

## EL MODO DE TRANSPORTE FERROVIARIO

El ferrocarril es un sistema de transporte terrestre en el que los vehículos se apoyan sobre un camino metálico de rodadura por intermedio de elementos rotativos metálicos.

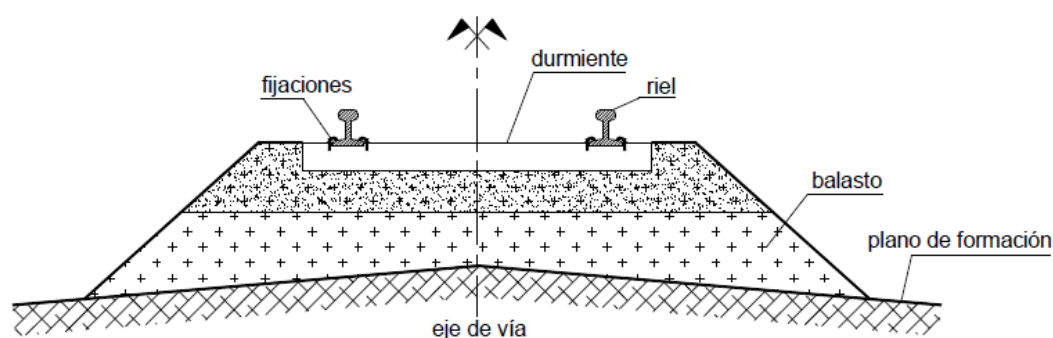
VENTAJAS	DESVENTAJAS
Es sostenible, menor costo de flete. Ahorro de combustible, menores accidentes, menos personal, 1 solo grado de libertad, sin interferencia, favorece a las industrias, más seguridad, más ecológico, mejor sistema de rodamiento.	Es muy rígido y sirve solo para curvas no muy pronunciadas.

**Sistema**: tienen que funcionar a la par.

- 1) **Vía**: camino metálico de rodadura por las cuales circulan unidireccionalmente y utilizando de la adherencia rueda-carril para la transmisión de esfuerzos de propulsión y frenado.

La afectan la orografía y la calidad de circulación. Es preciso que la vía describa una serie de rectas y curvas, tanto en planta como alzada.

**Elementos constitutivos**: la vía está formada por dos rieles, separados entre sí por una distancia constante llamada trocha, fijados a los durmientes que están colocados perpendicularmente a los rieles y a su vez apoyados sobre un medio elástico llamado balasto, que descansa sobre el plano de formación.



- 2) **Vehículo de transporte**: ha de tener lugar sobre la vía.

Los **elementos constitutivos del tren** pueden ser de carga o de pasajeros. Están constituidos por material tractivo y material remolcado, llamándose en conjunto tren rodante.

		TREN DE CARGA	TREN DE PASAJEROS
<b>MATERIAL TRACTIVO</b>	<b><u>Locomotora</u></b> : es la planta generadora de electricidad. Conecta una máquina de aire comprimido que une los vagones.	Está conducido por el maquinista y el ayudante, pudiendo ser locomotoras diesel, diesel eléctricos o eléctricos.	Igual que en el caso del tren de carga.

<b>MATERIAL REMOLCADO</b>	Vagones –Coche	Según su función pueden ser cerrados para cargas generales, playos de borde bajo, playos de borde alto, jaulas para distintos tipos de animales, tolvas cerealeras con boquillas fijas para descarga, tolvas mineras con boquillas orientables y graduables para descarga del material sobre la vía, etc.	De acuerdo a las comodidades que brinden al usuario hay coches pulman, de 1ª clase, clase turista, dormitorio, comedor, coche-cine, coche-bar, etc.
	<u>Furgón:</u> dan continuidad, tienen un telemetro, mandan señal de cómo está el tren.	Es el último vehículo del tren. En él viaja el guarda o jefe del tren. Puede no estar, siendo reemplazado por equipo controlador.	Igual que el tren de carga, salvo que el encargado del tren es el inspector que viaja en el interior de los coches.
	<u>Formación tipo</u>	Para trenes de alta velocidad, donde tienen un número predeterminado de unidades entre coches motores y vehículos remolcados.	

#### **Aspectos fundamentales del transporte ferroviario:**

- **Apoyado:** es el riel, elemento de guía, cuya función es de soporte. Al ponerse en contacto con los rieles se obtiene mayor rozamiento y menos consumo de energía.
- **Guiado:** los rieles guían al material rodante, coaccionando su movimiento y obligándolo a inscribir su marcha dentro de la geometría previa. Los trazados preestablecidos modificables dan mayor seguridad.
- **Unidireccionalidad:** el ferrocarril al estar guiado, obliga al vehículo a seguir en su marcha el eje geométrico del camino de rodadura. Al tener solo un grado de libertad, se va a afectar el diseño de curvas o cruces.
- **Adherencia:** depende de la geometría del trazado y a su vez de las características del material rodante. No se manifiesta en los sistemas de transporte por agua o aire, pero si en terrestre, dando características de tracción y frenado, para la transmisión de los esfuerzos.

La resistencia de rodadura que ofrece el ferrocarril exige un esfuerzo de unos 3kg/tn, comparada con el neumático que es de 10 a 14 kg/tn.

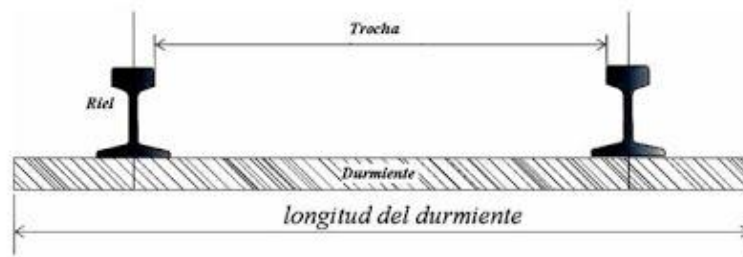
- **Trocha:** es la separación constante entre los dos rieles de la vía, es el parámetro que más fuertemente caracteriza al camino de circulación del ferrocarril. Es la distancia medida entre las caras internas de ambos rieles, medida a 1cm por debajo del plano superior del riel.

El ancho de vía se mide como la distancia entre las superficies más próximas de las caras laterales de las cabezas de los dos rieles, a 13mm por debajo del plano de rodadura. Este aspecto es muy importante en el camino de circulación del ferrocarril, por ejemplo, a mayor pendiente del terreno menor trocha, y cuanto mayor sea la distancia entre vías será la carga que se pueda transportar.

En caso de ser necesario un empalme entre vías de distinto ancho, se deberá utilizar la estación de bitrochaje. Se debe tener en cuenta la posibilidad de enlace de la nueva línea con otras existentes, y que no pueden ser extrapolados a otras trochas.

TROCHA	MEDIDA (m)	CONCESIÓN
Ancha	1,676	Ferrocarril General Roca, Mitre, San Martin y Sarmiento.

Media	1,435	Ferrocarril General Urquiza, Subte de Buenos Aires, Premetro, Tren de la costa, Metrotranvía de Mendoza, Tramway histórico de Buenos Aires, y Tranvía del este.
Angosta	1,000	Ferrocarril General Belgrano.



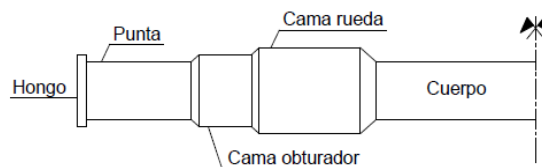
- Economía de combustible: pueden utilizar combustibles de fuentes renovables, dando impacto en la economía, ya que pueden llevar mayor carga sobre ellos a mucha más potencia.

$$Tren = \frac{2.500.000 \text{ kg}}{2.000 \text{ HP}} = 1.250 \frac{\text{kg}}{\text{HP}}$$

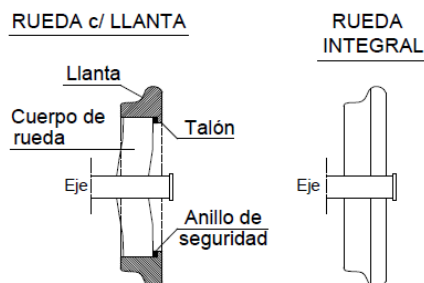
$$Camión = \frac{30.000 \text{ kg}}{200 \text{ HP}} = 150 \frac{\text{kg}}{\text{HP}}$$

#### Otros aspectos:

- Paralelismo de ejes, ruedas y rieles:



- Calado de ejes/ruedas: es una particular forma de vinculación entre estos elementos que resultan así perfectamente solidarios, por ejemplo las ruedas a los ejes. El diámetro de las ruedas es menor al eje, por lo que al colocarlas se debe calentar. Se genera una unión totalmente rígida, girando la rueda junto con el eje.

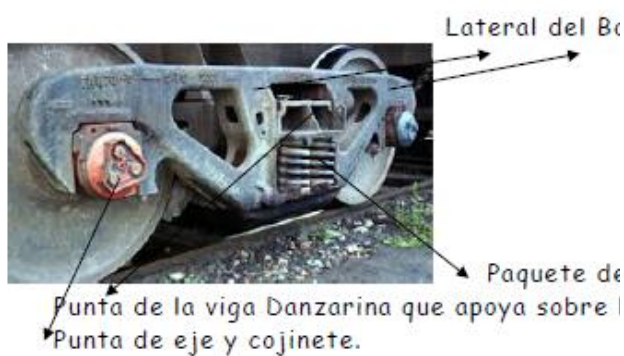
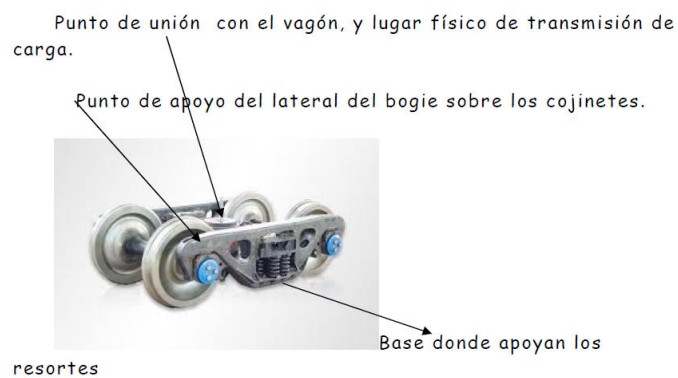
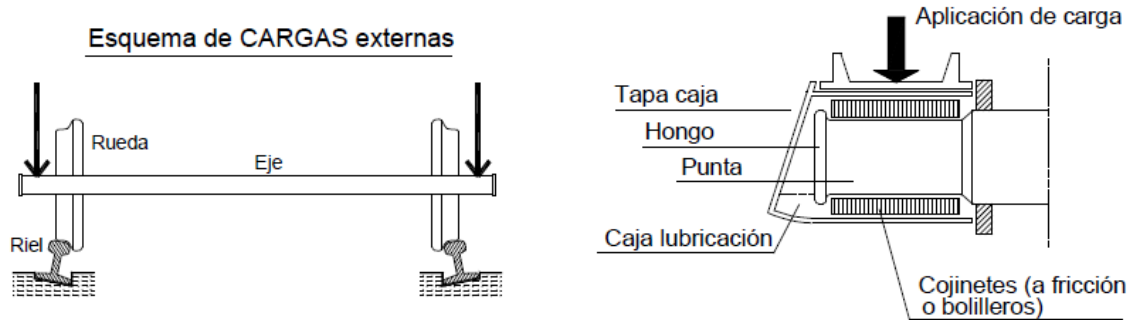


- Aplicación externa de la carga: genera una correcta distribución de esfuerzos entre acción (cargas) y reacción (rueda/riel).

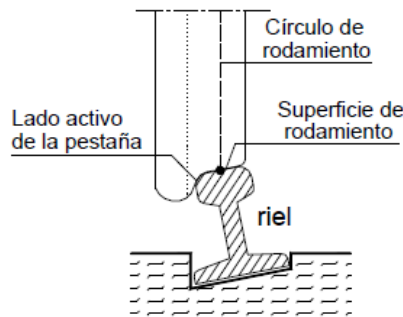
Los vagones son vehículos destinados a la carga de diversos elementos y materiales. Se apoyan a su vez en unos elementos denominados “bogies”, resortes y elásticos ubicados sobre las puntas del eje, que a su vez transmiten las cargas al riel por medio de las ruedas.

Se diseña de esta manera porque el momento es mayor en el centro, por eso se carga en el voladizo para distribuir las cargas. Genera una correcta distribución de esfuerzos entre acción (cargas) y reacción (rueda/riel).

Se tiene en cuenta el siguiente esquema de transmisión de cargas desde el vehículo (caja) hasta el riel, las partes que intervienen y el camino de la distribución del peso.



- Conicidad de la llanta: particular forma de contactos metálicos que trae aparejados mayores resistencias pero que adopta mayor seguridad a la circulación. La pendiente es de 1:40 para compatibilizar con la carga y el riel.



- **Bicono en movimiento:** se acomoda a la vía, presenta movimientos parásitos, no se dan puros pero si combinados, son difíciles de ponderar.
  - Rolido: círculo con 2 ejes, cuando hay desnivel mueve un eje longitudinal.
  - Movimiento de lazo.
  - Alabeo.
- **Conjunto tren rodante/vía:** enfoque generador del déficit ferroviario.
- **Distancia y masividad:** distancias superiores a 350/400 km, y masividad del mismo, son indicadores que hacen conveniente el modo ferroviario.
- **Ensamble de material ferroso con las vías:** La soldadura puede realizarse por arco eléctrico, aluminotérmica o por fusión eléctrica y presión.
  - *Unión de rieles de igual tipo:* para formar tramos de mayor longitud, sin juntas; este trabajo se realiza tanto para formar tramos de vía de gran extensión como para unir, en taller, rieles cortos (nuevos o usados) y formar con ellos nuevos rieles de hasta 36 metros de largo.
  - *Unión de rieles de distintos tipos:* se hace cuando es necesario enlazar en una vía dos sectores con distinto tipo de riel, (esto ocurre con frecuencia en las renovaciones) y con estos rieles se construye un tramo de empalme. Debe tenerse especial cuidado de que al soldar queden en perfecta alineación la parte superior y la cara interna del hongo de los rieles, para evitar que golpee la rueda o que roce la pestaña de ésta.
  - *Unión de los elementos de un aparato de vía:* Actualmente se tiende a soldar entre sí a todos los elementos no móviles de los cambios reemplazando a las juntas con eclisas, con lo cual se disminuyen los trabajos de conservación.

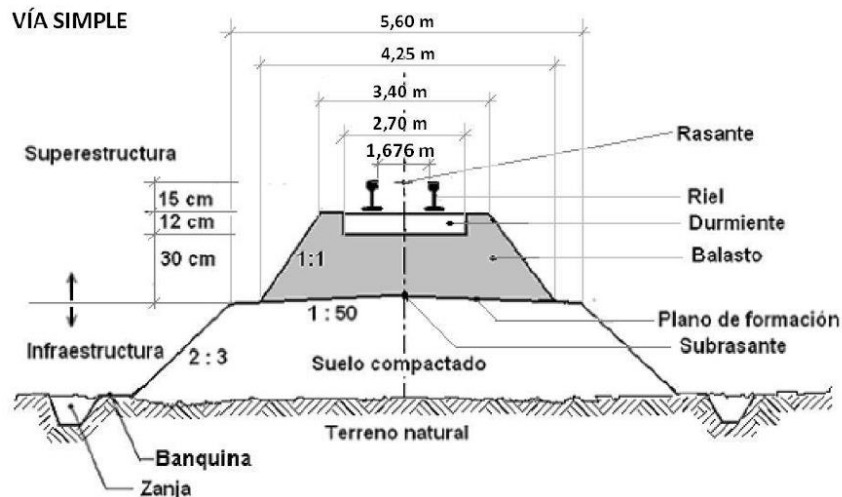
## **PERFIL DE VIA**

La vía tiene problemas con la diferencia de temperatura, contracción y dilatación. Los elementos constitutivos se pueden agrupar en:

INFRAESTRUCTURA	SUPERESTRUCTURA
Plano de formación	Balasto
Contrabanquinas	Durmientes- travesías
Zanjas laterales	Rieles

	Aparatos de vías
	Material metálico chico.

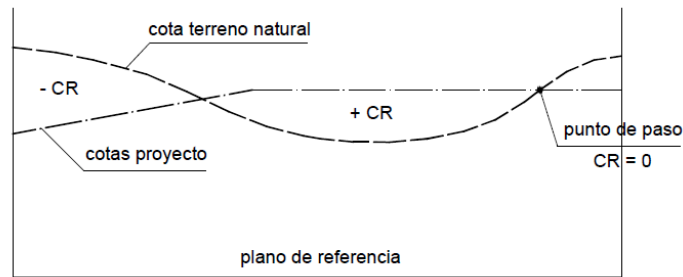
La superestructura se ha de diseñar una vez que se proyectó la infraestructura, por tanto ésta incluirá la plataforma ferroviaria con la estructura base acorde al tráfico previsto, balasto, traviesas, carriles y aparatos de vía. También se incluyen en la superestructura el balizamiento, la señalización, las comunicaciones y todas aquellas obras complementarias para que la obra lineal pueda ponerse en servicio.



### **INFRAESTRUCTURA**

- **Plano de formación:** proporciona apoyo para que la vía no sufra deformaciones, por lo que deberá tener características de resistencia y calidad del suelo. Es importante una buena realización del mismo ya que sino provocaría asientos diferenciales entre los durmientes, debido a:
  - **Acción del agua:** el agua no debe quedar depositada sobre la parte superior del plano de formación, por lo tanto deberá tener pendiente hacia ambos lados cuyos valores irán desde 1,5 al 3%. Si la napa freática es muy alta, se deberá drenar o subir el nivel de la vía.
  - **Excesiva separación de durmientes:** no soportan las cargas puntuales.
  - **Defectuosa formación de terraplén:** se debe compactar de forma adecuada.
  - **Insuficiente espesor de balasto:** la presión transmitida no debe superar la tensión admisible del suelo.

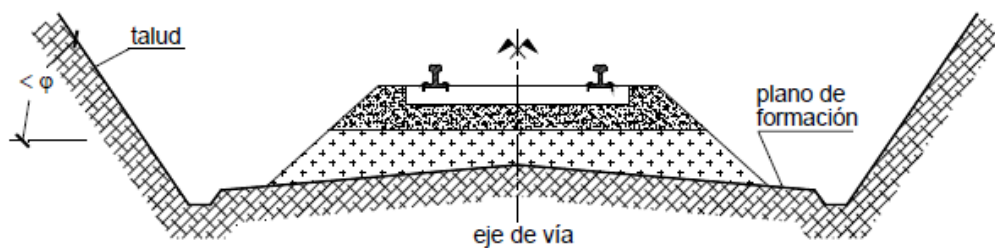
**Distintos tipos de perfiles de plano de formación:** una vez definidas las cotas del trazado vial la formación queda determinado según la cota roja. Se establece que cota roja es la diferencia sobre el eje de la vía de la cota de proyecto, medida en el plano de formación, y la cota de terreno natural, es lo que manda.



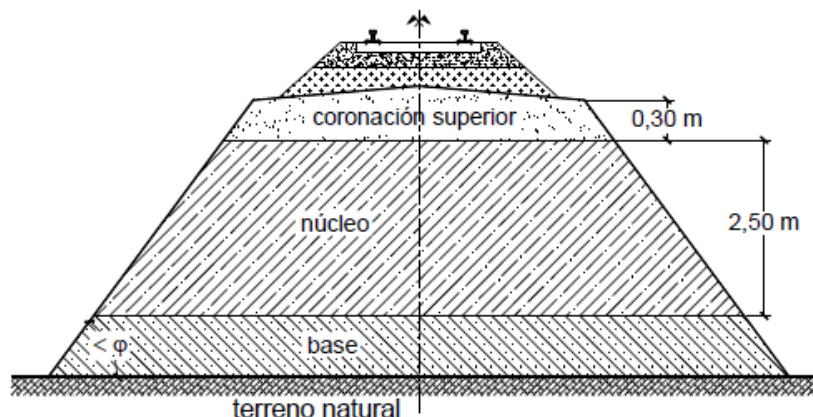
Si la cota roja es cero, es un punto de paso, entre desmonte y terraplén, es decir, que la cota de proyecto y de formación y la del terreno natural coinciden.

En función de esta cota se pueden determinar los distintos casos de perfiles, como así también el ancho de ocupación de la vía, dejando a ambos lados unos 5m.

- Suelo natural: no se requieren aportes ni retiros del suelo. Si el suelo tiene buena capacidad portante, se funda directamente sobre él, sino habrá que retirarlo y adaptarlo.
- Excavaciones: cuando la cota de proyecto es menor que la del suelo natural, es decir, cota roja negativa, habrá que retirar parte de él. Se busca niveles donde la capacidad portante del suelo sea adecuada y que el drenaje de agua sea el correcto.



- Terraplén: se deben cuidar los desagües y la estabilidad de taludes, protegiéndolo con Escollero o piedras naturales. La cota roja es positiva.



- *Coronación superior*: las vibraciones no deben producir asentamientos. Es de gravas, arenas, con gran capacidad portante. No se usan limos ni arcilla.
- *Núcleo*: el efecto de las cargas llega hasta los 3m, tiene que ser de buena calidad.
- *Base*: su capacidad portante debe ser similar a la del terreno natural.

## **SUPERESTRUCTURA DE LA VÍA**

Las líneas férreas se clasifican por la UIC, y para ello se define una carga ficticia  $T_f$  tal que:

$$T_f = T_v(tn/dia) * \frac{V\left(\frac{km}{h}\right)}{100} + T_m(tn/dia) * \frac{P_e(tn)}{18 * D(m)}$$

GRUPO UIC	TF
1	$T_f > 102.000$
2	$102.000 > T_f > 70.000$
3	$70.000 > T_f > 40.000$
4	$40.000 > T_f > 25.000$
5	$25.000 > T_f > 12.500$
6	$12.500 > T_f > 6.000$
7	$6.000 > T_f > 3.000$
8	$3.000 > T_f > 1.000$
9	$1.000 > T_f$

Dependiendo la categoría, los espesores van a ser los siguientes:

CATEGORÍA	SUBBALASTO	BALASTO
<b>Súper red</b>	15cm	15cm
<b>1º-7º</b>	15cm	15cm
<b>8º-9º</b>	0-10cm	10cm

### **Armado de la vía para el caso de renovaciones o construcciones:**

- Conformación de la plataforma: con una o dos pendientes se construyen las zanjas de desagües laterales. Ante la proximidad de las napas freáticas y donde no se ha podido elevar el nivel de proyecto, se colocara un geotextil.
- Escuadría: sobre el plano de formación, con las fijaciones, eclisas y silletas.
- Balasto: sobre la escuadría se colocara primero el subbalasto y luego el balasto, hasta lograr el nivel de vía de proyecto. Se nivelara, alineara y compactara, conformando capas de orden de 10cm de altura.
- Banquinas: realizándose una nivelación, alineación y compactación.

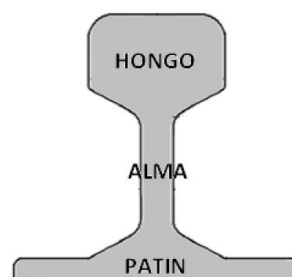
## **SUPERESTRUCTURA**

1. Rieles: elemento fundamental, actúa como calzada, dispositivo de guiad. Están separados entre sí a una distancia constante llamada trocha, fijos a los durmientes, y apoyados sobre un medio elástico llamado balasto. Constituye el



elemento fundamental de la estructura de la vía, actuando como calzada, dispositivo de guiado y elemento conductor de la corriente eléctrica, por lo tanto debe cumplir con los siguientes cometidos:

- Resistir las tensiones y transmitir las a otros elementos.
- Guiado de las ruedas.
- Conductor de corriente eléctrica.
- Superficie de rodadura lo más lisa posible.
- Elevada rigidez.
- Deformación elástica para absorber energía transmitida.
- Material: debe tener en cuenta composición química, propiedades físicas y textura.
- Forma: está condicionada por su interacción con la rueda del material rodante y por su integración, estructural armónica con los demás elementos de la estructura de la vía. Está formado por una gruesa cabeza redondeada, un alma de pequeño espesor y el patín.



Hongo o cabeza - 40 %  
Alma - 22 %  
Patín - 38 %

- Peso: proporciona una idea general sobre el tipo y potencialidad del riel. Se expresa en kg/m lineal de riel, está ligado a la carga por eje, velocidad de circulación y densidad de tráfico.
- Defectos: anomalías que aparecen en los rieles como consecuencia de su fabricación. Estos dan lugar, bajo cargas de servicio, a la aparición de roturas. Pueden ser por segregación, inclusiones sólidas y gaseosas, fisuras transversales y defectos de laminación.
- Control de calidad: para asegurar la homogeneidad y regularidad de la producción o para descubrir los efectos de los posibles incidentes de fabricación. Los ensayos pueden ser mecánicos, químicos, metalográficos o con propiedades físicas del acero.
- Tolerancias: son de carácter geométrico y en su masa. Pueden ser la altura del riel, ancho de cabeza, espesor del alma, ancho del patín, longitud, escuadrado de los extremos, diámetro de los orificios.
- Transporte y almacenamiento: para evitar deformaciones residuales se debe observar la forma de ubicación en el transporte y en el apilado de rieles.

2. Durmientes: elementos que se sitúan en dirección transversal al eje de la vía, sobre los que se colocan los rieles y constituyen a través de sujeción, la unión entre el riel y el balasto. La carga de la rueda actúa directamente sobre el riel, transmitiéndole tensiones elevadas. El durmiente recibe estas tensiones y las transmite atenuadas al balasto, la cual posee reducida capacidad portante. Finalmente la plataforma recibe las tensiones que habrán de ser compatibles con la capacidad resistente y de deformación.

- Función:
  - De soporte, fijándolos y asegurando su posición.

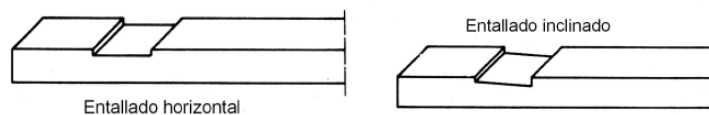
- Recibir cargas verticales y horizontales y repartirlas.
- Mantener estabilidad.
- Aislamiento eléctrico.

- **Material:**

- **Madera:** son ideales por su gran resistencia a todo tipo de esfuerzos, peso reducido, posibilidad de reutilización, proceso de fabricación simple y económica. Pero son muy combustibles, presentan cambios de características por envejecimiento y se debilitan las sujeciones. Se les exige peso específico determinado, adecuada resistencia a compresión e impacto, pequeño coeficiente de contracción volumétrica.

La cara inferior debe ser plana y las laterales sensiblemente perpendiculares a ella. La forma es paralelepípedo, dotada de agujeros para facilitar la introducción de elementos de fijación del riel y de rebajes entalles destinados a recibir el patín del riel o placa metálica de asiento o silleta.

El entalle es una cajuela con pendiente 1:20 o 1:40 hacia el eje de la vía, que recibirá el patín del riel, la trocha de la vía queda implícitamente determinada. La sección puede ser de 12x24 o 15x24, y la longitud de 1m mayor que el ancho de trocha.



- **Acero o fundición:** deben cumplir características físicas como la resistencia a tracción, alargamiento en rotura y capacidad de plegado a 180°. Son de tipo monoblock.
- **Hormigón armado o tensado:** elevada duración de servicio, mayor resistencia a los desplazamientos en su plano, se pueden diseñar de la forma más conveniente, pero tienen mayor costo, menor aislación de rieles y elevado peso.
- **Materiales sintéticos:** son de poliuretano, reducen los niveles de ruido, reducido peso y limitadas características resistentes, no son aptos para tráfico pesado o de alta velocidad. Aislamiento eléctrico, independientemente del grado de humedad y elevada duración.

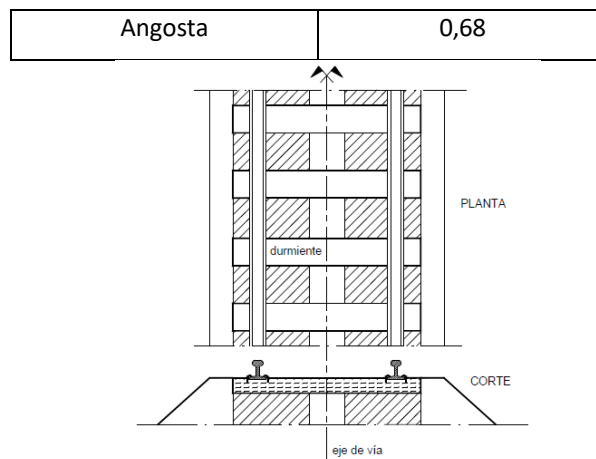
- **Forma:**

- Dados sueltos: sin ningún tipo de unión.
- Bloques unidos: unidos por una riostra de acero.
- De dos rotulas.
- Monoblock.

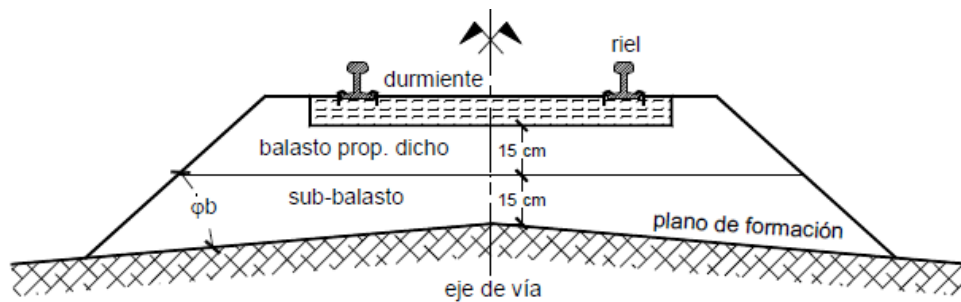
3. **Balasto:** se coloca sobre el plano de formación a los efectos de sustentación, elasticidad, drenaje de la vía y repartición uniforme de la carga de vehículos. El tamaño de las piedras son de 3 a 6cm, siguiendo una granulometría curva. El ensayo los ángeles no debe superar el 25% de finos ya que modifica las propiedades resistentes del balasto.

El balasto se debe compactar y no se realiza bajo toda la longitud del durmiente, por lo tanto se aplica un coeficiente de compactación incompleta:

TROCHA	COEFICIENTE
Ancha	0,80
Media	0,76



El espesor del balasto se puede separar en dos partes, siendo su espesor de 30cm, 15 cm en cada capa.



- Sub-balasto: es la capa que apoya en el plano de formación, con materiales de menor calidad como arena o conchilla. En ciertas renovaciones, el balasto existente no se retira, sino que pasa a ser sub-balasto.
- Balasto: es la capa superior en la cual habrá que realizar todos los controles establecidos.
- Tierra: la vía apoyada sobre tierra presenta una disminución del peso por eje que puede transmitir, reducción de la velocidad de circulación y problemas de mantenimiento.
- Propiedades:
  - Repartición uniforme de las cargas.
  - Estabilización.
  - Amortiguación.
  - Proporcionar rodadura suave de los vehículos.
  - Proteger el plano de formación de las variaciones de humedad.
  - Facilitar la evacuación de las aguas de lluvia.
  - Alineación y nivelación: es el paralelismo en rectas y curvas de los rieles respecto al eje longitudinal, y la igualdad del nivel longitudinal de los rieles con el nivel previsto, sin puntos altos ni bajos.
- Características:
  - Permeabilidad.
  - Rápido escurrimiento.
  - Elasticidad.
  - Conjunto riel-durmiente.
  - Solidez.
  - Resistente al choque y al desagüe.

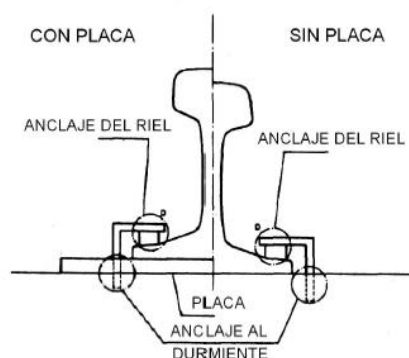
- Selección previa del material.
- Deben estar autorizadas con ensayos y estudios.

4. **Aparatos de vía:** es donde se cambian las vías, para desví o cambiar de dirección. Carácter de guiado, obligando al material rodante a recorrer un camino prefijado y establecido, se necesitan cruces, enlaces y apartado de material.

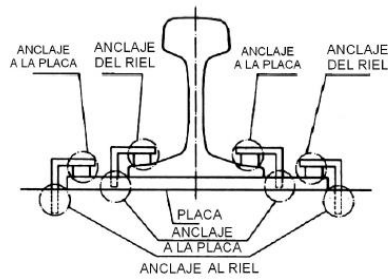
- **Clasificación:**
  - Desvíos: pueden ser cambios, rieles de unión o cruzamientos. Permiten el paso de una vía a otra, cuyos ejes son tangentes.
  - Cruces: travesías. Permiten el paso de una vía a otra cuyos ejes se cortan.
  - Aparatos de dilatación: riel largo soldado.
  - Trampas de seguridad.
- **Características:** la seguridad y velocidad de los trenes están condicionadas por la calidad de aparatos de vía. La intersección hace necesario considerar no solo la longitud sino también aspectos relacionados con el galibo, por posible existencia de obstáculos o interferencia con otras vías adyacentes.
  - Radio mínimo del aparato.
  - Radio del aparato define la velocidad.
  - El trazado director que determina el guiado de los vehículos.
  - Las aceleraciones no deben sobrepasar determinados valores ni dar lugar a efectos de impacto inadmisibles, para lograr confort. Deben dar seguridad, maniobrabilidad y conservación.

5. **Material metálico chico:** se trata de una serie de elementos constitutivos de la vía, que desempeñan funciones tan importantes como la del riel, durmiente y balasto. Los elementos catalogados como MMCH están destinados a:

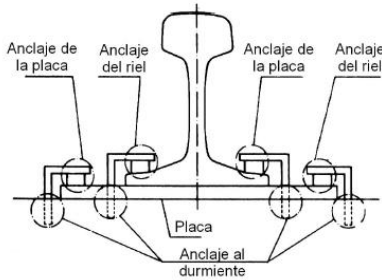
- **Fijaciones:** unión del riel al durmiente. Sus funciones son fijar los rieles al durmiente, asegurar invariabilidad del ancho de la vía y facilitar la transferencia de cargas estáticas y dinámicas. Tienen resistencia mecánica y elasticidad, aislamiento eléctrico, menor número posible de piezas, bajo costo de fabricación y durabilidad. Sus elementos pueden ser rígidos o elásticos.
- **Directas:** a través de un único elemento trabajando en paralelo, con existencia o no de elementos auxiliares.



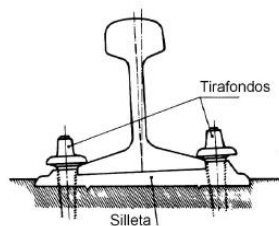
- Indirectas: elementos independientes.



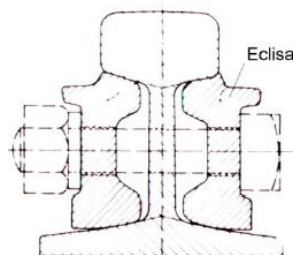
- Mixtas: elementos que actúan solo sobre aquella.

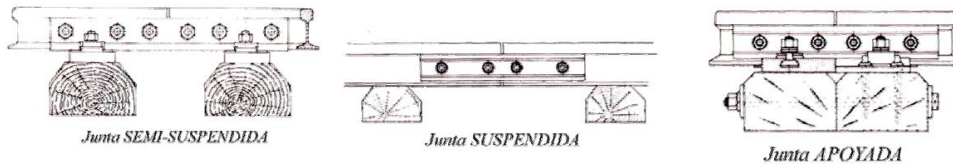


- Silletas: Apoyo de los rieles. Colocados bajo los rieles y en contacto con los durmientes a los que se fijan. Poseen inclinación y son utilizadas en los tipos de vías más importantes para evitar reducción de altura de los durmientes.

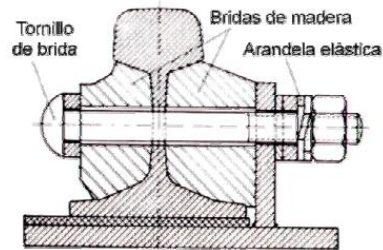


- Eclisas: Unión longitudinal de rieles. Se utilizan para la unión longitudinal de los rieles consecutivos. Son juntas, constituyendo los puntos débiles de la vía, a causa de la variación brusca del valor del momento de inercia disponible, lo que origina un choque al paso de las ruedas, cuyos efectos negativos son aumentar la resistencia a tracción, corrimiento longitudinal, machacado de balasto e imponer flexiones y deformaciones permanentes. Las juntas pueden ser suspendidas, apoyadas o semisuspendidas.

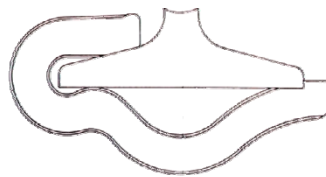




- Junta aislante: Aislación de juntas para no permitir el paso de corriente eléctrica.



- Anclas: Disminución de deslizamiento de rieles. Evitan los desplazamientos horizontales, estas se fijan al riel mediante percusión, lo cual produce su deformación de manera que abraza al patín del riel con una fuerza elástica tal que bloquea, por rozamiento, el desplazamiento del riel al producirse al apoyo del ancla contra el durmiente. Los desplazamientos de deben a la acción e los esfuerzos longitudinales creados por el material rodante y por las variaciones de temperatura, provocando el desajuste de la vía y trabajos complementarios para restablecer la separación entre durmientes.



### CALCULO DE BALASTO

Se procede a clasificar a la línea en un grupo UIC, definiendo una carga ficticia  $T_f$  tal que:

$$T_f = \text{carga real pasajeros} * \frac{\text{velocidad maxima}}{100} + \text{carga real carga} * \frac{\text{peso max eje}}{18 * \text{diametro para trocha de 0,94m}}$$

$$T_f = T_v(\text{tn/dia}) * \frac{V\left(\frac{\text{km}}{\text{h}}\right)}{100} + T_m(\text{tn/dia}) * \frac{P_e(\text{tn})}{18 * D(\text{m})}$$

Las normas técnicas de Ferrocarriles Argentinos establecen un espesor mínimo de 30 cm, donde 15 cm son de sub-balasto y 15 cm de balasto.

Se acepta una distribución de presiones a 45° en el balasto y directo en el sub-balasto. Para determinar el espesor del balasto necesario se debe afectar la carga por eje P con un coeficiente dinámico  $\phi_2$  ya que no es una carga estática:

$$\phi_2 = 1 + \frac{v_{\text{circulacion}} - 60}{140}$$

Además a la carga por eje P se la debe afectar por la relación k:

$$k = \frac{\text{dist. entre ruedas circulantes}}{\text{dist. entre ejes durmientes}} = \frac{d_r}{1000/d}$$

De este modo, la carga que realmente actuará sobre cada durmiente P' es:

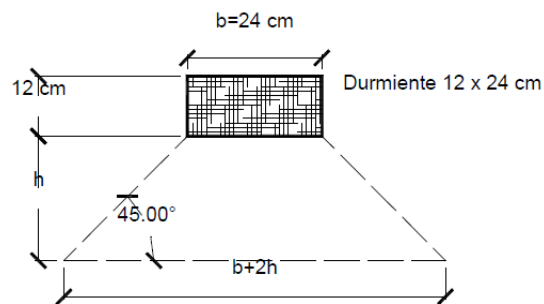
$$P' = \frac{P * \varphi_2}{k}$$

Entonces la presión g del durmiente sobre el balasto será:

$$g = \frac{P'}{\text{Area de apoyo del durmiente}}$$

Para calcular el área de apoyo del durmiente se debe afectar el valor de su longitud con el coeficiente de compactación incompleta CCI. Para el caso de trocha ancha 0,8. Se debe tener en cuenta que el largo del durmiente será el ancho de trocha más 1 m.

$$g = \frac{P'}{\text{area de apoyo del durmiente}} \text{ kg/cm}^2$$



Como en el balasto se toma una distribución de presiones a 45°, se tendrá:

$$g * b = \sigma_z * (b + 2 * h)$$

$$h = 0,5 * \left( \frac{g * b}{\sigma_z} - b \right)$$

De esta forma, se obtuvo la altura de balasto necesaria. Sin embargo, como se dijo anteriormente, las normas técnicas de Ferrocarriles Argentinos establecen un espesor mínimo de 30 cm, 15 cm de sub-balasto y 15 cm de balasto.

Si la altura resulta menor a 15 cm, para cumplir con las reglamentaciones se aumenta a 15 cm y se recalculan la velocidad de circulación y velocidad máxima, que serán mayores. El peso por eje también será mayor. Se vuelve a calcular para el espesor del balasto adoptado:

$$g * b = \sigma_z * (b + 2 * h)$$

$$g = \frac{\sigma_z * (b + 2 * h)}{b}$$

Luego se tiene:

$$P' = g * \text{Area de apoyo}$$

Si se tiene en cuenta que el peso máximo por eje es:

$$P' = \frac{P * \varphi_2}{k}$$

El coeficiente dinámico es:

$$\varphi_2 = \frac{P' * k}{P}$$

Luego:

$$V = (\varphi_2 - 1) * 140 + 60$$

Para la distribución de los durmientes en vía:

$$P' = \varphi_2 * P * \frac{d}{d_r}$$

$$d = \frac{P' * d_r}{P * \varphi_2}$$

Por lo tanto, se obtiene un número de durmientes por kilómetro:

$$d = \frac{1000}{\text{durmiente}}$$

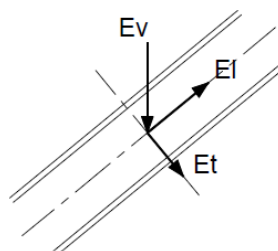
$$\text{durmiente} = \frac{1.000m}{d}$$

### **ESFUERZOS ACTUANTES SOBRE LA VIA**

**Los esfuerzos actuantes provienen de:**

Material rodante	Peso propio Velocidad de circulación. Estado de conservación del vehículo. Movimientos anormales
Estado de la vía	Defectos propios del riel Desnivelación longitudinal Estado de apoyo de los durmientes en balasto.
Condiciones atmosféricas	Temperaturas extremas.

**Pueden ser 3 tipos:**





1) **Verticales:** los origina el peso del material.

- Efectos sobre el material rodante por efectos de la vía: se utiliza la fórmula de Eisenmann.
  - Defectos propios del riel.
  - Estado deficiente de la nivelación de la vía.
  - Deficiente apoyo de los durmientes en balasto.

$$\varphi = 1 + t_1 * k$$

Estado	k
Muy buen estado	0,1
Buen estado	0,2
Mal estado	0,3

- Efectos sobre la vía debidos al material rodante: se utiliza la fórmula de Eisenmann o Driesen, para velocidades menores de 180km/h.
  - Peso propio de los vehículos
  - Velocidad de circulación
  - Estado de conservación

$$E \rightarrow \varphi = 1 + \frac{V - 60}{140}$$

$$D \rightarrow \varphi = 1 + \frac{V^2}{30.000}$$

2) **Transversales:** en vía recta se deben a movimientos de lazo, es un movimiento compuesto por un giro alrededor de un eje vertical perpendicular a la vía, combinado con el desplazamiento del tren. El resultado es un excesivo roce de las pestañas de las ruedas contra la parte inferior de la cabeza del riel.

En vía curva hay que adicionarle el efecto no compensado de la fuerza centrífuga que se produce al doblar. Se debe verificar que:

$$\frac{Et}{P} \leq 0,70$$

3) **Longitudinales:** proviene de la variación de la temperatura del riel, afectado por la temperatura del ambiente. Debe verificarse que el esfuerzo longitudinal producido sea menor que la carga máxima de pandeo no sobrepase la tensión de trabajo.

$$\frac{P_{critico}}{seccion\ del\ riel} = \sigma_{trabajo}$$

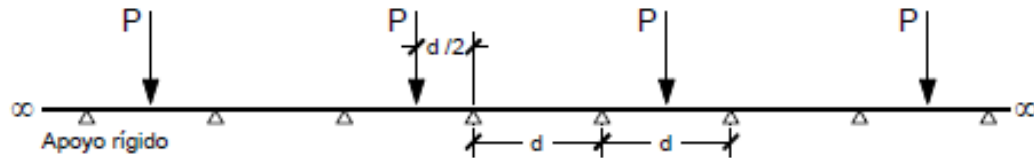
La tensión máxima es de 1.000 kg/cm<sup>2</sup> de sección de riel. En el arranque y frenado se tiene:

- Arranque: de 15 a 20% de Et
- Frenado: de 8 a 12% de Et.

## CALCULO DE VÍA

Se debe calcular el espesor del balasto y verificar que la tensión del riel este dentro de los valores admisibles  $\sigma=2.000\text{kg/cm}^2$ . Las hipótesis son teniendo en cuenta vigas continuas de infinitos tramos o con un determinado número de tramos.

- **Teoría de Winckler:** considera
  - Apoyos rígidos.
  - Viga continua de infinitos tramos.
  - Carga en el centro de tramos alternados.



Según este autor, el momento máximo que experimenta un riel viene dado por la siguiente expresión, aplicando la teoría de elasticidad:

$$M_{max} = 0,188 * P * d = 0,188 * \frac{\text{peso por eje}}{2} * \frac{\frac{1.000m}{km}}{\text{durmientes/km}} * 100$$

El modulo resistente  $W_x$  con respecto al eje horizontal pasante por el baricentro de la sección para cada sección de riel es:

$$\sigma_t = \frac{M_{max}}{W}$$

Además se deberá verificar el pandeo comprobando que la tensión de trabajo sea menor que la tensión máxima longitudinal.

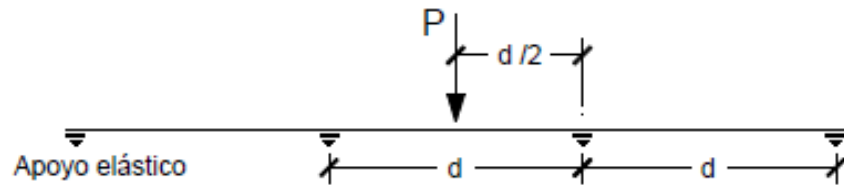
$$\sigma_t = \frac{P_{critico}}{seccion} = \frac{\frac{\pi^2 E J}{L_p^2}}{Sección} \leq 1.000\text{kg/cm}^2$$

$$P_{cr} = E * \alpha * \Delta T * A$$

Esta teoría tiene falencias tales:

- Supone apoyos rígidos, prescindiendo del efecto elástico del balasto.
- No tiene en cuenta el estado dinámico de las cargas actuantes.

- **Teoría de Zimmermann:** considera
  - Apoyos elásticos.
  - Viga continua de 3 tramos.
  - Carga en el centro del tramo.



Según esta teoría, el momento máximo se calcula como:

$$M_{max} = P * d * \phi_1 * \phi_2 * \phi_3$$

Dónde:

- P=carga de una rueda, en este caso 9000 kg.
- d=distancia entre ejes de durmientes, en nuestro caso 58,07 cm.
- $\phi_1$ : Coeficiente que tiene en cuenta las características elásticas de los apoyos de los durmientes y la rigidez del riel.

$$\phi_1 = \frac{1}{4} \left( \frac{8\gamma + 7}{4\gamma + 10} \right)$$

- $\phi_2$ : Coeficiente de impacto que tiene en cuenta el efecto dinámico de las cargas.

$$\phi_2 = 1 + \frac{V - 60}{140}$$

- $\phi_3$ : Coeficiente que engloba el efecto de interacción rueda-riel, cuyo valor es empírico.

$$1,15 < \phi_3 < 1,25$$

<b><math>\gamma</math></b>	Determina las características de la vía	$\gamma = \frac{B}{D}$
<b>B</b>	Tiene en cuenta la rigidez del riel	$B = \frac{6EJ}{d^3}$
<b>D</b>	Tiene en cuenta las características del apoyo	$D = CCI \times l' \times b \times C$
<b>CI</b>	Coeficiente de compactación incompleta	0,76
<b>E</b>	Módulo de elasticidad del riel	2.100.000 kg/cm <sup>2</sup>
<b>C</b>	Coeficiente de balasto de Winckler	4 kg/cm <sup>2</sup>
<b>b</b>	Ancho del durmiente	24
<b>l'</b>	Semilongitud del durmiente	125 cm
<b>D</b>	Separación entre ejes de durmientes	58,07 cm
<b>J</b>	Momento de inercia del riel, en cm <sup>4</sup>	

### Si se superan las tensiones máximas:

La fórmula para el momento máximo de ambas teorías desarrolladas, es proporcional a la separación entre durmientes, entonces para disminuir la tensión de trabajo se deberá disminuir la separación entre durmientes.

En cuanto a la velocidad de circulación, según la teoría de Zimmerman, cuanto mayor sea la velocidad el momento máximo aumenta, a través del factor  $\phi^2$ . Por lo tanto, si se disminuye la velocidad de circulación, la tensión de trabajo también.

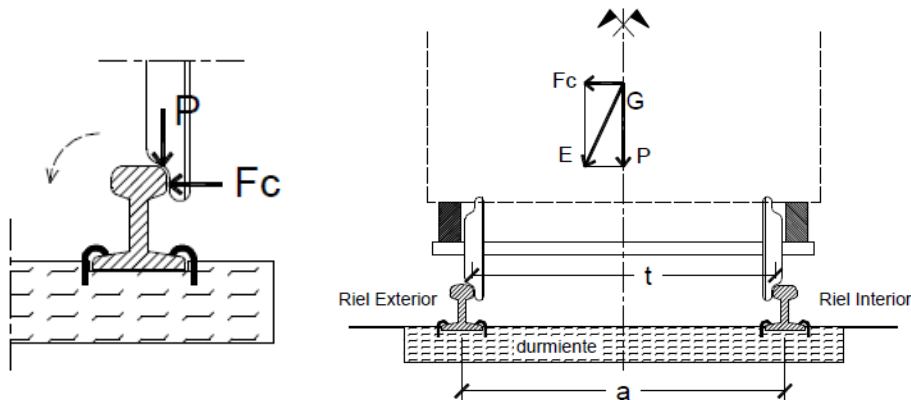
## CIRCULACIÓN EN CURVAS HORIZONTALES

El radio varía con la naturaleza del trazado y el espacio físico disponible.

Los vehículos a circular soportan las siguientes curvas que resultan en la fuerza E.

- La fuerza vertical resultante de su peso.
- La fuerza centrífuga, perpendicular en planta al eje de la vía. Da lugar a un excesivo roce de las pestañas de la rueda contra el riel exterior y en determinadas condiciones puede descarrilar.

$$\frac{p}{F_c} < 0,70$$

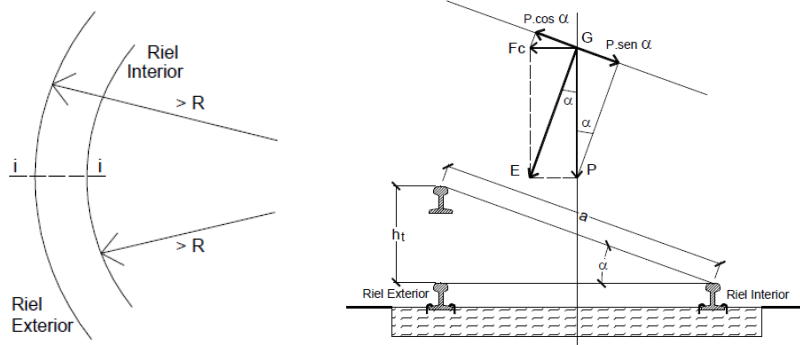


### Aspectos fundamentales de circulación en curvas:

1) **Peralte:** para compensar el efecto de la fuerza centrífuga. Si la resultante E no es perpendicular al plano de la vía tiene en ese plano una componente transversal, en función de la inclinación del plano de la vía. Es la diferencia de nivel entre la fila exterior de rieles.

El peralte sirve para:

- Evitar el excesivo desgote
- Evitar la excesiva presión
- Dar confort a los pasajeros.

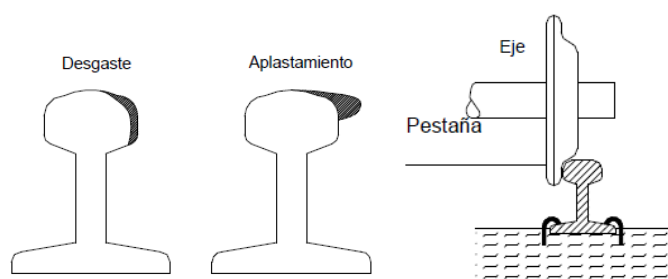


$$\text{peralte teorico} \rightarrow h_t = \frac{a}{127} * \frac{V^2}{R}$$

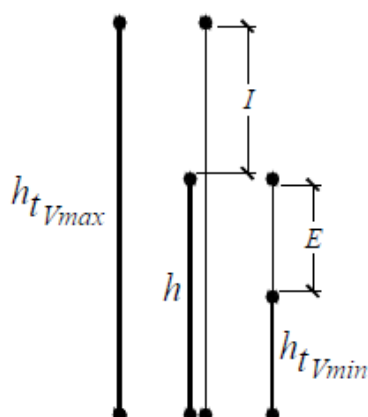
Trocha	a/127
Ancha	13,8
Media	11,8
Angosta	8,3

El peralte real es un valor que se sitúa entre el valor del peralte teórico correspondiente a la velocidad de los trenes más rápidos y los más lentos.

Habrán trenes que tendrán que soportar la deficiencia de peralte lo que producirá desgastes. Por rozamiento se desgasta la pestaña de la llanta, para evitarlo se suele colocar engrasadores automáticos o lápiz de grafito.



Se analiza el criterio con la situación más desfavorable, siendo el peralte por insuficiencia o exceso. Este no define la velocidad con la que se calculara el mismo, sino que se basa en admitir dos casos según la velocidad de circulación de los trenes, los cuales los más rápidos sufrirán insuficiencia de peralte y viceversa.



El criterio limita los valores en base al estado de conservación de las vías, el rango de variación de las velocidades y el tonelaje.

- Valor límite nominal de h

Trocha	H (mm)
Ancha	190
Media	160
Angosta	110

- Coefficiente Peralte teórico: depende de la trocha de la vía, calculado con la velocidad máxima

$$C_t = n * V_{max}^2$$

Trocha	n
Ancha	0,0138
Media	0,0188
Angosta	0,0083

- Coefficiente Peralte real: diferencia entre la velocidad máxima y la mínima.

$$0,5C_t \leq C \leq 0,7C_t \quad \text{Este era el valor "C" que tiene que ser multiplo de 15}$$

- Peralte real:

$$h_r(mm) = 1.000 * \frac{C_r}{R(m)}$$

Si se verifica la diferencia de velocidades máximas y mínimas, se procede a verificar que este valor obtenido de  $h_r$  es menor que al valor límite nominal del peralte establecido para una trocha ancha.

$$h_{tmin} \leq h_r \leq h_{tmax}$$

- Valor límite por insuficiencia de peralte: para trenes de mayor velocidad, se define para cada trocha de acuerdo al estado de conservación de las vías.

$$I = \text{insuficiencia} = h_{tmax} - h_r$$

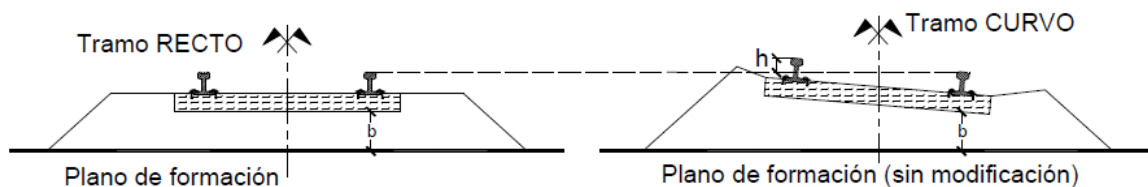
Trocha (mm)	INSUFICIENCIA (mm)	
	Vías en buen estado de conservación	Vías en mal estado de conservación
1.676	150	115
1.435	130	100
1.000	90	65

- Valor límite por insuficiencia de peralte: para trenes de menor velocidad, se define para cada trocha y en función de la importancia del tráfico que circule por el sector.

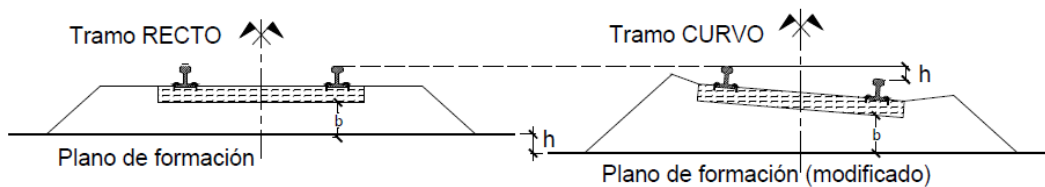
$$E = \text{exceso} = h_r - h_{min}$$

Tráfico (tn/día)	Trocha (mm)		
	1.676	1.435	1.000
Mayor de 45.000	80	70	50
25.000 a 45.000	95	80	60
10.000 a 25.000	105	90	60
Menos de 10.000	120	100	70

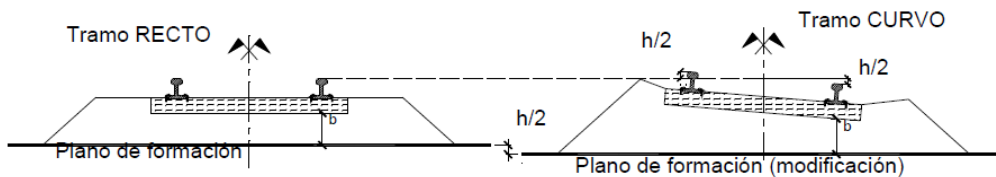
- **Materialización del peralte:** para ganar altura necesaria, diferencia de altura entre ambos rieles.
- Todo sobre el riel exterior, quedando el eje de la vía sobre-elevado  $h/2$ . Este es el más adecuado porque solo hay que aportar balasto sobre el riel exterior, quedando el interior sin variar de posición. El peralte requiere una rampa donde la altura del riel exterior respecto del riel interior, pase de 0 a  $h$ , y al terminar la curva circular una pendiente donde dicha altura pase de  $h$  a 0, para luego seguir los dos rieles a igual altura.



- Todo sobre el riel interior, quedando el eje de la vía enterrado  $h/2$ .



- Dejar inmóvil el eje de la vía, elevando  $h/2$  el riel exterior y bajando  $h/2$  el riel interior.



- 2) **Curvas en transición:** para facilitar a los vehículos al entrar o salir de las curvas. Entre la recta curva y la circular o entre dos curvas circulares de radios distintos, de las cuales el radio de curvatura y el peralte deben variar proporcionalmente punto a punto. La variación del peralte en la curva de transición como  $180(\text{mm})/V(\text{km/h})$ , no debe sobrepasar los  $4\text{mm/m}$ .

$$\rho = \frac{k}{h}$$

$$i = \frac{\Delta h}{\Delta l}$$

- Cálculo de la longitud de la curva de transición: Depende del peralte real  $h_r$  y del gradiente de peralte  $i$ , por lo tanto:

$$L_{min} = \frac{h_r}{i}$$

- Cálculo de la constante  $C'$ : Esta constante depende de la trocha de la vía, de la velocidad máxima y del gradiente de peralte:

$$C' = a * \frac{V_{max}^2}{i}$$

Trocha	a
Ancha	13,8
Media	11,8
Angosta	8,3

- Con los valores de la abscisa “x” (longitud de curva de transición) variando cada 10m, calculamos la ordenada “y”, la curvatura “p”, el peralte “z” y el ángulo “α”.

$$y = \frac{x^3}{6 * C'} \rightarrow \text{ecuación de la curva de transición}$$

$$p = \text{radio de curvatura} = \frac{C'}{x}$$

$$z = \text{peralte} = i * x$$

- 3) **Sobreancho:** se da sobre el riel interior de la curva y se cuenta a partir del punto de tangencia de la recta con la curva. No debe darse sobre ancho a las curvas circulares, pudiéndose ensanchar aquellas con radios menores de 300m. el ensanchamiento es de 1mm/m.

Radios (m)	Sobreancho (mm)
300-250	5
250-200	10
200-150	15
150-120	20

**Si no cortamos rieles, que parámetros varían.**

Se calcula la longitud de curva de transición de la misma manera que se realizó anteriormente, dando un valor de 7,5 metros, por lo tanto, como en este caso no queremos cortar los rieles, consideramos una longitud mínima de 36 metros, y de esta manera, considerando longitudes más grandes a la mínima, es posible reducir el gradiente de peralte, aumentando el confort para los pasajeros.

- Cálculo de gradiente final:

$$i_f = \frac{\Delta h}{\Delta l}$$



- Cálculo de la constante  $C'$ : Esta constante depende de la trocha de la vía, de la velocidad máxima y del gradiente de peralte:

$$C' = a * \frac{V_{max}^2}{i_f}$$

- Con los valores de la abscisa “x” (longitud de curva de transición) variando cada 10m, calculamos la ordenada “y”, la curvatura “p”, el peralte “z” y el ángulo “α”.

$$y = \frac{x^3}{6 * C'} \rightarrow \text{ecuación de la curva de transición}$$

$$\rho = \text{radio de curvatura} = \frac{C'}{x}$$

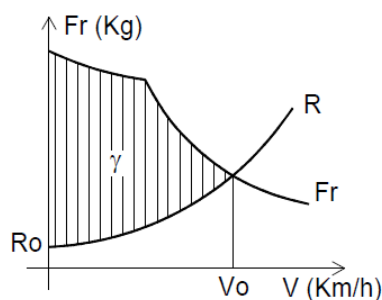
$$z = \text{peralte} = i * x$$

## RESISTENCIA A LA TRACCIÓN FERROVIARIA

Al moverse el tren, **debe vencer resistencias a la tracción ferroviaria**. Al desplazarse implicando un coeficiente de rodadura mucho menor que el de los vehículos carreteros, es necesaria una fuerza mucho menor para mover al tren. Dicha fuerza se ve afectada por resistencias varias en el punto de contacto entre llanta y riel.

$$r = +r_o \pm r_i + r_c \pm r_{in} + r_{ad} \quad \frac{kg}{tn} \text{ o } \frac{tn}{tn} \text{ de tren}$$

Genéricamente, calculada la resistencia a la tracción y multiplicándola por el peso total del tren, se obtiene la fuerza que debe vencer la locomotora para mover al tren. El dato conocido es la fuerza de la rueda de la locomotora.



El contacto metal-metal tiene un límite, ya que tiene problemas de patinaje, luego a la velocidad de régimen no se justifica seguir ya que pierde potencia y se dificulta vencer la fricción. A mayores rampas aumenta la resistencia y viceversa.

Para una misma velocidad, la capacidad de remolque queda limitada al tonelaje que se pueda remolcar en rampa. Si no es admisible por razones de tráfico circular a esa velocidad, habrá que variar la rasante del trazado, reduciendo las rampas.

- 1) **Resistencia al avance:** se produce siempre que hay movimiento en trazados rectos y horizontales.

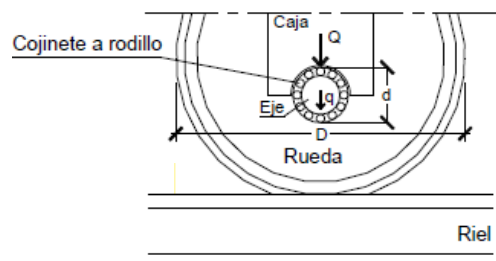
$$r_0 = a + bV + cV^2 = \left[ 0,65 + \frac{13,15}{p} \right] + bV + \left[ \frac{k \cdot S}{p \cdot n} \right] * V^2$$

- Por rodadura:

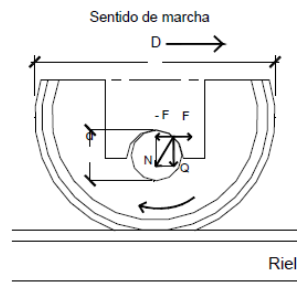
- **Eje y cojinete:** las ruedas están rígidamente caladas al eje, el cual recibe, a través de la caja, el peso de las cargas transportadas. La caja no apoya directamente en el eje sino a través de los cojinetes. La fricción entre ellos produce resistencia. **La resistencia al avance producida por el frotamiento entre el eje y el cojinete es una fuerza X que aplicada en el borde de la llanta origina una cupla resistente igual a la que produce la fuerza de frotamiento nacida en la zona de contacto entre el eje y el cojinete.**

No estudiar lo que marcado en rojo

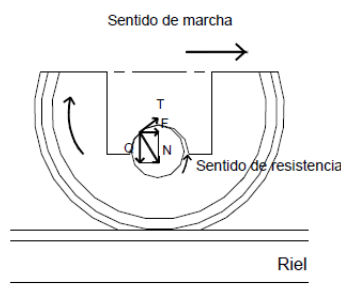
$$X_1 = f * Q * \frac{d}{D} = 1.000 * f * \frac{d}{D} * \frac{Q}{q - Q} \text{ kg/tn}$$



- Eje motriz: conectado a los motores de tracción. Es el eje el que apoya en la caja y el punto de contacto avanza respecto a su posición en reposo.



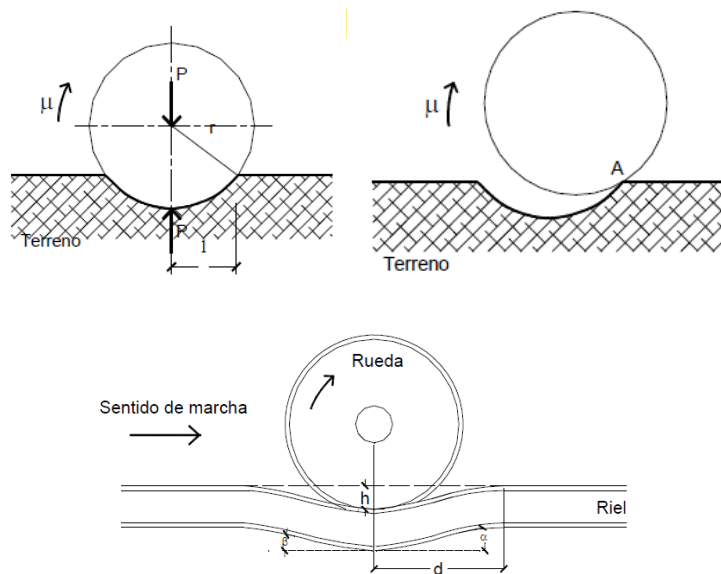
- Eje remolcado: la caja se apoya en el eje remolcándolo. Al haber movimiento el punto de contacto retrocede respecto a su posición de reposo.



- **Llanta y riel:** la vía flexa en función de sus características estructurales, gira venciendo la resistencia por hundimiento. La resistencia al avance producida por el contacto de la llanta y el riel, es una fuerza  $X$  que aplicada en el borde de la llanta resulta proporcional al peso total transmitido por la rueda del riel. La falencia no considera la velocidad de circulación.

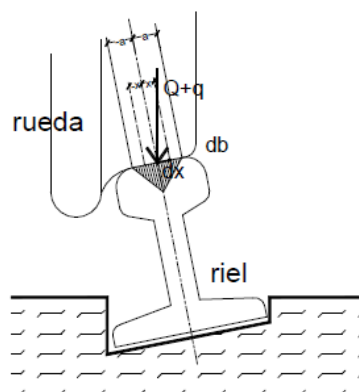
$$X_2 = k * Q + q = 1.000 * k \text{ kg/tn}$$

$K$  varía entre 0,021 y 0,065. Si la rueda gira hacia la derecha, la deformación de esa estructura presenta el ángulo hacia adelante mucho mayor que el ángulo hacia atrás por la inercia de la estructura.



$$X_2 = 1.020 * \frac{h}{2d} \text{ kg/tn}$$

- **Conicidad de la llanta:** la condición de trabajo no es buena porque el peso total se transmitirá por un punto, en la práctica los rieles se ubican oblicuamente para que el apoyo no sea puntual.



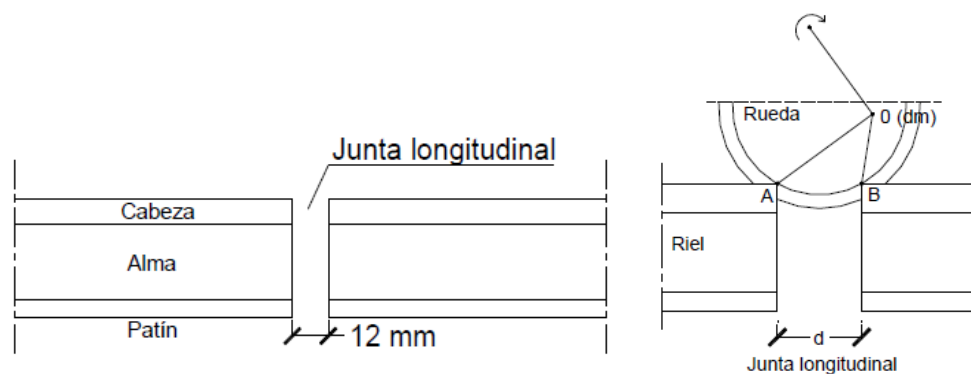
Todos los puntos de la rueda giran con igual velocidad angular, los puntos de menor radio recorrerán distancias menores. Al haber deslizamientos hay rozamiento y por lo tanto se genera una resistencia adicional debida a la conicidad de la llanta. La oblicuidad puede ser de 1/20 o 1/40, y se materializa con el entallado de los durmientes que soportan el riel.

La resistencia al avance producida por la conicidad de la llanta es una fuerza X que aplicada al borde de la llanta en una vuelta de la rueda produce un trabajo equivalente al trabajo de la fuerza de frotamiento nacidas en la zona de contacto entre la llanta y el riel por la conicidad de la llanta.

$$X_3 = \frac{2.000}{3} * f * \frac{a}{nD} \text{ kg/tn}$$

- **Irregularidades de la vía:** aparece porque hay irregularidades en las juntas entre rieles, por lo tanto hay que utilizarlos con la mayor longitud posible a fin de disminuir el efecto negativo de sus uniones.
  - **Discontinuidad longitudinal:** es necesario que los rieles estén separados para absorber la dilatación por variación de temperatura. Se considera que el peso de la rueda y del eje q sufren variación de energía cinética.

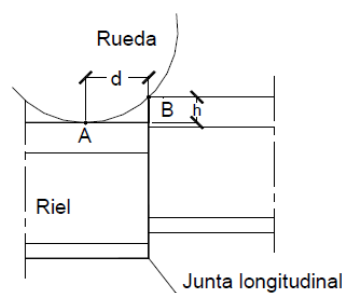
$$X_4 = \frac{1.000}{2g} * \frac{q}{Q + q} * \frac{V^2}{l} * \frac{d^2}{R^2} \text{ kg/tn}$$



- **Discontinuidad vertical:** cuando las juntas no están al mismo nivel debido a la deficiente conservación de la vía. Es 7 veces más perjudicial que el horizontal.

$$X_5 = \frac{1.000}{2g} * \frac{q}{Q + q} * \frac{V^2}{l} * \frac{2h}{R^2} \text{ kg/tn}$$

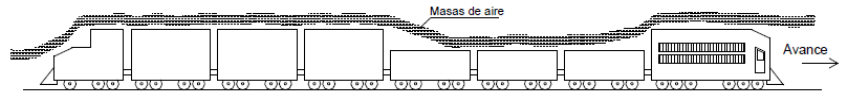
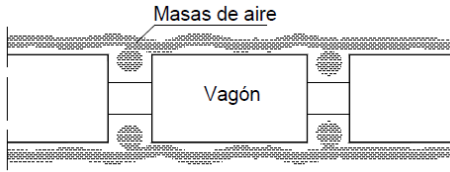
$$\frac{d^2}{R^2} \leftrightarrow \frac{2h}{R}$$



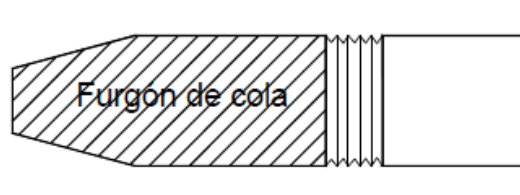
- **Enganches, suspensiones, aparatos de bloqueo:** se considera su efecto mediante porcentajes, usualmente el 10%.
- **Por aire:** es tanto mayor cuanto mayor es la velocidad de circulación del tren. **Depende de la forma del vehículo**, de la naturaleza y del estado de la superficie del mismo, **de la velocidad de circulación** y del estado atmosférico. El tren sufre una separación entre coches, ventanillas abiertas, y espacios entre el coche y la vía.
  - **Frontal del aire:** depende de las dimensiones y forma de la sección normal del vehículo.

$$R = 0,0062 * S * V^2$$

- **Lateral:** visto el tren desde arriba debe ofrecer continuidad para evitar el ingreso de masas de aire, ubicando juntos los vagones de alturas similares. La resistencia lateral se agrega  $0,1 \text{ m}^2/\text{vehículo}$ .



- **Succión de cola:** es mayor que el efecto frontal. Se considera de  $1,50$  a  $1,80 \text{ m}^2$ .

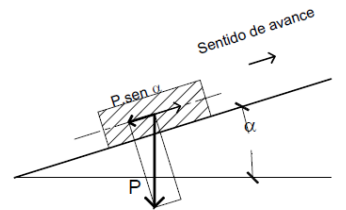


- **Movimientos turbillónarios:** para lograr mayor capacidad de transporte hay elementos que deben colocarse debajo del vehículo, pero quedan ciertas irregularidades. Los valores van desde  $0,05$  a  $0,1 \text{ m}^2$  por cada vehículo.

## 2) **Resistencias locales o planialtimétricas:**

- **Por rampas o pendientes:**

$$r_i = \pm i \text{ kg/tn}$$



- **Por curvas:** como está montado sobre bogies, la rigidez de estos ofrece cierta resistencia para inscribirse en las curvas.

$$r_c = 500 * \frac{t}{R} \text{ kg/tn}$$

- **Longitudinal:**

$$C_1 = 1.000 * \frac{P}{2} * f * \frac{s}{R}$$

- **Transversal**

$$C_1 = 1.000 * \frac{P}{2} * f * \frac{l}{R}$$

- **Tangencial**

$$C_1 = 1.000 * \frac{P}{2} * f * \frac{s * l}{R}$$

**3) Resistencias de inercia:** depende de la aceleración y de la complejidad de los mecanismos que posea el material rodante analizado. Sus efectos pueden ser favorables o desfavorables a la marcha. No aparecen si el movimiento es uniforme.

$$r_{in} = \pm 1.000 * \frac{\alpha}{P} * \frac{P}{g} * \bar{a} \quad kg/tn$$

El valor d coeficiente de inercia refleja los mecanismos cuya inercia habrá que vencer al imprimirle a un móvil un cambio de velocidad.

Tren	$\alpha$
Diesel eléctrica	1,15-1,25
Eléctrica	1,15-1,20
Vapor	1,10-1,15
Vagones vacíos	1,06-1,07
Vagones cargados	1,03
Coches	1,08-1,10

Por cada tonelada de peso del tren y por cada  $cm/seg^2$  que deseamos imprimirle de aceleración tendremos que suministrar una fuerza adicional de 1,2kg, considerando solo la locomotora.

**4) Resistencias adicionales:** aparecen por la existencia de los dinamos de iluminación, calefacción, etc, y se deben considerar en cada caso particular.

## PLANIFICACIÓN DE TRAZADOS FERROVIARIOS

Unir los dos puntos a vincular mediante un trazado recto y horizontal, el trazado es una sucesión continua de alineaciones rectas y de curvas circulares, vinculadas entre sí por curvas de transición, empalmadas a través de curvas verticales impuestas, cuya inclinación depende de las características del terreno.

Hay que tener en cuenta un costo de construcción lo más reducido posible, con el máximo tráfico con un mínimo de trenes y de gastos. El trazado es el resultado del trabajo en equipo de profesionales de distintas especialidades.

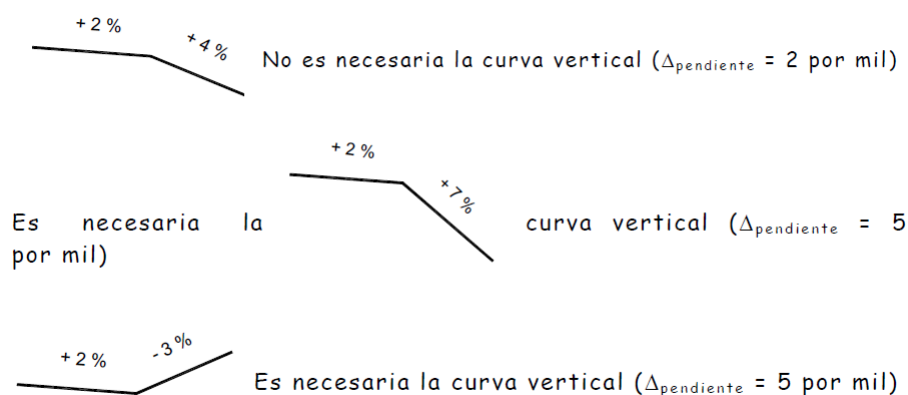
**Características:** se agrupan en función de la pendiente determinante.

- **Llanura:** rampa determinante entre 0 y 5 por mil. Tienen pocas rampas y pendientes, mayor aprovechamiento del poder tractivo, mayor tonelaje a transportar, menor trabajo de frenado, grandes radios de curva en largos tramos, bajo costo, problemas con la altura mínima.

La altura debe ser mayor que la cota máxima, puntos obligados son iniciales y finales, además se tendrá en cuenta las necesidades de la población y de la producción zonal, deben evitarse expropiaciones costosas.

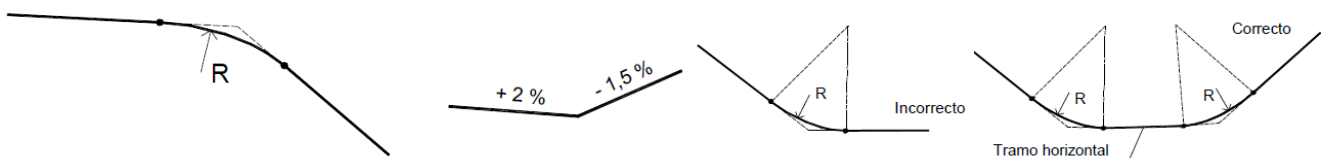
- Colina: 5-12 por mil. Mayor proporción de curvas circulares, rampas y pendientes, problemas de tracción y frenado, mayores resistencias a la tracción, menor tonelaje, mayor aprovechamiento de la tierra. Importantes obras de arte, mayor gasto, puntos obligados inicial, final y cruces de ríos. Deben evitarse viaductos.
- Montaña: 12 por mil en adelante. Hay que pasar por valles, laderas, lugares de inclinaciones grandes. Para ganar altura hay que recurrir a desarrollos artificiales, atravesando mesetas. Las rampas y pendientes muy importantes, mayores gastos, grandes movimientos de tierra, obras de arte importantes, grandes obras de defensa. Todos los vehículos tienen que tener freno, y los puntos obligados son de paso, como los cruces.

**Curvas verticales**: en el tendido de vías deben realizarse los enlaces de cambio de pendiente con curvas verticales en los casos donde la diferencia algebraica de los declives es igual o mayor a 4mm/m. la posible variación de los esfuerzos de tracción y compresión que repentinamente se producen, puedan ser soportados por el material rodante, sin causar mayores daños.



El radio de empalme varía con la velocidad de circulación del tren. No debe hacerse cambio de pendiente en las obras de arte no balastadas, aparatos de vía y en las curvas horizontales. Si la diferencia algebraica supera el 3% el empalme debe realizarse con un tramo recto entre 2 curvas verticales de radio mínimo de 5.000m.

- Velocidades mayores de 100 km/h tienen un radio de 10.000m.
- Velocidades menores de 100 km/h tienen un radio de 5.000m.



#### **Reconocimiento del lugar del posible trazado:**

- Cursos de agua: deben observarse la forma, rumbo, caudal y tipo.
- Accidentes topográficos: se verifican las cartas topográficas, prestando atención en las laderas, por derrumbes. Hay que elegir las expuestas al sol y protegerlas del viento.
- Tipo de suelo: naturaleza y estado, haciendo perforaciones.

- Terrenos peligrosos: deben evitarse los salitres ya que corroe la estructura, médanos ya que trae problemas en la circulación, y los pantanos.
- Ubicación del trazado: es necesario una faja de unos 100m de ancho.
- Factores meteorológicos: considerar el régimen de lluvia, cota de la máxima creciente y su periodicidad, el régimen de temperaturas medias ya que hay terrenos que se hinchan deformando la vía, los vientos predominantes y la napa freática, ya que con 10cm de agua sobre el riel no se permite circular.
- Población: se ubicaran en los centros urbanos existentes.

**Datos necesarios para encarar el estudio del trazado:**

- Trocha
- Puntos obligados: inicial, final, de paso o de condición.
- Rampas:
  - Determinante: pueden subir a una determinada velocidad.
  - De inercia de acción acumulada: está precedida de una pendiente.
  - Especiales: casos de cremallera o doble tracción.
- Elementos de tracción y remolque: si son empalmes las locomotoras son de uso común a la zona nueva y a la zona existente, si es un desvío particular se compran locomotoras y usan los vagones del ferrocarril.
- Radio mínimo de las curvas.
- Velocidades operativamente más convenientes.
- Obras de arte:
  - Tipo: puente.
  - Terreno de fundación.
  - Caudal de escurrimiento: conocer la cuenca, lluvia máxima, tiempo de duración de la máxima precipitación y pendiente del terreno.

**Trazado preliminar**: para realizar los trazados de llanura, colina o montaña, se deben conocer las curvas de nivel de la zona, y tener en cuenta la rampa determinante.

La rampa determinante del terreno natural, si es una zona plana será hasta el 5%, si es una zona ondulada es entre 5 y 12%, y si es de zona montañosa es mayor al 12%. Se adoptan teniendo en cuenta los valores donde se mantiene la adherencia, o sea el 30% como límite.

Esta se adopta dependiendo de las experiencias previas, y una vez determinada queda definido el tren óptimo, teniendo en cuenta la velocidad de circulación, tracción necesaria y tonelaje máximo a remolcar. Las circulaciones se realizan con el tren optimo, ósea buscando el máximo aprovechamiento de la circulación.

En áreas de montaña o llanura:



- Considerar como si fueran dos trazados con 2 pendientes determinantes con una maniobra inevitable en la estación donde se cambia la rampa determinante.
- Considerar como de diseño la rampa determinante de uno de los sectores.
  - Si se toma la rampa determinante del trazado de llanura, la parte que se realice en montaña tendrá longitud de ancho mucho mayor.
  - Si se considera para todo el trazado la rampa determinante de la zona de montaña, para el área plana no será máximo el aprovechamiento, no se utiliza en tren óptimo.

Para resolverlo se considera el tipo de vía y adoptar con criterio económico la solución más adecuada, donde se debe considerar el costo de construcción, explotación y mantenimiento. Una vez establecida la rampa determinante a utilizar podrán comenzarse a desarrollar las rampas preliminares y definitivas. Luego conocidas las curvas de nivel y adoptando el valor de la rampa determinante se puede comenzar con el trazado.

- Zona plana: la pendiente del terreno es menor que la pendiente del trazado.

$$i_t < i_d$$

- Zona no plana: los trazados de montaña y algunos sectores de colina. La pendiente del terreno es mayor que la rampa determinante del trazado. Si es menor no se cortara a ningún plano, y si es igual no queda opción para definir un trazado.

$$i_t > i_d$$

Adoptada la rampa determinante, conocida la equidistancia y el desnivel a salvar, se podrá calcular:

- Brazo de la poligonal: se calcula en la etapa preliminar con la rampa determinante.
- Mínimo número de tramos: resulta de dividir el desnivel a salvar por la equidistancia entre curvas de nivel sucesivas.

$$MNT = \frac{\Delta}{E}$$

- Grado de dificultad del trazado: interponer curvas circulares entre tramos sucesivos de la poligonal, disminuyendo la longitud del recorrido. Se incrementa el número de tramos en un porcentaje que puede estimarse si se considera el grado de dificultad del trazado G, que es el cociente entre la longitud necesaria según el mínimo número de tramos y la longitud disponible, tomada a escala en planta.

$$GD = \frac{LN}{LD} = \frac{MNT * d}{LD}$$

**CALCULO DEL TRAZADO DEFINITIVO**: El trazado está conformado por una proporción de curvas y otra de rectas. Se debe tener en cuenta el efecto adicional de la resistencia en curva  $r_c$  que puede calcularse mediante la expresión:

$$r_c = 500 \times \frac{t}{R}$$

Se prueba que es numéricamente igual el valor de la resistencia en (kg/tn de tren) con el valor de la pendiente en (por mil). Por lo tanto en rectas el valor admisible de la pendiente en (por mil) es igual al valor de la resistencia a vencer en (kg/tn de tren), entonces:

$$\text{Pendiente en recta} = i_d \text{‰}$$

Mientras que en curvas el valor de la pendiente es igual al valor de la resistencia a vencer en (kg/tn de tren) menos la resistencia por curva en (kg/tn de tren), o sea:

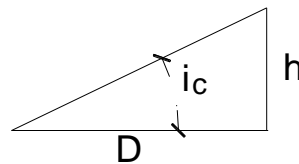
$$\text{Pendiente en curva} = i'_d = i_d - r_c$$

Por lo tanto la pendiente a dar en rectas es mayor a la pendiente a dar en curvas. En función del porcentaje de longitud del trazado en recta y en curva se calculó la pendiente compensada  $i_c$ , que tiene en cuenta la resistencia adicional en curvas.

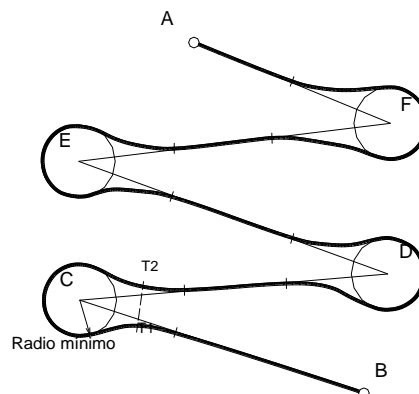
Para la determinación de  $i_c$ , se partió del conocimiento DE la proporción de tramos rectos y tramos curvos.

$$i_c = 0,55 \times i_d + 0,47 \times i'_d$$

Para la realización del trazado, se utilizó la pendiente compensada y la diferencia entre cotas de nivel para determinar la longitud de cada tramo recto:



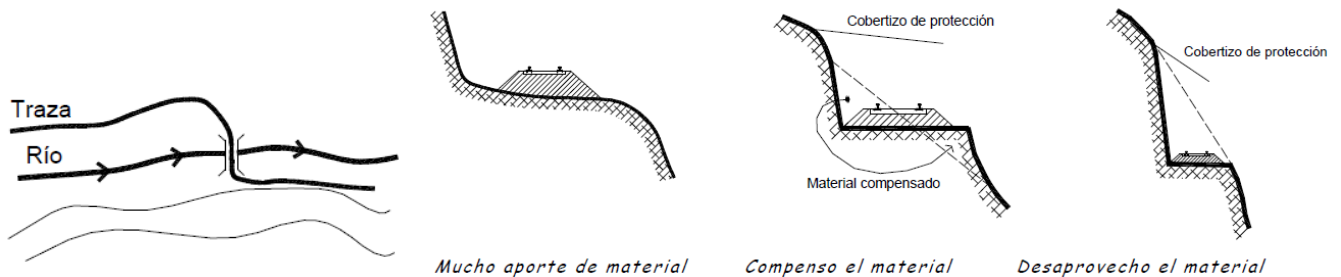
Una vez determinados estos valores, se procedió a unir los puntos A y B en el plano. Esto se realizó formando una poligonal, uniendo curvas de nivel sucesivas con la distancia D. Cuando ya fue definido el trazado definitivo, con las correspondientes obras de arte y alcantarillado, se trazó el perfil longitudinal, fijando las escalas convenientes. Para unir los puntos A y B se debió ganar altura mediante el zig-zag, trazando con el valor del radio mínimo. También fue necesario el trazado del lazo:



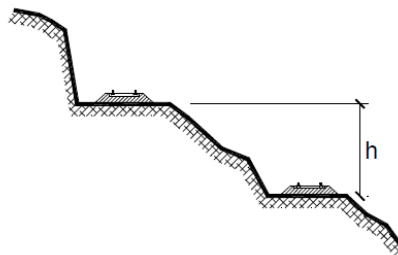
- **Zigzag:** Se construye una línea quebrada A-C-D-E-F-B y con centro en C – luego en los otros puntos intermedios –, se traza un círculo con el radio mínimo o un valor mayor si el terreno lo permite, y mediante las tangentes se determina el trazado en zigzag.
- **Lazo:** Se traza el círculo de radio mínimo alejado de los vértices una longitud  $l$ , de manera de aumentar la longitud del recorrido para poderlo hacer con la pendiente establecida.

### Recorridos artificiales:

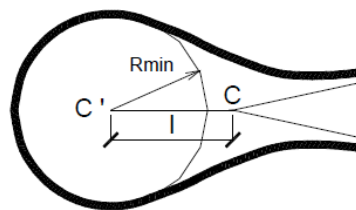
- Faldeo: aprovecha las laderas en zonas de quebradas, valles y laderas no desmontables.



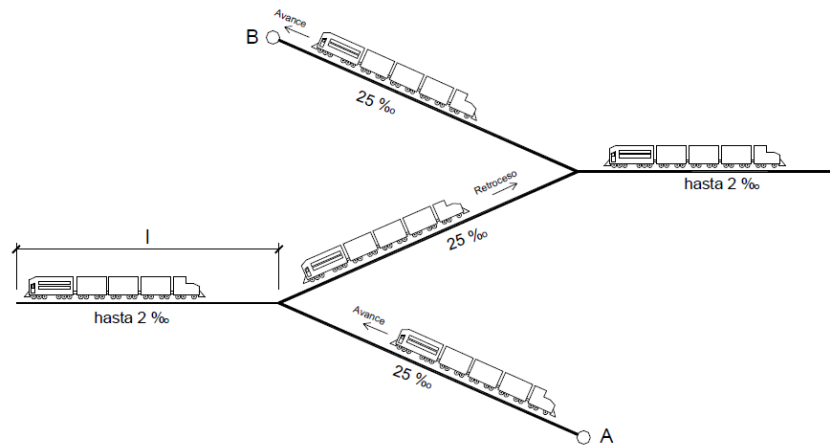
- Planicie amplia: se debe ganar altura mediante el zigzag, trazando con el valor de radio mínimo, trazado de lazo. La diferencia de altura debe ser tal que admita el tendido de ambas vías.



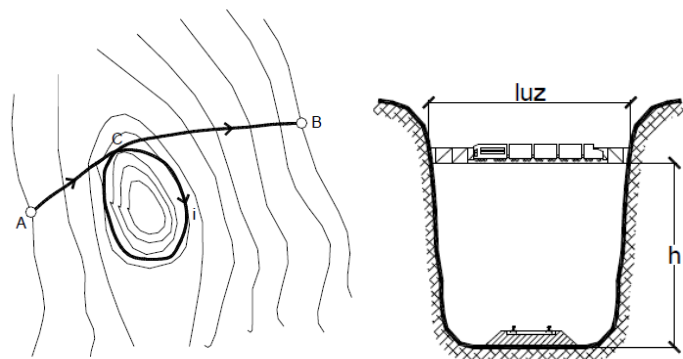
- Lazo: recorrido de mayor longitud, se usa para los puntos enfrentados con fuerte pendiente en ambos lados.



- Laderas con mucha pendiente: se debe hacer retroceso. Se instalan uno o más tramos horizontales, o con pendiente máxima de 2 por mil, de una longitud tal que quepan los trenes más largos, el resto se realiza con la pendiente máxima.

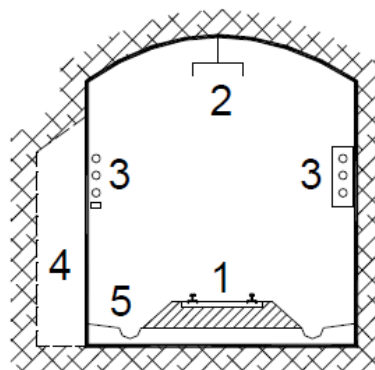


- **Eludir montaña:** se debe rodear la cima, se pasara dos veces por el mismo punto. Hay que verificar que la diferencia de altura sea tal que permita el paso de las dos vías.



- **Túneles:** deben tener buena ventilación, iluminación, control de aguas y buenas características del suelo. Se debe reconocer la superficie superficial, realizar sondeos, ensayos sísmicos y luego se procede a realizar el túnel. Sus elementos son:

- Ubicación de la vía.
- Catenaria de tensión.
- Señalamiento de telecomunicaciones.
- Refugios para el personal, ubicados cada 100m.
- Canaletas de agua.



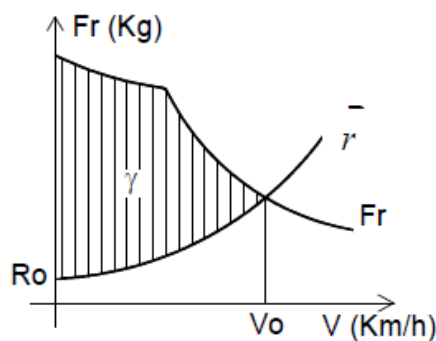
Los inconvenientes de los túneles son las deformaciones que pueden aparecer estando en servicio debido a aguas sulfurosas, heladas, drenaje insuficiente y hechos no previstos, como terremotos, errores de cálculo u hormigones mal elaborados.

## COMPARACIÓN DE TRAZADOS FERROVIARIOS

Para definir rampa se necesita la expresión de resistencia a la tracción ferroviaria.

$$r = r_0 \pm r_i + r_c + r_{in} + r_{ad} \quad \left( \frac{kg}{tn} \text{ de tren} \right)$$

Se dispone de la fuerza en la rueda de  $Fr$ , dato que da el fabricante, pudiéndose calcular la resistencia a la tracción  $r$  conociéndose así el rango de variación de la fuerza de aceleración hasta llegar a la velocidad de régimen  $Vo$ .



La máxima resistencia es de 6 a 8kg/tn. Y en el grafico si se supera la  $V_r$  no voy a tener potencia y no puedo arrastrar el tren.

### Rampas:

- Determinante: puede circular en condiciones óptimas de explotación.
- Máxima: es la mayor del trazado, es corta y la velocidad no baja a límites inaceptables.
- Límite: es la mayor rampa que se puede recorrer con adherencia natural, sin usar cremallera, es 140‰.

La compensación en curvas es la reducción de la pendiente del trazado en la zona de curvas para no superar la rampa determinante.

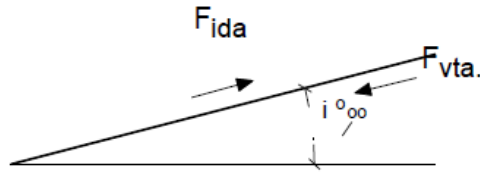
Clasificación de las rampas por el trabajo de la locomotora: para conocer el efecto de las curvas en el trazado de la locomotora, habrá que sumarles la resistencia en curva. En la rampa inocua el efecto de la curva es el doble que en la rampa nociva, pero el efecto de ambos es perjudicial al movimiento del tren.

El trabajo en curvas es:

$$T_c = r_c * l_c = 500 \frac{t}{R} * \frac{2\pi R \alpha^9}{360^9} = \rho \alpha^9$$

- Rampa inocua: cuando en una rampa recta el trabajo promedio en subir y bajar para un tren es igual al trabajo horizontal y recto.

$$r_0 > i$$



$$F_{ida} = (P_L + Q) * (r_0 + r_i)$$

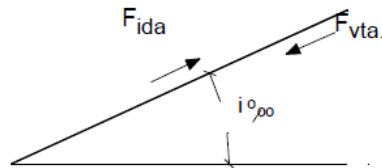
$$F_{vuelta} = (P_L + Q) * (r_0 - r_i)$$

$$F_{promedio} = \frac{F_{ida} + F_{vuelta}}{2} = (P_L + Q) * r_0$$

$$F_{final} = (P_L + Q) * r_0 + r_c$$

- Rampa nociva: cuando el trabajo promedio en subir y bajar para un tren es mayor que el trabajo en horizontal y recta.

$$r_0 < i$$



$$F_{ida} = (P_L + Q) * (r_0 + r_i)$$

$$F_{vuelta} = 0$$

$$F_{promedio} = \frac{F_{ida} + F_{vuelta}}{2} = (P_L + Q) * \frac{r_0 + r_i}{2}$$

$$F_{final} = (P_L + Q) * \frac{r_0 + r_i}{2} + \frac{r_c}{2}$$

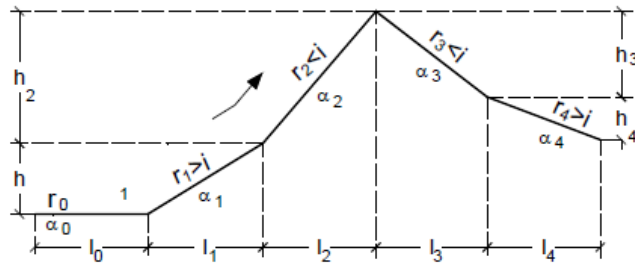
#### Criterio de las longitudes virtuales:

- Longitud real: desarrollo efectivo del eje de la vía.
- Longitud virtual: longitud de un trazado ideal en recta horizontal, equivalente al trazado real.

El criterio de las longitudes virtuales compara los trazados reales con sus rampas, pendientes y curvas, considerándolos trazados virtuales, equivalentes a los primeros, recorridos a la misma velocidad con la misma locomotora arrastrando el mismo tren.

- Igualdad de gastos de explotación, que incluyen los gastos de construcción.
- Mantenimiento y explotación.
- Igualdad de tiempos de recorridos.
- Igualdad de gastos de tracción.

**Comparación de trazados por el trabajo mecánico desarrollado:** una vez definida la velocidad de circulación se puede calcular la resistencia en recta y horizontal.



Se mide el trabajo realizado por la altura equivalente al trazado real. La altura equivalente en km en el recorrido de ida es igual al trabajo realizado para vencer todas las resistencias en (tn/tn de tren) en ese trayecto km. Mientras en el trazado de longitud virtual la misma altura equivalente de ida es igual al producto de la longitud virtual de ida por la resistencia en horizontal y recta.

La relación entre la carga bruta y la carga útil está dada por el coeficiente de utilidad  $\beta$ , que siempre es mayor que la unidad y depende del material rodante, tractivo y del tipo de carga transportada.

$$H_{ida} = r_0 \left( \frac{tn}{tn} \right) * I_0(km) + r_0 * I_1 + h_1 + r_0 * I_2 + h_2 + r_0 * I_4 - h_4 + \rho * (\alpha_0 + \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_4)$$

$$l_{ida} = \frac{H_{ida}}{r_0}$$

$$H_{vuelta} = r_0 \left( \frac{tn}{tn} \right) * I_4(km) + h_4 + r_0 * I_3 + h_3 + r_0 * I_1 - h_1 + r_0 * I_0 + \rho * (\alpha_4 + \alpha_3 + \alpha_1 + \alpha_0)$$

$$l_{ida} = \frac{H_{vuelta}}{r_0}$$

$$l_{virtual} = \frac{l_{ida} * Q_{ida} + l_{vuelta} * Q_{vuelta}}{Q_{ida} + Q_{vuelta}}$$

## **FRENADO FERROVIARIOS**

El modo ferroviario posee menos adherencia que cualquier otro modo de transporte, lo cual genera una necesidad de frenado en todos los tramos, salvo en las pendientes nocivas.

Es insuficiente y de efecto retardado, se debe adicionar un esfuerzo de frenado adicional, como los frenos continuos. Todos los coches deben tener freno continuo, en cambio los vagones no son todos frenantes, calculándose el número necesario de vagones con freno en función del peso transportado para la formación completa del tren.

### **Funciones:**

- Frenado de servicio en los lugares previstos.
- Urgencia, accidentalmente.
- Retención en trazados con pendiente.

### **Características:**

- Continuidad
- Automaticidad: al producirse una anomalía el freno se aplica automáticamente.
- Robusto: por su ubicación debajo de los coches.
- Sencillo: facilitar su mantenimiento.
- Liviano: disminuir la tara.
- Rápido: frenado de emergencia.
- Simultaneo: para no contraponer los efectos.
- Maderable: tanto al aplicarlo como al soltarlo.

**Tiempos de frenado:** una vez cortado el esfuerzo motor, las resistencias al movimiento reducen la velocidad, pero es lento, yendo el tren a la deriva, sin que se produzca consumo de energía.

$$\Delta t = \frac{1.000V}{2g} * \left[ \frac{1}{r_{in}} - \frac{1}{(r_{in} + e)} \right]$$

**Tipos de freno:** se agrupan por el modo de absorción de la energía cinética disponible.

- **Desgaste mecánico:** transforman energía cinética en calor, pero se desgastan las partes rozantes.
  - **Mecánico:** actúan aisladamente sobre cada vehículo.
  - **Neumáticos:** trabajan en toda la formación del tren.
    - Aire comprimido: el aire actúa a una presión superior a la presión atmosférica.
    - Vacío: el aire actúa a una presión inferior que la presión atmosférica.
- **Sin desgaste mecánico:** freno contravapor. Transforman energía cinética en calor, sin producir desgaste.
  - **Electrodinámico:** funcionan con dinamos, la energía es consumida por un reóstato. Funciona con magnetismo permanente, se refuerza la fuerza, la intensidad debe tener el mismo sentido que los campos, no tiene límite y no rinde bien a bajas velocidades.
  - **Recuperación:** son como dinamos, devolviendo energía a la red. Dos trenes que bajan cargados pueden generar energía para un tren que sube descargado, se necesita sistema de flujo variable.
    - Zapatas: pueden ser de fundición gris o plásticas. Se aplican sobre la llanta, teniendo su mismo ancho.



- Timonería: conjunto de palancas y bielas que transmiten a las zapatas el esfuerzo frenante, aplicándolas fuertemente a las llantas. El coeficiente es la relación entre el esfuerzo total aplicado a las ruedas y el esfuerzo frenante suministrado por el aparato del motor. Constan de reguladores automáticos.
- Aparato motor: suministra el esfuerzo motor necesario para accionar las timonerías y aplicar a las zapatas. Está compuesto de un cilindro, compresor, depósito general y auxiliares, válvulas de accionamiento, cañería principal. No es necesario que todos los vagones tengan freno pero es importante que posean al menos una cañería pasante para poderlos ubicar en cualquier posición dentro de la formación del tren.

## **NORMAS PARA CRUCES FERROVIALES**

Rigen para todos los cruces entre caminos y vías férreas existentes y a construir.

### **Propósitos:**

- Dotar de seguridad a tránsito.
- Resolver los cruces.
- Fijar las pautas de nuevos cruces.
- Fijar las obligaciones de las partes intervinientes.
- Establecer la insuficiencia de la seguridad en los cruces existentes.
- Fijar las pautas para normalizar esos cruces existentes.

### **Disposiciones vigentes:**

- Documentos que habilitan a conducir.
- El ferrocarril tiene prioridad de paso.
- Puede circular a las velocidades máximas permitidas por el estado de las vías.
- El vehículo de calle debe respetar el cruce.

### **Criterios aplicados:**

- Los vehículos carreteros cruzan a 10km,
- La distancia de visibilidad y frenado en el cruce sin riesgo.
- Las señales y su ubicación tendrán graduación de la velocidad para evitar accidentes. .

**Documentación necesaria:** el ente que solicita la apertura de un cruce ferroviario sería quien prepare la documentación para la gestión y tramitación.

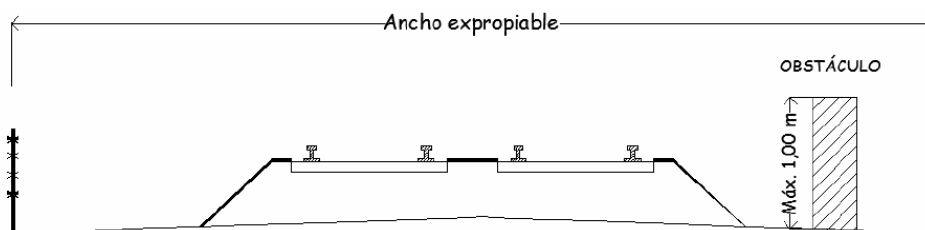
- Análisis de la circulación de trenes:
  - Determinación de la categoría del ramal.
  - Determinación de la cantidad máxima diaria de trenes.
  - Determinación de la velocidad máxima de circulación.
  - Composición y variación anual del tráfico ferroviario.
  - Distancia del cruce a la estación más próxima.
- Análisis de la circulación de los vehículos automotores.
  - Determinación de la zona de influencia del cruce.
  - Justificación de la apertura del cruce y estimación del tránsito futuro.
  - En los cruces rurales determinar la cantidad media diaria anual de vehículos.
  - En los cruces urbanos indicar un esquema de la red vial urbana y su categorización.
- Requisitos técnicos viales y ferroviarios del cruce.
- Estudios técnicos: relevamiento planialtimétrico del área, obras necesarias para permitir el libre escurrimiento, y solución propuesta.
- Documentos a presentar.

#### Clasificación de los cruces ferroviarios:

- Ubicación: rural o urbano.
- Altimetría: puede ser a nivel o distinto nivel, con camino de tierra o pavimentado.
- Accesibilidad: publico o particular.

#### Metodología de evaluación y soluciones para los distintos cruces:

- Cruces urbanos: únicamente se verifica la visibilidad. La forma de evaluación depende de las características de las redes ferroviarias y vial urbana que se cruzan.
  - Visibilidad: no habrá obstáculos fijos o temporarios dentro del rombo de visibilidad, la altura normal de visión es de 1,20m sobre el camino y 1m sobre los rieles.



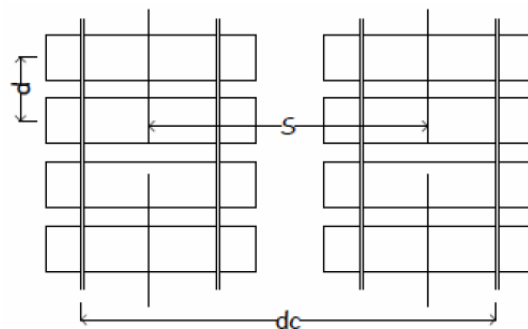
Los vértices del rombo de visibilidad se ubican en:

- En la calle a 16m de la línea de detención ante las vías. Las líneas de detención se ubican como mínimo a 5m de la separación entre rieles más alejados.
- Dependiendo de los valores de la velocidad de circulación de ferrocarril y de la separación entre rieles.

TABLA I

Distancia entre el eje de cruce y el vértice del rombo sobre la vía ( $a$ )

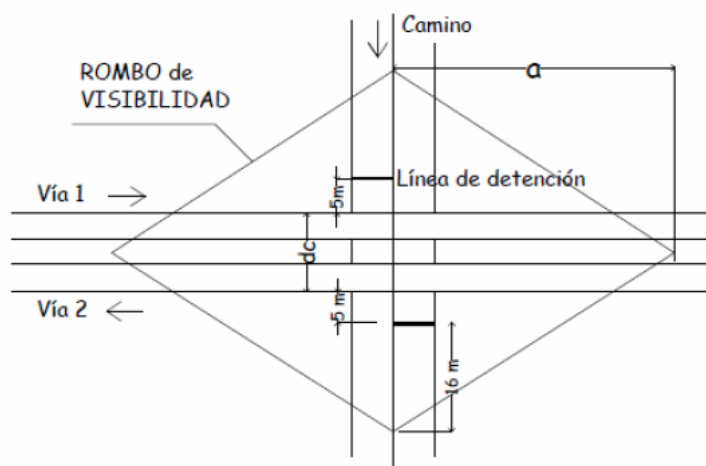
Separación entre rieles: $d_c$ en (m)	Velocidad máxima del ferrocarril en km/h								
	$\leq 40$	50	60	70	80	90	100	110	$\geq 120$
$d_c \leq 5$	134	167	200	234	267	300	334	367	400
$5 < d_c \leq 10$	156	195	234	273	311	350	389	428	467
$10 < d_c \leq 15$	178	223	267	311	356	400	445	489	534



La máxima separación entre rieles es de 15m. Los trenes deben circular a velocidades menores o iguales a los 60km/h. Para determinar el tránsito vial se considera el valor del día de máxima del censo, y se verifica que la pendiente de la vía férrea sea inferior al 10%, hasta 600m a ambos lados del cruce.

Se verificara que la pendiente de la calle dentro del rombo de visibilidad sea inferior al 3%. Si ninguna se cumple, se tratara al cruce como un caso particular.

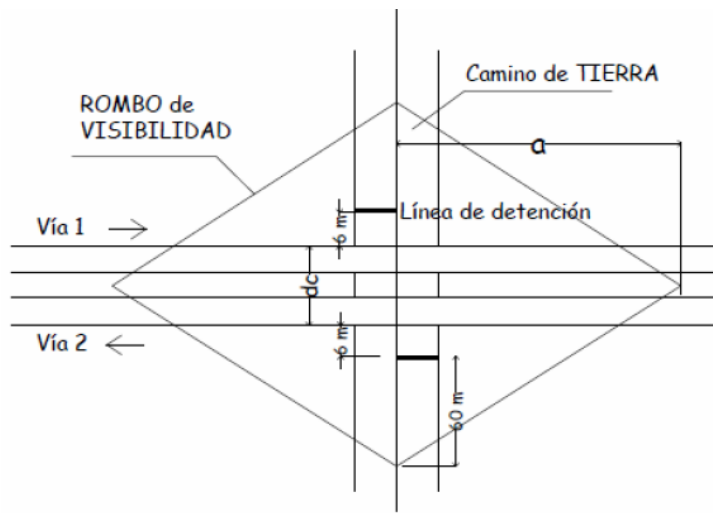
La solución de este cruce es en función e la red ferroviaria, de la red vial urbana, del volumen del tránsito vial y de la visibilidad.



- Cruces rurales: si la visibilidad es satisfactoria, se calculara el índice de riesgo. La distancia mínima entre dos cruces rurales sucesivos es aquella en la que no se superponen los respectivos rombos de visibilidad.
  - *Visibilidad*: es siempre insuficiente si el camino cruza más de dos vías. No habrá obstáculos fijos o temporarios dentro del rombo de visibilidad.

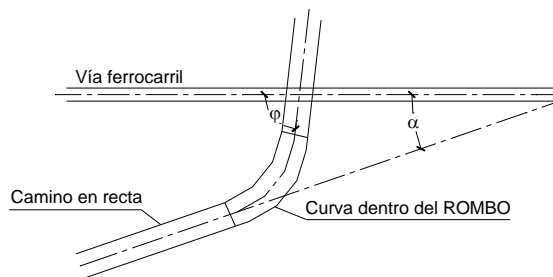
Los vértices del rombo de visibilidad se ubican en:

- Tierra: a 60m de la línea de detención.
- Asfalto: a 120m de la línea de detención.



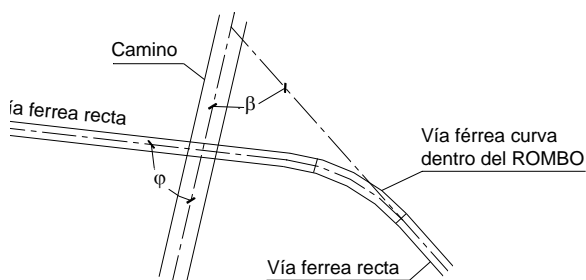
$$\text{índice de riesgo} = R = T * V * \operatorname{cosec} \varphi * A * B * C$$

- $R$ : Índice de riesgo
- $T$ : Cantidad diaria de trenes.
- $V$ : Cantidad diaria de vehículos carreteros.
- $\varphi$ : Angulo de cruce.
- $A$ : Factor por curva del camino dentro del rombo de visibilidad.



$$A = 1 + \cos \alpha$$

- $B$ : Factor por curva de la vía dentro del rombo de visibilidad.



$$B = 1 + 0,2 * \cos \beta$$

- $C$ : Factor condicional que depende del número de vías que se cruzan, la pendiente del camino dentro del rombo y el número de colisiones ocurridas.

$$C = 1 + f_1 + f_2 + f_3$$

- $f_1 = 0,10$  cuando se cruzan más de dos vías, como sucede en este caso.
- $f_2 = 0,20$  cuando en el rombo de visibilidad el camino presenta rampa mayor de 10 %, lo cual no sucede en este caso.

- $f_3 = 0,20 * N$  siendo N la cantidad de colisiones ocurridas, las cuales son 4.

### Señalización vertical de los cruces

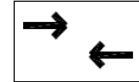
#### 1) Urbano.

- *Señalización pasiva:* carteles.

Señal P.42 en línea de detención ( a 5 m de dc)



Señal CP.11 en línea de detención si hay más de una vía.



Señal P.40 y Señal R.21 como mínimo a 30 metros de la anterior.



Señal R.5 como mínimo a 30 m de la anterior.



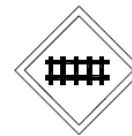
- *Señalización activa:* barreras.

Barreras en línea de detención ( a 5 m de dc)

Señal P.42 en línea de detención.



Señal P.41 y Señal R.21 como mínimo a 30 metros de la anterior.



Señal R.5 como mínimo a 30 m de la anterior.



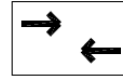
#### 2) Rural

- *Cruces de tierra*
  - Señalización pasiva: carteles.

Señal P.42 en línea de detención ( a 6 m de **dc**)



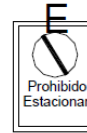
Señal CP.11 en línea de detención si hay más de una vía.



Señal P.40 y Señal R.21 como mínimo a 60 metros de la anterior.



Señal R.5 como mínimo a 20 m de la anterior.



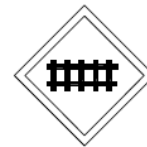
- Señalización activa: barreras.

Barreras en línea de detención ( a 6 m de **dc**)

Señal P.42 en línea de detención.



Señal P.41 y Señal R.21 como mínimo a 60 metros de la anterior.



-

Señal R.5 como mínimo a 20 m de la anterior.



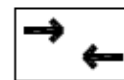
- Caminos pavimentados

- Señalización pasiva: carteles.

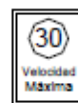
Señal P.42 en línea de detención ( a 6 m de dc)



Señal CP.11 en línea de detención si hay más de una vía.



Señal R.21 como mínimo a 60 m de la anterior.



Señal P.40 y Señal R.21 como mínimo a 60 metros de la anterior.



Señal R.5 como mínimo a 30 m de la anterior.



Señal R.21 a 150 m y una zona de 15 m agregado pétreo.



de riego de liga con



Señal VC.520 a 200 m de la anterior.

- Señalización activa: barreras.



Barreras en la línea de detención ( a 6 m de dc)

Señal P.42 en línea de detención.



Señal R.21 como mínimo a 60 m de la anterior.



Señal P.41 y Señal R.21 como mínimo a 60 metros de la anterior.



Señal R.5 como mínimo a 30 m de la anterior.



Señal R.21 a 150 m y una zona de 15 m de riego de liga con agregado pétreo.



Señal VC.520 a 200 m de la anterior.

