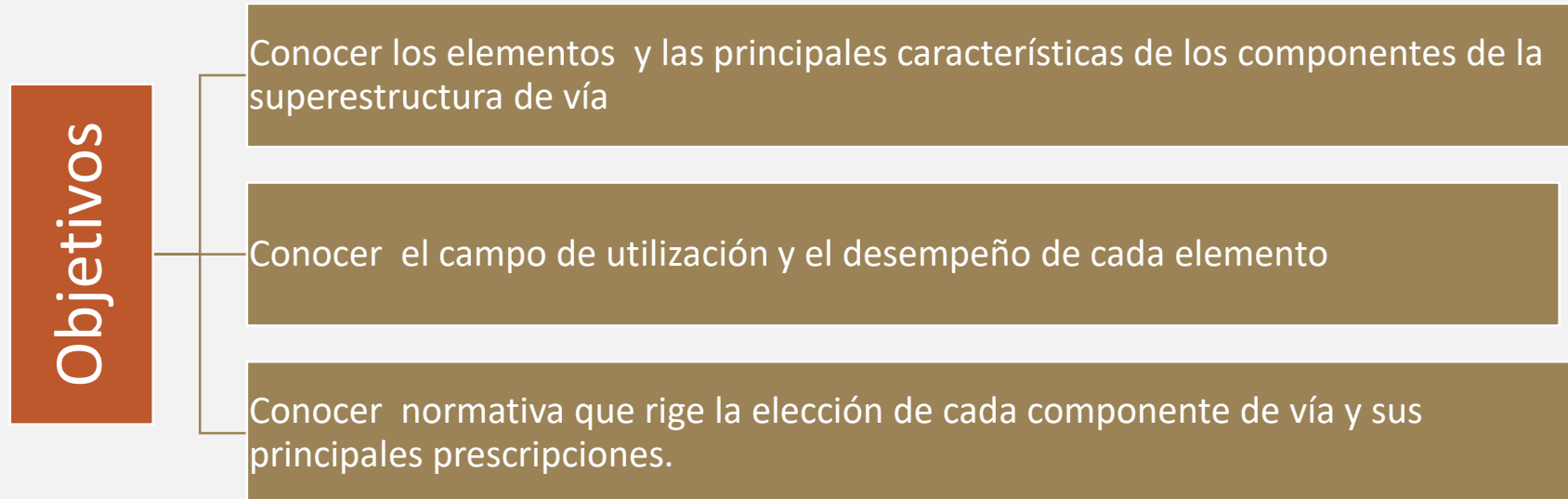
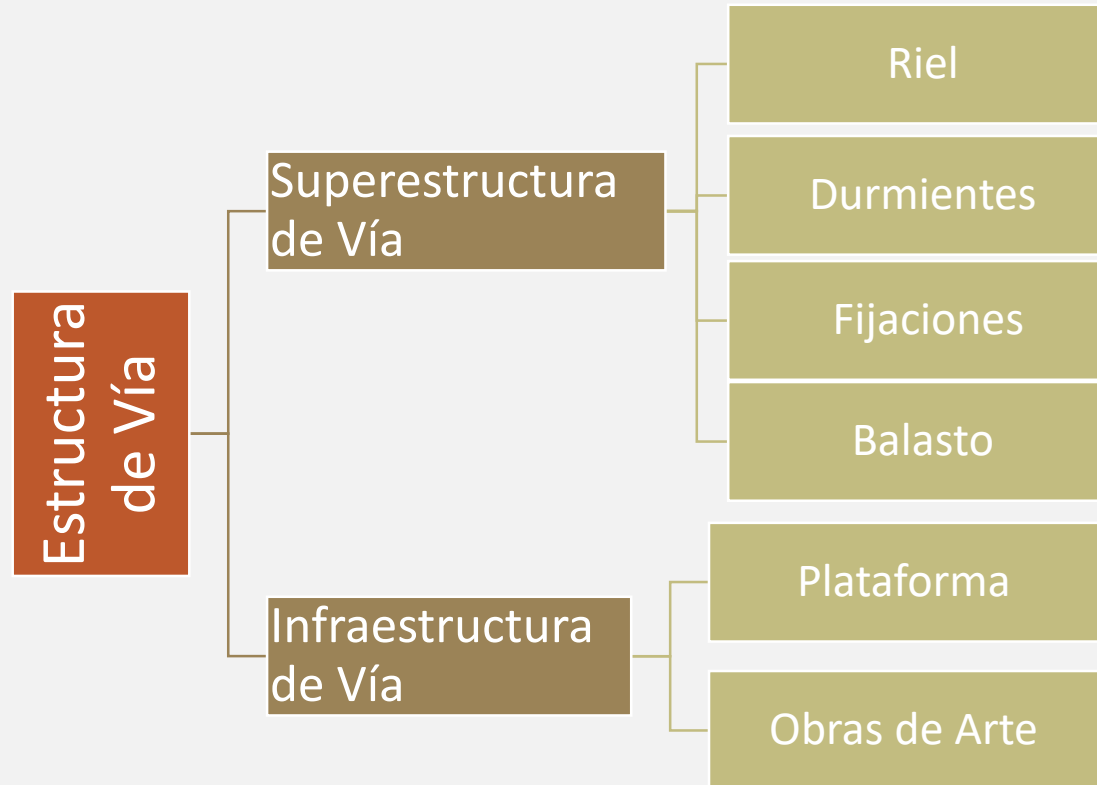


1.B-SUPERESTRUCTURA DE VÍA

SUPERESTRUCTURA DE VÍA



ESTRUCTURA DE VÍA



RIEL

Tres Funciones Fundamentales



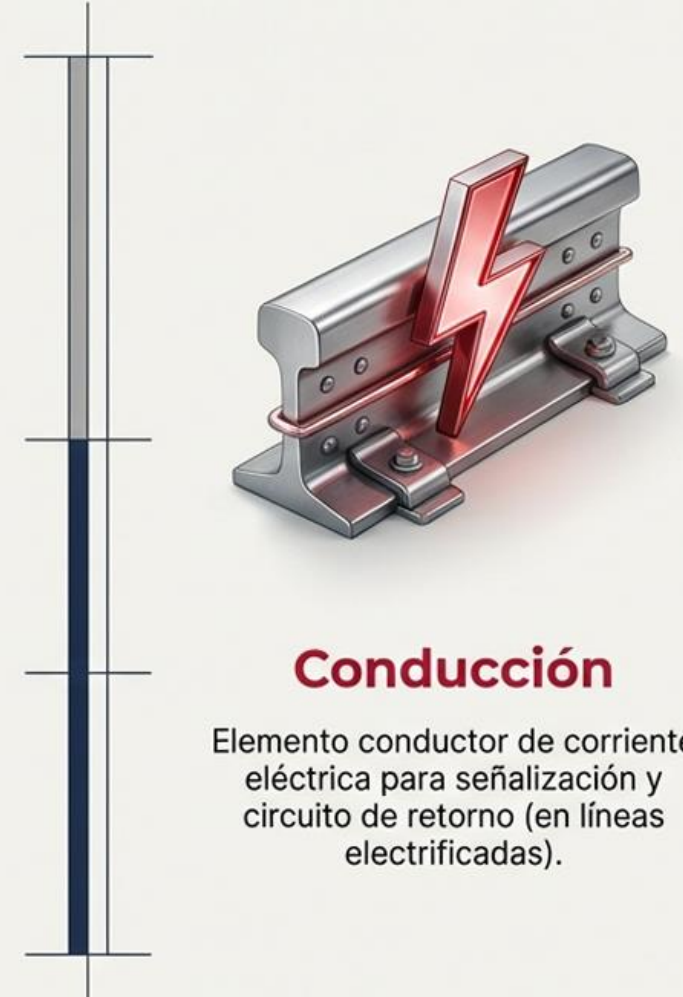
Guiado

Actúa como calzada y dispositivo de guiado (interacción entre la forma de la cabeza y las pestañas de las llantas).



Distribución

Recibe las tensiones del material rodante y las transmite armónicamente al resto de la estructura de la vía.



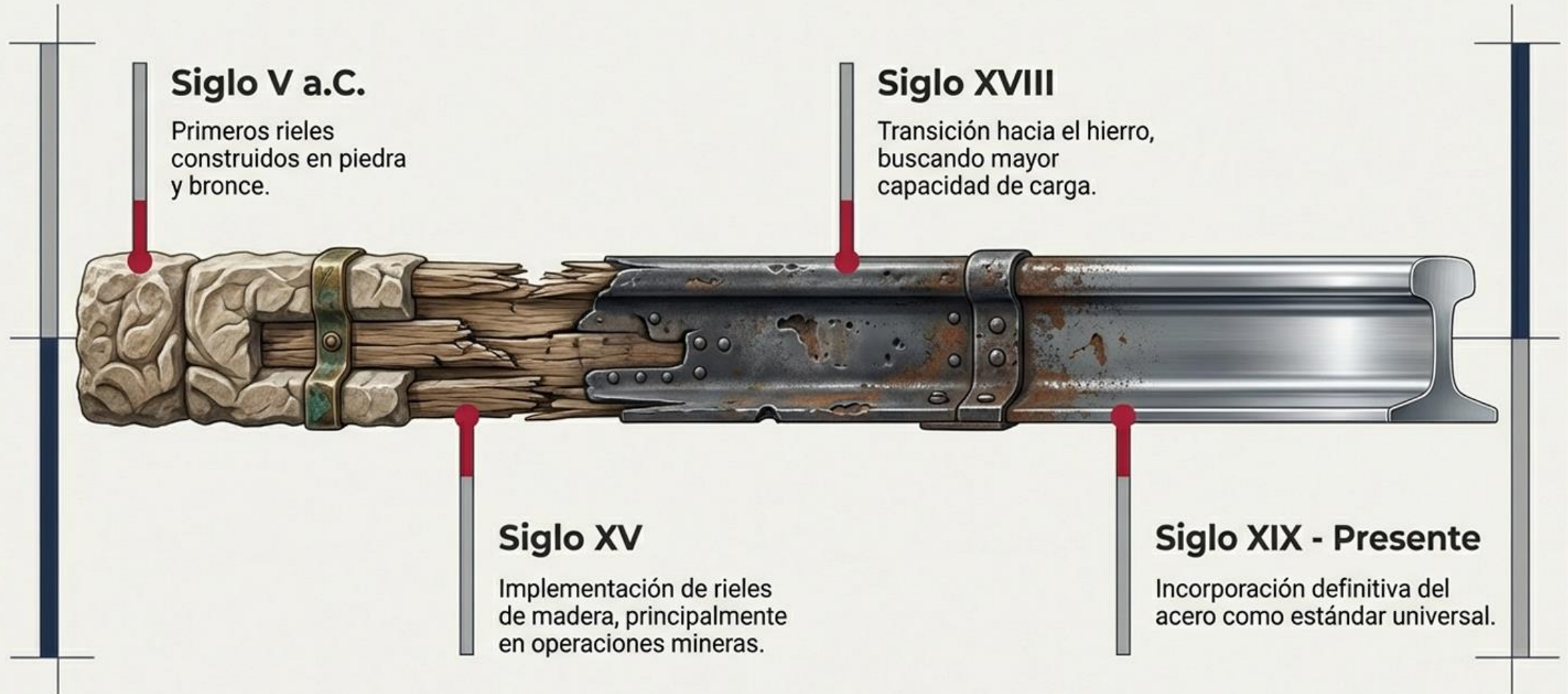
Conducción

Elemento conductor de corriente eléctrica para señalización y circuito de retorno (en líneas electrificadas).

RIEL

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

La Evolución de la Calzada



RIEL

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

El ADN del Acero: Composición Química

Los Benefactores (Héroes)



Carbono

Aumenta dureza y resistencia al desgaste (pero en exceso causa fragilidad).



Silicio

Elimina gases durante la elaboración, facilita laminación y suma dureza.



Manganeso y Cromo

Aumentan dureza, resistencia y tenacidad (como contrapartida, dificultan el soldado).

Las Impurezas (Villanos)



Azufre y Fósforo

Confieren fragilidad a la estructura. Son imposibles de eliminar por completo en la fundición.

RIEL

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

Capacidades Mecánicas y Estructurales

Métricas Base

7,83 Ton/m³

Peso específico

2.100.000 kg/cm²

Módulo de elasticidad

1,05x10⁻⁵ 1/°C

Coefficiente de dilatación

9% al 14%

Alargamiento en rotura

Acero Normal vs. Acero Especial

Límite de fluencia



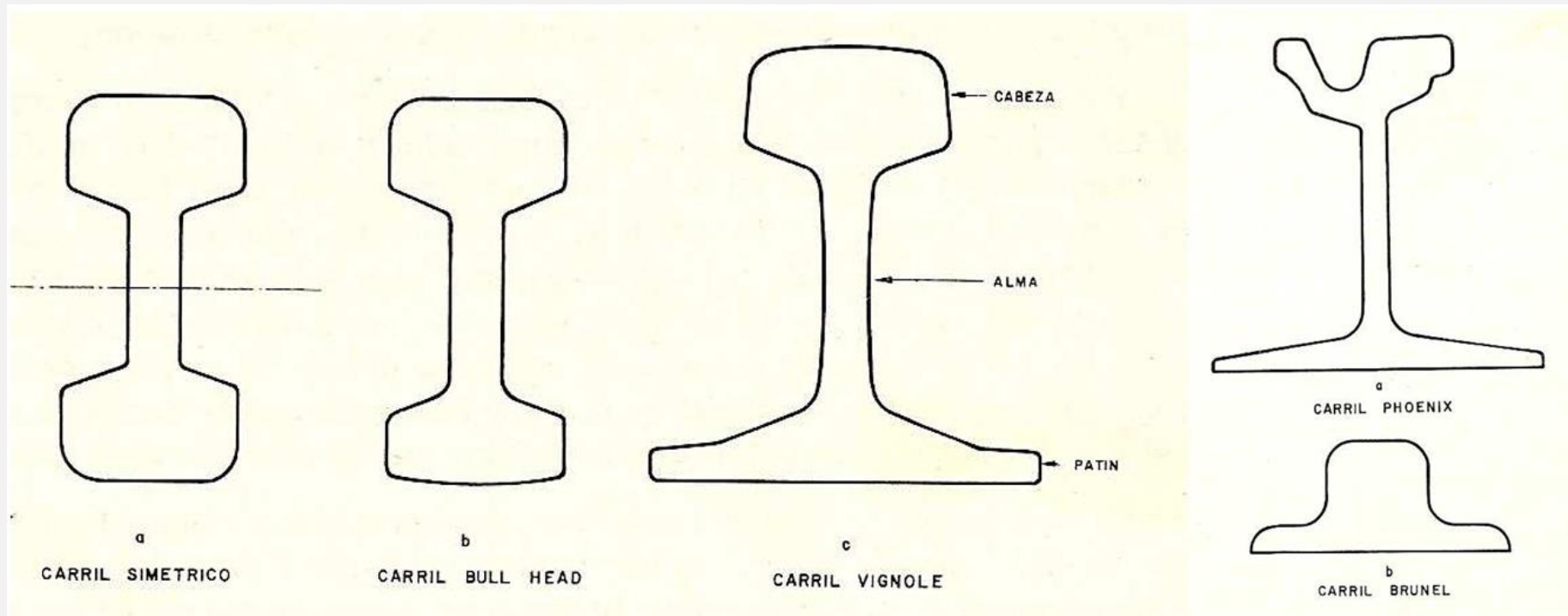
Dureza Brinell



RIEL

Forma

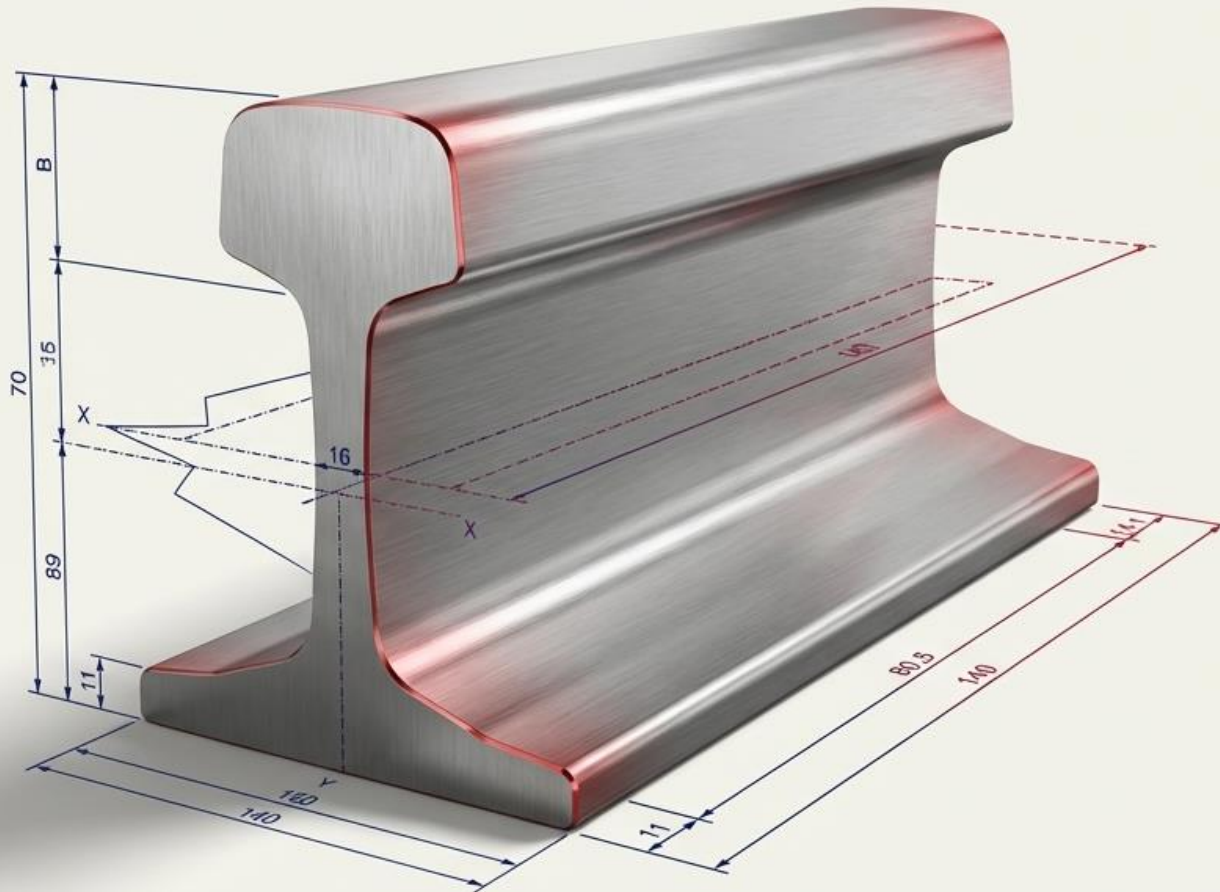
- La forma de la sección transversal, está condicionada por la interacción con la rueda y la distribución armónica de su estructura.



RIEL

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

Anatomía del Riel Vignole



La Cabeza

Área de contacto de apenas $\sim 1 \text{ cm}^2$.
Anchos típicos de 65 a 72mm.
Altura contempla desgaste vertical de 1mm por cada 80 millones de toneladas.
Inclinación lateral evita contacto con la pestaña en línea recta.

El Alma

Espesor de 15 a 17mm. Transmite cargas verticales por esfuerzo cortante.
Su espesor aumenta en la unión con cabeza y patín,

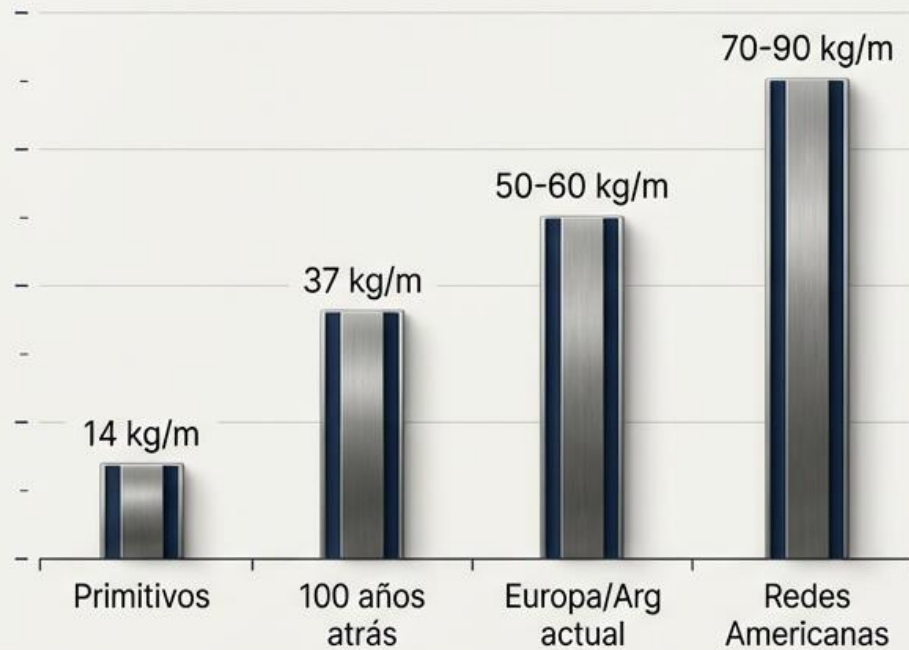
El Patín

Determina tensión transmitida al durmiente y resistencia al vuelco.
Relación altura del riel / ancho de patín es de 1,1 a 1,2 (facilita fabricación y distribución de carga sin giro).

RIEL

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

La Física del Peso (Cálculo 'Q')



Coefficiente de Utilización: W / P (Módulo resistente sobre Peso).
Objetivo: Aumentar inercia y resistencia sin disparar el costo.

Fórmula de Shajunianz (Síntesis):

$$Q = a(1 + \sqrt{T})(1 + 0,012V)^{\frac{2}{3}} * P^{\frac{2}{3}}$$

- V:** Velocidad de circulación (km/h)
- T:** Tráfico anual (millones de toneladas)
- P:** Carga por eje
- a:** Tipo de vehículo (1,20 vagones, 1,13 locomotoras)

$Q = 2,5 P$ propuesta en el Congreso Ferroviario de El Cairo.
 $Q = V_{max} / 2,2$ fórmula de YERSHOV, para $V_{max} < 160$ Km./h.
 $Q = 31,046 T^{0,203}$ fórmula de SHULGA, siendo T el tráfico anual en millones de toneladas brutas

RIEL

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

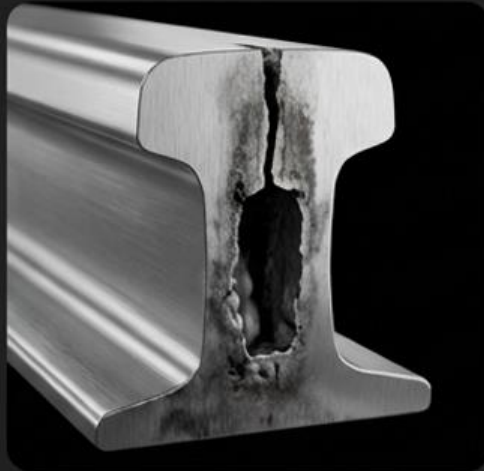
Génesis: Proceso de Fabricación



RIEL

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

Patologías de Origen: Defectos de Fábrica



Rechupe

Primario (insuficiente despunte del lingote, causa fisura vertical) y Secundario (apresuramiento en colada, genera cavidades por contracción).



Segregación

Concentraciones centrales o inversas originadas por impurezas de Fósforo (P) y Azufre (S).



Inclusiones

Elementos sólidos/gaseosos (escorias, óxidos de Mn/S, silicatos) que pueden provocar la destrucción repentina de la cabeza.



Defectos Físicos

Fisuras transversales y defectos de laminación (ej. rebabas de material sobrante en el patín).

RIEL

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

Ciclo de Vida: Defectos por Uso

Desgaste por Circulación



- **Roturas frágiles:** Producidas por impactos de planos en las ruedas.
- **Desgarros por patinaje:** Frecuentes en zonas de arranque y frenado. (Dato: Pueden ser reparados eficazmente mediante relleno con soldadura eléctrica).

Desgaste Ambiental

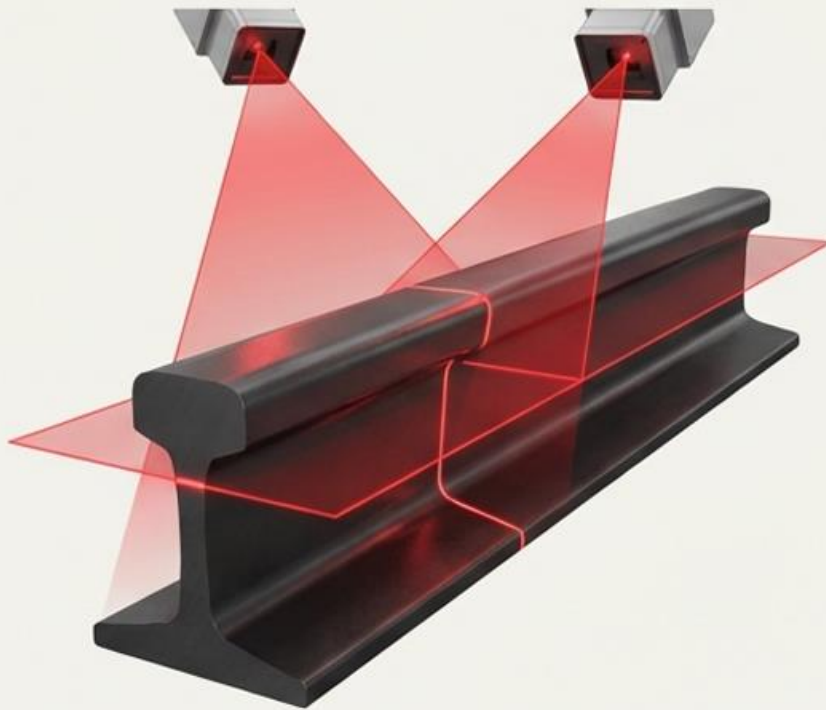


- **Corrosión por humedad:** Crítico en zonas húmedas y subterráneas, atacando especialmente el patín.
- **Corrosión por infraestructura:** Balasto degradado o colmatado que retiene humedad y acelera el deterioro del acero.

RIEL

Diagnóstico y Auscultación (Ensayos Técnicos)

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES



Mecánicos

Ensayos de tracción, choque, resiliencia y dureza para validar los límites físicos.

Químicos y Metalográficos

Verificación exacta de la composición química y análisis microscópico para descubrir el origen exacto de cualquier defecto.

Físicos (No Destructivos)

Ensayos magnetoscópicos y auscultación ultrasónica continua. Vitales para detectar fisuración interna invisible al ojo humano.

RIEL

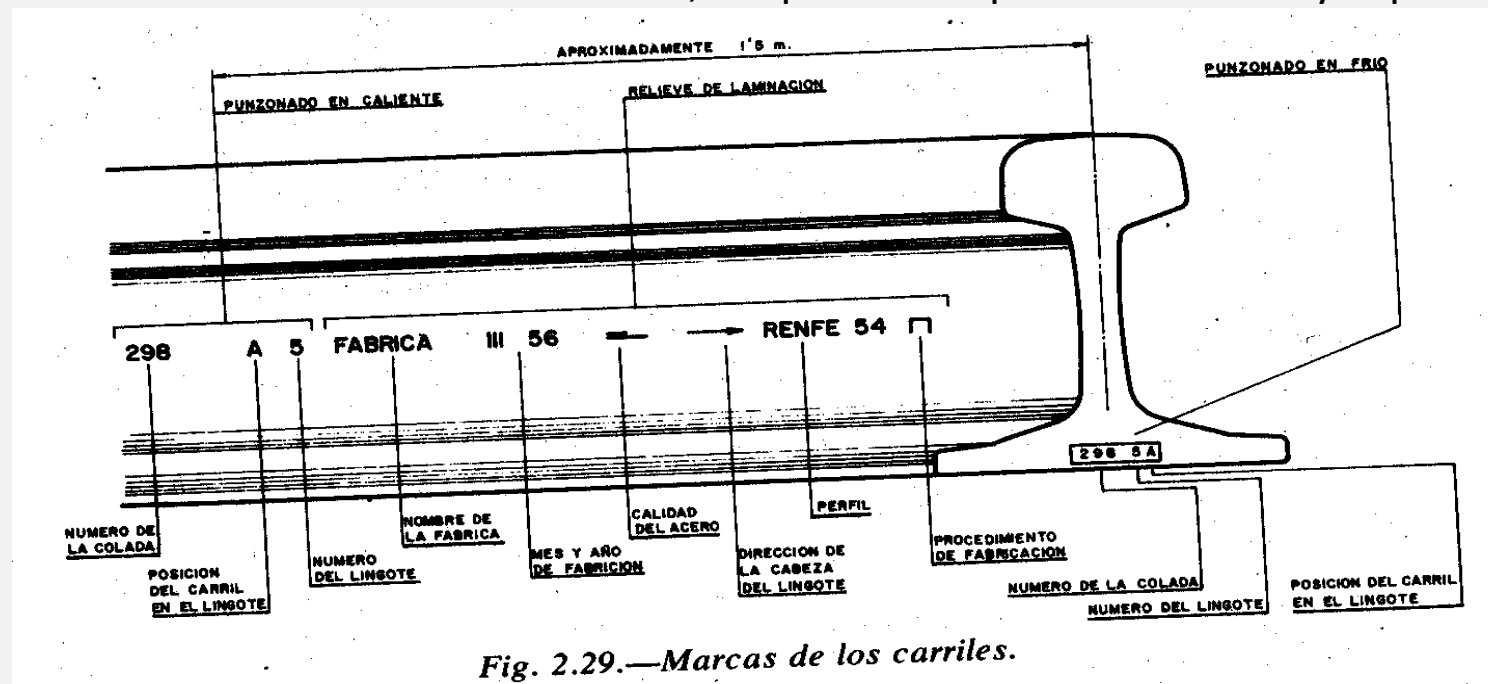
Control de calidad - Tolerancias

- **En la sección:**
 - Altura del carril: ± 0.5 mm.
 - Altura de la cabeza: ± 0.5 mm.
 - Espesor del alma: $+ 1.0$; $- 0.5$ mm.
 - Anchura del patín: ± 1.0 mm.
 - Asimetría del perfil: ± 0.5 mm.
- **En la longitud de las barras:**
 - Hasta 18 m: ± 2 mm.
 - Entre 18 y 24: ± 3 mm.
- **En los orificios:**
 - ± 0.5 mm en el diámetro y ± 0.5 mm en el centrado y colocación

RIEL

Identificación

- **Marcas en relieve:** marca del fabricante, mes de fabricación, dos últimas cifras del año, calidad del acero, sentido del colado, símbolo del procedimiento de fabricación.
- **Marcas punzonadas en caliente:** N° de colada, N° de lingote.
- **Marcas punzonadas en frío:** Ídem al anterior, después de superados los ensayos previstos.





DE LA FRICCIÓN A LA FUSIÓN: LA EVOLUCIÓN HACIA LA VÍA CONTINUA

Juntas mecánicas y Riel Largo Soldado (RLS) en la ingeniería ferroviaria moderna

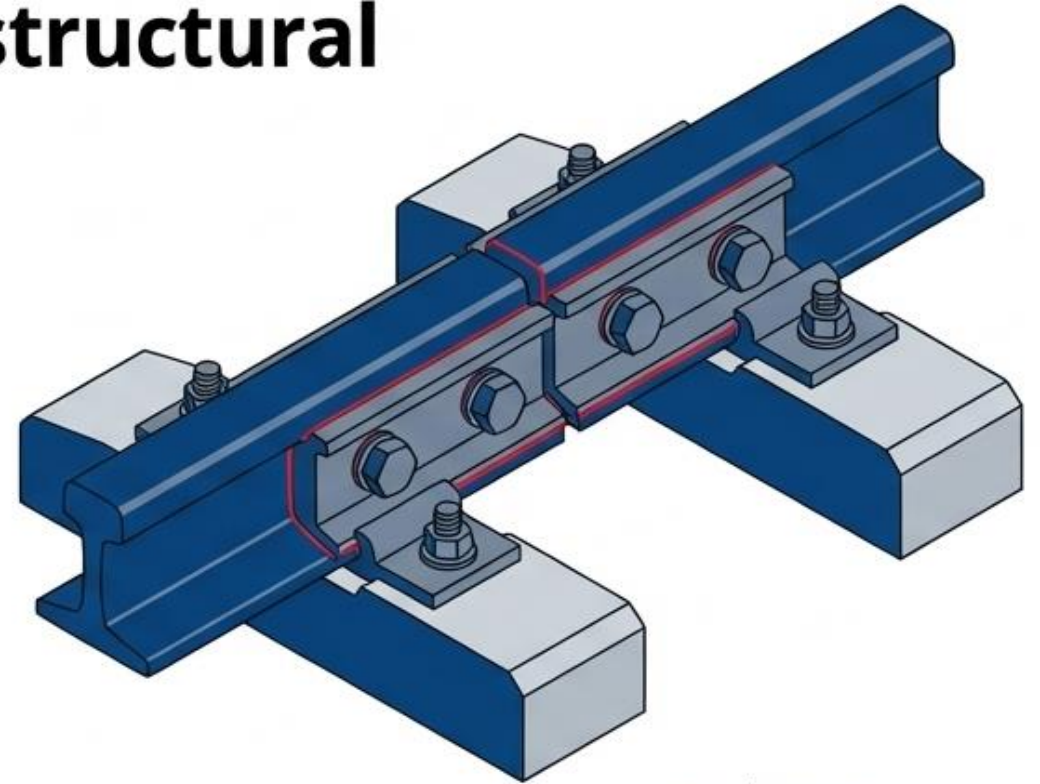
Ing. Mariano Méndez
Ferrocarriles - UNCUIYO

El desafío de la continuidad estructural

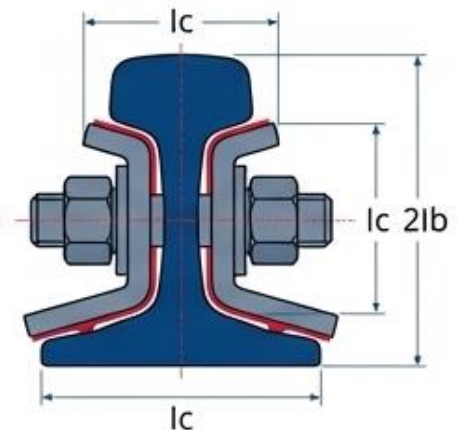
Las zonas de unión constituyen los puntos débiles críticos de la vía. Para mitigar esto, utilizamos eclisas (o bridas), piezas especiales diseñadas para mantener la integridad del sistema.

Funciones principales:

- Alinear los ejes longitudinales de los rieles consecutivos.
- Inmovilizar la posición del riel (horizontal y verticalmente).
- Permitir una dilatación longitudinal controlada.
- Proveer continuidad eléctrica en líneas electrificadas (ligas de unión).

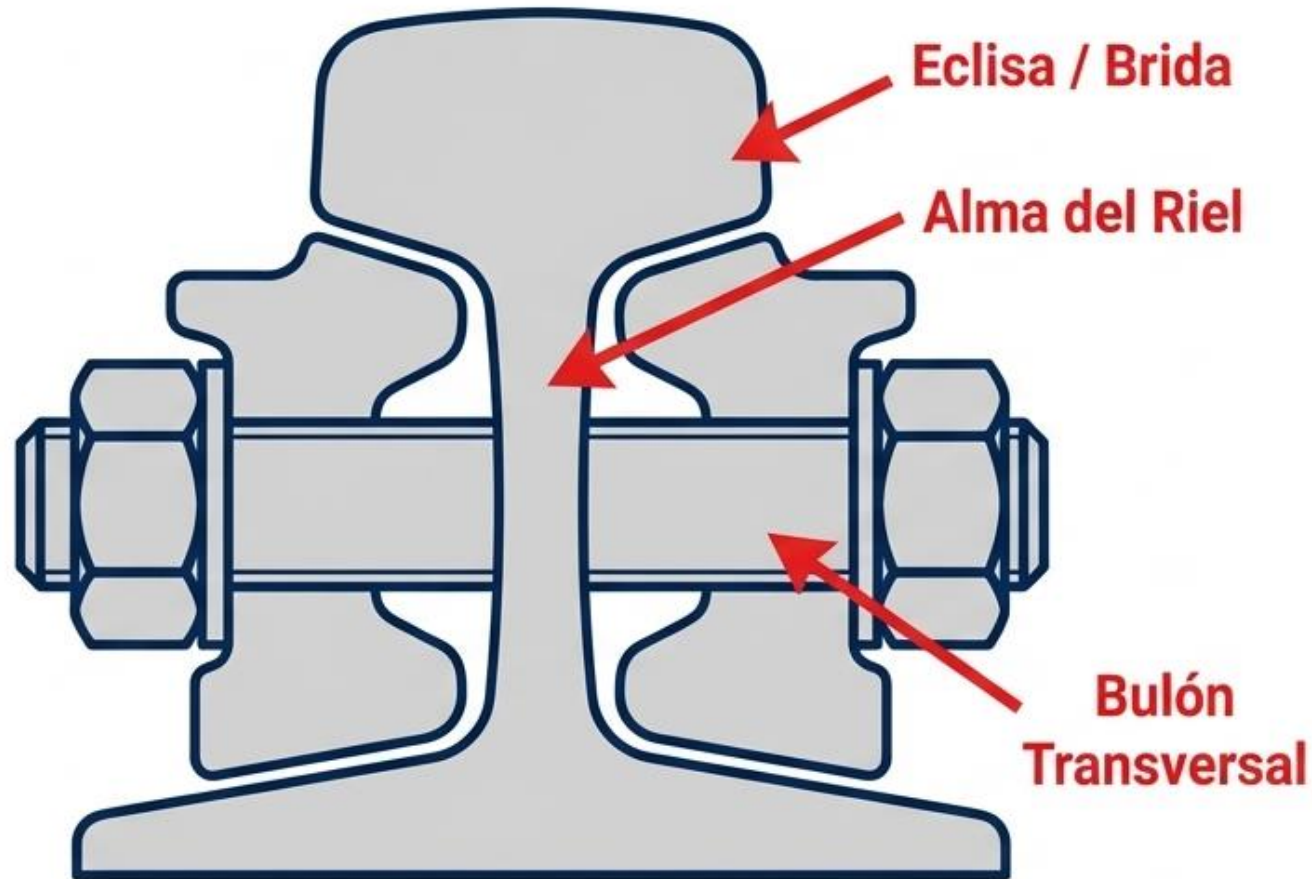


Ambas eclisas tienen prácticamente el mismo momento de inercia que el



Anatomía de la eclisa: El nexo mecánico transversal

La eclisa (o brida) es un componente continuo diseñado para unir longitudinalmente los rieles.



- Ambas eclisas de una junta poseen prácticamente el mismo momento de inercia que el riel principal.
- Se aseguran mediante bulones transversales.
- Estos bulones atraviesan de lado a lado, perforando tanto las eclisas como el alma del riel central para garantizar la inmovilización.

Juntas suspendidas: Mayor elasticidad, mayor flexión

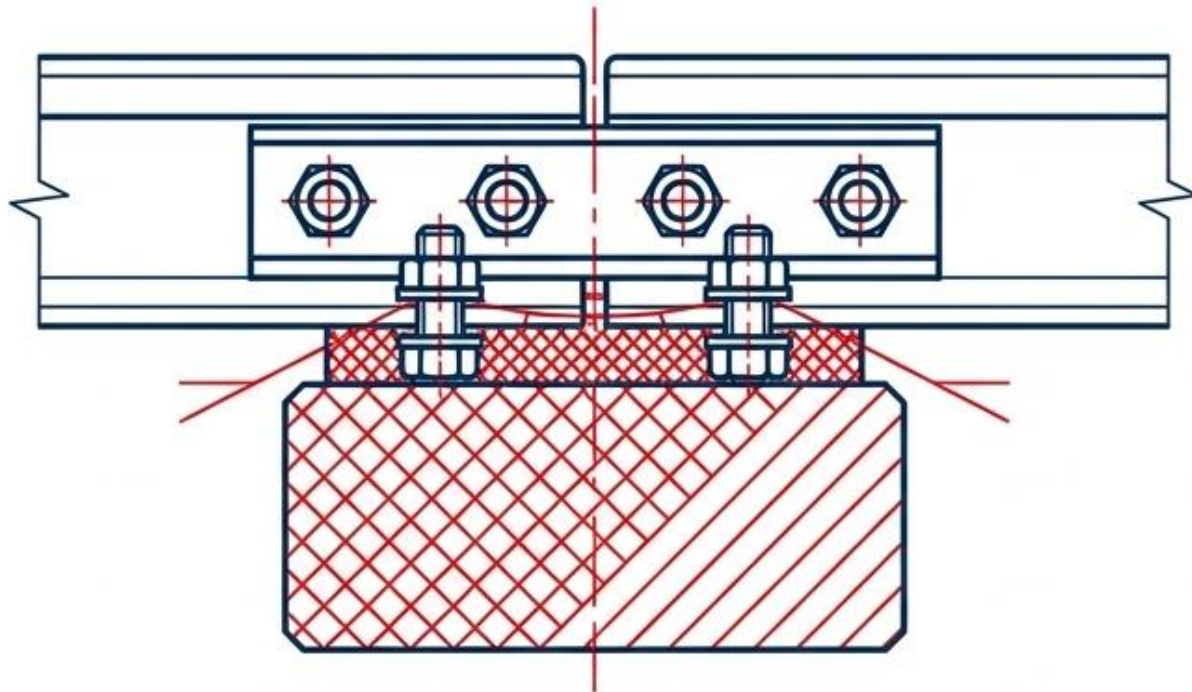
La junta se coloca entre dos durmientes, dejando el punto de unión propiamente dicho sin apoyo directo inferior.



- **Ventaja:** Constituyen juntas altamente elásticas, lo que genera un menor desgaste físico en los extremos de los rieles.
- **Desventaja:** Al carecer de apoyo directo, las eclisas absorben la carga y trabajan fuertemente a flexión.

Juntas apoyadas: Máxima rigidez y resistencia

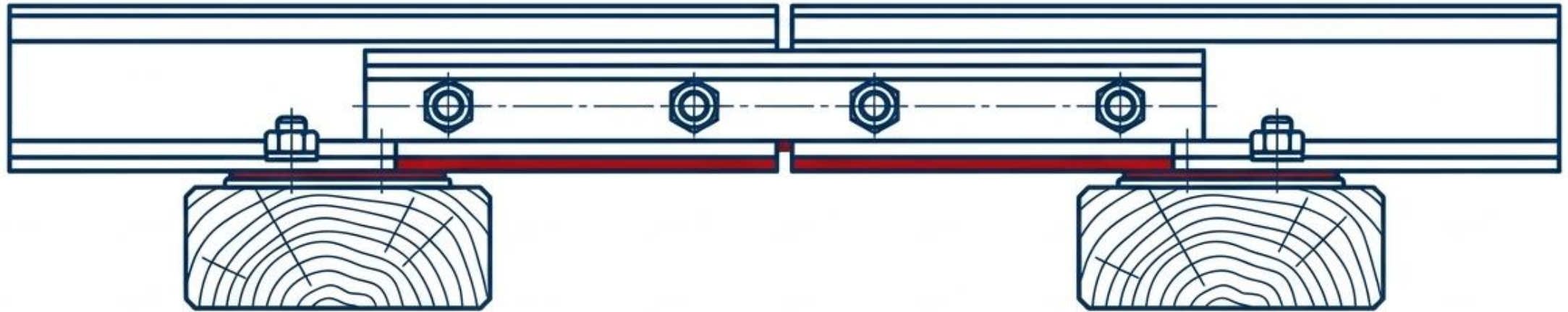
La junta propiamente dicha descansa de forma directa y central sobre el durmiente.



- **Física:** Ofrecen una resistencia superior frente a los desplazamientos transversales y verticales.
- **Consecuencia operativa:** El apoyo se vuelve considerablemente más rígido, lo que dificulta significativamente las tareas de mantenimiento como el bateo de la vía.

Juntas semisuspendidas: El compromiso estructural

Una configuración híbrida donde la longitud total de las eclisas es suficiente para alcanzar y apoyarse sobre los durmientes adyacentes al vano.



Dinámica en el emparrillado: Juntas a Escuadra

La disposición de las juntas en el plano horizontal determina la respuesta dinámica del vehículo.

Juntas a Escuadra:

- Ambos hilos del riel presentan la unión en un mismo plano perpendicular al eje de la vía.
- Efecto dinámico: Produce un impacto simultáneo (bache pronunciado) a distancias regulares.
- Consecuencia: Amplifica severamente el movimiento de galope (cabeceo longitudinal) del material rodante.

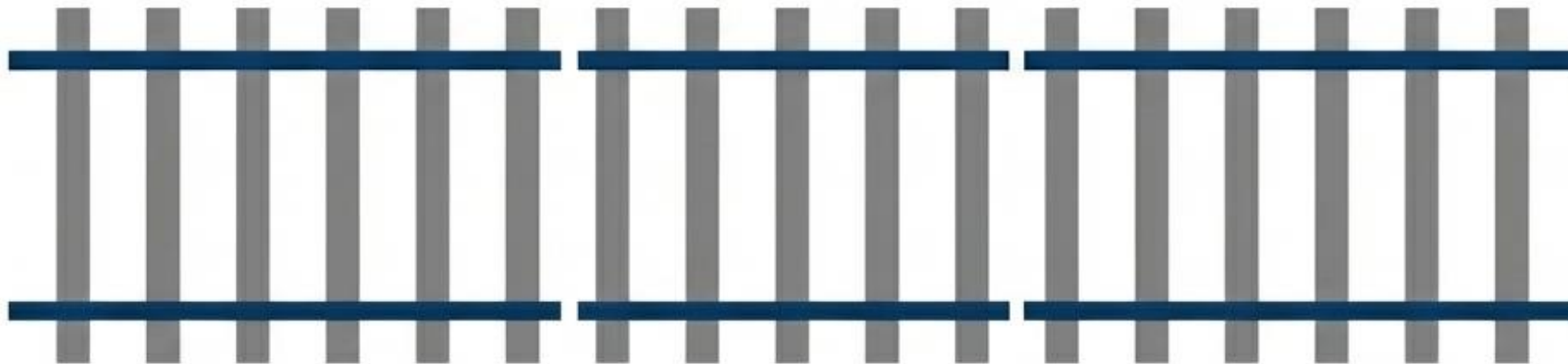


Dinámica en el emparrillado: Juntas Alternadas

La disposición de las juntas en el plano horizontal determina la respuesta dinámica del vehículo.

Juntas Alternadas:

- Las uniones no coinciden en el plano perpendicular al eje de la vía.
- Aplicación: Uso frecuente en curvas para evitar cortes excesivos de rieles cortos y compensar la baja inercia transversal.
- Efecto dinámico: Disminuye la energía del impacto individual en cada junta.
- Consecuencia: Genera una oscilación del vehículo alrededor de su eje longitudinal y duplica la cantidad total de impactos en la vía.



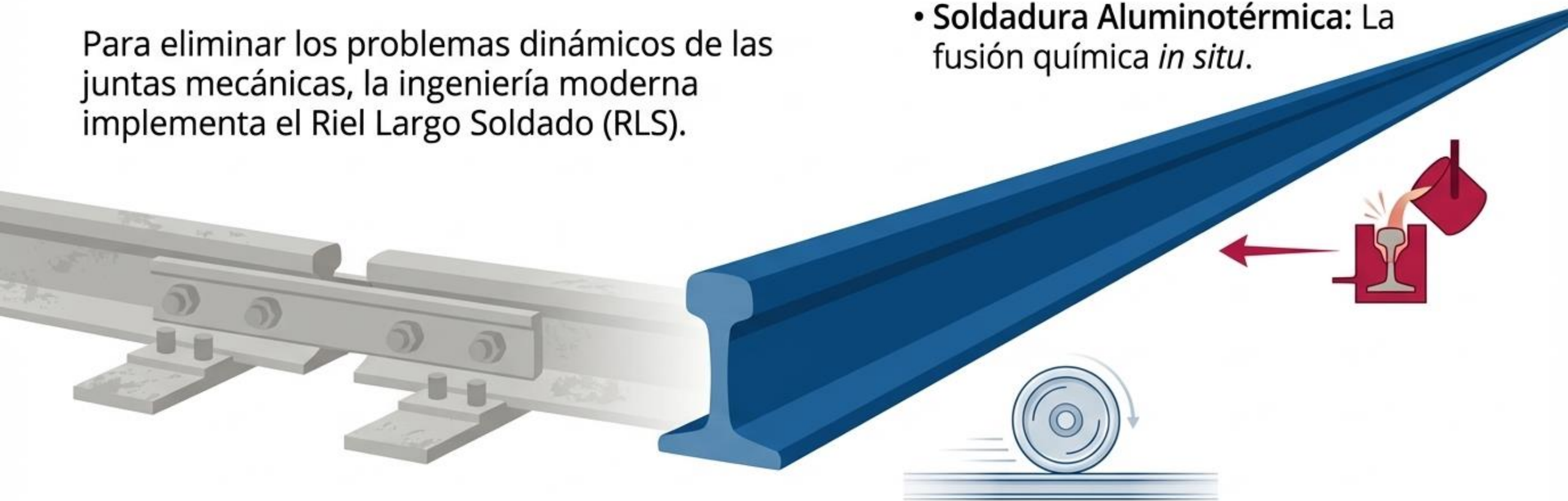
El paradigma de la vía continua

Históricamente, la longitud de la vía ha estado estrictamente limitada por las capacidades de fabricación y transporte de los rieles.

Para eliminar los problemas dinámicos de las juntas mecánicas, la ingeniería moderna implementa el Riel Largo Soldado (RLS).

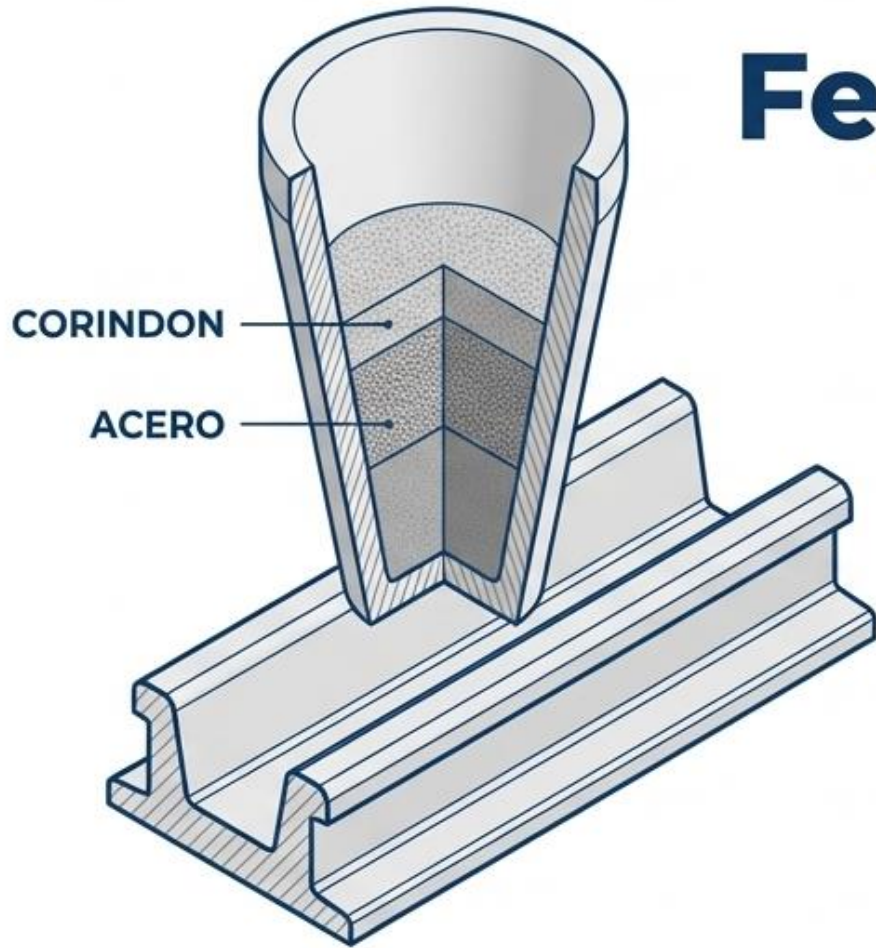
Tecnologías de unión:

- **Soldadura Eléctrica:** Por arco o por resistencia (Flash Butt).
- **Soldadura Aluminotérmica:** La fusión química *in situ*.



La química del calor: Reacción Aluminotérmica

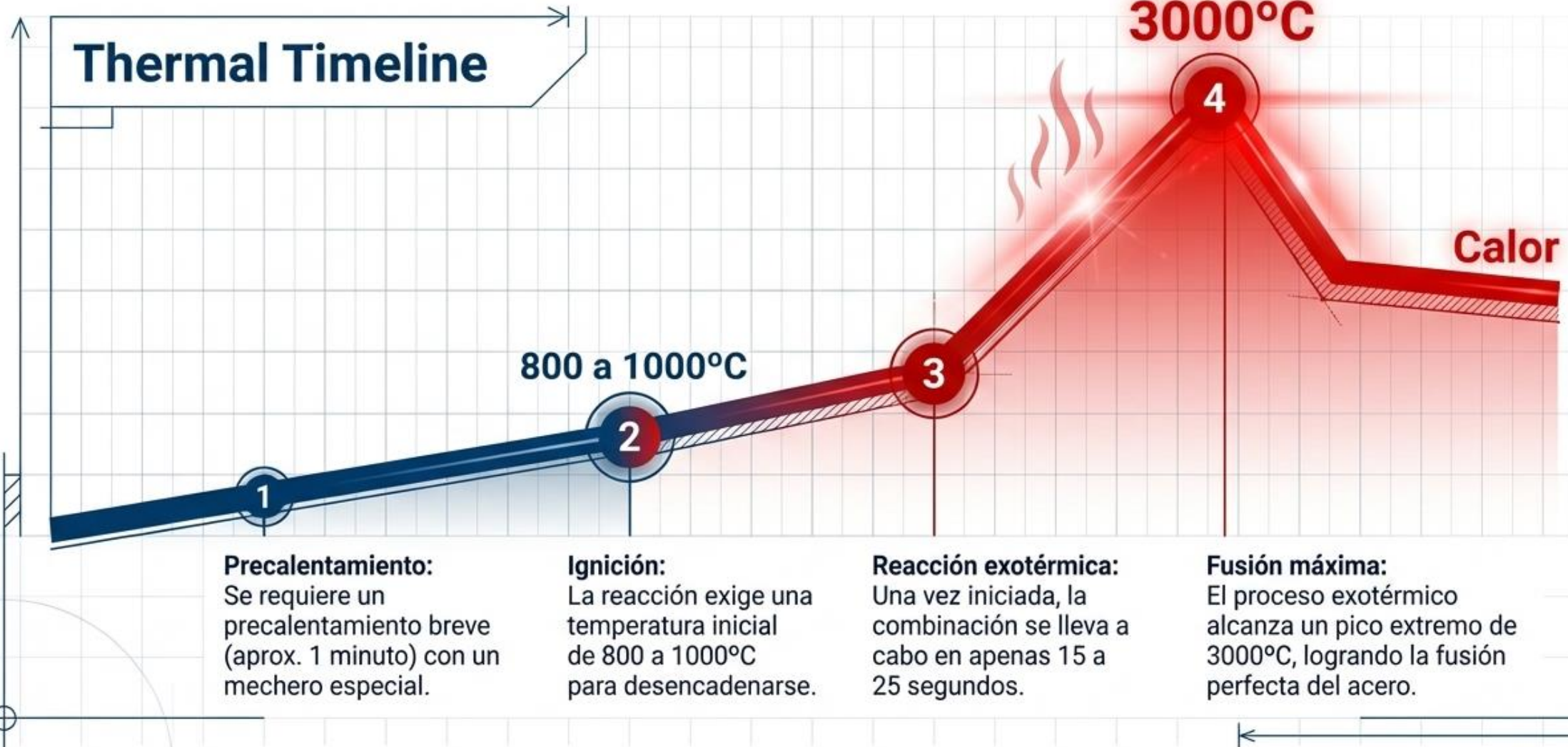
El aluminio reacciona con el oxígeno de los óxidos metálicos, liberando hierro puro y cantidades masivas de energía térmica.



Parámetros críticos:

- **Ignición:** Requiere entre 800°C y 1000°C para iniciar (precalentamiento con mechero especial).
- **Fusión:** La combinación termoquímica se completa en solo 15 a 25 segundos.
- **Pico térmico:** La reacción exotérmica alcanza los 3000°C.

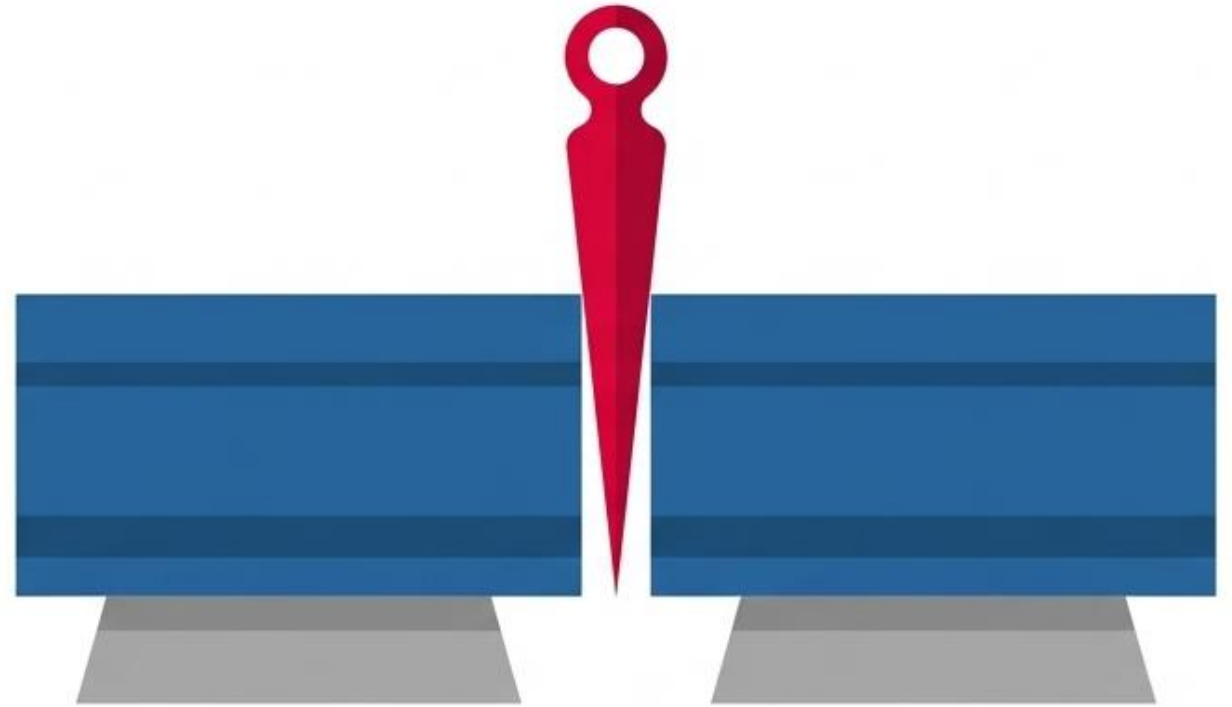
El perfil térmico: Fusión en segundos



Fase 1: Reglaje

La **precisión** inicial determina la integridad de la soldadura.

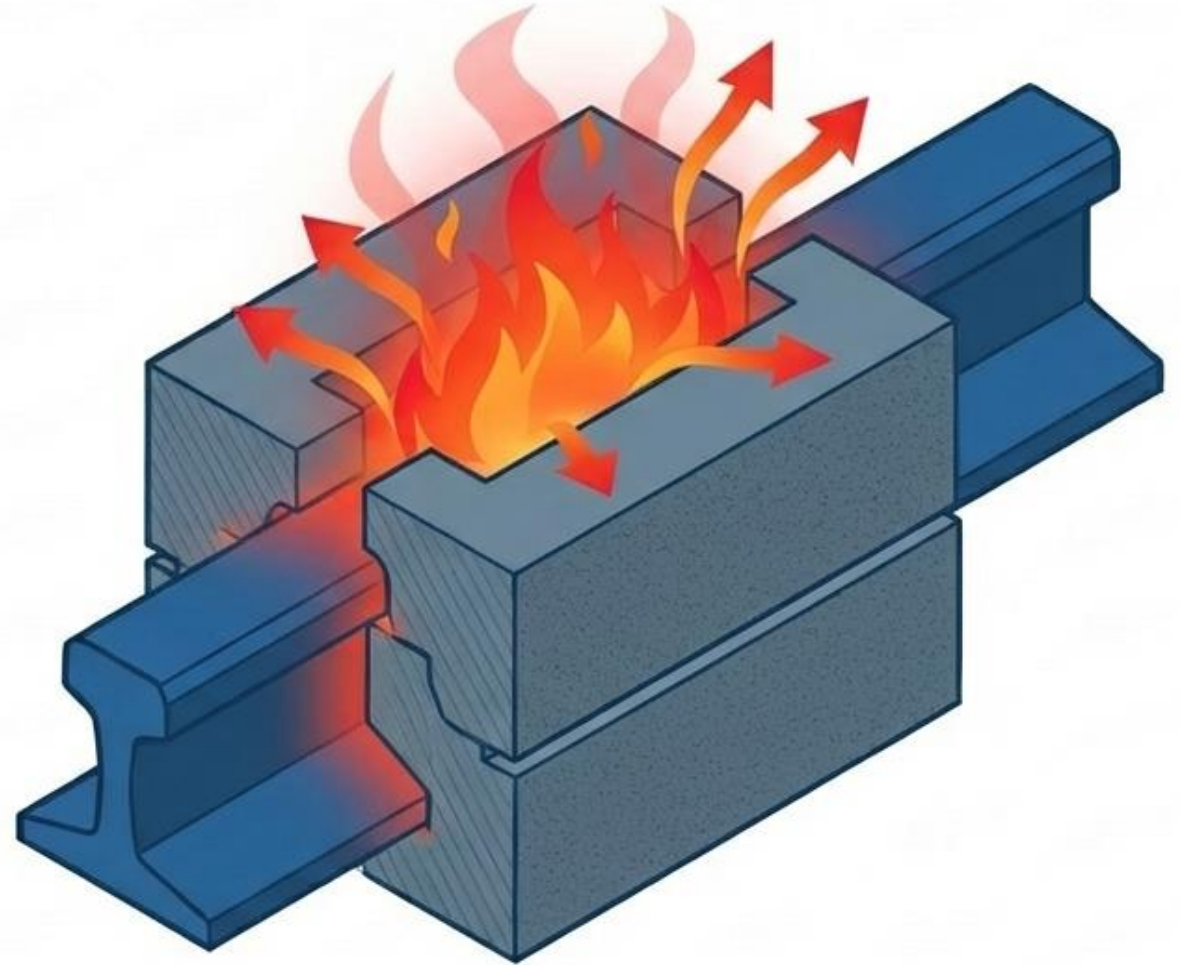
- **Separación:** Ajuste milimétrico de la distancia entre los extremos de los rieles a soldar (cuña de medición).
- **Alineación 3D:** Reglaje estricto de los carriles tanto en el plano longitudinal como en el plano vertical para garantizar la fluidez de la rodadura.



Fase 2: Moldes y Precalentamiento

Preparación del entorno de contención y acondicionamiento térmico del acero.

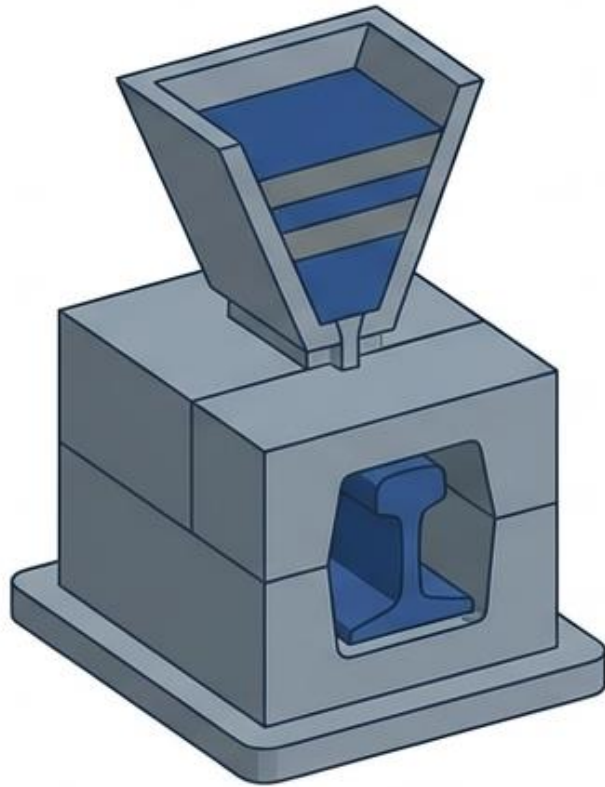
- **Confección y colocación:** Instalación de moldes prefabricados que definen la geometría exacta del perfil del riel en la zona de fusión.
- **Precalentamiento breve:** Aplicación de un mechero especial durante aproximadamente un minuto para elevar la temperatura de las puntas del riel (800 - 1000°C), requisito indispensable para iniciar y homogeneizar la reacción posterior.



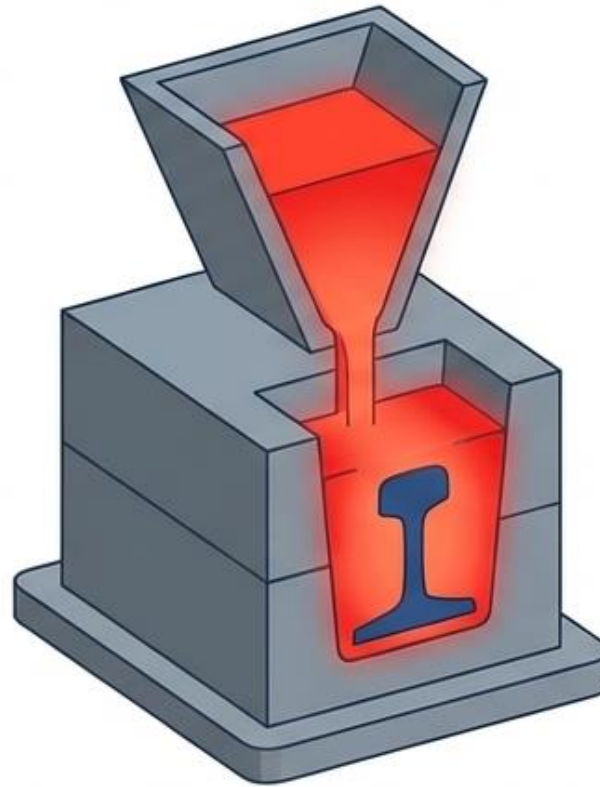
Fase 3: La Colada

El vaciado del metal fundido en la cavidad del molde.

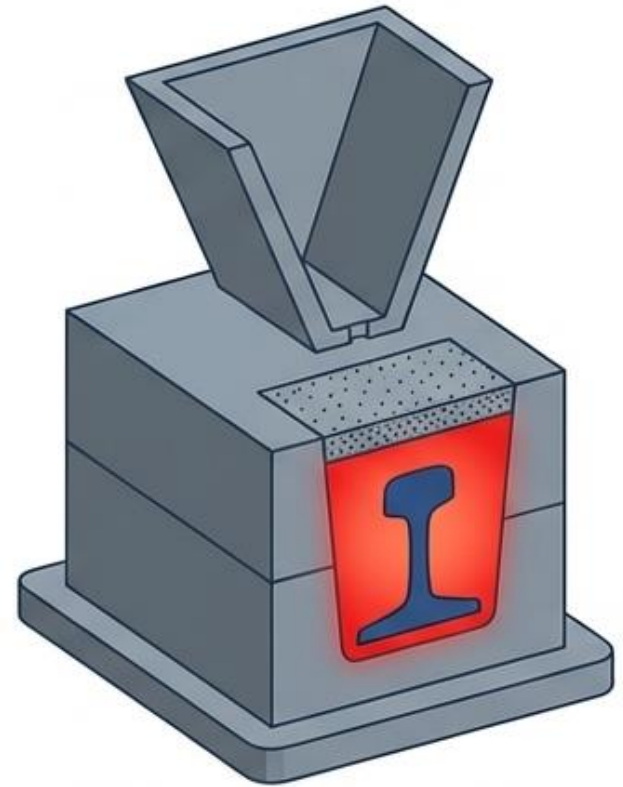
Tras la reacción de 15 a 25 segundos en el crisol, el acero líquido a casi 3000°C desciende, fundiendo los extremos precalentados del riel y formando una sola masa continua y homogénea. La escoria (óxido de aluminio) queda separada en la parte superior.



ANTES DE LA COLADA



DURANTE LA COLADA



DESPUES DE LA COLADA

RIEL

Riel Largo Soldado

- Separación de los carriles
- Reglaje de los carriles en sentido longitudinal
- Reglaje de los carriles en el plano vertical
- Confección y colocación de los moldes
- Pre calentamiento
- Colada
- Desmoldeo y rebarbado
- Esmerilado

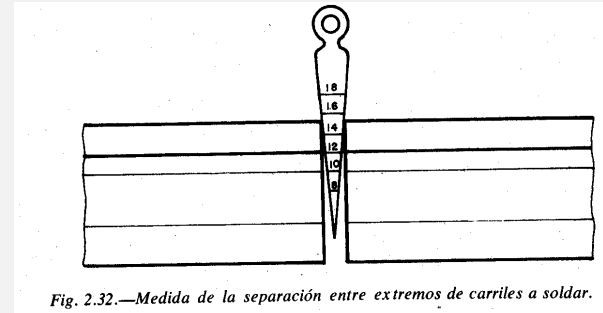


Fig. 2.32.—Medida de la separación entre extremos de carriles a soldar.

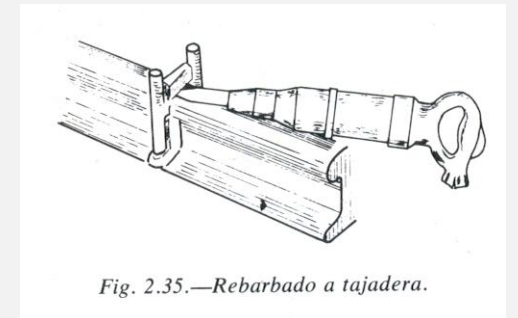


Fig. 2.35.—Rebarbado a tajadera.

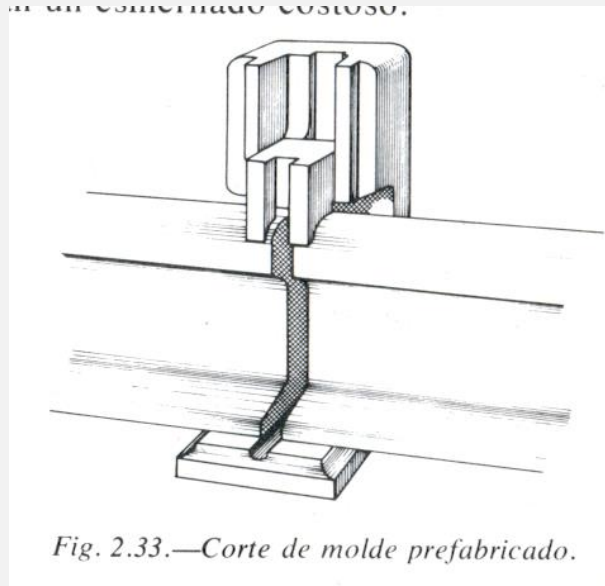


Fig. 2.33.—Corte de molde prefabricado.

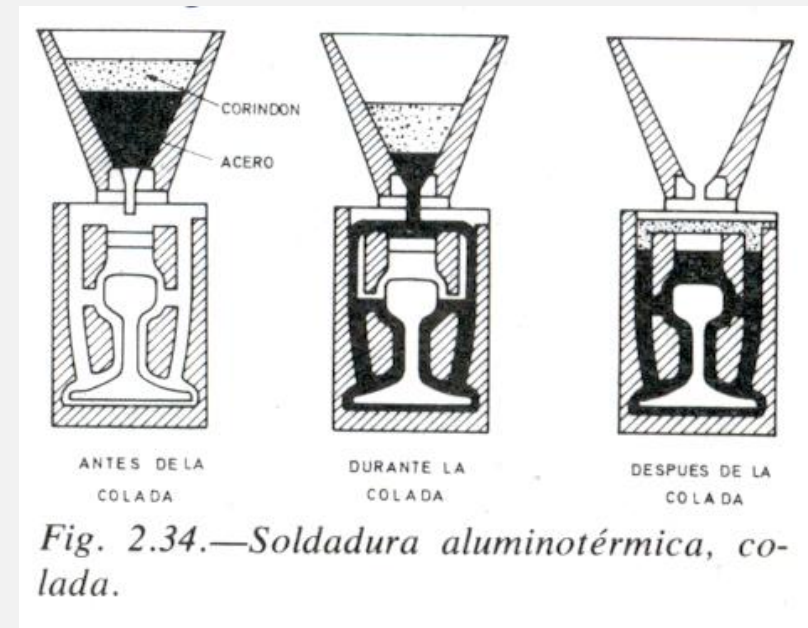
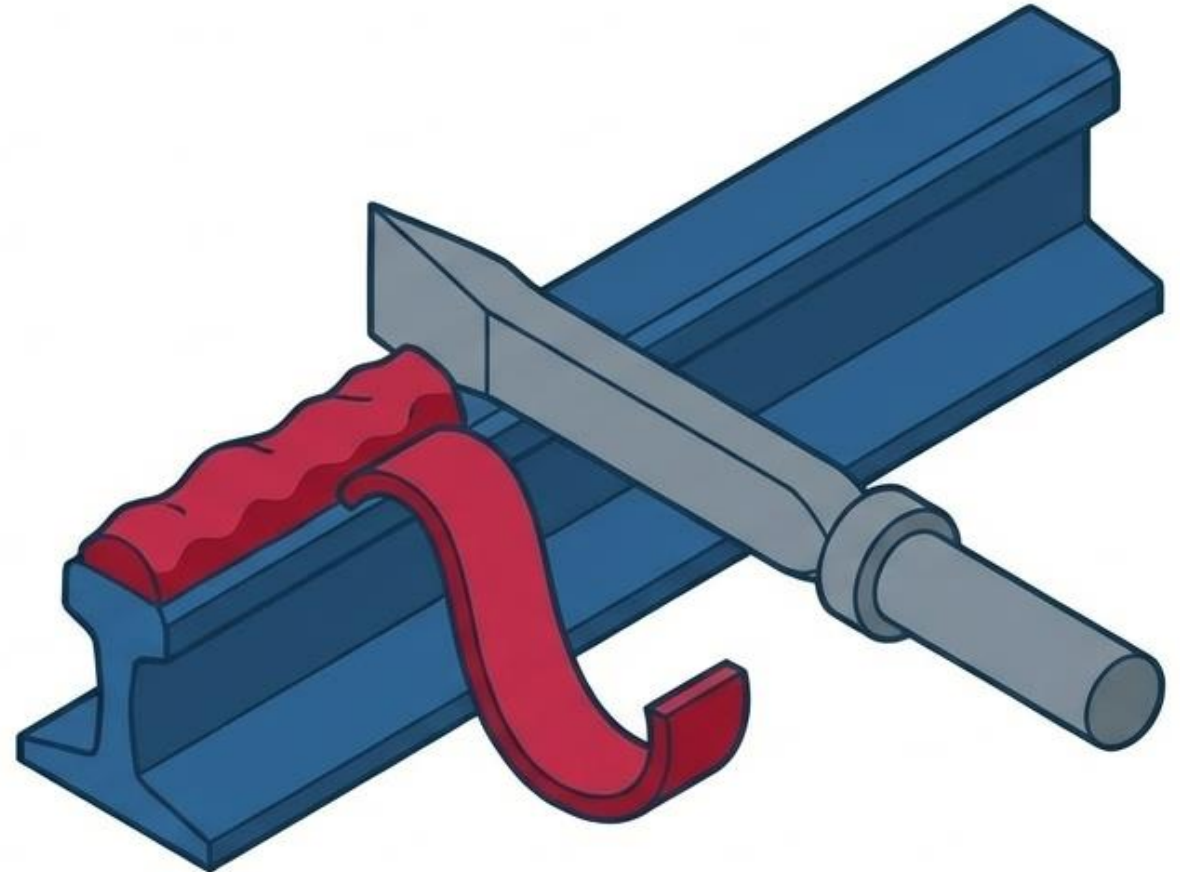


Fig. 2.34.—Soldadura aluminotérmica, colada.

Fase 4: Desmoldeo y Rebarbado

Una vez que el metal se ha solidificado pero aún mantiene alta temperatura, se procede al retiro de la contención.

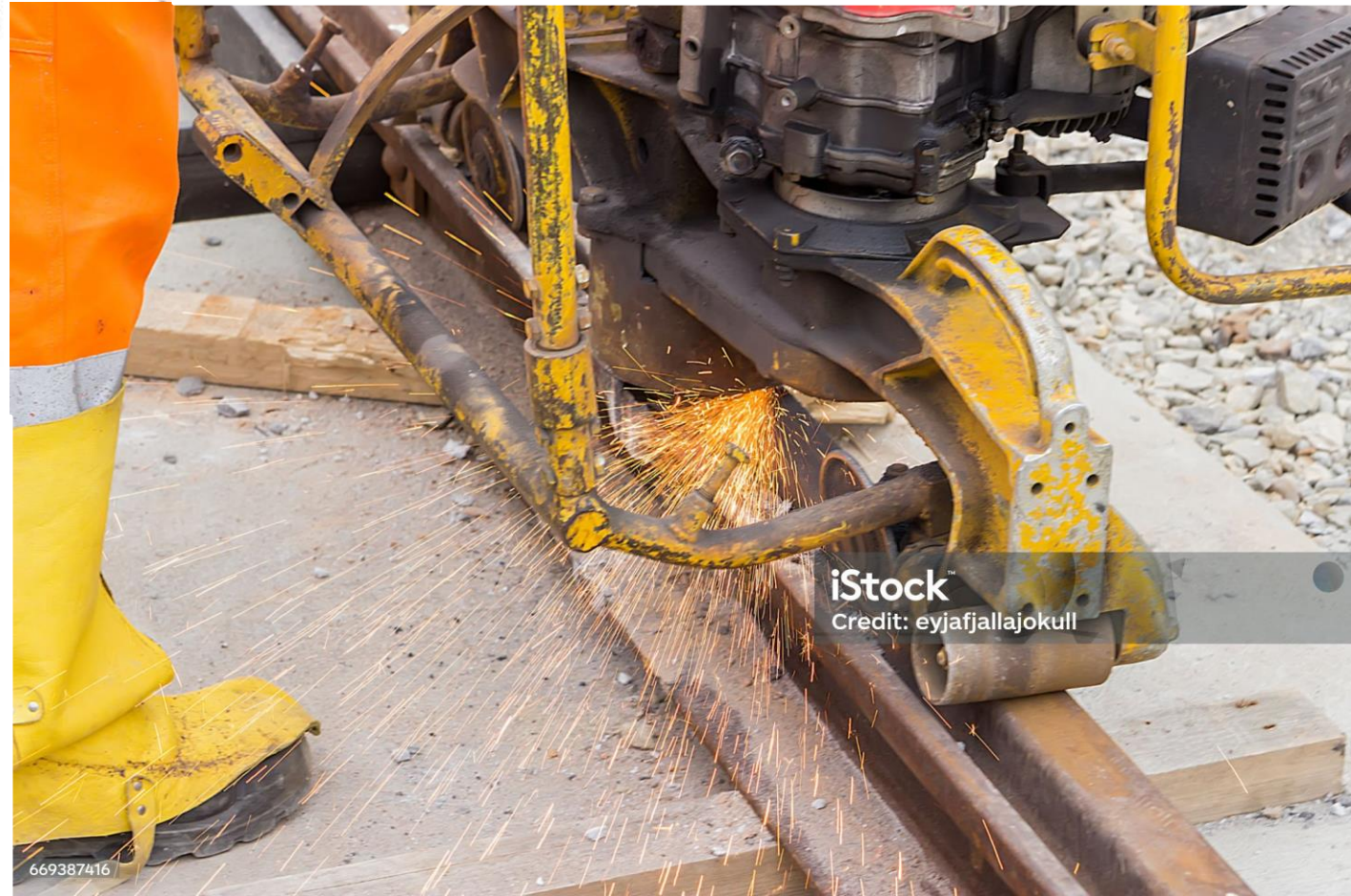
- **Desmoldeo:** Retiro de las carcasas y
- **Desmoldeo:** Retiro de las carcasas y arena del molde.
- **Rebarbado:** Eliminación del exceso de metal (rebaba) en la zona superior y lateral del hongo del riel, riel, preparándolo para el mecanizado final.



Fase 5: Esmerilado

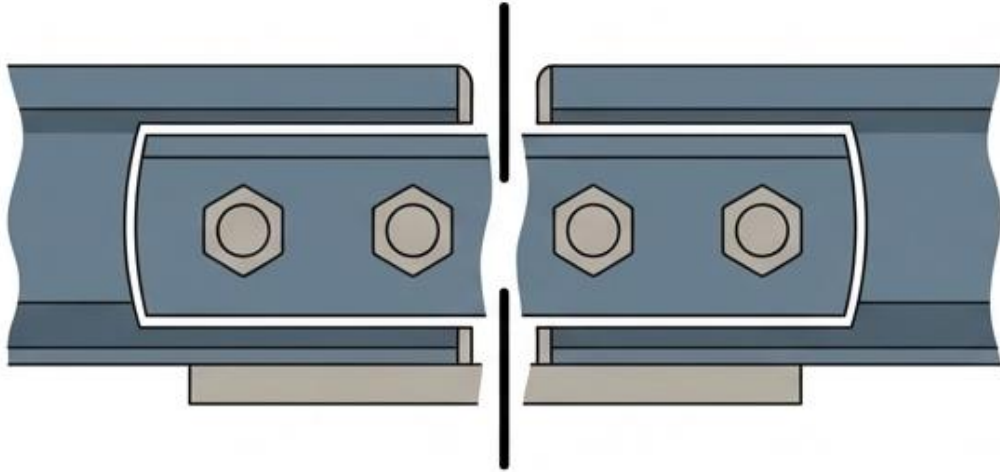
El acabado mecánico que garantiza el confort dinámico y la seguridad operativa.

Se realiza un perfilado abrasivo de precisión para igualar la zona soldada con el perfil longitudinal y transversal exacto de los rieles originales. Este paso elimina cualquier discontinuidad geométrica, permitiendo que la rueda transite sin detectar la antigua junta.



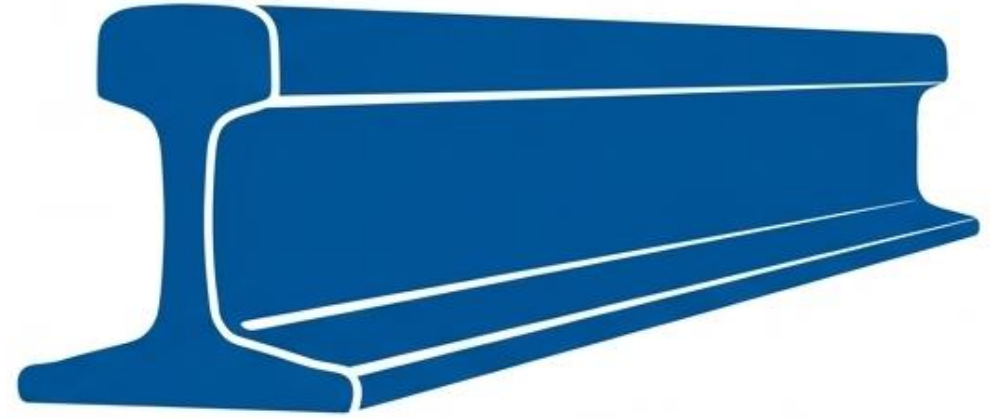
iStock
Credit: eyjafjallajokull

De la discontinuidad a la integridad estructural



Junta Mecánica Tradicional

- Discontinuidad elástica.
- Requiere mantenimiento constante (bateo, ajuste de tornillos).
- Genera efectos dinámicos nocivos (galope, oscilación).



Riel Largo Soldado (RLS)

- Estructura continua y monolítica.
- Fusión aluminotérmica a 3000°C.
- Minimiza impactos, alarga la vida útil útil de la vía y el material rodante.

DURMIENTES

- **Son elementos que se colocan en dirección transversal al eje de la vía, sobre los cuales se fijan los rieles, formando el nexo de unión entre el carril y el balasto (emparrillado)**

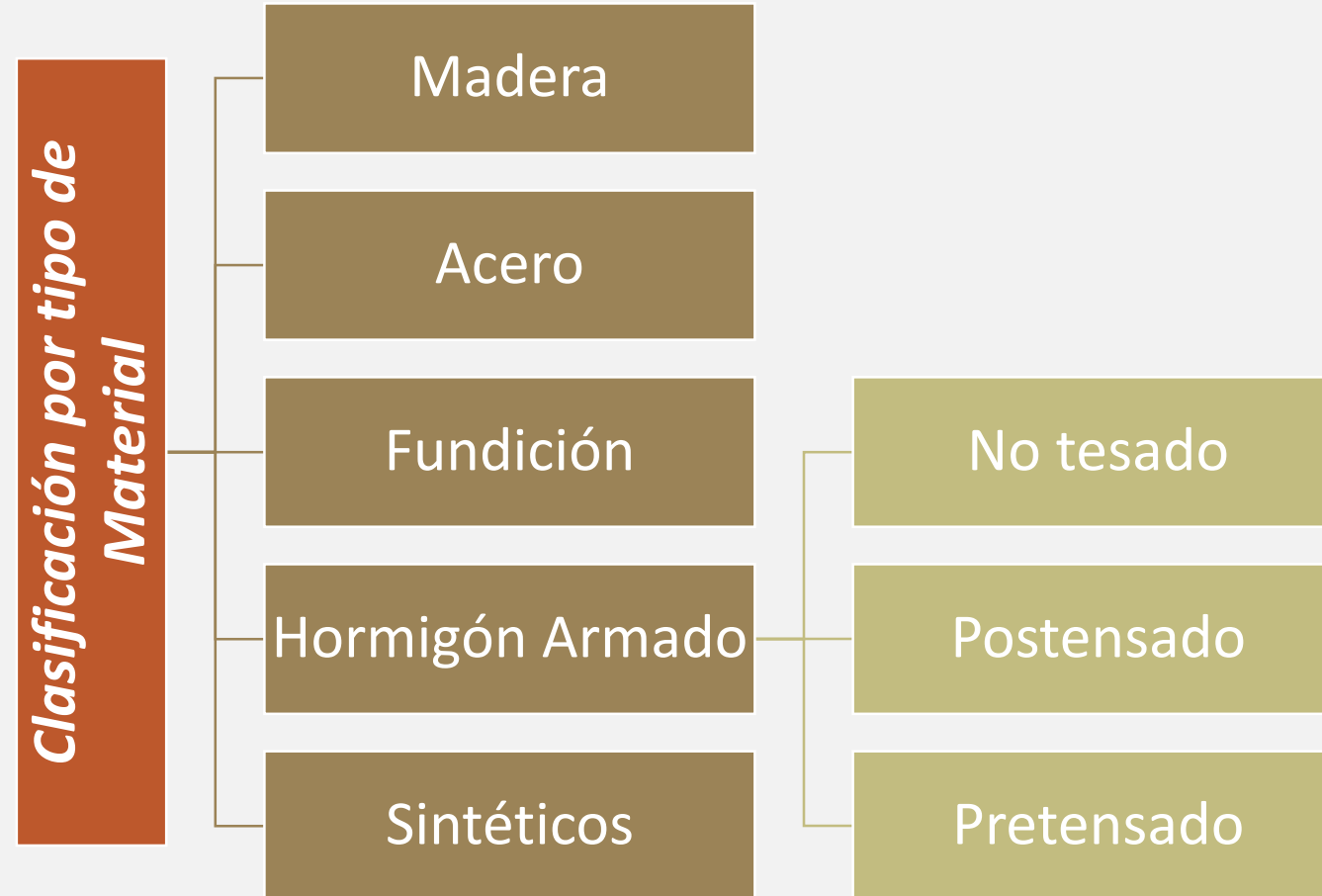


DURMIENTES

FUNCIÓN

- Servir de soporte a los carriles fijando y asegurando su posición en los referente a **cota, separación e inclinación.**
- **Recibir** las cargas verticales y horizontales transmitidas por los carriles y **repartirlas** sobre el balasto a través de su superficie de apoyo.
- Conseguir y **mantener la estabilidad** de la vía en el plano horizontal (longitudinal y transversalmente) y en el vertical frente a los esfuerzos estáticos procedentes del peso propio y las variaciones de temperatura, así como frente a los esfuerzos dinámicos, debido al paso de los trenes.
- Mantener, siempre que sea posible por si misma y sin ayuda de elementos específicos incorporados a la sujeción, el **aislamiento eléctrico entre los dos rieles** cuando la línea esté dotada de circuitos de señalización.

DURMIENTES



Matriz de Clasificación Estructural



Semitraviesa



De dos bloques



De dos rótulas



Monobloc

		Semitraviesa	De dos bloques	De dos rótulas	Monobloc
Madera		X	-	-	✓
Acero		X	X	-	X
Hormigón	Armado	X	X	-	X
	Tensado	-	✓	X	✓
Plástico		X	-	-	X

Funciones Operativas y Entorno de Vía



Vía Corrida

Colocados sobre balasto estándar. Constituyen la inmensa mayoría de la red ferroviaria.



Puentes

Espesor mayor (ej. 15 cm en madera). Empleados en puentes metálicos de tablero abierto.



Cambios y Cruzamientos

Longitud variable para cubrir la separación geométrica de vías convergentes y divergentes en aparatos de vía.



Tercer Riel

Longitud superior a la normal para soportar infraestructuras de electrificación (frecuencia típica: uno cada cuatro durmientes normales).

Madera: El Estándar Tradicional

Propiedades Mecánicas

- Peso Específico: $> 750 \text{ kg/m}^3$
- Módulo de Elasticidad (E): $\sim 80,000 \text{ kg/cm}^2$
- Resistencia al arranque (tirafondo nuevo): 4,000 a 6,000 kg

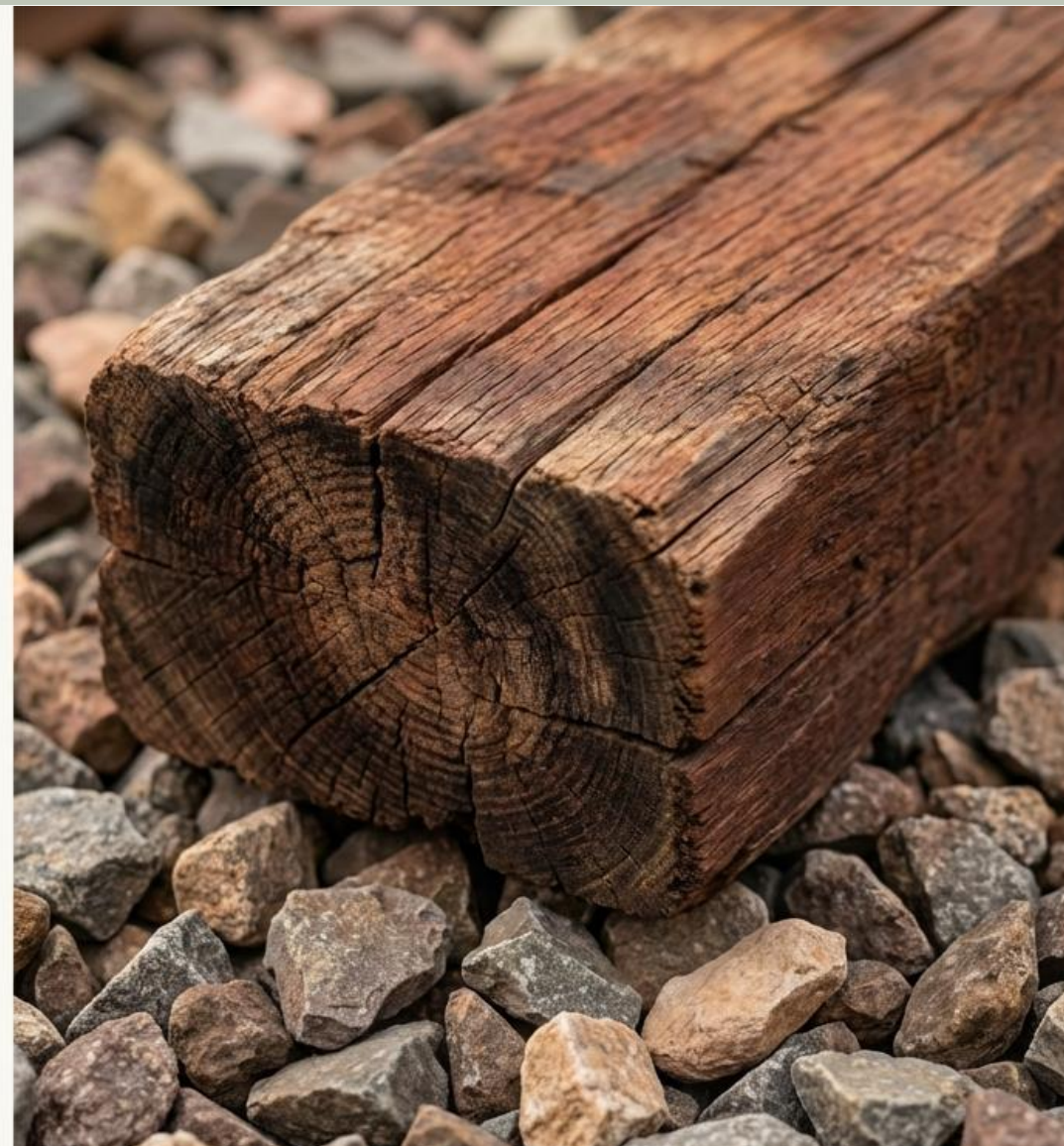
Ventajas Operativas

Elevada resistencia a flexocompresión, excelente elasticidad y buena respuesta ante descarrilamientos (no llega a romperse).

Especies Protagonistas

Quebracho colorado/blanco, guayacán, urunday.

Dato Clave: Las maderas con alto contenido de tanino (como el Quebracho) se colocan en la vía sin necesidad de tratamiento químico previo.



DURMIENTES

Madera – Características operativas

- **Elevada resistencia** a la compresión y flexión.
- **Elevada elasticidad.**
- Posibilidad de utilización con carriles de **cualquier ancho de patín.**
- Buena **resistencia al deslizamiento** sobre balasto.
- **Peso relativamente bajo** (lo que facilita su manipulación – 70 a 90kg en trocha ancha.
- Buena respuesta ante descarrilamiento, ya que en general no llega a romperse (puede seguir utilizándose).
- Al final de su vida útil en vía principal, puede ser **reutilizado** en vías secundarias o de servicio
- **Desventajas:**
 - Envejecimiento en servicio provoca disminución de elasticidad y resistencia inicial,
 - El ataque de microorganismos (hongos, gusanos, termitas) provoca disminución de su peso específico (pérdida de estabilidad y debilitamiento en el anclaje de fijaciones).

El Desafío Orgánico: Tratamientos Químicos

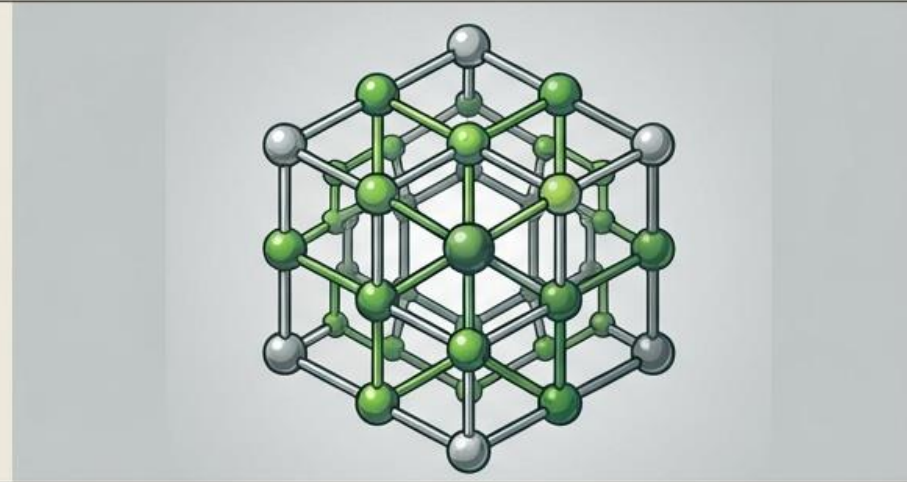
Las maderas sin tanino fallan por el ataque de microorganismos (xilófagos, hongos), perdiendo peso específico, estabilidad y fijación.

Para evitarlo, requieren secado previo (humedad del 25-28%) y preservación química:



Creosota

Aceite pesado derivado del alquitrán de hulla. Altamente tóxico y fitotóxico. (En desuso por riesgo ambiental y de manipulación).

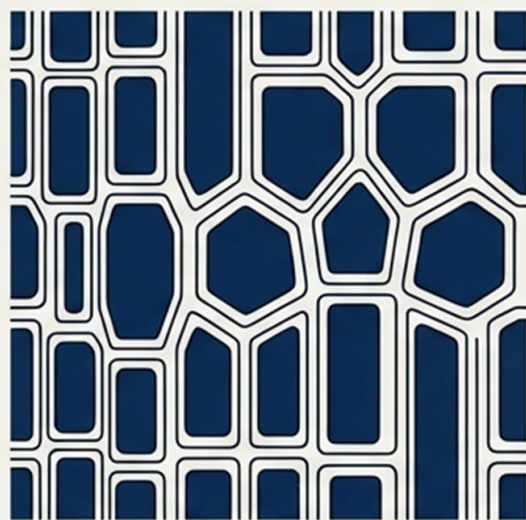


Sales Modernas

- Sales CCA: Cromo – Cobre – Arsénico.
- Sales CCB: Cromo – Cobre – Boro. Alto poder insecticida y fungicida.

Termodinámica de Impregnación: Bethell vs. Lowry

Proceso Bethell (Células Llenas)

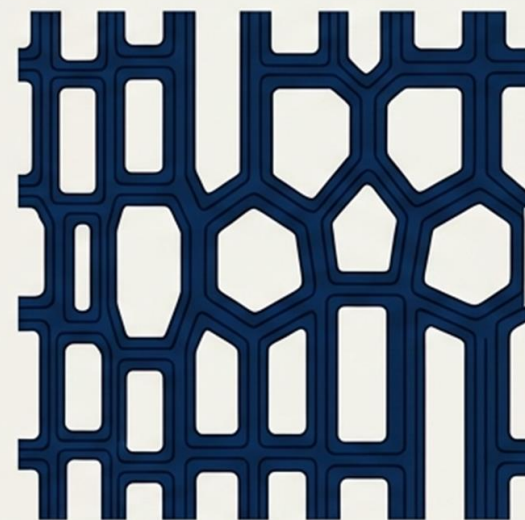


Objetivo: Máxima retención de conservante. Control exacto de profundidad.

Fases: Autoclave -> Vacío inicial -> Presión (Impregnación) -> Vacío final.

Uso: Ideal para creosota o conservantes base agua.

Proceso Lowry (Células Vacías)



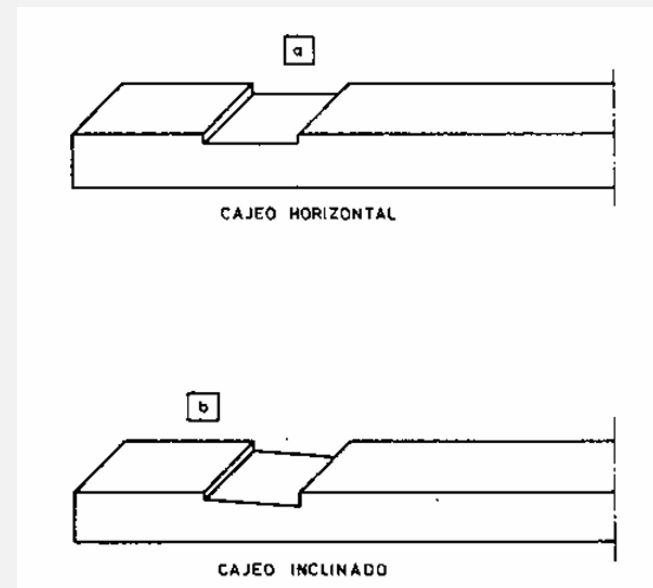
Objetivo: Eficiencia y recuperación de excedentes.

Fases: Bombeo de conservante (atrapando aire interno) -> Aumento de presión -> Drenaje -> Vacío para extraer el exceso.

DURMIENTES

Madera – forma

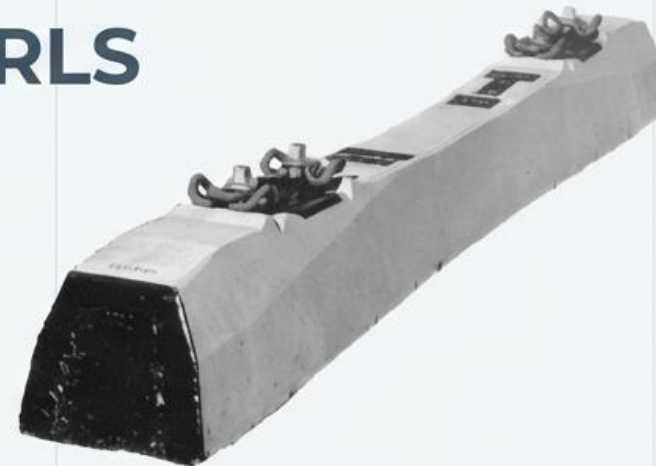
- La forma en general es paralelepípedica
- Se deberá realizar perforación previa a la introducción de tirafondos y clavos
- Se debe realizar el “cajeo” para el correcto asiento del riel 1/20 – 1/40 (en caso de no apoyar sobre placa).
- Las dimensiones típicas de durmientes de madera son de 12cmx24cmx270cm (para trocha ancha), 12cmx24xmx200xm(para trocha angosta)



La Transición al Hormigón y el RLS

El agotamiento de los bosques impulsó el desarrollo del hormigón, pero sus propiedades mecánicas transformaron el diseño de la vía:

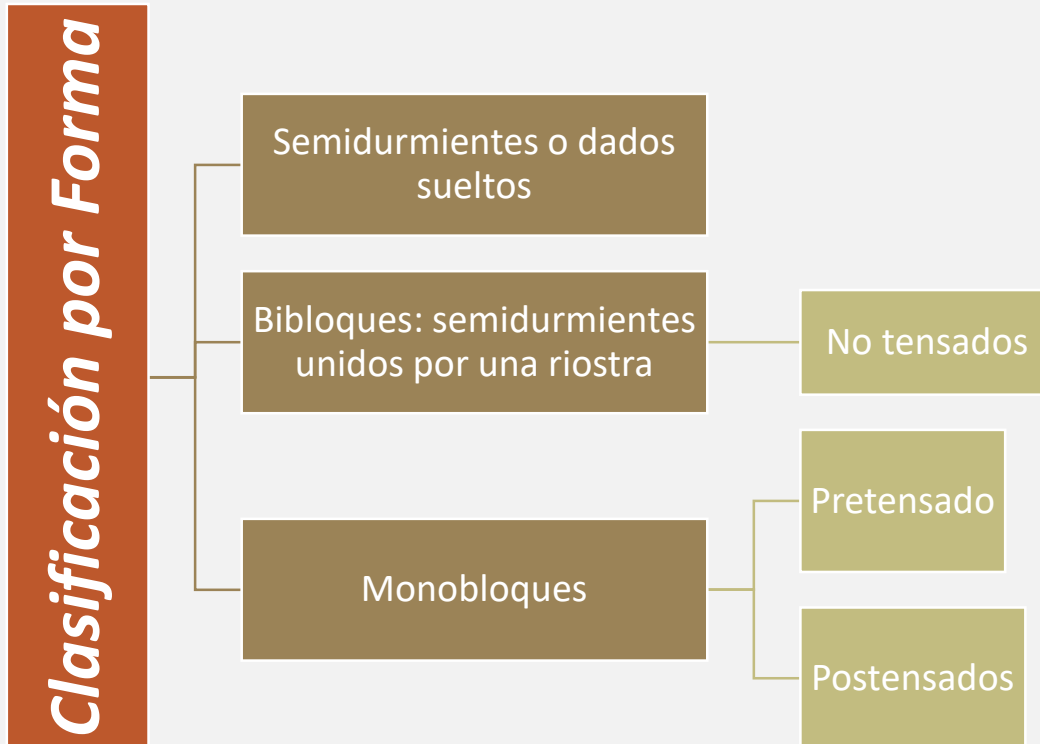
- **Ciclo de Vida Extendido:** 40 a 50 años (duplica a la madera).
- **Aislamiento y Rigidez:** Exige la interposición obligatoria de pads elásticos y elementos aislantes eléctricos.
- **El Habilitador Tecnológico:** Su mayor peso unitario dificulta la manipulación manual, pero incrementa drásticamente la estabilidad longitudinal, vertical y horizontal.



Resultado: Disminuye el riesgo de pandeo y permite la implementación del Riel Largo Soldado (RLS).

DURMIENTES

Hormigón - Clasificación



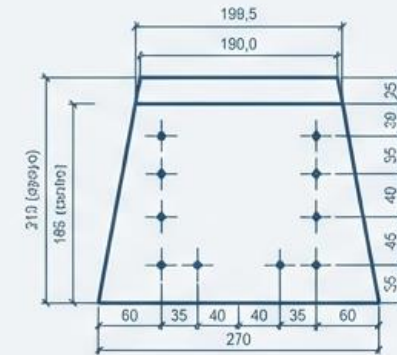
- **Resistencia a la compresión:**
- Tensados: **450 a 700 kg/cm²**
- No tensados: **250 a 300 kg/cm²**
- **Resistencia a la tracción en el acero.**
- Tensados: acero de alta resistencia, tensión de rotura de 14.000 a 17.000 kg/cm²(diámetro de 4 a 6mm para pretensado y 10mm a 14mm para postensado)
- En caso de durmiente bibloque la riostra de unión está constituida por acero laminado con una tensión de rotura de 7000 a 9000 kg/cm²

Arquitectura del Hormigón: Forma y Resistencia

1. Por su Armadura (Resistencia a Compresión)

Tensados: 450 a 700 kg/cm²
(Acero de alta resistencia:
14,000 - 17,000 kg/cm²).

No Tensados: 250 a 300 kg/cm².

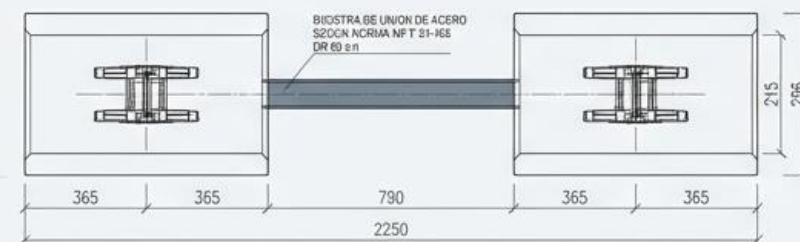


2. Por su Forma Geométrica

Monobloque: Estructura de un solo bloque rígido.



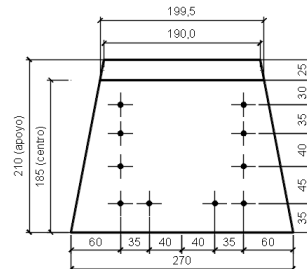
Bibloque: Semidurmiertes unidos por una riostra. (Acero laminado con tensión de rotura de 7,000 a 9,000 kg/cm²).



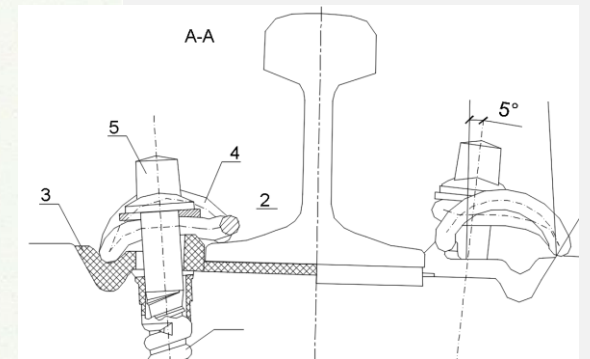
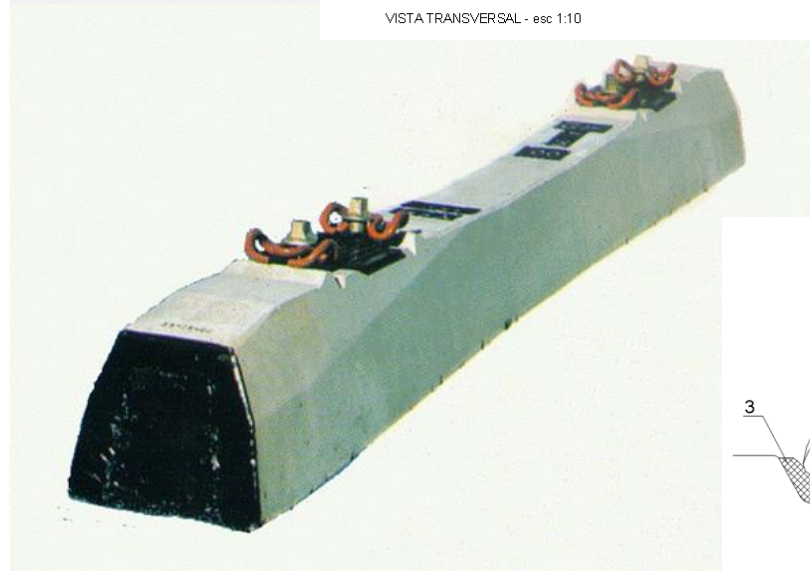
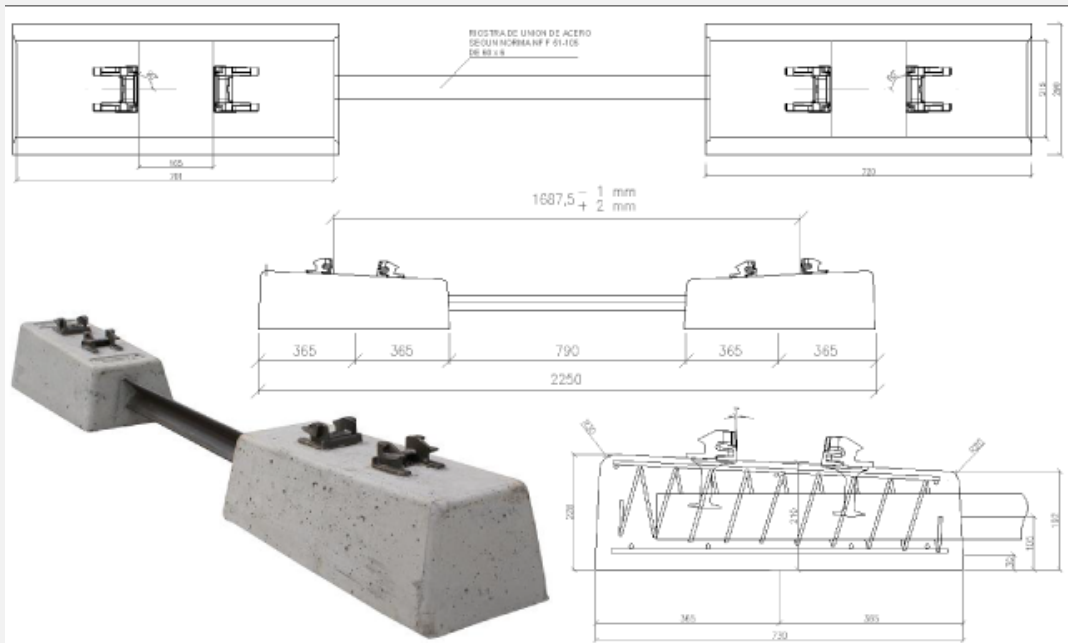
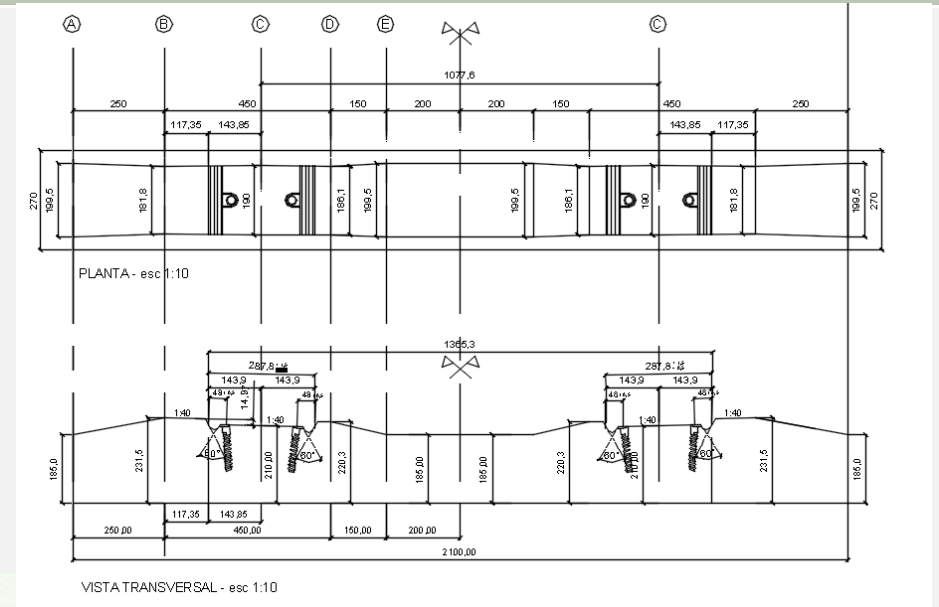
DURMIENTES

Hormigón - Forma

ARMADURA - esc 1:5



Armadura: 10 hierros Ø 6 mm,
 tensión máxima admisible 175
 kg/mm² para hormigón pretensado



Ingeniería de Fabricación: Manejo de Tensiones

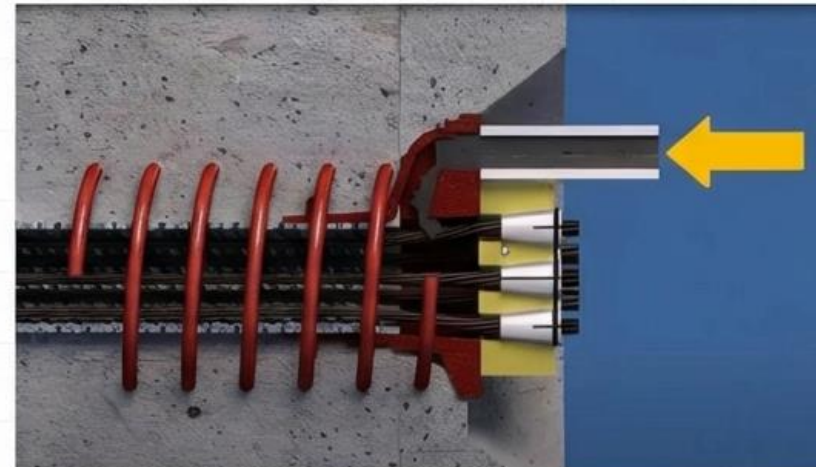
Pretensado (Armadura Pretesa - Línea Larga)

- Tesado de armadura entre soportes fijos antes del fraguado.
- El hormigón se vierte sobre el acero en tensión.
- Al endurecer, se destesa la armadura, transfiriendo tensiones de compresión al núcleo del hormigón.



Postensado (Armadura Postesa)

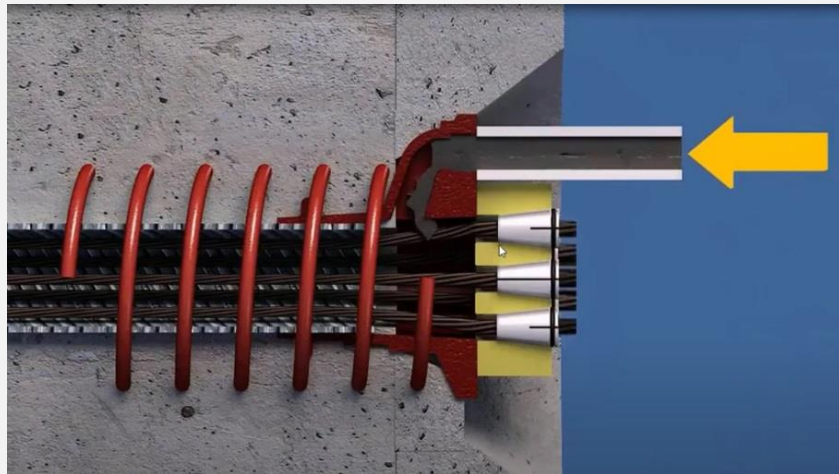
- Fabricación en molde con vainas huecas, sin acero tensionado inicialmente.
- Al alcanzar la resistencia de precompresión, se inserta la armadura y se tesa.
- Inyección final de lechada cementicia en las vainas para anclaje y prevención de corrosión.



DURMIENTES

Hormigón - Fabricación

Durmientes de hormigón pretensado – línea larga



Hormigón postensado



DHASA
© Federico Sierra



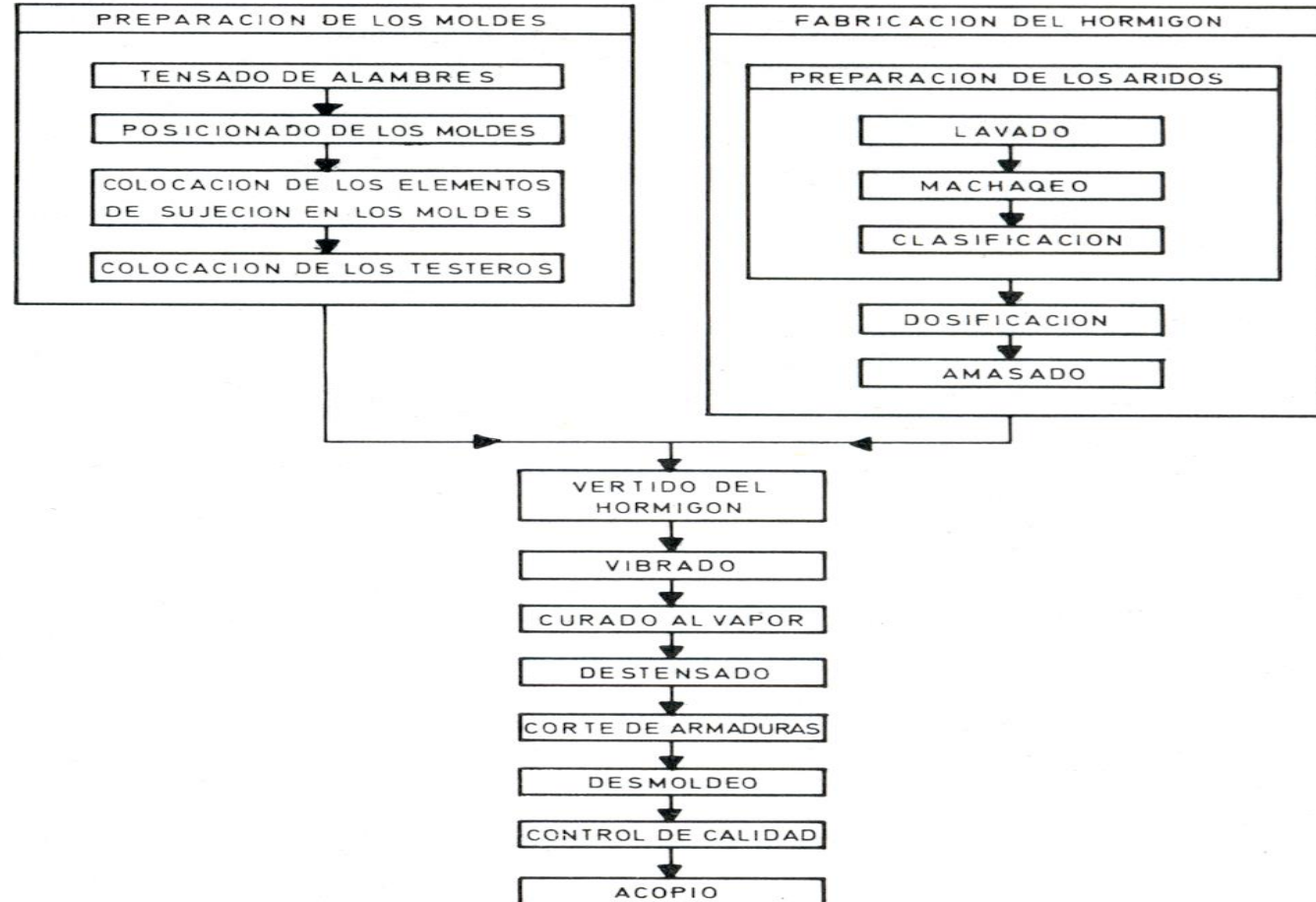
DHASA
© Federico Sierra

DURMIENTES

Hormigón - Fabricación

TABLA 4.9.

Esquema del proceso de fabricación de traviesas pretensadas



El Paradigma de Control y Validación

La validación de un durmiente es un proceso secuencial y destructivo. La normativa exige cuatro fases de ensayo para garantizar la seguridad de la vía:



Controles Geométricos y Tolerancias

La precisión geométrica es vital para evitar desgastes prematuros en el riel y garantizar la trocha exacta.

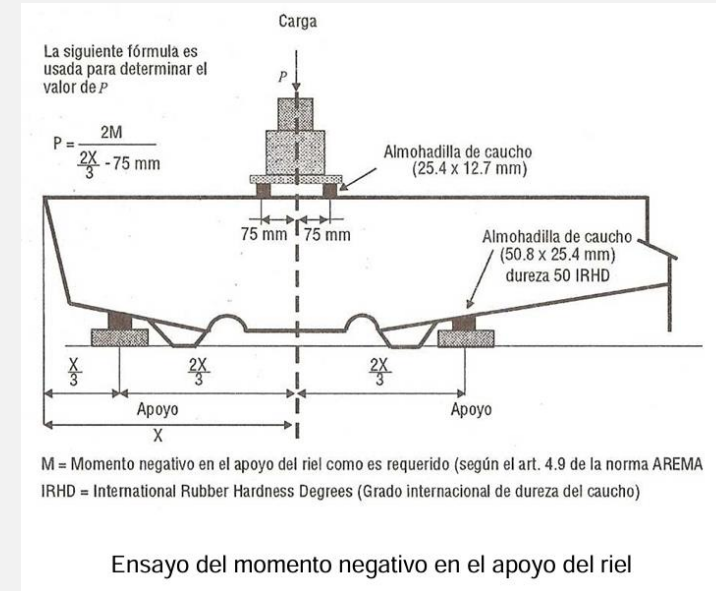
- Verificación de la distancia milimétrica entre puntos de sujeción.
- Medición exhaustiva del cajeo.
- Control de la inclinación del asiento del riel (estándares de 1:20 o 1:40), crucial cuando no se utilizan placas de asiento intermedias.



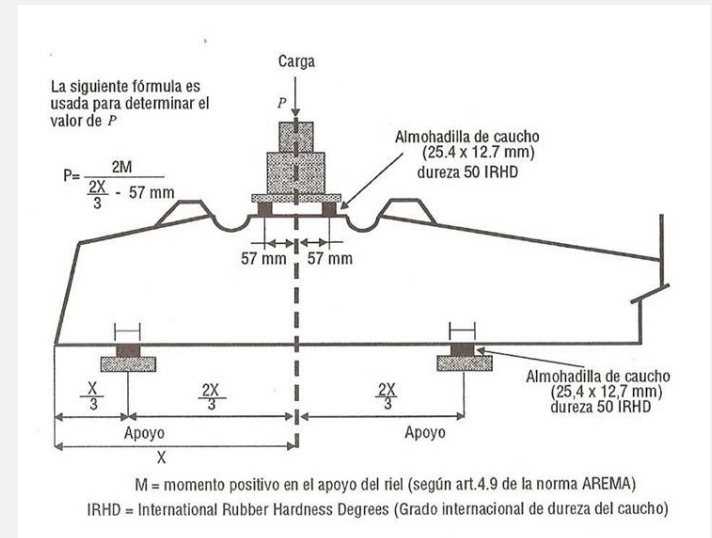
DURMIENTES

Ensayos – en el apoyo

- **Momento Negativo / Momento Positivo:**
 - Conocido el momento máximo a soportar
 - Se aplica una carga creciente 22KN/min, hasta alcanzar P
 - Se conserva la carga P durante 3 minutos
 - Se observa la aparición de fisuras



Ensayo de momento positivo en la zona de apoyo del riel



DURMIENTES

Ensayos – cargas repetidas en el asiento del riel

- Se aplica una carga creciente 22KN/min, hasta alcanzar la primer fisura que alcance el nivel inferior de los hilos de pretensado
- Luego se remueve la carga estática.
- Se observa la aparición de fisuras
- El durmiente se somete a 3 millones de ciclos de carga variando entre 17,8KN y 1,1P. A una frecuencia menor a 600 ciclos por minuto.
- Terminado el ensayo, si el durmiente puede soportar la carga estática de 1,1P, se considera que la pieza es aceptable



Ensayo dinámico en la zona de apoyo del riel

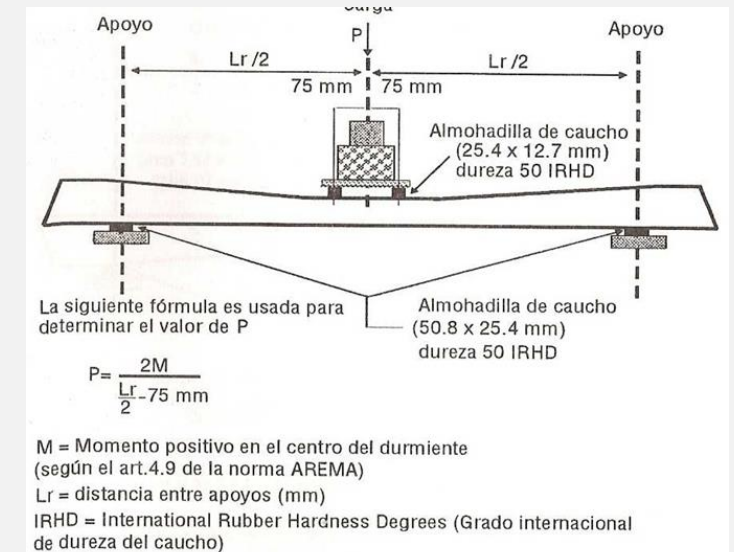
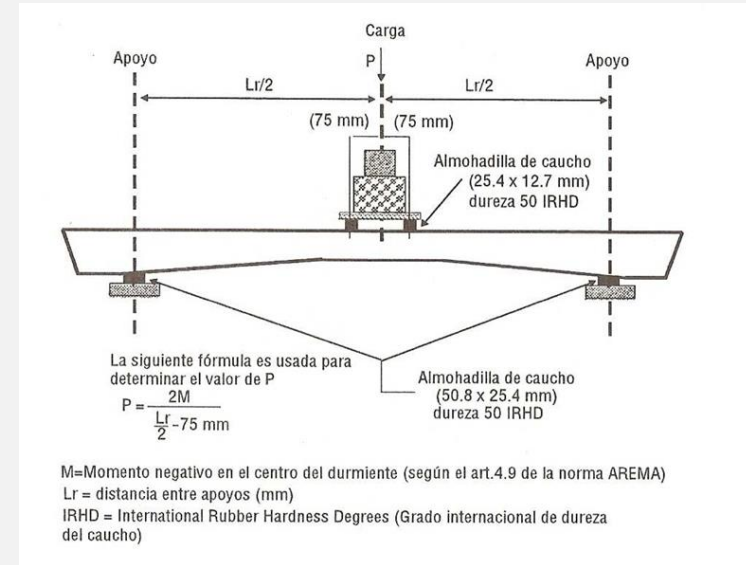
DURMIENTES

Ensayos – en centro del durmiente

- **Momento Negativo / Momento Positivo:**
 - Conocido el momento máximo a soportar
 - Se aplica una carga creciente 22KN/min, hasta alcanzar P
 - Se conserva la carga P durante 3 minutos
 - Se observa la aparición de fisuras



Ensayo de momento negativo en el centro del durmiente



Marco Normativo y Conclusión

El diseño y validación de durmientes requiere un apego estricto a las normativas de la industria para garantizar la interoperabilidad y seguridad del sistema ferroviario.

Madera

- ALAF 5-69: Suministro de maderas duras.
- IRAM-FA L 95-56/57 / FA 7024/25: Quebracho blanco/colorado, guayacán y urunday.

Hormigón

- FA 7030: Durmientes pretensados tipo monobloque.
- FA 7031: Durmientes armados tipo mixto.

Tratamientos

- FA 7055/56: Preservación y creosota.



UNCUYO
UNIVERSIDAD
NACIONAL DE CUYO



FACULTAD
DE INGENIERÍA

Sistemas de Fijaciones Ferroviarias

Funciones, Evolución y Análisis Dinámico

Ing. Mariano Méndez | Cátedra de Ferrocarriles – UNCUYO

El Desafío Fundamental: Funciones y Características

Funciones Críticas

- Fijar los carriles a los durmientes.
- Asegurar la invariabilidad del ancho de la vía.
- Facilitar la transferencia de las acciones estáticas y dinámicas.



Características Exigidas

- Resistencia mecánica **combinada con elasticidad**.
- Aislamiento eléctrico (fundamental para señalización).
- Optimización: Menor número posible de elementos, peso mínimo, bajo costo y máxima vida útil.

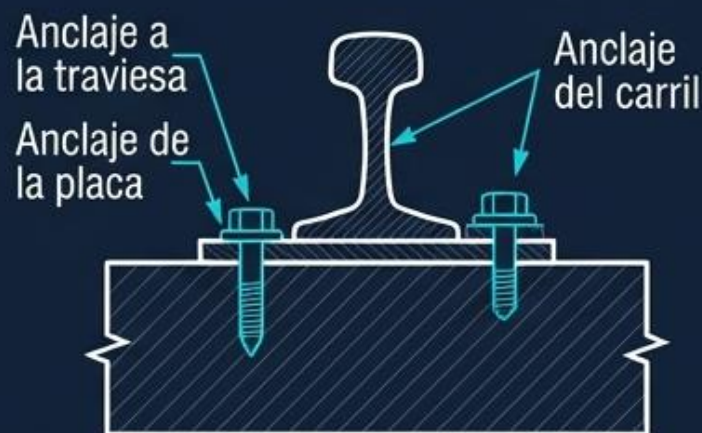
Geometría de la Sujeción: Clasificación por Posición

Fijación Directa



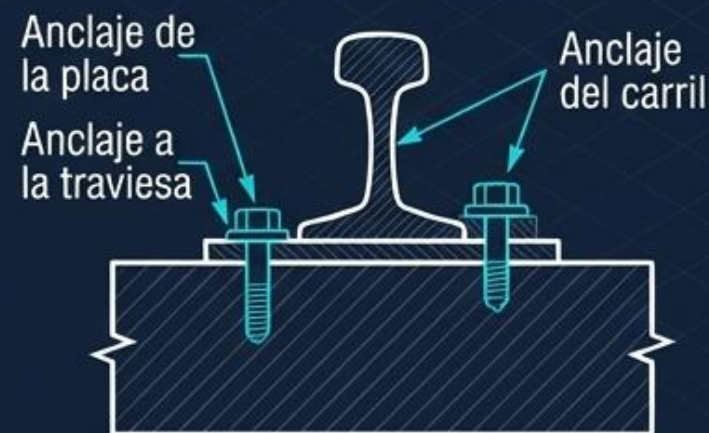
- Un único elemento (tirafondo, clavo) sujeta el riel al durmiente.
- Si hay placa, el anclaje la atraviesa sujetando riel y placa simultáneamente.

Fijación Indirecta



- Sistema desacoplado.
- La sujeción de la placa al durmiente es totalmente independiente de la sujeción del riel a la placa.

Fijación Mixta



- Un grupo de anclajes sujeta solo la placa al durmiente.
- Otro grupo sujeta simultáneamente la placa y el patín del riel.

La Batalla contra la Dinámica: El Comportamiento de la Vía

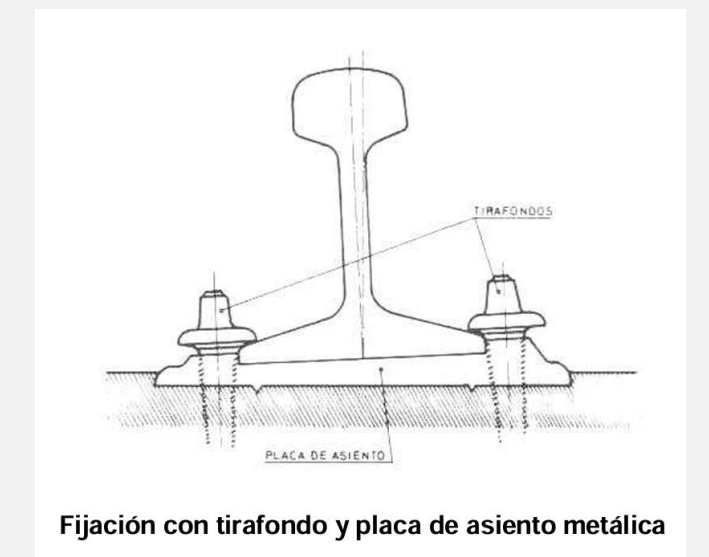
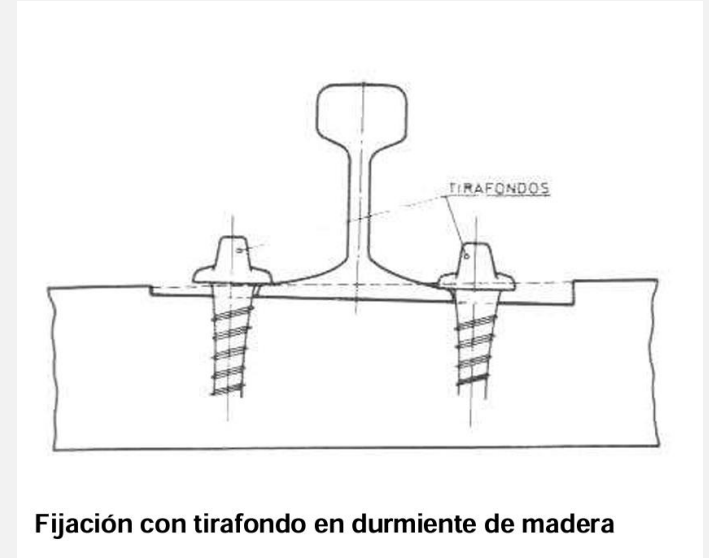
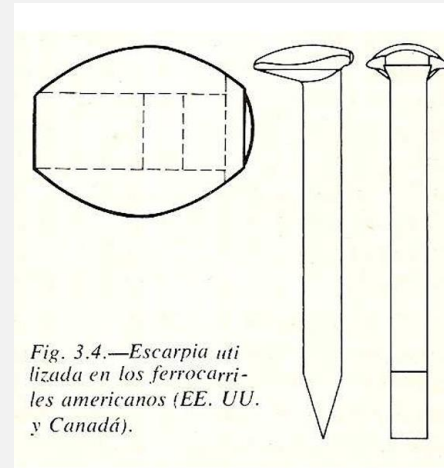
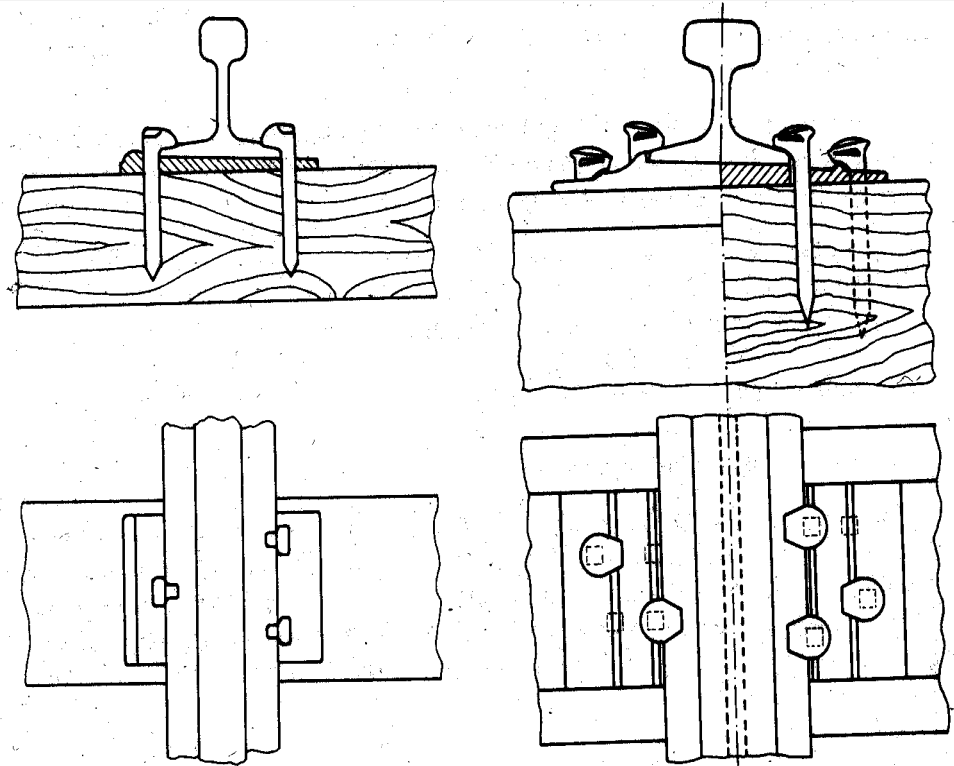


La Naturaleza de la Transmisión

- **Sistemas Rígidos:** La transmisión del esfuerzo ocurre a través de un elemento estático (clavos, tirafondos). Bajo el movimiento ondulatorio de la vía, la falta de absorción dinámica genera aflojamiento prematuro.
- **Sistemas Elásticos:** Transmisión mediante conjuntos elásticos (simple o doblemente elásticos). Admiten los movimientos relativos del carril (vertical y giro longitudinal), absorbiendo los efectos dinámicos ferroviarios y conservando su función por mayor tiempo.

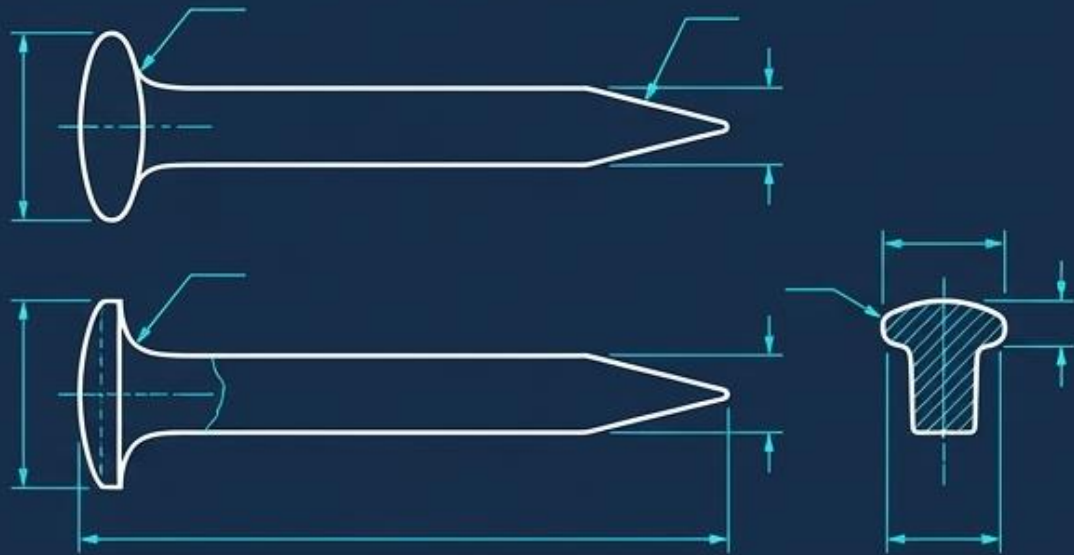
FIJACIONES

- Rígida clásica: Escarpías (clavos) y tirafondos



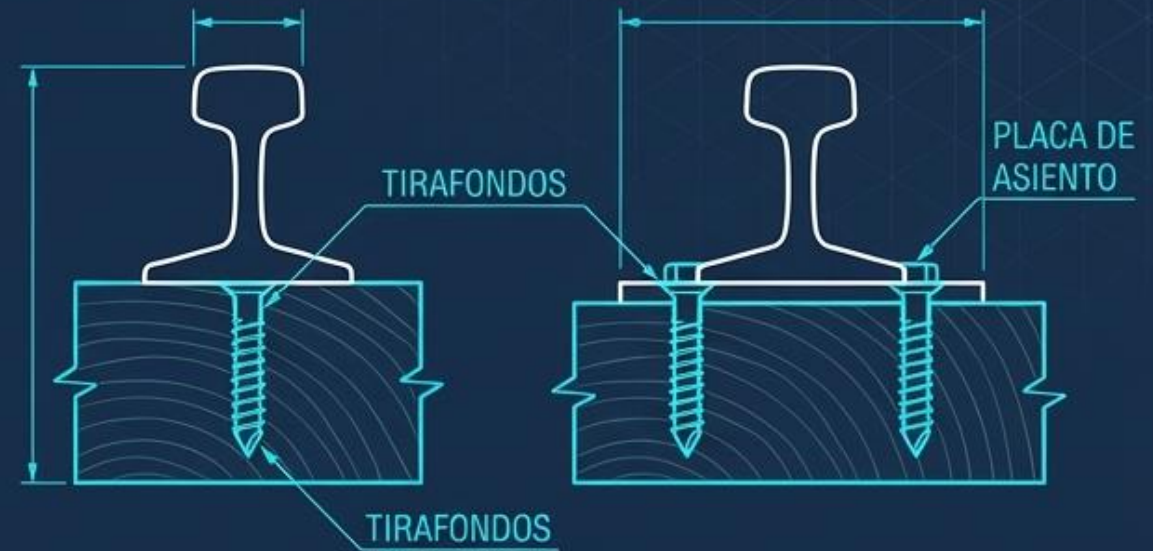
La Era Rígida: Geometría Estática

Escarpías (Clavos Rígidos)



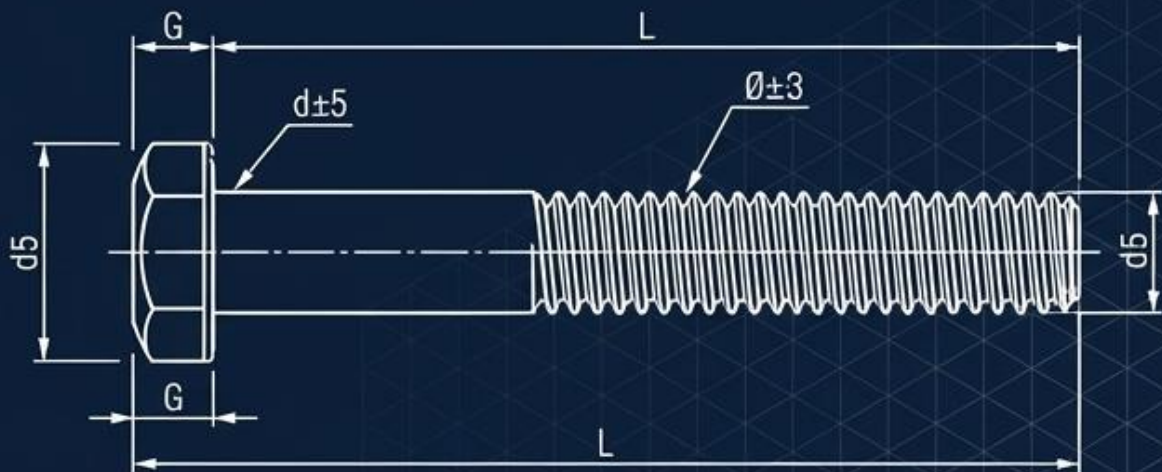
- Representa la fijación directa más básica.
- Introducción a martillo manual o neumático.

Tirafondos y Placas



- Transición hacia mayor resistencia a la tracción.
- Uso en durmientes de madera con o sin placa metálica de asiento.

Ingeniería Local: El Tirafondo en la Vía Argentina



TIPO	N° DE IDENT.	DIMENSIONES EN mm			DE APLICACION EN
		S. T		P ± 2	
		VASTAGO			
		L±5	d±05	G	
A	1	26+25	d±05	6	1 Gratio con.
B	2	34+30	d±05	12	3 y 3 silleta
C	3	32+10	d±05	13	2 silleta
D	4	64+50	d±05	18	8 silleta

Dimensiones adaptadas para fijación directa o silletas



- **Estándar Nacional:** Plano G.V.O. 537.
- **Diseño de Cabeza:** Tipos 1 y 2 para ajuste con llave.
- **Variabilidad de Vástago:** Dimensiones (Longitud L , Rosca G) adaptadas para fijación directa o uso con diferentes tipos de silletas.

El Problema del Apriete y la Transición Elástica



**SUPER
APRETADO**

- El comportamiento de la fijación elástica de lámina depende críticamente del torque aplicado.



**APRETADO
INSUFICIENTE**

- La lámina debe actuar como un resorte bajo compresión controlada.
- La "Placa de caucho" aísla el riel y absorbe vibraciones, marcando una evolución crucial respecto al contacto rígido metal-madera.



**APRETADO
CORRECTO**

La Revolución Elástica: Sistemas Vossloh



Sujeción Vossloh dff-300



Sujeción Vossloh w14



Sujeción Vossloh dff-300



Sujeción Vossloh w14



- Sistemas de clip de alta elasticidad.
- **Sujeción Vossloh w14**: Optimizada para vías de alto rendimiento sobre durmientes de hormigón.
- **Sujeción Vossloh dff-300**: Sistema de fijación directa con placas base altamente elásticas, ideal para reducción de vibraciones en tramos urbanos o puentes.
- El diseño de "doble bucle" garantiza una fuerza de sujeción constante incluso bajo deflexión severa del carril.

FIJACIONES

- Clavos elásticos

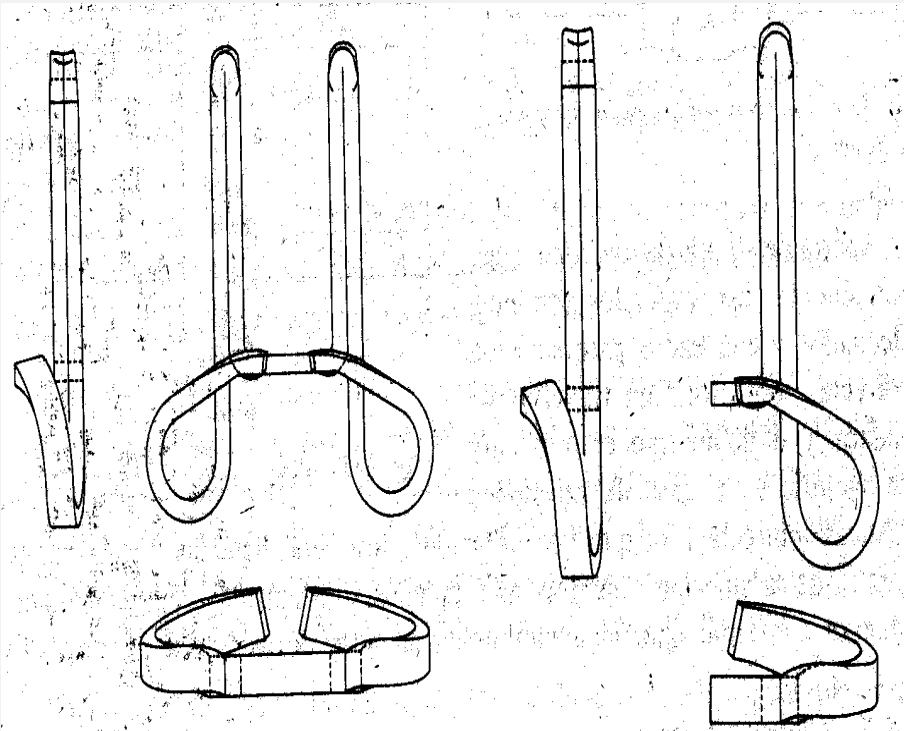


Fig. 3.14.—Clavo Dörken doble.

Fig. 3.15.—Clavo Dörken sencillo.

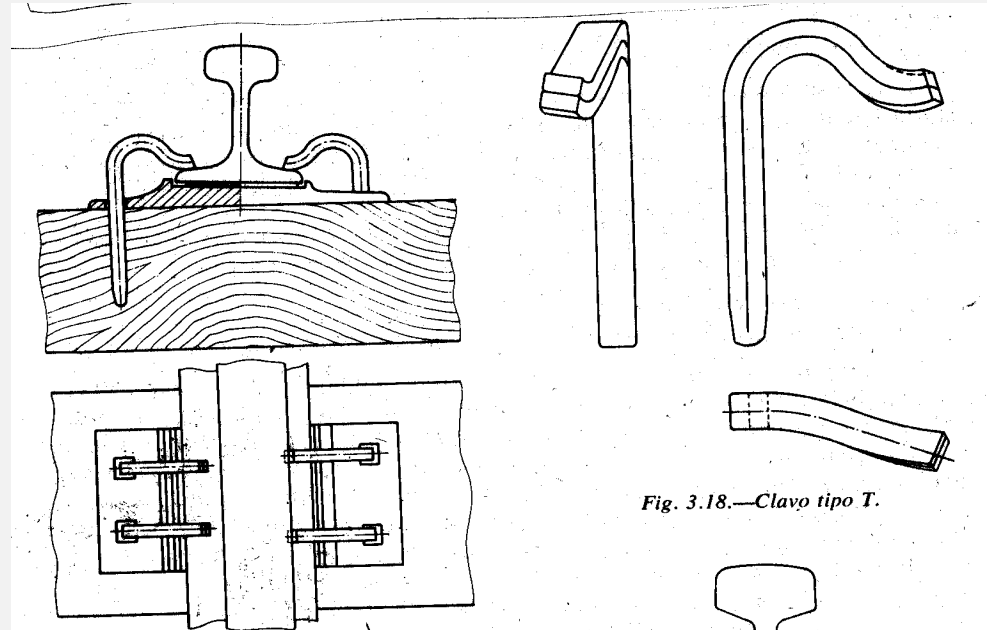


Fig. 3.17.—Sujeción con clavos tipo A.

Fig. 3.18.—Clavo tipo T.

El hincado de los clavos se realiza con martillo manual o neumático y con la ayuda de una herramienta calibradora, que permite asegurarse de que la profundidad clavada es la adecuada.

Los clavos tipo T no tienen plano de simetría y tienen «mano» (fig. 3.18), es decir, se puede distinguir entre izquierdos y derechos. Para facilitar esta distinción, se suministran identificados

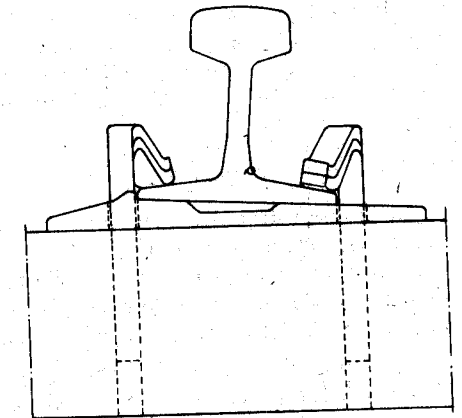
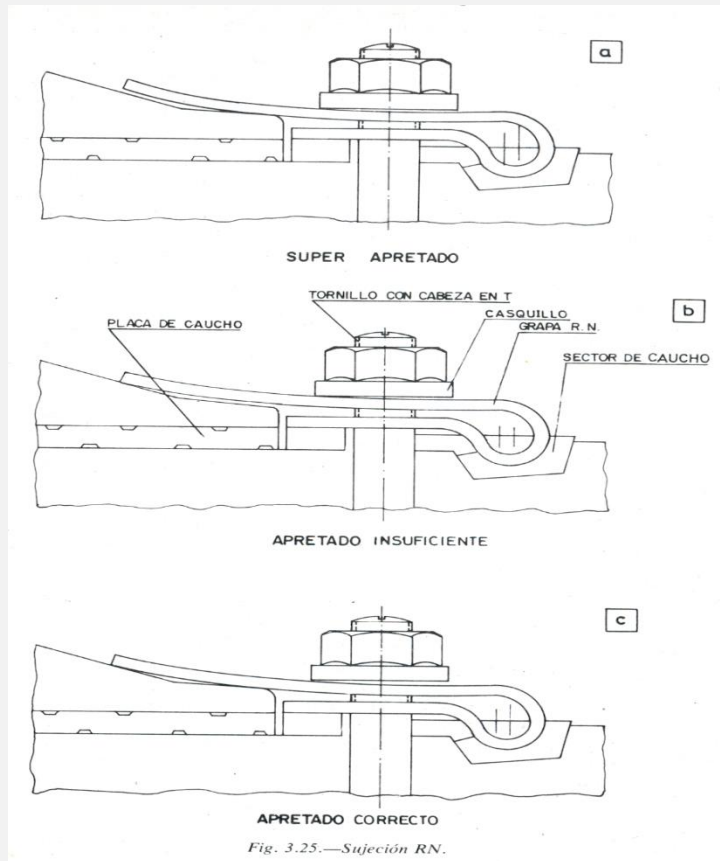


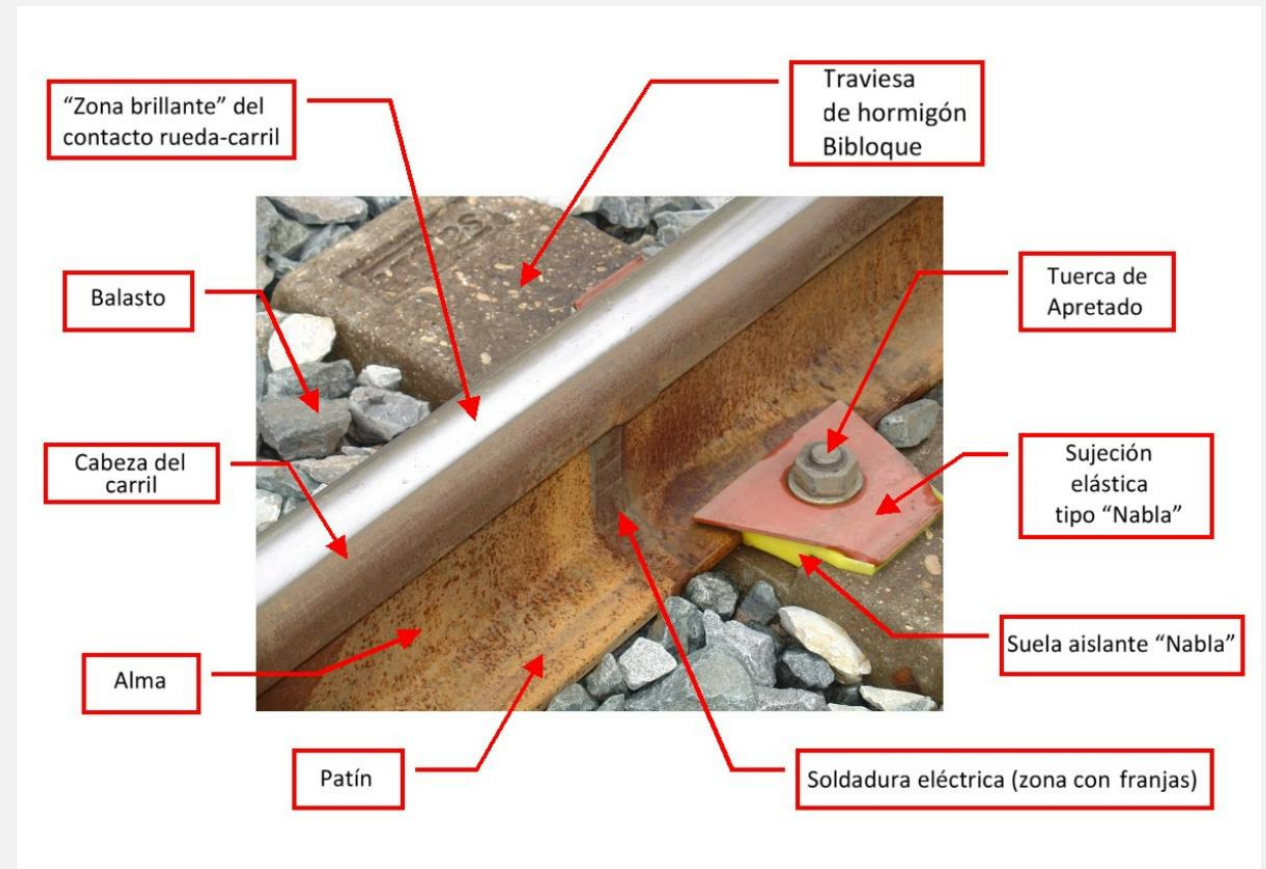
Fig. 3.19.—Sujeción con clavos tipo T.

FIJACIONES

- Elásticas de lámina



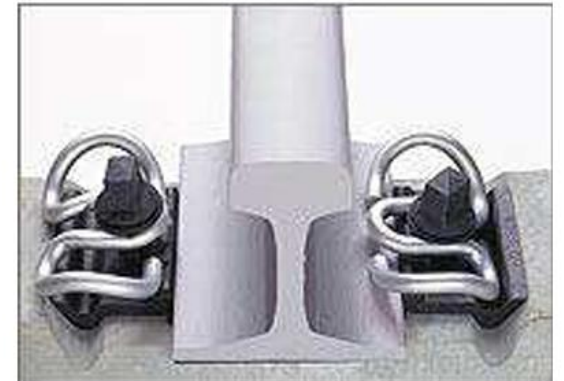
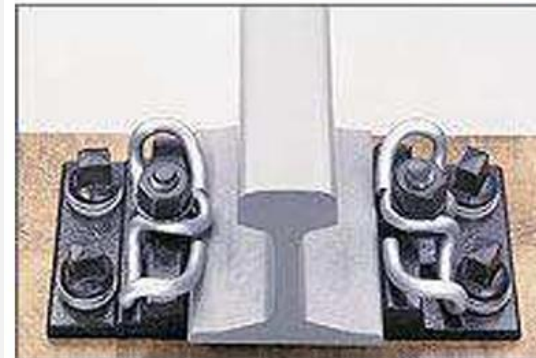
Fijación RN



Fijación Nabla

FIJACIONES

- Elásticas - clip



Sujeción Vossloh dff-300

Sujeción Vossloh w14

Fijación Vossloh

La Revolución Elástica: Sistemas Vossloh



Sujeción Vossloh dff-300



Sujeción Vossloh w14



Sujeción Vossloh dff-300



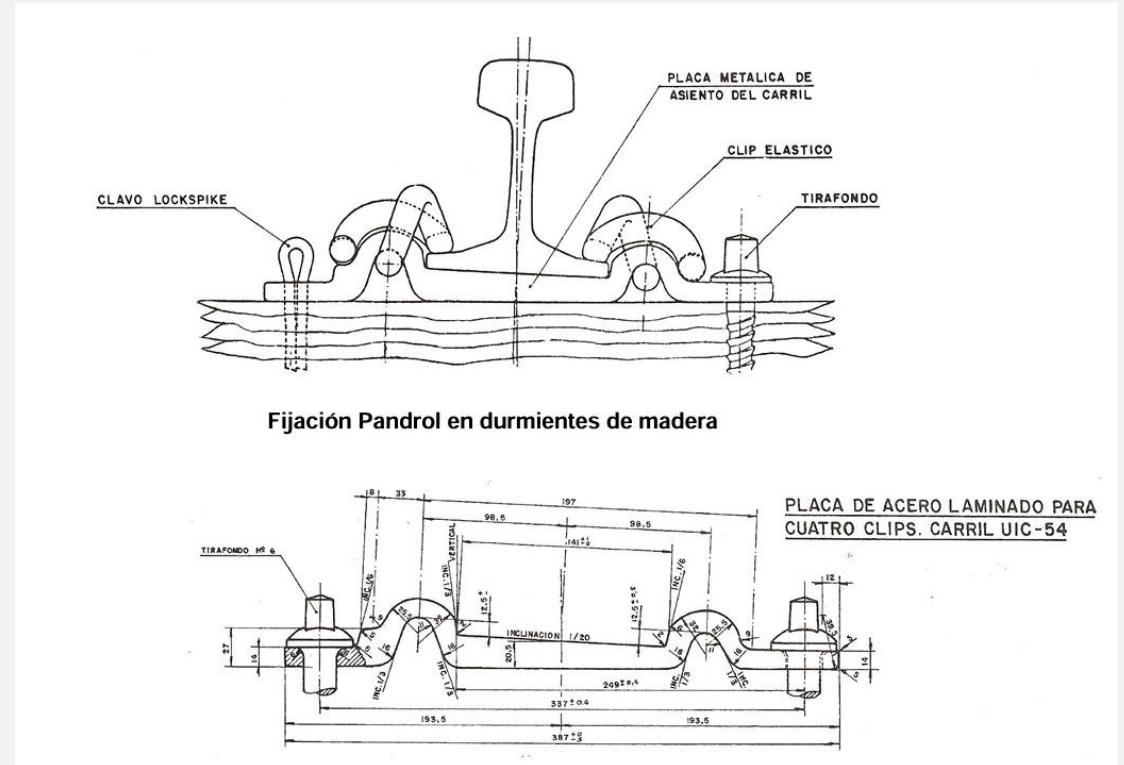
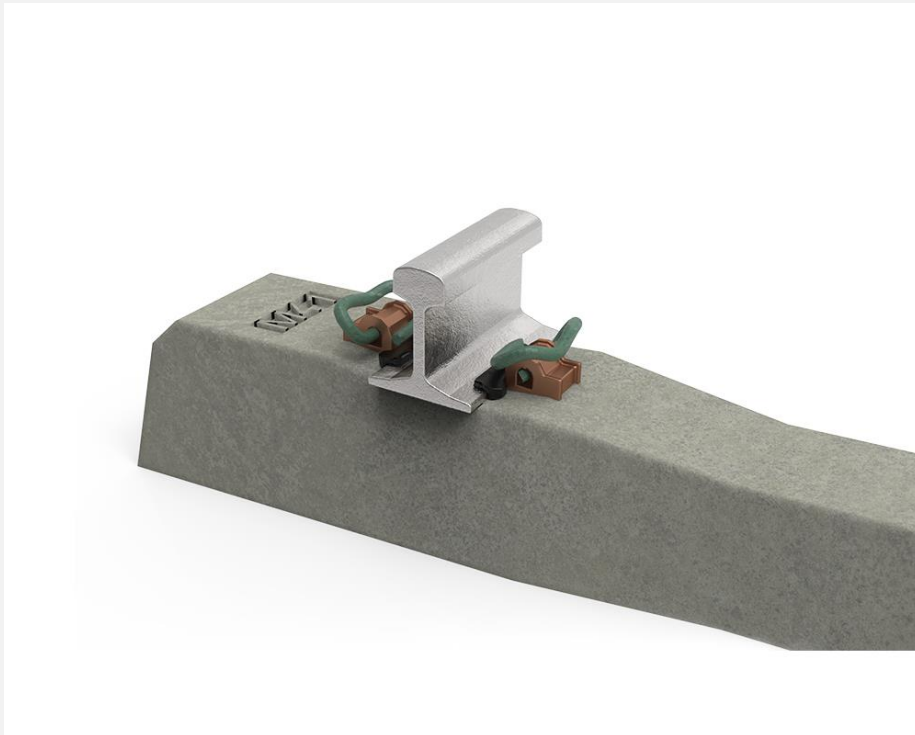
Sujeción Vossloh w14



- Sistemas de clip de alta elasticidad.
- **Sujeción Vossloh w14**: Optimizada para vías de alto rendimiento sobre durmientes de hormigón.
- **Sujeción Vossloh dff-300**: Sistema de fijación directa con placas base altamente elásticas, ideal para reducción de vibraciones en tramos urbanos o puentes.
- El diseño de "doble bucle" garantiza una fuerza de sujeción constante incluso bajo deflexión severa del carril.

FIJACIONES

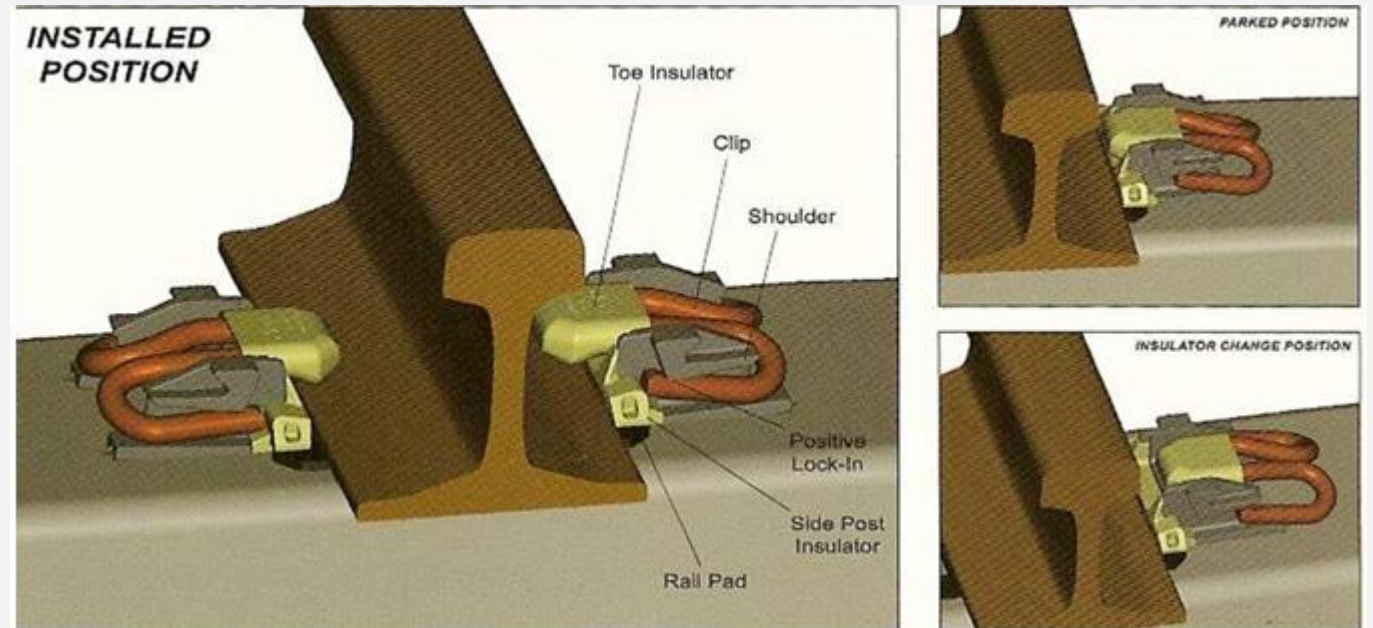
- Elásticas - clip



Fijación Pandrol – e clip

FIJACIONES

- Elásticas - clip



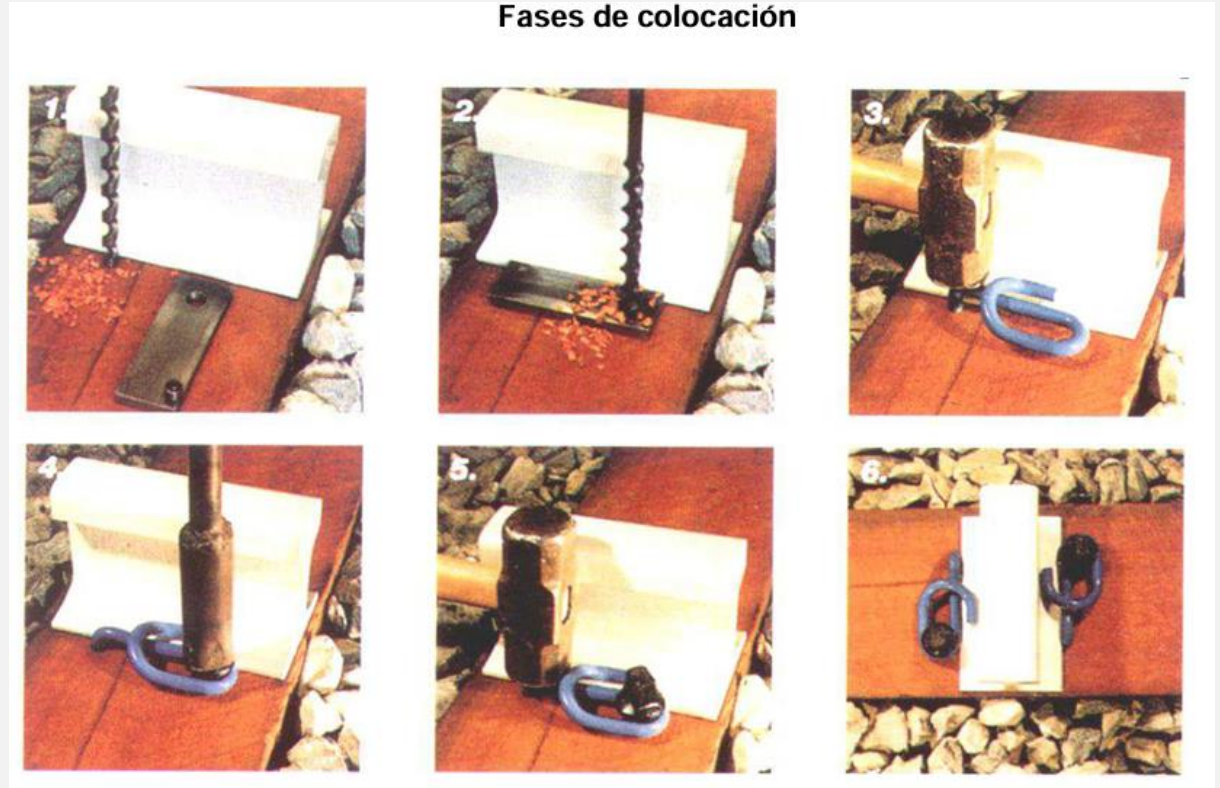
Fijación Pandrol – fast clip

FIJACIONES

- Elásticas - clip



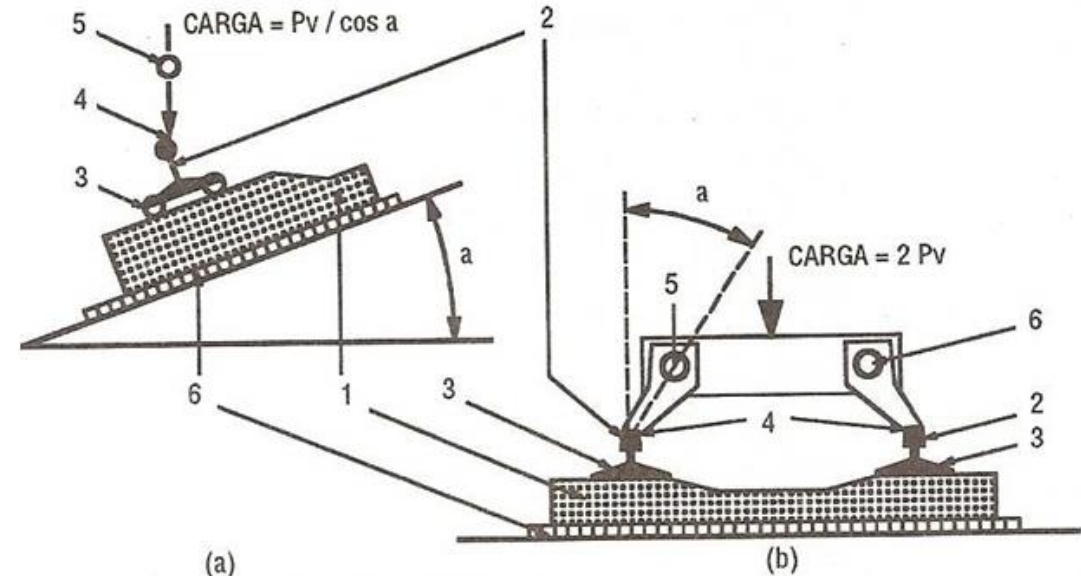
Fases de colocación



**Fijación Pandrol
– Gauge Lock**

FIJACIONES - ENSAYOS

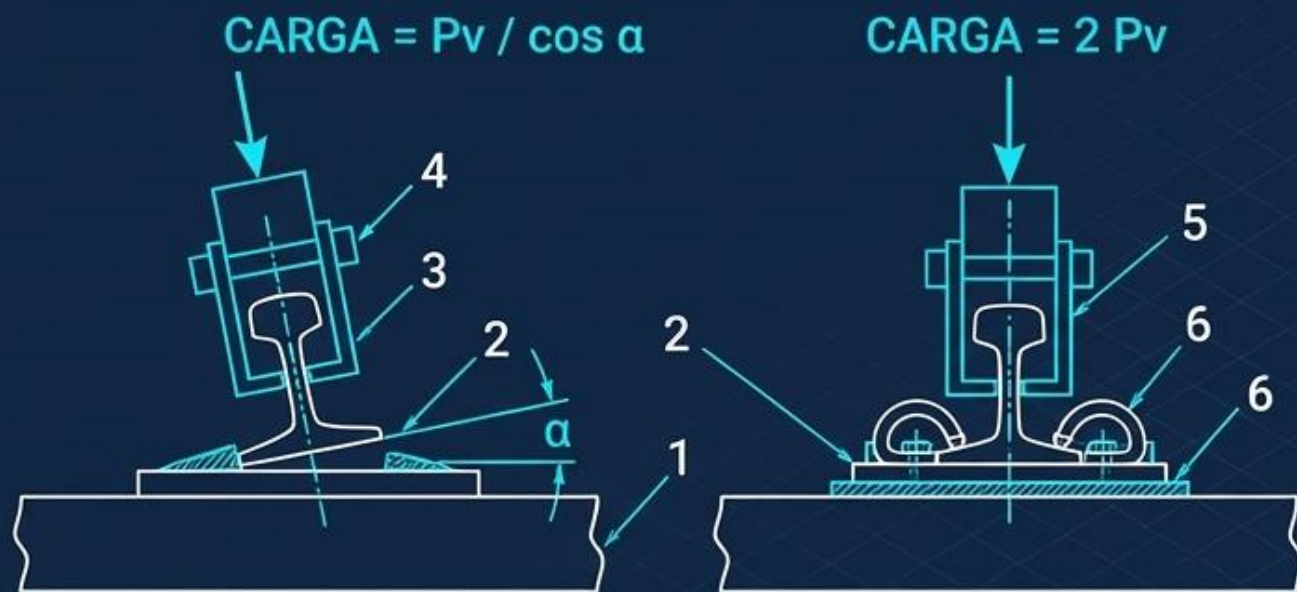
- Resistencia a la fatiga
- Resistencia al arranque
- Tensión - deformación
- Resistencia al deslizamiento longitudinal del carril



- 1 Traviesa o semi-traviesa
- 2 Cupón de carril
- 3 Sujeción con placa de asiento apropiada
- 4 Mecanismo de carga que permite la rotación libre del carril bajo carga
- 5 Pivote libre por encima o por debajo del aplicador
- 6 Capa de material deformable sobre base rígida

Configuración del ensayo dinámico de carga inclinada para fijaciones simétricas

Validación Rigurosa: Ensayos Dinámicos de Laboratorio



- 1 Travesía o semi-travesía
- 2 Cupón de carril
- 3 Sujeción con placa de asiento apropiada

- 4 Mecanismo de carga que permite la rotación libre del carril bajo carga
- 5 Pivote libre por encima o por debajo del aplicador
- 6 Capa de material deformable sobre base rígida

Parámetros de Ensayo Críticos

Para certificar una fijación, se somete a ciclos extremos simulando toneladas de tráfico:

- **Resistencia a la fatiga** (Cargas cíclicas de alta frecuencia).
- **Resistencia al arranque** (Fuerza vertical de extracción).
- **Curvas de Tensión - Deformación** (Límites de elasticidad del clip).
- **Resistencia al deslizamiento longitudinal del carril** (Control del riel continuo soldado).



UNCUYO
UNIVERSIDAD
NACIONAL DE CUYO



**FACULTAD
DE INGENIERÍA**

Balasto: Ingeniería del Sistema de Vía

Propiedades, Mecánica y Reología del Material Granular

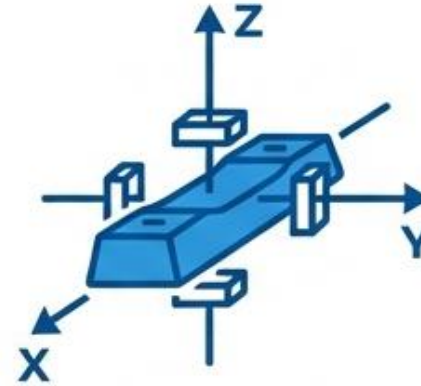
Ing. Mariano Méndez | Ferrocarriles - UNCUYO

El Fundamento Estructural: Un Elemento Elasto-Plástico



Reparto de Cargas

Distribuye uniformemente las inmensas presiones sobre la plataforma.



Estabilidad Tridimensional

Fija la vía en los ejes vertical, longitudinal y transversal.



Amortiguación Dinámica

Absorbe y mitiga las acciones de impacto de los vehículos.



Rodadura Suave

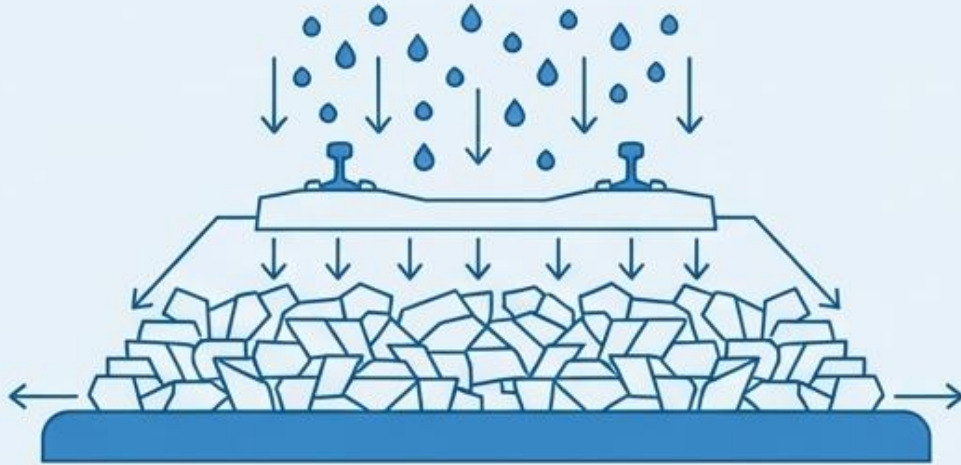
Proporciona un tránsito nivelado y seguro para el tren.

Protección Ambiental y Mantenimiento de la Vía

Defensa Climática

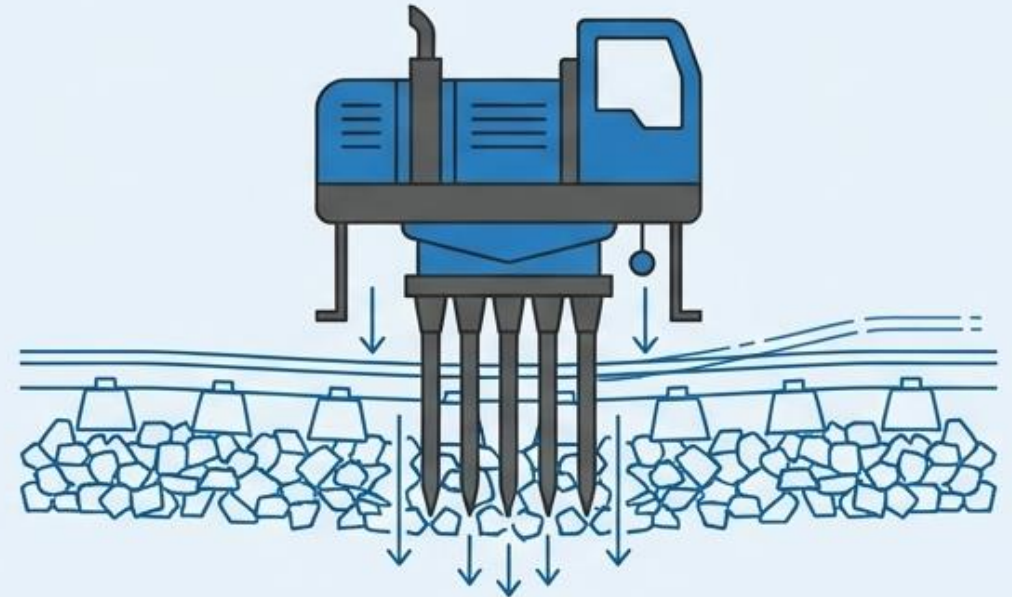
Protege la plataforma base de las variaciones de humedad ambiental.

Garantiza la alta permeabilidad para la rápida evacuación de las aguas de lluvia (drenaje).



Geometría Renovable

Permite la fácil y rápida restitución del alineado y la nivelación de la vía frente a deformaciones por uso.



BALASTO

- ***CARACTERÍSTICAS***

Quedan definidas por:

- Naturaleza de la roca madre de la piedra
- Curva granulométrica
- Forma geométrica de las partículas y limpieza
- Resistencia al Choque
- Resistencia a la Abrasión
- Resistencia a la compresión simple
- Resistencia a la acción de las heladas
- Estabilidad de volumen.

Selección de la Roca Madre

El balasto exige extracción, machaqueo y cribado de bancos sanos en canteras de roca dura.



Materiales Inadecuados (Evitar)

- **Naturaleza caliza**
- **Rocas dolomíticas**
- **Cantos rodados (carecen de aristas para el engrane)**



Procedencia Ideal

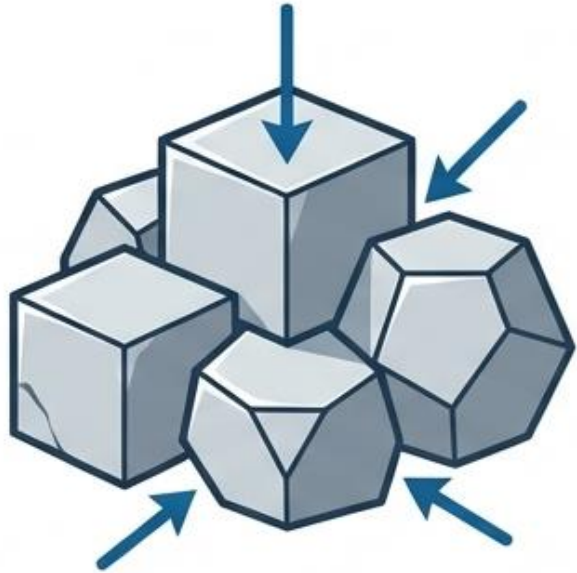
- **Cuarcitas**
- **Basaltos**
- **Granitos**



La Geometría del Engranaje Físico



El Ideal: Forma Poliédrica



Aristas vivas que garantizan una trabazón mecánica perfecta.



El Problema: El Carácter Lajoso

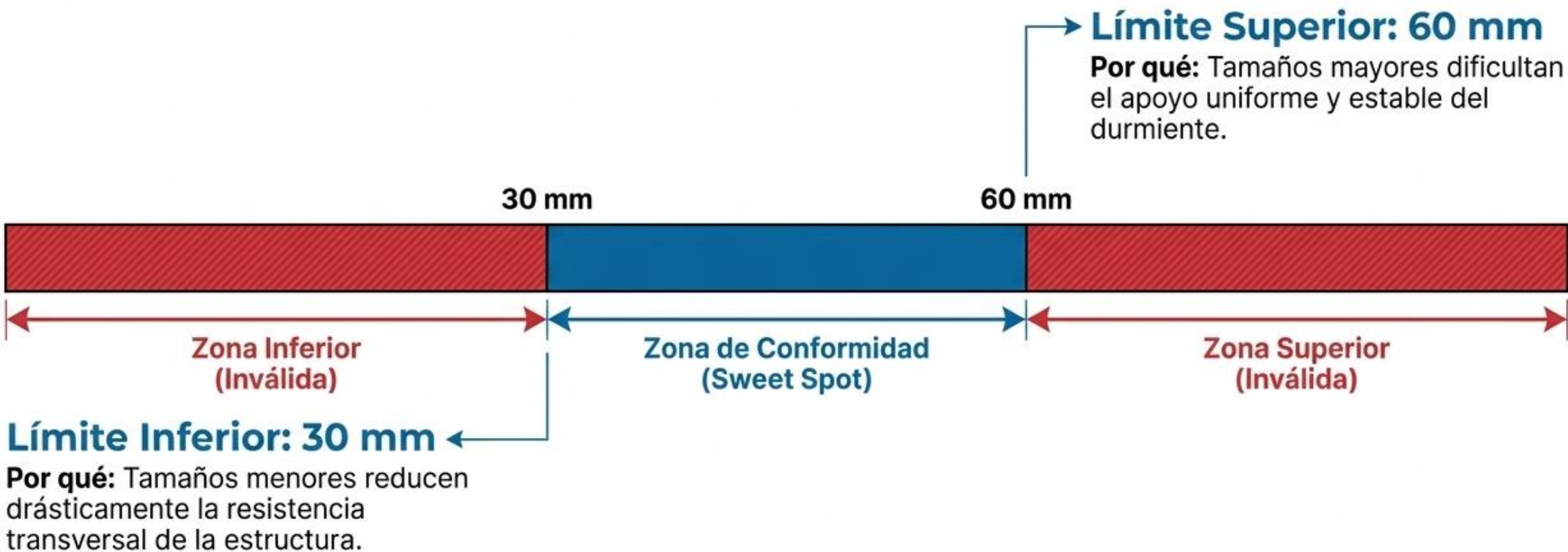


Partículas planas o alargadas dificultan el contacto mecánico. Se fraccionan rápidamente bajo carga, alterando y arruinando la curva granulométrica.

Límite Crítico: El porcentaje de piedras con una longitud máxima $> 100\text{mm}$ debe ser $< 4\%$.

Fronteras Granulométricas (Norma FA 7040)

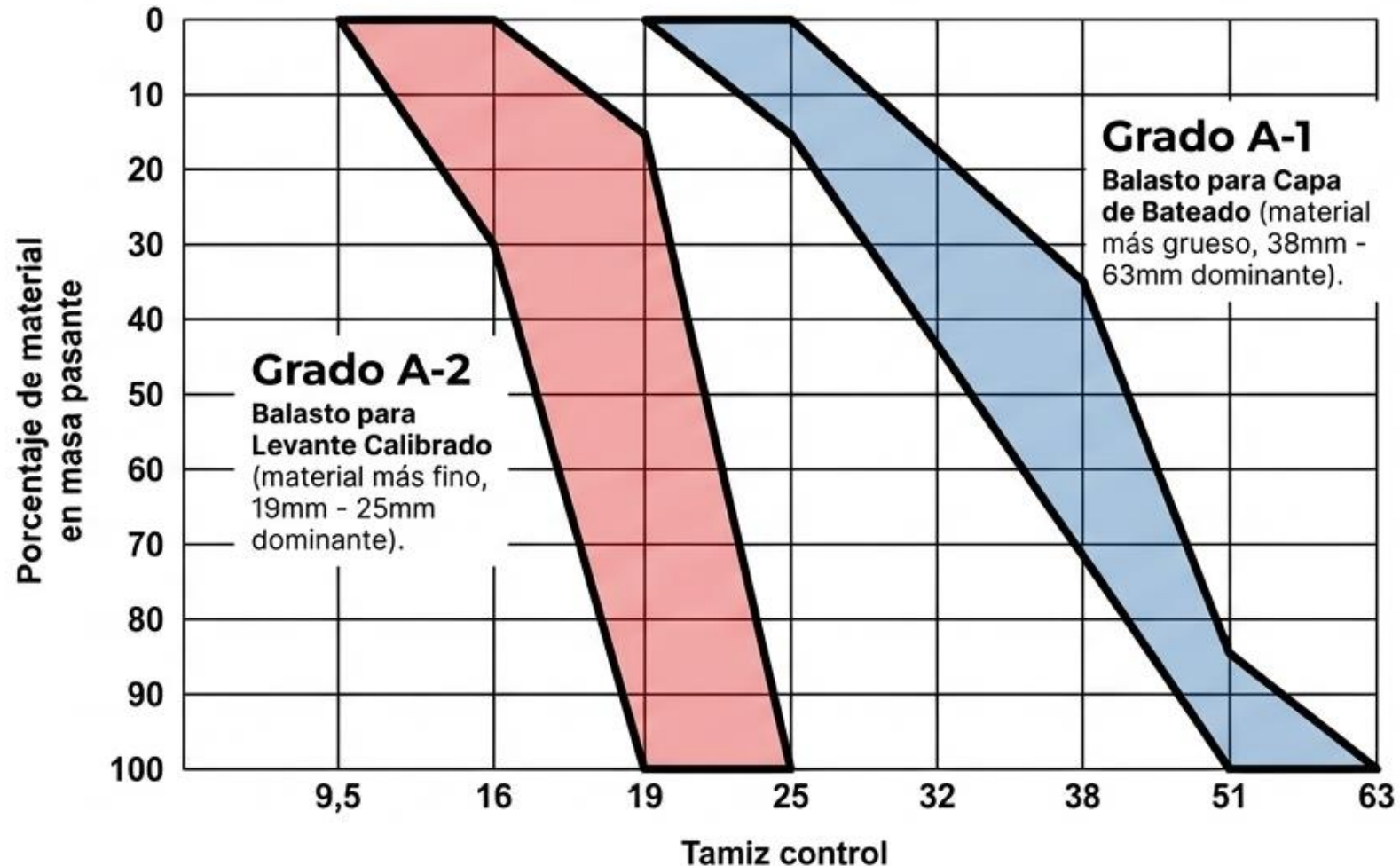
La Especificación FA 7040 rige la calidad en Argentina. Los límites no son arbitrarios; responden a la física de la vía.



(Nota: Pasa el 100% por tamiz 89mm, max 5% retenido en 63mm. Max 5% pasante por 19mm).

Curvas de Aceptación: Maximizando los Puntos de Contacto

Mejorar la graduación de la curva granulométrica aumenta exponencialmente el número de puntos de contacto entre partículas.



Resistencia Extrema: Desgaste e Impacto

Ensayo de Los Ángeles (Resistencia al Choque)



Existe una relación directa entre la resistencia al choque y la absorción de agua.

LA < 25%
Límite de Aprobación

Acción de las Heladas (Hielo-Deshielo)

Simulado mediante inmersión en sulfato de magnesio.

Los cristales de sal simulan la expansión del hielo, detectando piedras muy porosas susceptibles a estallar desde adentro.



Capacidad Portante y Compresión Simple

Clasificación de Deere y Miller (1966)

1	Clase A (Resistencia muy alta)	$> 2,250 \text{ kg/cm}^2$
2	Clase B (Resistencia alta)	$1,120 - 2,250 \text{ kg/cm}^2$

El Requisito Fundamental:

$> 1,800 \text{ kg/cm}^2$

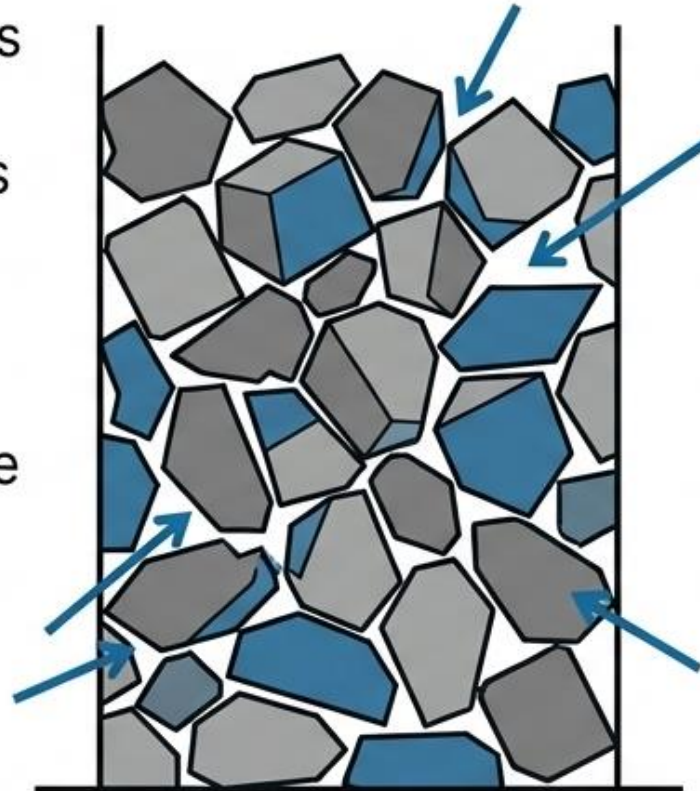
Resistencia a la Compresión Simple Mínima para Roca Madre

(Referencia: La compresión de trabajo máxima admisible s/CNRT es de solo 2.785 kg/cm^2 , lo que demuestra el enorme margen de seguridad requerido).

Reología del Balasto: Controlando la Deformabilidad

La reología estudia cómo el balasto se deforma bajo la carga continua del tren.

- **El Rol de la Forma:** Las formas cúbicas son altamente favorables. Las formas planas incrementan la deformabilidad.
- **El Rol de la Granulometría:** Una mayor graduación reduce significativamente la deformación por esfuerzo de corte.



El Límite de Estabilidad (Índice de Huecos)

Es vital disminuir la porosidad inicial. La compactación debe lograr una porosidad no superior a

< 0.33

para garantizar que la estructura de la vía no sufra asentamientos permanentes.

Esfuerzo Cortante y Fricción Interna

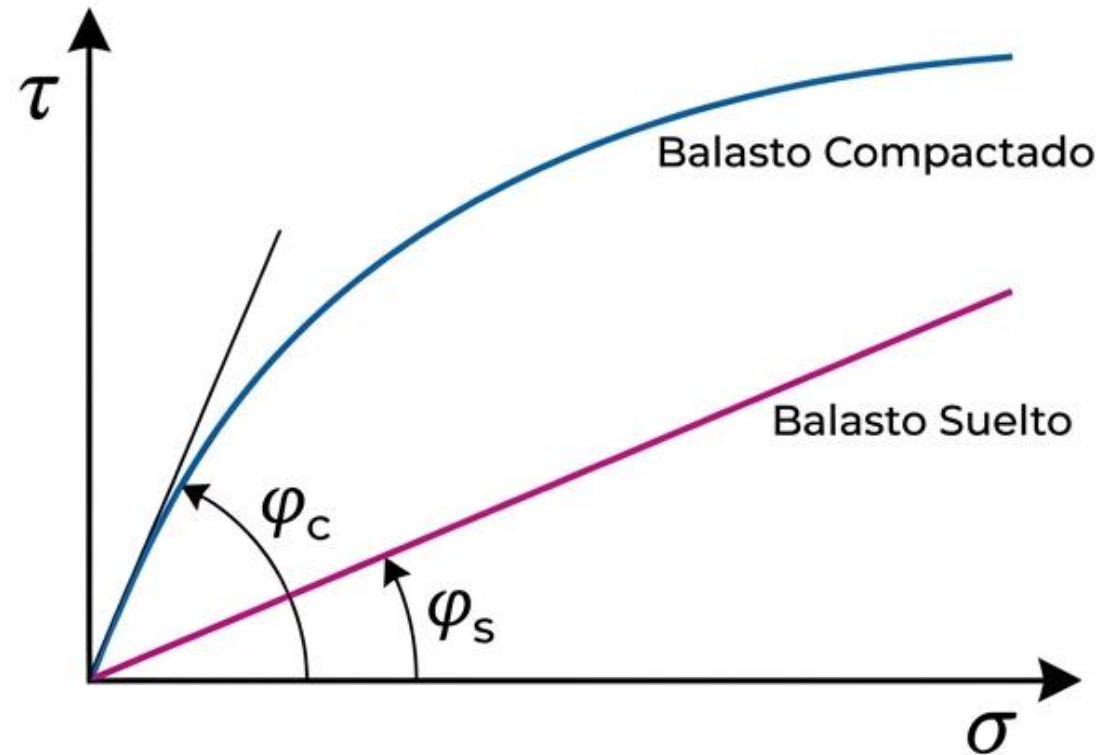
El balasto es un material netamente friccionante. Su comportamiento se define por la Ecuación de Coulomb:

$$\tau = \sigma \cdot \tan(\phi)$$

τ = Esfuerzo cortante (determinado mediante ensayo triaxial).

σ = Tensión normal.

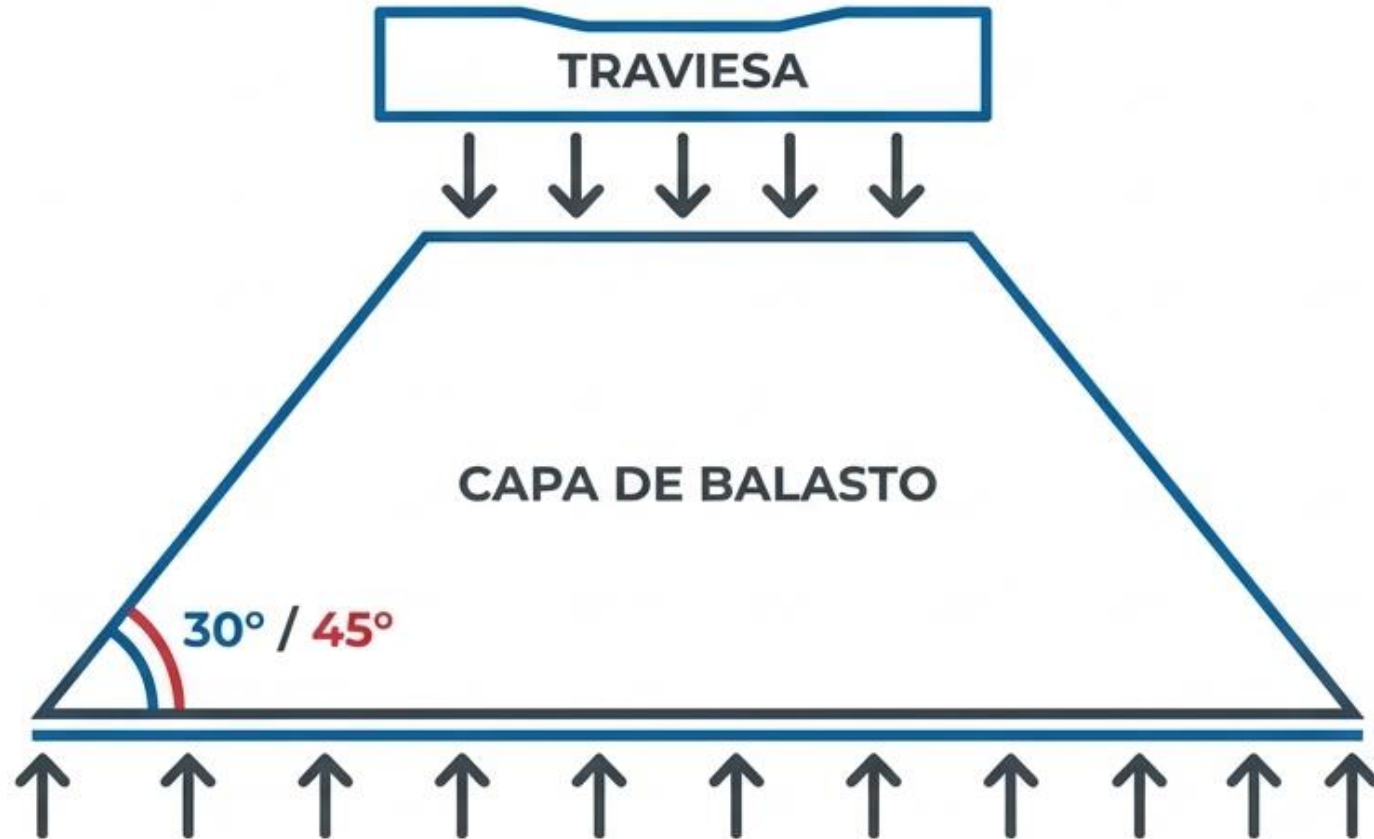
ϕ = Ángulo de fricción interna.



El ángulo de fricción en balasto compactado (φ_c) es significativamente mayor (y no lineal a altas presiones) que en el balasto suelto (φ_s), lo que le confiere su alta resistencia al corte.

Modelos de Distribución de Presiones (Conos de Dispersión)

La capa de balasto actúa como un **disipador geométrico de tensión**. A cualquier profundidad, el reparto de tensiones se considera uniforme dentro del área de influencia.



Criterios Históricos de Diseño:

- **Criterio Europeo:** Supone una distribución de tensiones bajo un cono de dispersión con un ángulo de **45°**.
- **Criterio Americano:** Adopta una postura más conservadora, asumiendo un cono de dispersión con un ángulo de **30°**.

Modelos de Distribución de Presiones (Conos de Dispersión)

La capa de balasto actúa como un **disipador geométrico de tensión**. A cualquier profundidad, el reparto de tensiones se considera uniforme dentro del área de influencia.



Criterios Históricos de Diseño:

Criterio ADIF: Supone una distribución de cargas de 30° respecto a la normal a la base del durmiente

BALASTO

FORMULACIÓN EMPÍRICA

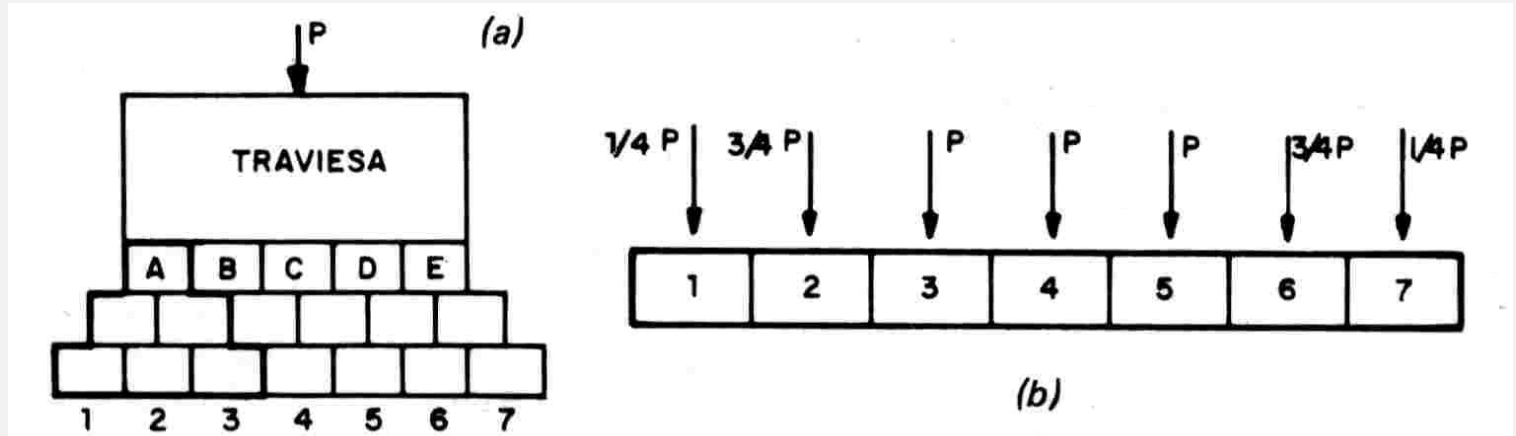


Fig. 5.15.—Hipótesis de Byers (1909).

Nos referimos a los llamados criterios europeo y americano, los cuales suponían que la distribución de tensiones se realiza bajo un cono de ángulo α (45° para el europeo y 30° para el americano), y que a cualquier profundidad el reparto de tensiones era uniforme (fig. 5.16).

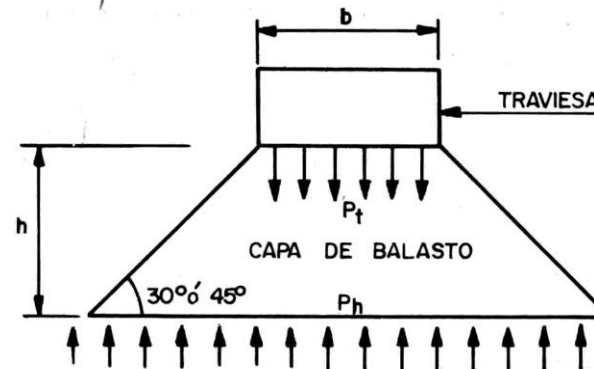
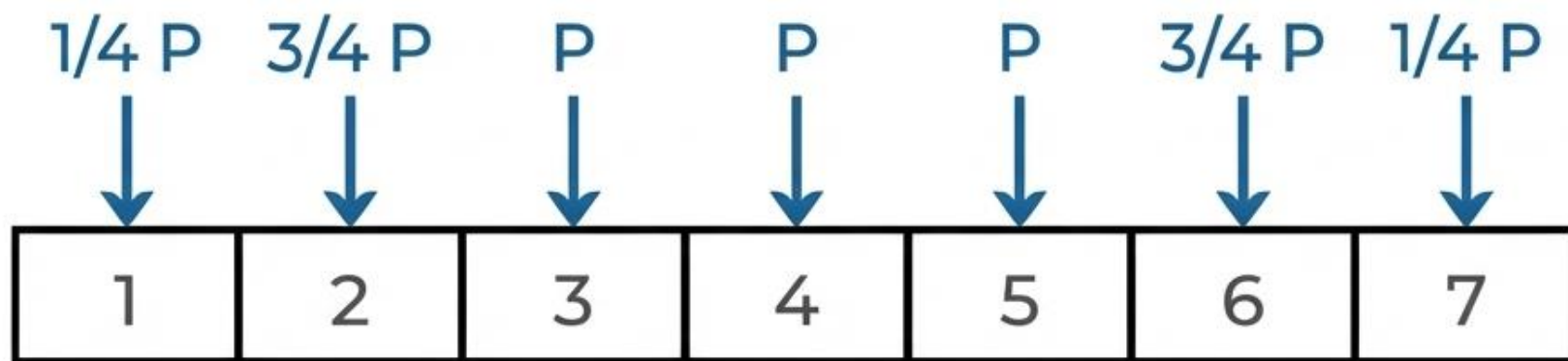


Fig. 5.16.—Criterios europeo y americano sobre la distribución de presiones por la capa de balasto.

La Hipótesis de Byers (1909)

Más allá del modelo de cono, la Hipótesis de Byers detalla cómo se transmite la carga puntual (P) transversalmente entre las partículas de roca bajo la traviesa.



- La presión máxima se concentra directamente en la vertical de la carga.
- La tensión se disipa lateralmente en fracciones decrecientes ($3/4 P$, $1/4 P$) a medida que nos alejamos del centro de aplicación.
- Este modelo demuestra matemáticamente por qué la trabazón lateral (y el **límite inferior de 30mm**) es fundamental para **evitar el colapso** del sistema.

El Proceso de Bateado y Compactación

¿Qué es el Bateado?

Es el proceso de compactación forzada del balasto en la zona inferior del durmiente, asegurando que la piedra soporte elásticamente las cargas transmitidas.

La Importancia de la Integridad de la Roca:

Si las puntas/aristas del balasto se rompen durante el machaqueo o bajo carga (material lajoso), el asentamiento de la vía (hundimiento) se acelera drásticamente frente a las vibraciones del tren, requiriendo mantenimiento constante.



Matriz de Calidad y Ensayos Normativos

IRAM 1505 (Granulometría)	FA 7040. Límites estrictos entre 30mm y 60mm .
Geometría	Partículas lajosas (>100mm) limitadas a < 4% . Índice de huecos final < 0.33 .
IRAM 1532 (Resistencia al Choque)	Ensayo Los Ángeles. Límite máximo admisible: LA < 25% .
Deere y Miller (Capacidad Portante)	Resistencia a la compresión simple > 1800 kg/cm² .
IRAM 1525 (Clima)	Resistencia garantizada a la acción de sales, congelamiento y deshielo.

MODELO COMPARTIDO

MUCHAS GRACIAS POR SU
ATENCIÓN