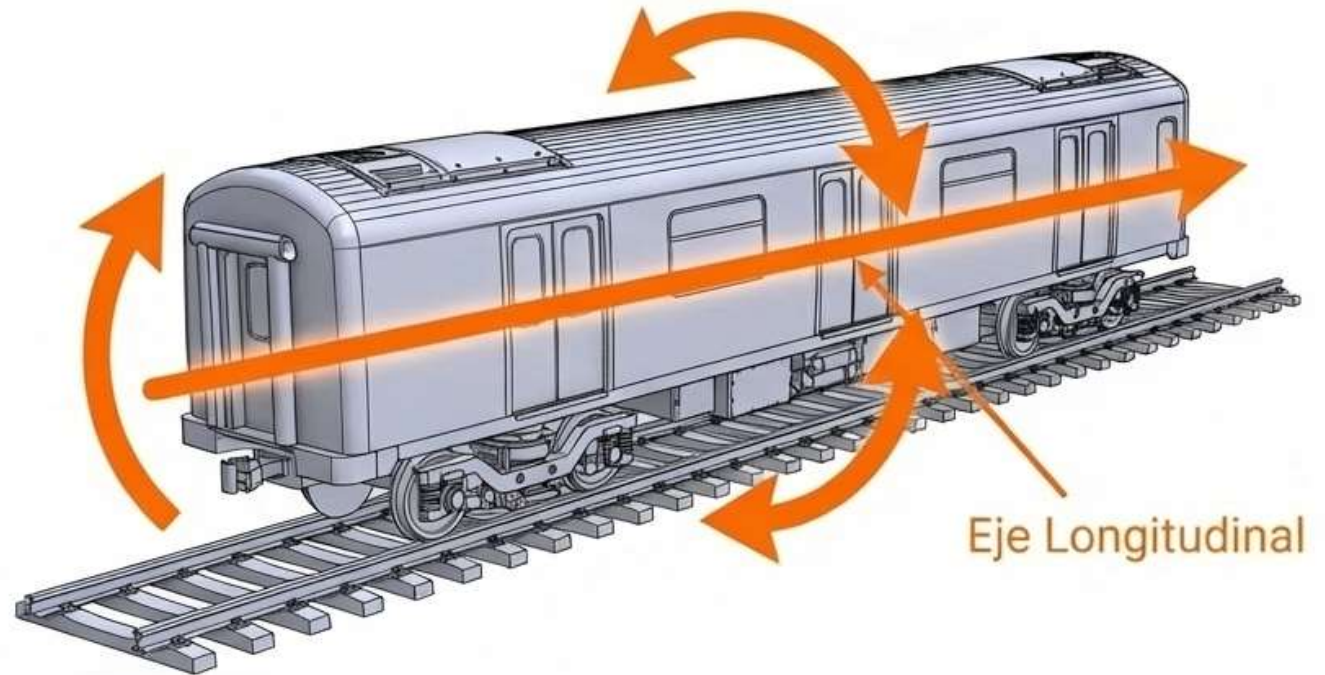
Dinámica Vehicular: Defecto Longitudinal y Galope

- **El Defecto:** La diferencia entre la cota real de la vía y la cota teórica en un punto longitudinal x .
- **El Efecto:** Induce un movimiento de Galope (Pitch) en el vehículo.



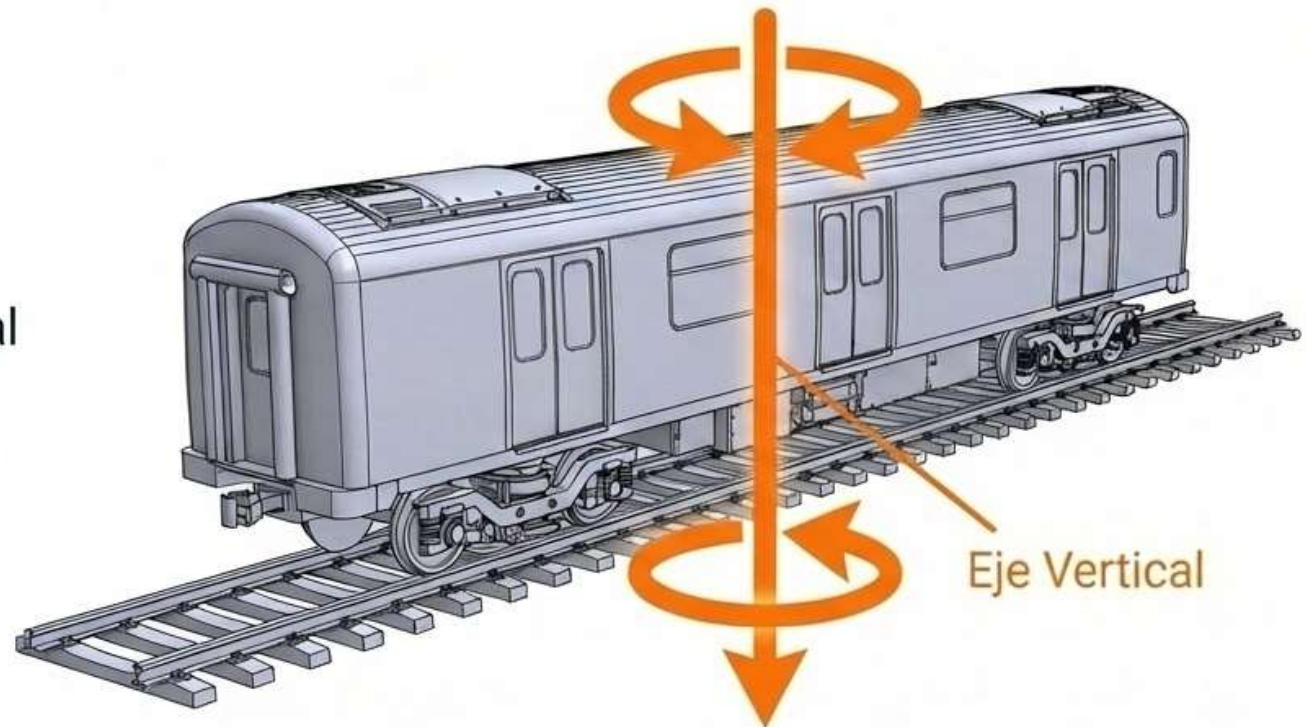
Dinámica Vehicular: Defecto Transversal y Rolido

- **El Defecto:** La diferencia entre la nivelación transversal real (peralte real) y la teórica en un punto x .
- **El Efecto:** Induce un movimiento de Rolido (Roll) en el vehículo.



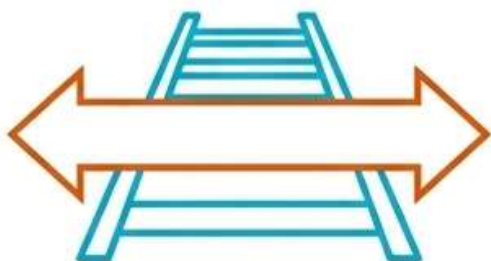
Dinámica Vehicular: Defecto de Trocha, Alineación y Lazo

- **Defecto de Trocha:** Diferencia entre el ancho de vía real y el teórico en un punto.
- **Defecto de Alineación:** Distancia entre el eje de vía real y la línea de referencia teórica.
- **El Efecto:** En recta, inducen un movimiento de Lazo (Yaw). En curva, se traduce en severos esfuerzos laterales rueda-carril y aceleraciones transversales.



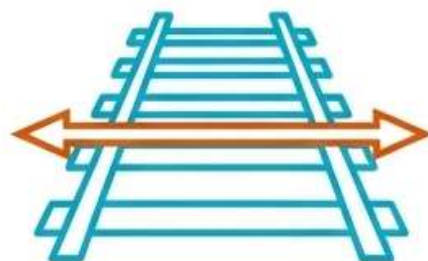
Normativa y Tolerancias de Mantenimiento

Para garantizar la seguridad frente a la dinámica vehicular, la Norma Técnica de Vía (NTVO) establece tolerancias milimétricas de mantenimiento preventivo y correctivo, clasificando la vía según sus velocidades máximas operativas.



Vías de Baja Velocidad (Clase I)

- Tolerancias más amplias (ej. Tren de carga a 15 km/h).



Vías de Alta Velocidad (Clase VI)

- Tolerancias estrictas (ej. Tren de pasajeros a 120 km/h).

Estándares Clave:



- NTVO N°2/3: Perfiles y Peralte



- NTVO N°7/14: Alineación y Sobreancho



- NTVO N°16: Verificación de la trocha

TRAZADO DE UNA LÍNEA FERROVIARIA

Normativa que regula el mantenimiento de vía:

- Norma Técnica de tolerancias de Seguridad y Mantenimiento de la Vía
- NTVO N°5: Organización para la conservación de vías
- NTVO N°7: Alineación de las vías
- NTVO N°14: Sobreancho de trocha
- NTVO N° 16: Verificación y corrección de la trocha
- NTVO N°17: Conservación de aparatos de vía
- NTVO N°18: Tratamiento de juntas

Trocha Ancha y Media

Clase	Velocidad máxima Tren de carga (Km/h)	Velocidad máxima Tren de pasajeros (Km/h)
I	15	25 (**)
II	25	40
III	40	60
IV	50	80
V	70	100
VI	90 (*)	120 (*)

(*) Es de aplicación el Artículo 57 del Reglamento General de Ferrocarriles.

(**) Es de aplicación el Artículo 58 del Reglamento General de Ferrocarriles.

Trocha Media

Nota	Parámetro	Unidad	Clase de vía					
			I	II	III	IV	V	VI
(1)	Trocha.	mm	-10 +37	-9 +35	-8 +32	-8 +29	-7 +26	-7 +23
(2)	Alineación.	mm	126	94	66	54	46	39
(3)	Tolerancia en la nivelación longitudinal.	mm	77	74	69	63	58	51
(4)	Tolerancia respecto del peralte proyecto o previsto en curvas de transición.	mm	44	41	38	35	32	28
(5)	Variación del desnivel transversal en curvas de transición. Cuerda de 10m	mm	52	47	43	38	31	26
(6)	Tolerancia respecto del desnivel transversal cero en vía recta o del peralte proyecto o previsto en curvas circulares (entre dos transiciones).	mm	73	61	51	48	40	34
(7)	Variación del desnivel transversal en vía recta o en curvas circulares (entre dos curvas de transición) entre puntos separados entre 10 y 20 m.	mm	73	61	51	48	40	34