

*renfe*

# OFERTA DE EMPLEO

## Operador de Ingreso de Mantenimiento y Fabricación

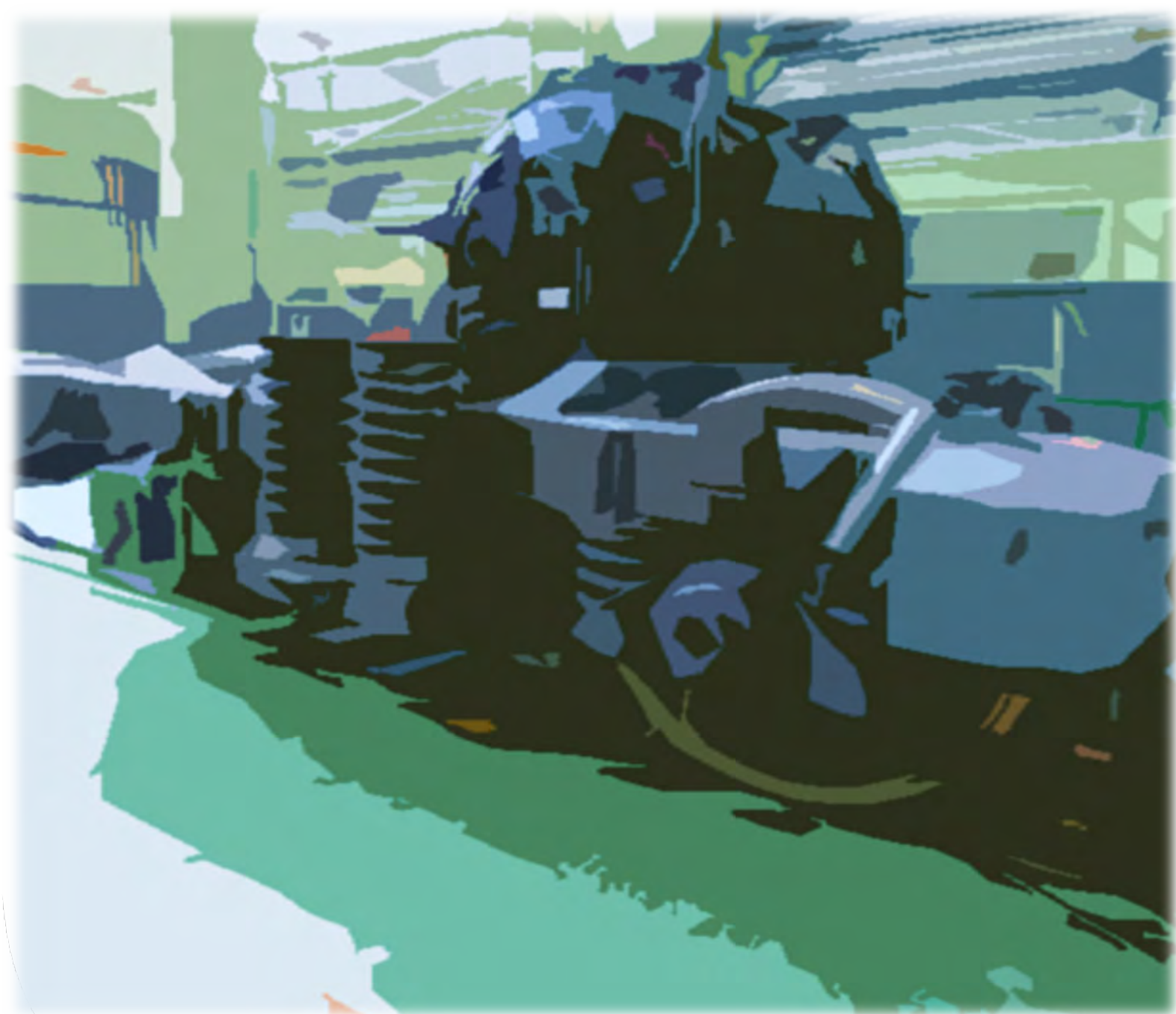
Temario específico para las pruebas presenciales  
Especialidad Máquinas-Herramientas



20  
24

# Índice

1. Bogies Tracción y Choque	3
2. Defectos en Ruedas	85
3. Metrología	123
4. Torno de Foso	192



**renfe**

Fabricación y Mantenimiento S.A.  
Gerencia de Área de Organización y RR HH.  
Escuela Técnica Profesional de Mantenimiento.

## **BOGIES, TRACCIÓN Y CHOQUE**



Autores: Escuela Técnica Profesional de Mantenimiento de Renfe

Edita: © Renfe-Fabricación y Mantenimiento S.A

Gerencia de Área de Organización y Recursos Humanos.

Gerencia de la Escuela Técnica Profesional de Mantenimiento.

Edición 1ª febrero 2019

QUEDA PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL SIN AUTORIZACIÓN EXPRESA DEL AUTOR.

# ÍNDICE

<b>1. DESCRIPCIÓN DEL BOGIE .....</b>	<b>7</b>
1.1 DEFINICIÓN Y CONCEPTO DE BOGIE .....	7
<b>2. COMPONENTES DEL CONJUNTO DEL BOGIE .....</b>	<b>9</b>
2.1 BASTIDOR DE BOGIE .....	9
2.2 TIPOS DE BASTIDORES .....	10
2.3 EJE MONTADO.....	10
2.3.1 Rueda .....	12
2.3.2 Eje.....	20
2.4 CAJA DE GRASA.....	20
2.5 REDUCTOR/TRANSMISIÓN.....	23
2.5.1 Transmisión directa.....	23
2.5.2 Transmisión indirecta por coronas dentadas .....	23
2.5.3 Transmisión indirecta elástica con engranajes.....	24
2.5.4 Transmisión indirecta por eje Cardan .....	24
2.6 SUSPENSIÓN.....	25
2.6.1 Suspensión primaria .....	25
2.6.2 Suspensión secundaria.....	25
2.6.3 Tipos de elementos de suspensión .....	26
2.7 APOYO Y GUIADO .....	35
2.7.1 Placa central plana.....	36
2.7.2 Bowl esférico central .....	36
2.7.3 Pivote central .....	36
2.7.4 Unión tipo Watts .....	37
2.7.5 Unión de péndulo.....	38
2.7.6 Conexión sin cabezal .....	38
2.7.7 Barra de tracción-compresión .....	39
2.7.8 Barras o bielias de guiado .....	39
2.8 ELEMENTOS DE FRENO .....	40
2.8.1 Zapatas, portazapatas y timonería de freno .....	40
2.8.2 Discos de freno.....	41
2.8.3 Cilindros de freno .....	42
2.8.4 Tuberías de circuito neumático y depósitos de aire.....	43
2.8.5 Patines electromagnéticos de freno .....	44
2.9 OTROS ELEMENTOS .....	45
2.9.1 Odometría.....	45
2.9.2 Acelerómetros.....	45
2.9.3 Sondas de temperatura .....	46
2.9.4 Engrase de Pestañas.....	46
2.9.5 Areneros .....	46
2.9.6 Retornos eléctricos en cajas de Grasa.....	46
2.9.7 Quitapiedras y quitarreses.....	47

2.9.8	Captadores.....	48
2.9.9	Equipos de Propulsión (Motores).....	48
<b>3.</b>	<b>TIPOS DE BOGIES .....</b>	<b>51</b>
3.1	SEGÚN SU FUNCIÓN .....	51
3.1.1	Bogies Motores .....	51
3.1.2	Bogies Portantes .....	51
3.2	SEGÚN EL NÚMERO DE EJES .....	52
3.2.1	De dos ejes .....	52
3.2.2	De tres ejes.....	52
3.3	SEGÚN EL TIPO DE VEHÍCULOS .....	53
3.3.1	Vehículos Autopropulsados.....	53
3.3.2	Locomotoras .....	54
3.3.3	Rodales .....	55
3.3.4	Bogie de mercancías tipo Y-21 .....	56
<b>4.</b>	<b>SISTEMAS ESPECIALES.....</b>	<b>59</b>
4.1	RODADURA DESPLAZABLE .....	59
4.1.1	Sistemas de ancho variable .....	60
4.2	SISTEMAS PENDULARES / BASCULANTES .....	62
4.2.1	Sistemas de basculación pasiva (pendulación) .....	62
4.2.2	Sistemas de basculación activa.....	63
<b>5.</b>	<b>SISTEMAS DE TRACCIÓN Y DE CHOQUE.....</b>	<b>65</b>
5.1	CONJUNTO DE TRACCIÓN .....	65
5.1.1	Gancho de tracción.....	65
5.2	CONJUNTO DE CHOQUE.....	70
5.2.1	Topes .....	70
5.3	ACOPLAMIENTOS AUTOMÁTICOS.....	72
5.3.1	Sistema mecánico con acoplamiento neumático y eléctrico. Scharfenberg .....	72
5.3.2	Enganches mecánicos con acoplamiento neumático .....	76
5.3.3	Enganche mecánico .....	77
5.3.4	Sistema de enganche auxiliar para socorros y maniobras. ....	77
5.4	SISTEMAS DE ABSORCIÓN DE IMPACTOS .....	78



Este libro ha sido elaborado por la Escuela Técnica Profesional de Mantenimiento de Renfe Fabricación y Mantenimiento S.A.

Es propiedad de Renfe Fabricación y Mantenimiento S.A.

**Queda prohibida su reproducción total o parcial por cualquier medio** sin la autorización expresa del propietario.



## 1. DESCRIPCIÓN DEL BOGIE

### 1.1 DEFINICIÓN Y CONCEPTO DE BOGIE

Se entiende por Bogie al conjunto-estructura que soporta un número determinado de ejes, normalmente dos o tres, conectado de manera articulada al bastidor de un vehículo ferroviario y que puede ir equipado con un variado número de sistemas o elementos accesorios.

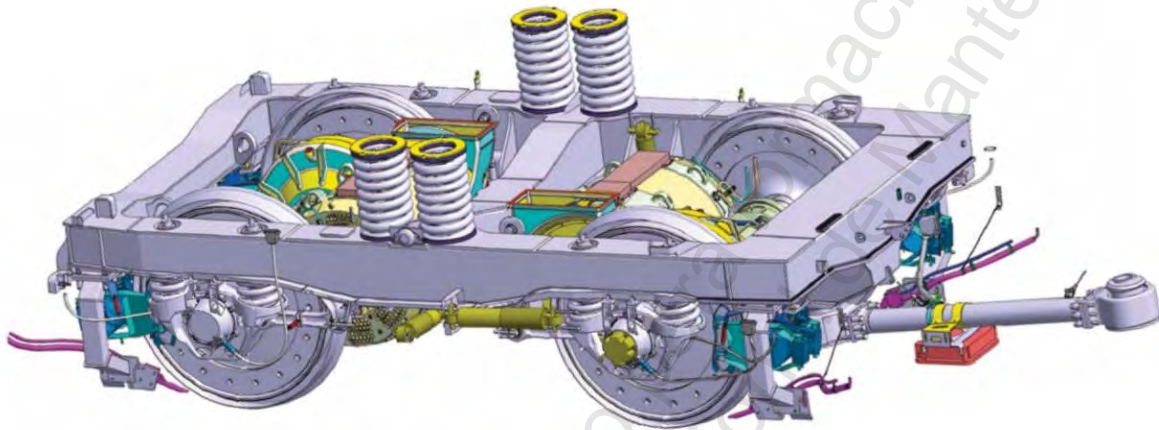


Figura. 1-1 Bogie

El elemento básico del bogie es el sistema de rodadura cuya diferencia principal entre un vehículo ferroviario y cualquier otro tipo de vehículos de transporte terrestre, radica en el sistema de guiado.

Los carriles por donde circulan las rodaduras del vehículo no solo tienen la misión de apoyo a las ruedas, sino que también les proporciona el guiado lateral.

Los carriles y las agujas cambian la dirección de las ruedas y de esta manera determinan la dirección en la que se desplazará el vehículo ferroviario.

El tren de rodadura proporciona el movimiento seguro del vehículo a lo largo de las vías, en este sistema se incluyen una serie de elementos o equipos como el bastidor, ejes montados, cajas de grasa, suspensiones, sistemas de frenado, sistemas de tracción y una serie de dispositivos que se encargan de transmitir los esfuerzos de tracción y freno al conjunto del vehículo.

Las principales funciones de los bogies o de los sistemas de rodadura son:

1. **Transmitir y distribuir la carga** del vehículo sobre los carriles.
2. **Guiar al vehículo** a lo largo de la vía.
3. **Controlar las fuerzas dinámicas** producidas por irregularidades de la vía, las producidas en las curvas y en los cambios de vía del mismo modo que las que se generan por el impacto entre vehículos que componen un tren.
4. **Amortiguación** eficaz de movimientos oscilatorios.
5. **Aplicación** de forma **segura** de los esfuerzos de **tracción y freno**.
6. Permitir la **ubicación de otros elementos** que forman parte de su conjunto.

No todos los vehículos van equipados con bogies, por ello podemos distinguir dos tipos según su sistema de rodadura:

- **Provistos de bogies**
- **No provistos de bogies**

En los vehículos "No provistos de bogies" los elementos señalados con anterioridad (tracción, freno, etc.) se sitúan en el bastidor del propio vehículo y la posibilidad de flexibilidad de movimientos rodadura/caja o bastidor no existen por la falta de articulación. Esta circunstancia limita la longitud de estos vehículos.



Figura. 1-2 Vehículo no provisto de bogie

En los vehículos modernos, en el diseño de los bogies se tiene en cuenta las características de las líneas donde van a prestar servicio, así como las condiciones climáticas y de explotación. Así mismo cumplen las prestaciones solicitadas en cuanto a condiciones de resistencia y calidad de marcha.



Figura. 1-3 Vehículo con bogies

Se pone especial atención a su simplicidad, accesibilidad y a que presente unas necesidades de mantenimiento reducido, así como unas óptimas características de estabilidad de marcha, reparto de cargas entre ruedas, alta adherencia, buena inscripción en curva y baja agresividad de vía.

A fin de conseguir un mantenimiento reducido se suelen utilizar elementos de caucho libre de mantenimiento, en los puntos o articulaciones donde el diseño lo ha permitido, con lo que se consigue reducir al mínimo los puntos de engrase que requieren especial atención y mayor mantenimiento.

## 2. COMPONENTES DEL CONJUNTO DEL BOGIE

Como se expuso con anterioridad, los bogies pueden estar compuestos de una gran diversidad de equipos, elementos o subconjuntos. Esta variedad de elementos dependerá del tipo de bogie y del tipo de vehículo sobre el que va dispuesto. Los principales elementos que se distinguen y que trataremos más profundamente en lo sucesivo serán:

- Bastidor de bogie
- Eje montado
- Cajas de grasa
- Sistema reductor y transmisión
- Suspensión
- Sistemas de apoyo y guiado
- Elementos de freno
- Otros elementos

Entre los que destacaremos:

- Sistemas de odometría
- Acelerómetros
- Sistemas de engrase de pestañas
- Areneros
- Retorno de corriente
- Quitapiedras
- Captadores de sistemas de seguridad
- Sistemas de propulsión

### 2.1 BASTIDOR DE BOGIE

El bastidor del bogie es una estructura rígida totalmente soldada y que puede ser de diversas formas, dependiendo del vehículo y del número de ejes que sustenta y que en la mayoría de los bogies de dos ejes suelen tener forma de H o de 8, constituida por la unión soldada de dos largueros y una o varias traviesas o travesaños.

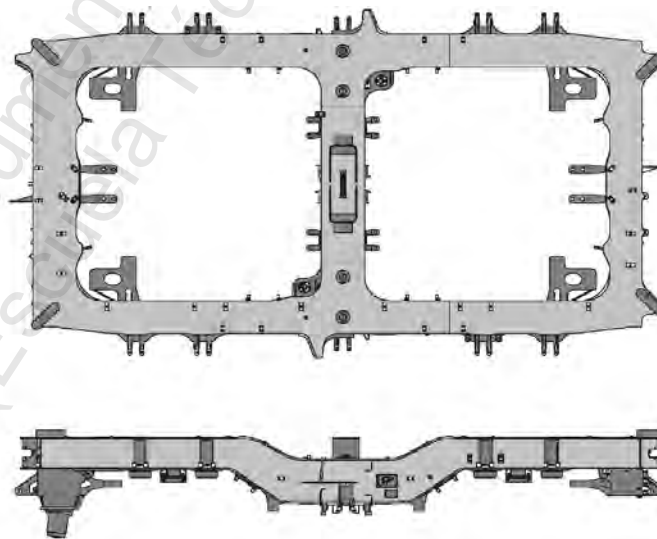


Figura. 2-1 Bastidor de bogie

Existen notables diferencias entre los bastidores de los bogies de vehículos autopropulsados, de vagones, de locomotoras o de coches. Esto se debe a las diferentes características de cada uno de estos vehículos, no solo en cuanto a sus prestaciones sino también a las diferencias entre longitudes y masas propias de los mismos.

Los largueros y las traviesas están contruidos con chapa de acero de alto límite elástico. Las traviesas suelen estar formadas por dos cajones de sección rectangular reforzados entre sí, para aportar la rigidez precisa en las zonas de las fijaciones de los motores de tracción y del enlace caja-bogie. Entre ambos cajones queda un espacio para permitir el paso del pivote de enlace caja-bogie.

En el bastidor se fijan (por medio de tornillería o soldadura) los soportes necesarios para el montaje de todos los elementos que van integrados en el bogie.

Después del proceso de soldado y antes de mecanizar, el bastidor del bogie es sometido a un proceso de recocido en un horno, para eliminar tensiones. Este proceso garantiza las características apropiadas de robustez, elasticidad, tenacidad, etc., necesarias para soportar las solitudes a las que estará sometido en condiciones normales de funcionamiento.

## 2.2 TIPOS DE BASTIDORES

Como hemos visto anteriormente, el tipo de bastidores de bogie es muy variado y dependerá esencialmente del número de ejes que soporta y de las características particulares del vehículo donde va montado.

Dependiendo de la ubicación de las traviesas, los bastidores pueden ser:

- **Abiertos**
- **Cerrados**

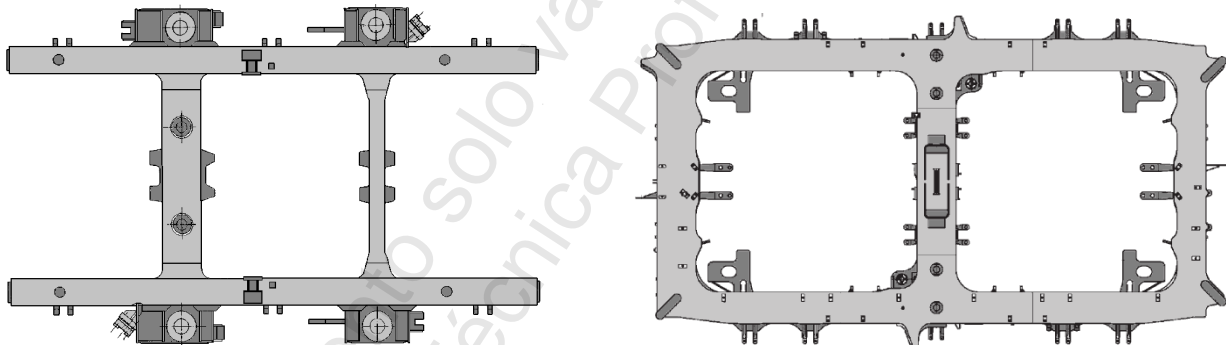


Figura. 2-2 Bastidor abierto (izquierda) y cerrado (derecha)

testeros. Podemos encontrarlos con una traviesa central (comúnmente denominadas en H) o con dos traviesas centrales (denominadas de doble H)

Los bastidores **cerrados** disponen de traviesas tanto centrales como en los testeros. Los bastidores cerrados sin traviesa central existieron en el pasado, pero fueron sustituidos por los que disponen de traviesas centrales por sus mejores características. Actualmente no existe ningún vehículo en el parque activo de RENFE con este tipo de bastidor.

Comúnmente se denomina los bastidores con una traviesa central como bastidores en 8 y a los de dos traviesas interiores como de doble 8.

## 2.3 EJE MONTADO

Se entiende por **eje montado** al conjunto de rodadura formado por dos ruedas unidas fijamente por un eje común, lo que implica que ambas ruedas tengan la misma velocidad angular y mantengan una distancia constante entre ellas. Las ruedas del eje

montado comienzan su vida con unas bandas de rodadura puramente cónicas. Estas bandas de rodadura se desgastan rápidamente en servicio, de forma que pasan a tener una curvatura en dirección transversal.

### El eje montado proporciona:

- La distancia necesaria entre el vehículo y la vía.
- El movimiento de lazo que determina el movimiento dentro de la vía, incluyendo las curvas y agujas.
- Los medios de transmisión de las fuerzas de tracción y de frenado a los raíles para acelerar y decelerar el vehículo.

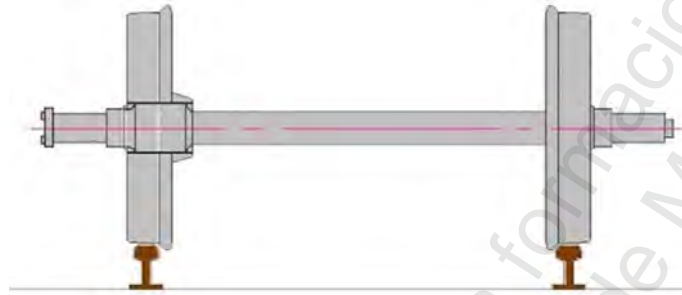


Figura. 2-3 Eje montado

### El diseño del eje montado depende de:

- El tipo del vehículo (si ejerce tracción o arrastre).
- El tipo de sistema de frenado utilizado (freno de zapata, disco del freno en el eje, o disco del freno en rueda).
- La construcción del centro de la rueda y la posición de cojinetes respecto al eje (interior o exterior).
- El deseo de limitar fuerzas de una frecuencia más alta usando elementos elásticos entre el centro de la rueda y la llanta.

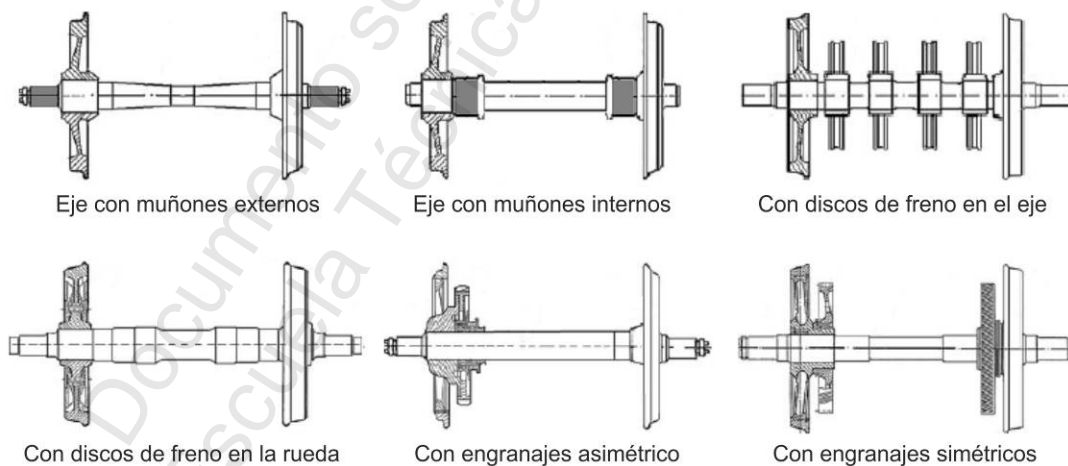


Figura. 2-4 Tipos de ejes montados

Además del eje propiamente dicho y las ruedas, los ejes montados pueden tener otros elementos instalados como pueden ser discos de freno y coronas dentadas para la transmisión de la tracción. La aparición de estos elementos dependerá del tipo de vehículo donde el eje montado se encuentre instalado y, por lo tanto, de sus características particulares.

### 2.3.1 Rueda

Las ruedas y los ejes de transmisión son las partes más críticas del material rodante ferroviario. Un fallo mecánico o un exceso en las dimensiones del diseño pueden causar el descarrilamiento.

Las ruedas se clasifican como macizas o con llanta.

- ✓ Las ruedas **macizas** tienen tres elementos importantes:
  - la llanta
  - el disco o velo
  - el cubo
- ✓ Las **ruedas con llanta** tienen puesta una llanta unida al disco de rueda que puede ser quitada y sustituida cuando alcanza su límite de torneado.

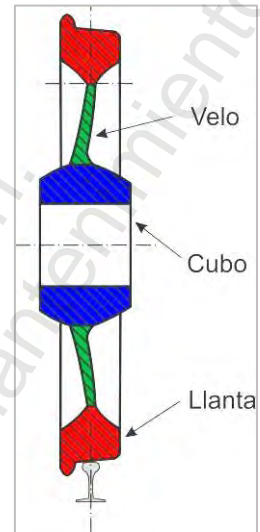


Figura. 2-5 Rueda

#### 2.3.1.1 Cubo

Es la parte central de la rueda donde se encuentra el orificio para ser calada sobre el eje.

#### 2.3.1.2 Llanta

Es la parte exterior de la rueda que entra en contacto con el rail y donde se encuentra el "perfil de rodadura".

En dicho perfil de rodadura se pueden distinguir tres zonas:

- Pestaña
- Banda de rodadura
- Chaflán

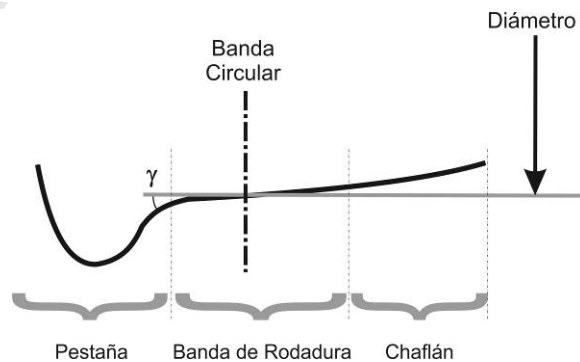


Figura. 2-6 Perfil de rodadura

La **Pestaña** es un resalte de mayor diámetro que el resto de la rueda y que se encuentra en la parte interior del perfil de la misma con respecto a su colocación en el vehículo. Evita que la rueda se salga del rail y proporciona el guiado del vehículo.

El **chaflán** es la parte de menos diámetro de la rueda y se encuentra en su parte exterior.

La **banda de rodadura** se encuentra en la parte central del perfil de rodadura. Su forma es cónica y es la zona que apoya en el rail. Es la zona (junto con la pestaña) que sufre mayor desgaste. El punto medio aproximado de la banda de rodadura con respecto a la superficie de contacto del carril se denomina **Banda Circular**, este se encuentra a 70 mm de la superficie de la cara interna de la rueda. En punto de encuentro entre la banda circular y la banda de rodadura se denomina **punto de rodadura**. En este punto es donde se mide el diámetro de la rueda y desde el que se toma referencia para el resto de los parámetros del perfil de rodadura.



### 2.3.1.3 Disco o Velo

El disco o velo es la parte existente entre el cubo y la llanta. Puede adoptar variados tipos de formas. Las ruedas se pueden diferenciar por la forma del disco.

El velo puede adoptar varios tipos según sus secciones transversales:

- Recto
- Cónico
- Con forma de S
- Con radios
- Ondulados.

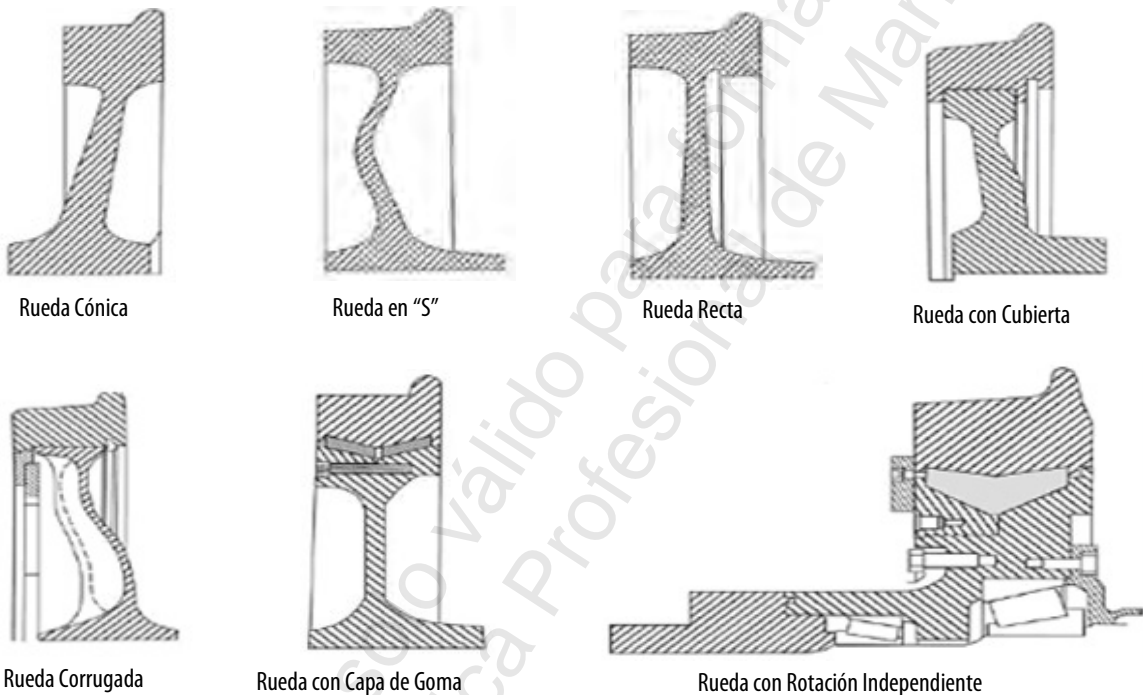


Figura. 2-7 Tipos de rueda por su velo

Un disco recto reduce el peso de la construcción y puede ser formado tal que el espesor del metal corresponda al nivel de la tensión local que soporta.

Los discos cónicos y con forma de S sirven para aumentar la flexibilidad de la rueda, por lo tanto, reducen las fuerzas de la interacción entre las ruedas y los raíles.

Los discos ondulados tienen mejor resistencia a la flexión lateral.

Para reducir las fuerzas de interacción rueda-raíl, reduciendo la masa no suspendida, ha llevado al desarrollo de las ruedas elásticas que incorporan una capa de material con un módulo interno de elasticidad (caucho, poliuretano). Éstos ayudan a atenuar las fuerzas y vibraciones que actúan entre la rueda y el raíl.

Por otra parte, la mejora de la fiabilidad de los rodamientos permitió la aparición de las ruedas que rotan independientemente. Estas proporcionan importantes reducciones en la masa no suspendida debido a la eliminación del eje. Por desacoplamiento de las ruedas, el eje montado que rota independientemente elimina la mayoría de las fuerzas de guiado en el eje. Tales ejes han encontrado aplicaciones, ya sea en material de rodadura variable que permite una transición rápida de un ancho de vía a otro, o en transporte urbano sobre raíles donde un bajo nivel de suelo es necesario.

### 2.3.1.4 Banda de rodadura

¿Por qué las bandas de rodadura son cónicas?

En curvas, el rail exterior tendrá un radio más grande que el rail interior. Esto significa que una rueda cilíndrica tiene que recorrer más distancia en el rail exterior que en el interior. Las ruedas que se mueven en los railes interiores y exteriores adquieren el mismo número de revoluciones por unidad de tiempo, al estar fijas y solidarias al eje, esto impedirá su circulación libre y fluida en curva. Para que las distancias recorridas por las dos ruedas sean iguales, una o las dos "deslizarán" aumentando así la resistencia a rodadura, y producirán desgaste entre rueda y rail. La solución es fabricar la superficie de rodadura de las ruedas con un perfil cónico cuyo ángulo de inclinación sea variable con respecto al eje montado.

Un eje montado libre con perfiles cónicos se moverá lateralmente en una curva de tal forma que la rueda externa esté rodando en un radio más grande (debido al ángulo del cono) que el interno. Puede verse que para cada radio de la curva solamente existe un valor de la conicidad que elimina el deslizamiento. Como diferentes vías ferroviarias tienen diferentes poblaciones de radios de curvatura, la forma del perfil de rueda que provee el deslizamiento mínimo depende de las características de la vía. Las administraciones ferroviarias especifican normalmente los perfiles permisibles de la rueda para su infraestructura y el grado de desgaste permitido antes de que sea requerido un reperfilado.

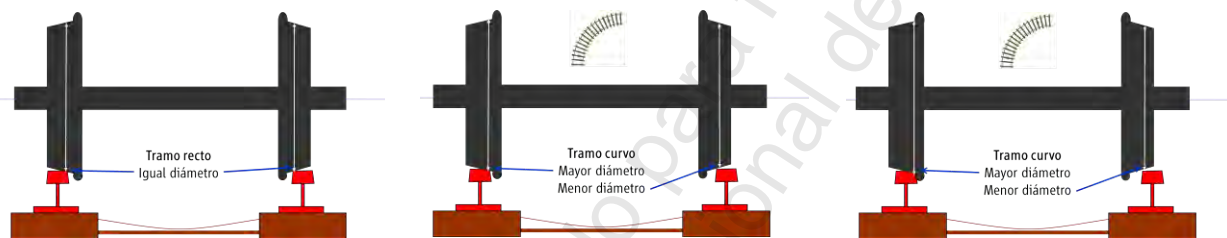


Figura. 2-8 Dinámica del eje montado en curva

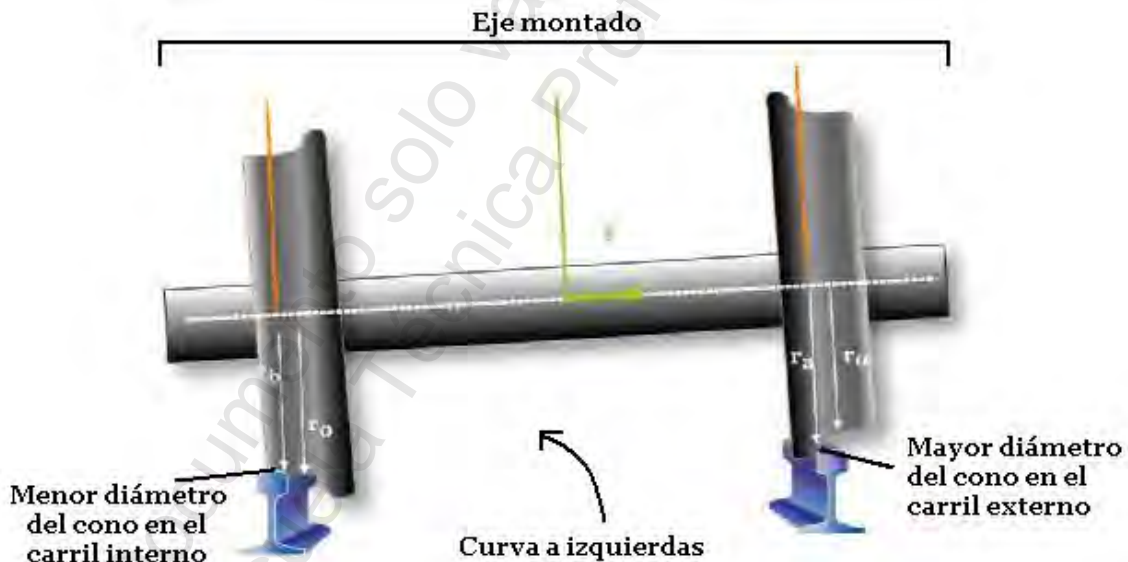


Figura. 2-9 Dinámica de eje montado en curva

Mientras que la rueda se desgasta, la forma del perfil se puede alterar perceptiblemente dependiendo de un gran número de factores. Entre otros pueden destacarse: el perfil de curvatura de la ruta, el diseño de la suspensión, el grado de las fuerzas de tracción y frenado aplicadas, la forma del perfil medio del raíl y el régimen de lubricación. El desgaste de la banda de rodadura incrementará la altura del chaflán, y eventualmente ocasionará que golpee en el raíl. Si el desgaste de zona de contacto hace que el perfil llegue a ser excesivamente cóncavo, tensiones dañinas pueden surgir en el lado externo de la rueda y el raíl, hecho conocido como "falso daño de reborde". El desgaste del chaflán puede conducir al aumento de su ángulo y a la reducción de su espesor.

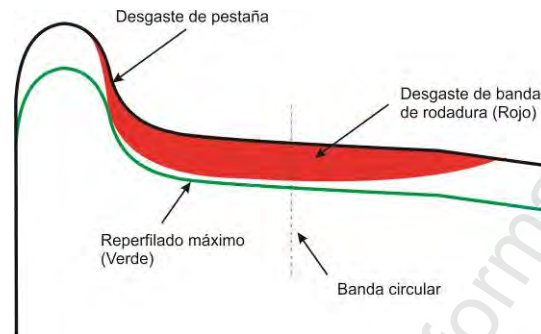


Figura. 2-10 Desgaste del perfil de rodadura

En condiciones extremas, esto podría aumentar el riesgo de descarrilamientos por separación de aguja. Los perfiles de la rueda son restaurados generalmente a su forma de diseño mediante torneados periódicos. Esto se puede realizar normalmente sin la necesidad de quitar el eje montado del vehículo.

Las condiciones del contacto variarán considerablemente en función de la forma de la rueda y del perfil de la vía. Estas pueden ser de contacto en un punto, en dos puntos, o de contacto conforme.

El **contacto en un punto** (1) se produce entre los perfiles cónicos o de banda de rodadura de la rueda y el perfil redondeado del raíl. Las ruedas se desgastan rápidamente a la forma local del raíl.

Con el **contacto en dos puntos** (2) la rueda toca además el raíl con su reborde. En este caso, el contacto de rodadura tiene dos diferentes radios que producen deslizamiento intensivo y desgaste rápido del reborde.

El **contacto conforme** (3) aparece cuando el perfil de la rueda y el lado del ancho de vía de la cabeza del raíl se desgastan hasta el punto de que sus radios en los alrededores de la zona de contacto se vuelven muy similares.

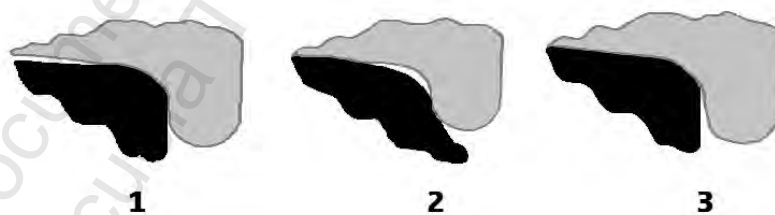


Figura. 2-11 Condiciones de contacto rueda-carril

### 2.3.1.5 Principales cotas del perfil de rodadura

Para un perfecto control dimensional del perfil de rodadura, del diámetro de la rueda y de la distancia entre ruedas de un mismo eje, es necesario determinar cuáles son las cotas indispensables para el control, como se determinan estas cotas y que aparatos de medida se deben utilizar para ello.

Para medir el perfil de la rueda y según dictan las NTM es necesario seguir los siguientes pasos:

1. Limpiar puntos de medición en las almas de rueda.
2. Controlar el perfil de rodadura.
  - a) Verificar la forma del perfil de rodadura de acuerdo con plantilla teórica de perfil y determinar los posibles errores.
  - b) Medir y protocolizar las dimensiones  $S_d$ ,  $S_h$  y  $Q_r$ .
  - c) Medir y protocolizar dimensiones  $A_R$  y diámetro.

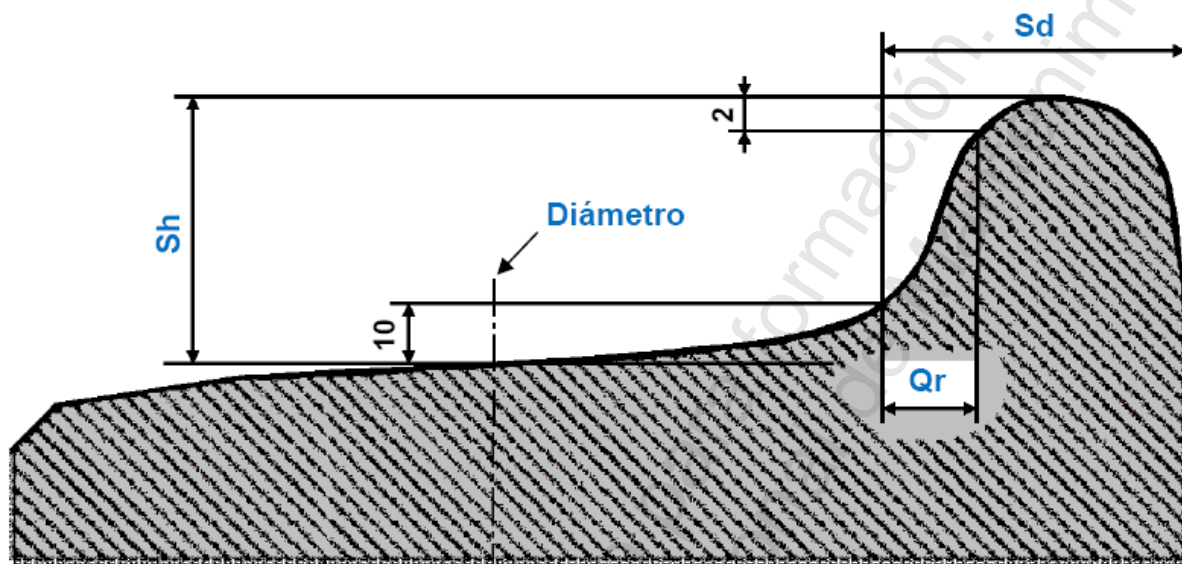


Figura. 2-12 Parámetros del perfil de rueda

Siendo:

**Sh:** Altura de pestaña (distancia vertical desde el punto de medida del diámetro hasta el punto más alto de la pestaña).

**Sd:** Grosor de pestaña (distancia horizontal a 10 mm en vertical del punto de medida del diámetro).

**Qr:** Distancia horizontal desde el punto de medida del grueso de pestaña hasta 2 mm por encima del punto más bajo de la pestaña. También se puede entender como el ángulo existente entre estos dos puntos con respecto a la línea horizontal de encuentro entre la banda de rodadura y la banda circular. Este ángulo debe ser de aproximadamente 70°.

**AR:** Distancia entre caras internas de ruedas.

**Diámetro:** Diámetro de rodadura (desde el centro de la zona de rodadura).

Para efectuar la verificación dimensional de todos estos parámetros, será necesaria la utilización de distintos aparatos de medida. Los más utilizados son:

**Para el control y medición de los parámetros del Perfil de rodadura podemos utilizar.**

Plantilla de visitador, Calibre especial, MiniProf y Calipri láser o sistema por láser similar.

**Para la medición del Diámetro de rueda.**

Calibre Sagita, Sagita digital y Calipri láser o sistema por láser similar.

**Para medir la Distancia entre caras internas de las ruedas de un mismo eje.**

Micrómetro de interiores y Calipri láser o sistema por láser similar.

El calibre especial para perfiles es un instrumento de medida que consiste en un pie de rey con un diseño específico para poder medir los tres parámetros del perfil de rodadura, grosor de pestaña, altura de pestaña y Qr.

Dispone de tres reglas y tres nonios para poder efectuar el mesurado de cada uno de los parámetros comentados.

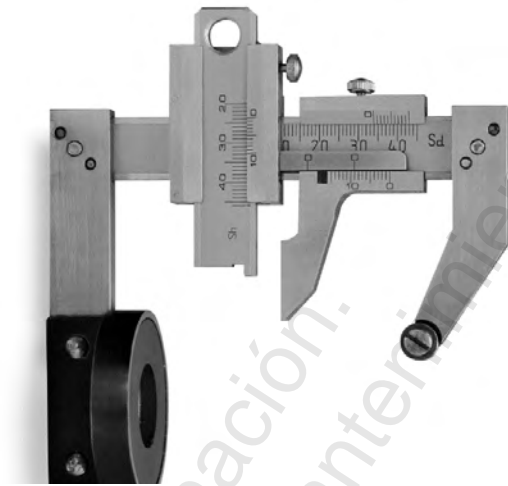


Figura. 2-13 Calibre especial para perfil de rueda

Un sistema de verificación de distintos parámetros es el utilizado por las plantillas de visitador. Consiste en una chapa de acero de 2 mm de grosor con un perfil irregular y una forma determinada que nos permite verificar parámetros como:

- Grosor de pestaña.
- Altura de pestaña.
- Qr.
- Resalte de chaflán.
- Plano en circunferencia.

Es un verificador tipo "pasa-no pasa" por lo que no mostrará ningún tipo de dimensión.

La podemos encontrar con distintas formas, aunque la utilizada en nuestro país es la que se muestra en la siguiente figura.

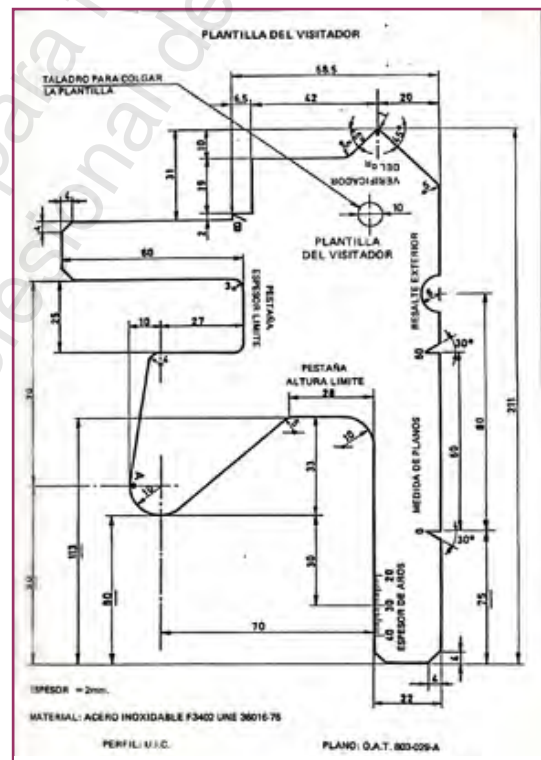


Figura. 2-14 Plantilla de visitador

La medición de la distancia entre caras internas de ruedas del mismo eje se efectúa con micrómetros de interiores. Estos micrómetros están compuestos generalmente por un tornillo micrométrico, sus extensiones correspondientes y un sistema de soporte lateral para facilitar su utilización a la hora de realizar la correspondiente medida.

La medida debe efectuarse en al menos 5 puntos equidistantes de la circunferencia de la rueda para garantizar que no existe deformaciones o alabeos en las mismas.

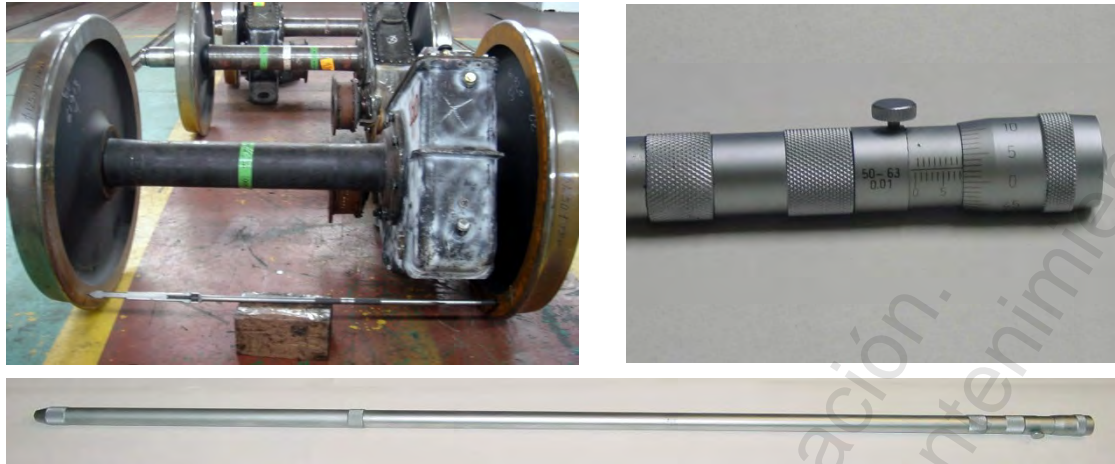


Figura. 2-15 Micrómetro de interiores para medir distancia entre caras internas de ruedas

Para la medida del diámetro de rueda se utilizará el **medidor sagita**, este instrumento consiste en un armazón con dos salientes donde en cuyos extremos se encuentran sendos puntos de apoyo. En el centro existe un reloj comparador que nos medirá la flecha del arco de circunferencia que se describe en la rueda teniendo la limitación de los dos puntos de apoyo del instrumento.



Figura. 2-16 Medidor sagita

En geometría, se entiende por flecha o sagita ( $f$ ) de un arco de circunferencia ( $s$ ) a la distancia existente entre el centro de dicho arco y el centro de la cuerda ( $c$ ).

La fórmula matemática correspondiente nos permite saber el diámetro de rueda sabiendo la longitud de la flecha que en este caso nos la indicará el reloj comparador del medidor sagita.

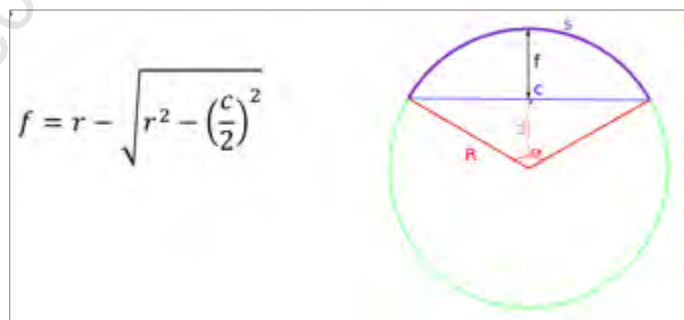


Figura. 2-17 Flecha y cálculo de la misma

Se dispondrá de tablas comparadoras donde aparecerán las medidas de flecha y los diámetros correspondientes, de esta manera se hace más fácil la interpretación de la medida del aparato.

En la actualidad se dispone de instrumentos más modernos y versátiles que facilitan al operador la recogida de datos y la propia realización de la medición. Entre otros se encuentran:

**SAGITA DIGITAL:**

Instrumento digital que mediante un sensor determina directamente, en el display del que dispone, de la medida de diámetro de rueda



Figura. 2-18 Sagita digital

**MINIPROFF:**

Sensor de superficie que, por contacto y mediante una sonda unida a un mecanismo articulado, permite seguir la superficie del perfil de rueda y que traslada dicho recorrido a un sistema informatizado donde se representa la superficie recorrida y todos los parámetros de la misma en una pantalla de un PC o un dispositivo tipo Tablet.

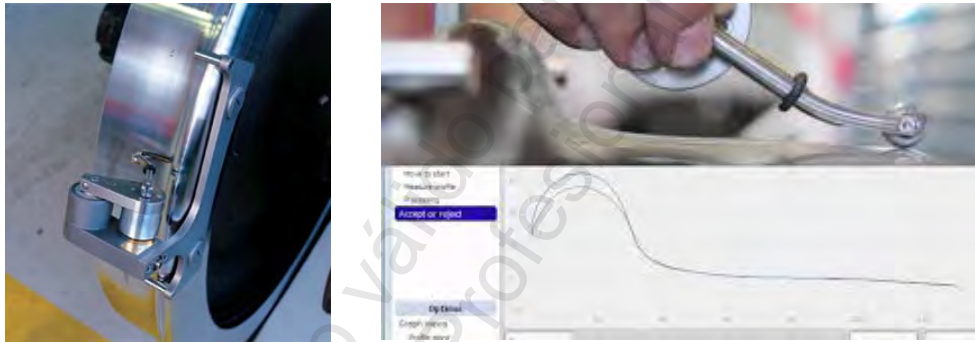
**CALIPRI LASER:**

Figura. 2-19 MiniProf

Se trata de un sistema de medida sin contacto para la medida de perfiles de rueda. Tiene la capacidad de adaptarse a un variado número de necesidades. El módulo CALIPRI "Perfil de rueda" evalúa el desgaste y la precisión dimensional de los vehículos ferroviarios con baja posibilidad de errores humanos en la medición. Los dispositivos de medición sin contacto se basan en la tecnología mediante haces de luz láser, lo que garantiza datos medidos de alta precisión y reproducibles. En cuestión de segundos, las variables medidas más importantes aparecen en el sensor y se comparan automáticamente con los valores límite individuales introducidos anteriormente en el sistema. Los contornos reales, los contornos límite y las medidas se muestran en la pantalla de la que dispone el dispositivo a modo de Tablet. El sistema dispone de la posibilidad de conexión a PC de manera que facilita la producción de dossieres y el almacenaje de los datos.



Figura. 2-20 Calipri Láser

### 2.3.2 Eje

Vástago de acero de forma cilíndrica con diferentes secciones que pueden ser cilíndricas y tronco-cónicas donde van caladas las ruedas y que soporta a los demás elementos que constituye a un eje montado.

Genéricamente está constituido por las siguientes partes bien diferenciadas:

**Cuerpo de eje.-** Zona central donde se suelen disponer las coronas dentadas para tracción y los discos de freno.

**Centro de eje.-** Puntos o taladros cónicos y ciegos dispuestos en el centro de la sección circular de los dos extremos utilizados para la sujeción del eje en un torno para su mecanización.

**Manguetas o muñones.-** Encargadas de soportar la carga del vehículo por intermedio de las cajas de grasa y que pueden ir situadas en las proximidades de las zonas de calado, bien en la parte exterior o en la interior del eje dependiendo del tipo de apoyo de las cajas de grasa.

**Zona de obturadores.-** Sobre estas zonas se calarán los anillos obturadores que son los encargados de permitir la estanqueidad necesaria para la retención de los lubricantes de las cajas de grasa.

**Anillo de retención.-** Zona cilíndrica situada entre las zonas de calado y las manguetas y que sirven de tope o retención de los elementos calados pertenecientes a la caja de grasa (obturadores o pistas de rodamientos).

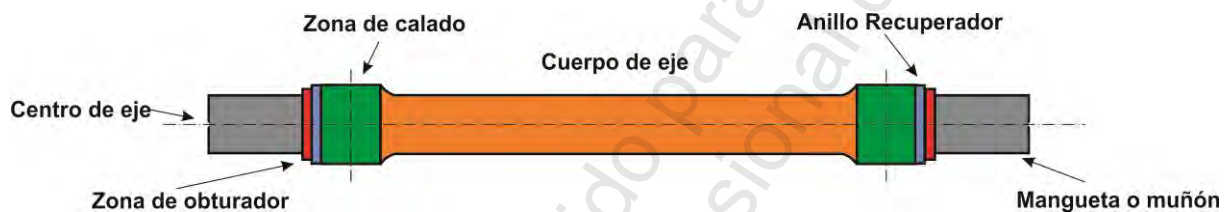


Figura. 2-21 Eje y sus partes

## 2.4 CAJA DE GRASA

Se entiende por caja de grasa al elemento cuya misión es asegurar la unión entre los ejes y el bastidor del vehículo (en caso de vehículos sin bogie) o el bastidor del bogie (en el caso de vehículos con bogie) y facilitan la rodadura del eje montado. Este elemento irá ubicado entre las ruedas y el bastidor.

Permite la transmisión de los esfuerzos de tracción y frenado entre los ejes a la masa del vehículo y lubrica las partes metálicas disminuyendo el rozamiento y el calentamiento en las mismas. Sobre la caja de grasa se fijan unos sistemas de amortiguación que soportan al bastidor (del bogie o del vehículo), transmitiendo la carga a la parte final del eje montado o mangueta.

Es el elemento que permite que el eje montado rote al disponer en su interior de uno o varios cojinetes o rodamientos. Aloja la denominada suspensión primaria del vehículo y transmite fuerzas tanto longitudinales, como laterales y verticales del eje montado sobre el bastidor.

Las cajas de grasa se clasifican por:

- Su posición respecto al eje dependiendo si los cojinetes se encuentran en el exterior o en el interior con respecto a la rueda.
- El tipo de cojinetes del que disponga, ya sean lisos, de rodillos, de bolas o mixtos.

La forma de la caja de grasa es determinada por el método de conexión entre ella y el bastidor, y pretende conseguir una distribución uniforme de fuerzas en el cojinete. La construcción interna de la caja de grasa se determina por el cojinete y su sistema de sellado.

La caja de grasas con cojinete liso consiste en una carcasa (A), el propio rodamiento (B) que generalmente se hace de una aleación con bajo coeficiente de fricción (p. ej., bronce o metal blanco), la placa del cojinete (C) que transmite las fuerzas desde la carcasa de la caja de grasas al cojinete, y un dispositivo de lubricación (D) que lubrica el cojinete del árbol. Los sistemas de sellado delanteros y



traseros (E y F) protegen el interior de la caja de grasas de la suciedad y de cuerpos extraños. El sistema de sellado delantero (E) se puede quitar para supervisar el estado del cojinete y para agregar el lubricante

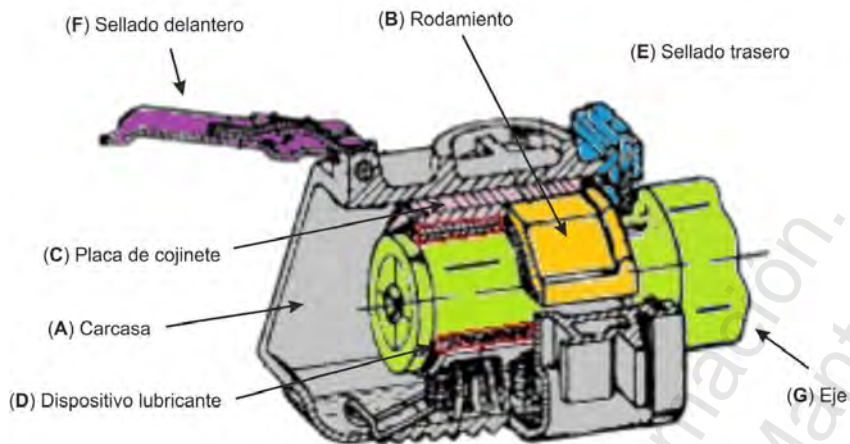


Figura. 2-22 Caja de grasa de cojinetes lisos

Las cajas de grasa de rodamientos por rodillos producen la reducción de caldeos, del coeficiente de rozamiento y de los costes de conservación y reparación necesarios.



Figura. 2-23 Caja de grasa con rodamientos



Caja de grasa equipada con unidad de rodamientos para conjunto eje/rueda sensorizada para los últimos trenes Pendolino italianos



Modelo tridimensional de una caja de grasa con la unidad de sensores de odometría SKF Axletronic para vehículos de alta velocidad

Figura. 2-24 Ejemplos de cajas de grasa de vehículos modernos

### 2.4.1.1 Rodamientos

Se entiende por rodamiento al elemento que se sitúa entre dos piezas que pueden girar una con respecto a la otra a través de un eje común, teniendo como principal misión la de reducir, mediante la rodadura de sus elementos internos, la fricción que se produce entre las dos piezas al girar. El interior del rodamiento suele ir ocupado con un material lubricante (grasas especiales) que facilitará la rodadura de sus elementos móviles disminuyendo su rozamiento.

Están contruidos de aceros especiales de alta calidad y las zonas de contacto (pistas y elementos rodantes) aparecen con acabados de muy baja rugosidad.

Los elementos esenciales de los que se compone un rodamiento son:

**Pistas**, tanto exterior como interior.

Elementos circulares huecos en forma de anillo que van unidos por transferencia a las partes móviles susceptibles de giro y por donde rodarán los elementos rodantes.

**Elementos rodantes.**

Elementos susceptibles de rodar para eliminar fricciones entre las partes móviles.

**Jaula separadora** de elementos rodantes.

Elemento en forma de jaula o de celdas equidistantes que alojan en su interior a los elementos rodantes, y que permiten su giro, proporcionando un posicionamiento equidistante de todos ellos.

**Anillo separador** de pistas interiores.

Anillo de acero que proporciona una separación entre las pistas interiores manteniendo la posición relativa entre ellas.

**Deflectores**, tanto anteriores como posteriores.

Anillo dispuesto para la retención de los lubricantes.

**Obturadores** o laberintos, tanto anteriores como posteriores.

Anillos de forma laberíntica que proporcionan la retención de los lubricantes.

**Anillos de apoyo**, tanto anteriores como posteriores.

Anillos o suplementos que proporcionan el aseguramiento posicional del conjunto de elementos del rodamiento en las piezas donde van ubicados para permitir su rotación.

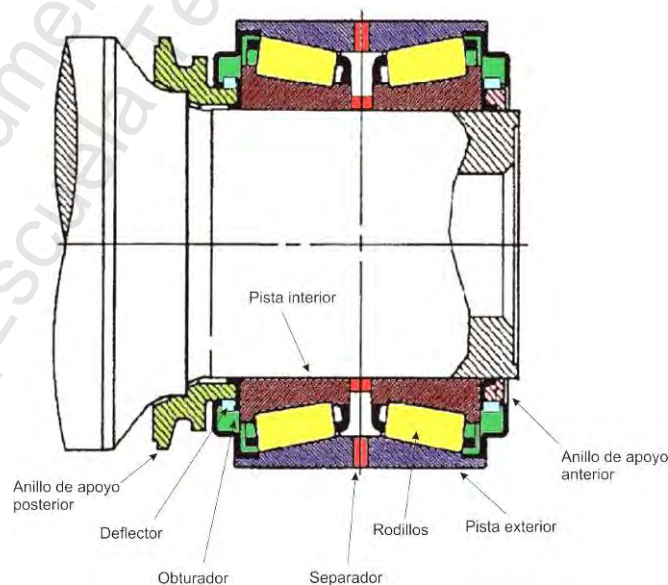


Figura. 2-25 Rodamiento y sus elementos

## 2.5 REDUCTOR/TRANSMISIÓN

Estos sistemas son los encargados de transmitir los esfuerzos de tracción y de freno motor a los ejes de las ruedas. Suelen consistir en una corona o rueda dentada acoplada al eje de la rodadura sobre la que se engarza directa o indirectamente los engranajes o ejes de los que disponen los motores de tracción para transmitir esfuerzos. También pueden aparecer elementos elásticos que permitan la rotación (entre ciertos límites) de los elementos a acoplar como pueden ser los sistemas WN.

Los principales sistemas utilizados son:

### 2.5.1 Transmisión directa

El piñón de ataque del eje del motor de tracción incide directamente sobre la corona dentada del eje montado sin ningún otro tipo de elemento intermedio.

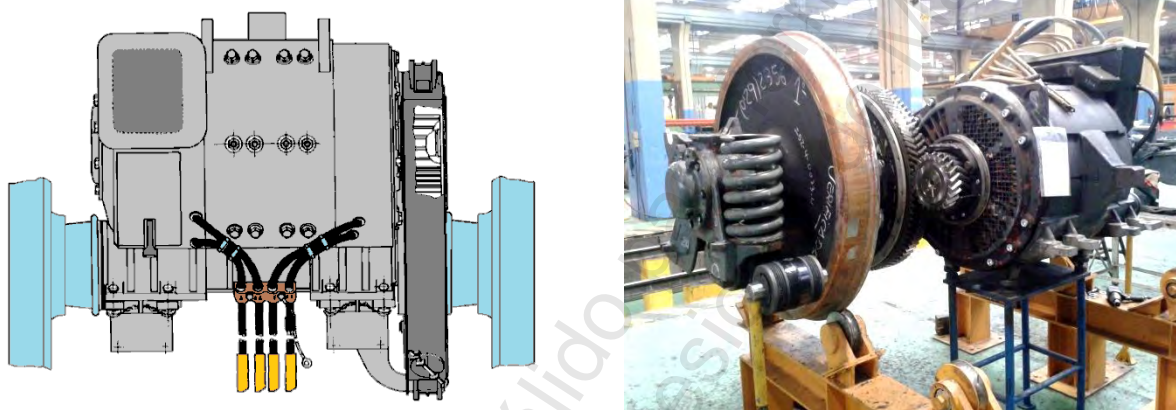


Figura. 2-26 Ejemplos de transmisión directa

### 2.5.2 Transmisión indirecta por coronas dentadas

El piñón de ataque del motor incide sobre un conjunto de engranajes que efectúan la multiplicación del esfuerzo (reductores) sobre la corona dentada del eje montado, en algunos casos, o distribuyen el esfuerzo (distribuidores) entre los diversos ejes del bogie en otros casos.

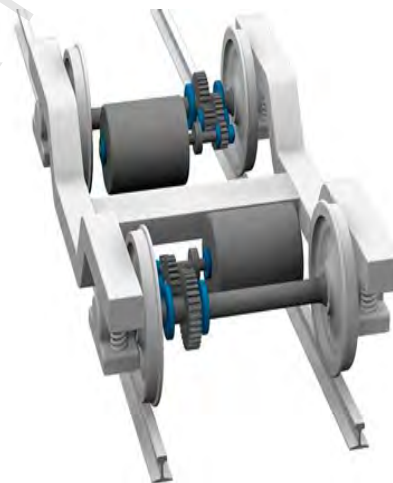


Figura. 2-27 Transmisión indirecta por coronas dentadas

### 2.5.3 Transmisión indirecta elástica con engranajes

Entre el piñón de ataque del motor y el reductor se encuentra un dispositivo elástico que permite cierta flexibilidad entre estos elementos, de esta manera se absorben los movimientos de desalineación existentes entre el motor y reductor en los arranques.

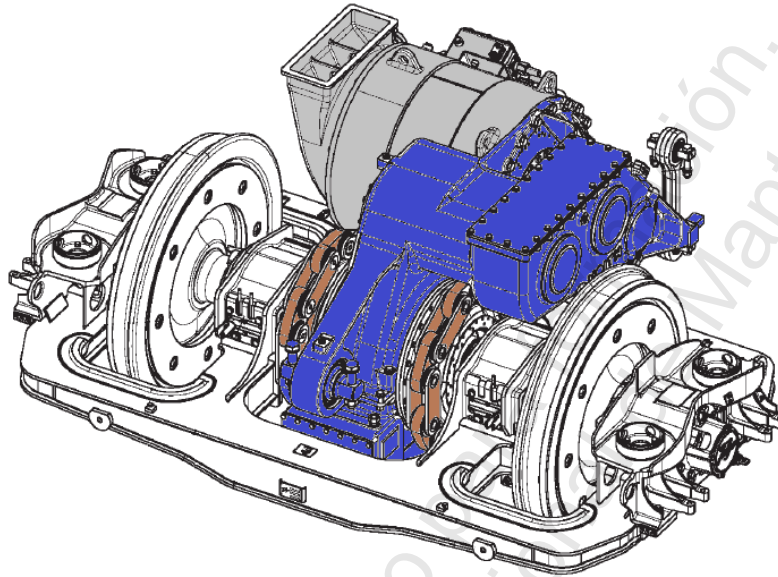


Figura. 2-28 Transmisión indirecta elástica con engranajes

### 2.5.4 Transmisión indirecta por eje Cardan

Entre el eje del motor y la reductora o transmisión aparece un sistema de conexión tipo "cardan" o "eje de transmisión". Este sistema de conexión consiste en una serie de componentes metálicos que permiten la unión de dos elementos rotatorios no colineales (los ejes de rotación no coinciden).

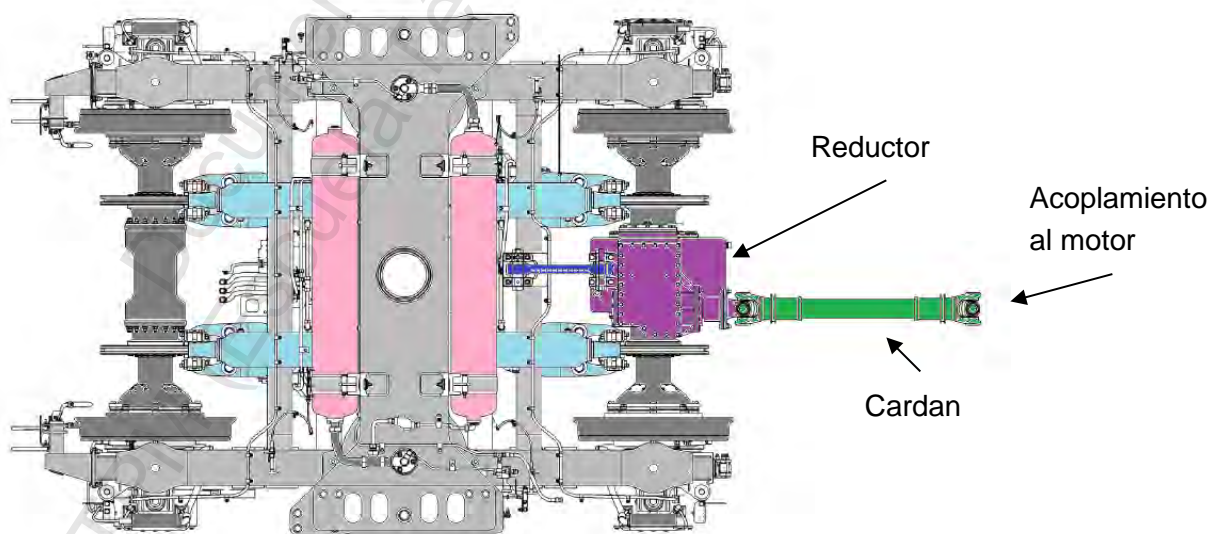


Figura. 2-29 Transmisión indirecta por eje Cardan

## 2.6 SUSPENSIÓN

El sistema de suspensión de un vehículo ferroviario es el encargado de soportar su peso y permitir su movimiento elástico controlado sobre sus ejes. De la misma manera tiene la misión de absorber la energía producida por las irregularidades de la vía manteniendo la estabilidad del vehículo, proporcionando seguridad y aportando mayor confort a los pasajeros o carga que se transporta.

El sistema de suspensión suele estar ubicado en el vehículo entre el suelo y el bastidor y está constituido genéricamente por componentes comunes para todo tipo de vehículos. Las diferencias radicarán en el tipo, las dimensiones y prestaciones específicas del vehículo.

Podemos clasificar las suspensiones en dos clases:

### 2.6.1 Suspensión primaria

Se encuentra entre el conjunto del eje montado y el bastidor del bogie (bastidor del vehículo si se trata de uno no provisto de bogies). Es el primer órgano flexible entre dicho conjunto y el tren, se denomina suspensión primaria (1ª) y cumple dos funciones.

Por una parte, reduce el nivel de vibraciones que soporta el bastidor del bogie y los elementos montados sobre él.

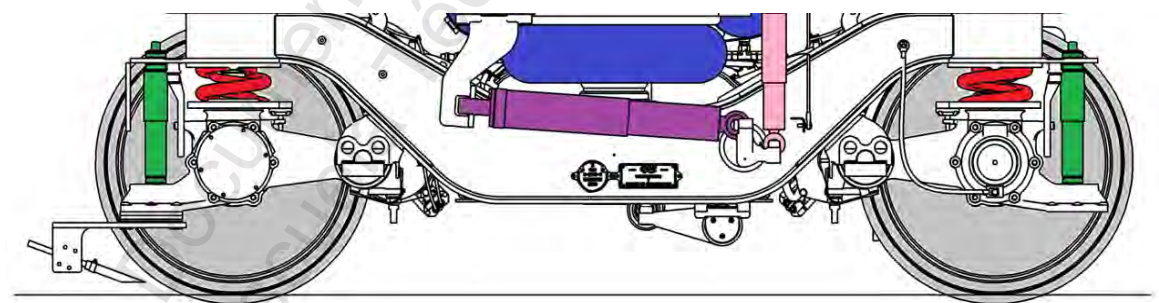
También asegura un reparto homogéneo de cargas sobre las ruedas, lo cual es fundamental de cara a las prestaciones de tracción y freno evitando el riesgo de descarrilamiento.

Además de asegurar la suspensión vertical, están relacionados con el guiado de los ejes en direcciones longitudinales y laterales. Las rigideces de guiado resultan determinantes para definir la estabilidad dinámica del vehículo y los esfuerzos rueda-carril que se producen al paso por la curva.

### 2.6.2 Suspensión secundaria

A su vez, entre la propia caja del coche ferroviario y el bogie, hay una segunda suspensión que, como tal, se denomina suspensión secundaria (2ª). La suspensión de los vehículos ferroviarios debe asegurar el filtrado de las vibraciones, no sólo en dirección vertical, sino también en dirección lateral. Este filtrado, en los vehículos guiados, es responsabilidad de la suspensión secundaria. Por este motivo, las suspensiones secundarias presentan una alta flexibilidad en ambas direcciones, vertical y lateral.

Los vehículos "no provistos de bogie" carecen de este tipo de suspensión.



#### PRIMARIA

- Muelles helicoidales
- Amortiguadores hidráulicos

#### SECUNDARIA

- Balonas neumáticas
- Amortiguadores hidráulicos

- Sistema de amortiguación anti-lazo

Figura. 2-30 Suspensiones de un bogie

### 2.6.3 Tipos de elementos de suspensión

Entre los principales sistemas de suspensión podemos señalar que los más comunes son:

- Por fricción
- Ballestas
- Muelles helicoidales
- Amortiguadores hidráulicos
- Balonas neumáticas
- Barras de torsión
- Resortes metal-caucho

#### 2.6.3.1 Sistemas por fricción

##### • Placas de guarda

Los vagones de dos ejes están dotados de placas de guarda, entre las cuales van alojadas las cajas de grasa de los ejes, de forma que puedan tener lugar, entre ciertos límites, desplazamientos tanto transversales como longitudinales y verticales.

El conjunto está constituido por dos placas simétricas, unidas a los largueros del bastidor mediante cordones de soldadura o roblones. En los cantos interiores y con el fin de evitar el desgaste debido al deslizamiento de la caja de grasa, las placas van provistas de unas piezas en forma angular, unidas a ellas mediante cordones de soldadura. Estas piezas reciben el nombre de **resbaladeras** o guías de placa.

En la parte inferior las dos placas están unidas por una pieza llamada **ataguía**, que hace a las placas solidarias y evita que la caja de grasa pueda salirse en su desplazamiento vertical. La ataguía está unida a cada placa de guarda mediante dos tornillos con arandela y tuerca hexagonal.

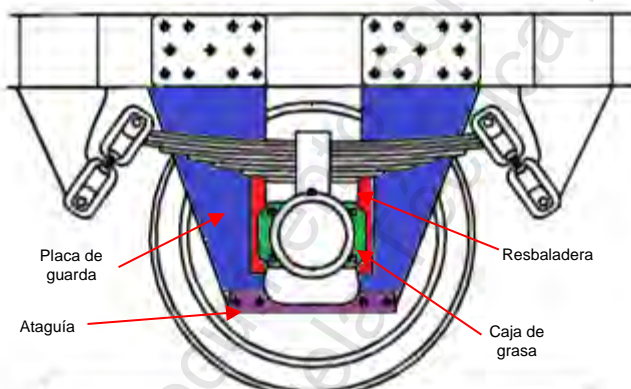


Figura. 2-31 Sistema por placas de guarda

Las **resbaladeras** o guías de placa son piezas angulares. En la parte inferior, cada placa tiene dos taladros para fijar la ataguía. Las placas están unidas al larguero, además del cordón de soldadura, por unas piezas denominadas bridas para placas, que van soldadas al larguero y a la parte posterior de la placa, y cuya misión es sujetar las placas de guarda a la altura del borde inferior del larguero evitando que se puedan despegar del larguero y se fisuren los cordones. También pueden ir sujetas mediante roblones.

Aunque este elemento tiene como principal cometido la guía y sujeción de la caja de grasa, además de transmitir los esfuerzos de

tracción y frenado de las ruedas al bastidor y viceversa, también proporciona cierta amortiguación a los movimientos producidos por los esfuerzos propios de la marcha y el frenado mediante el rozamiento de la placa de guarda y las resbaladeras. Por ello se debe de reconocer como elemento de amortiguación por **fricción** que se ve suplementado con la colocación de ballestas.

#### 2.6.3.2 Ballestas

Este tipo de resorte se conoce también con el nombre de resortes de láminas. Está formado por una serie de láminas de acero de sección rectangular de diferente longitud, las cuales trabajan a flexión; la lámina de mayor longitud se denomina lámina u hoja maestra.

Las láminas que forman la ballesta pueden ser planas o curvadas en forma parabólica, y están unidas entre sí por el centro a través de un tornillo o por medio de una abrazadera sujeta por tornillos.

Las ballestas se utilizan como resortes de suspensión en los vehículos, realizando la unión entre el chasis y los ejes de las ruedas. Su finalidad es amortiguar los choques debidos a las irregularidades de la vía.

La ballesta es uno de los componentes de suspensión más antiguo y que todavía perdura debido a sus ventajas de:

- Economía.
- Amortiguamiento propio.
- Capacidad para soportar grandes cargas.
- Realización de funciones adicionales de guiado lateral y longitudinal.

Las láminas están ensambladas entre sí por un bulón central o capuchino. Las láminas generalmente son de anchura y grueso constante; sin embargo, la **lámina maestra** a veces es de mayor grosor que las otras, al tener que resistir esfuerzos de todas clases como consecuencia de los movimientos verticales, longitudinales y transversales de la parte suspendida con respecto a la no suspendida. Los extremos de las láminas de sostén son rectangulares o de forma trapezoidal o parabólica y a veces, progresivamente, adelgazadas en la longitud de la parte escalonada. La curvatura de las láminas crece a medida que la longitud disminuye, a fin de evitar divergencias entre los extremos de cada una de ellas. La diferencia de curvatura, sin embargo, no debe ser exagerada a fin de evitar fatigas excesivas en las láminas más alejadas de las maestras.

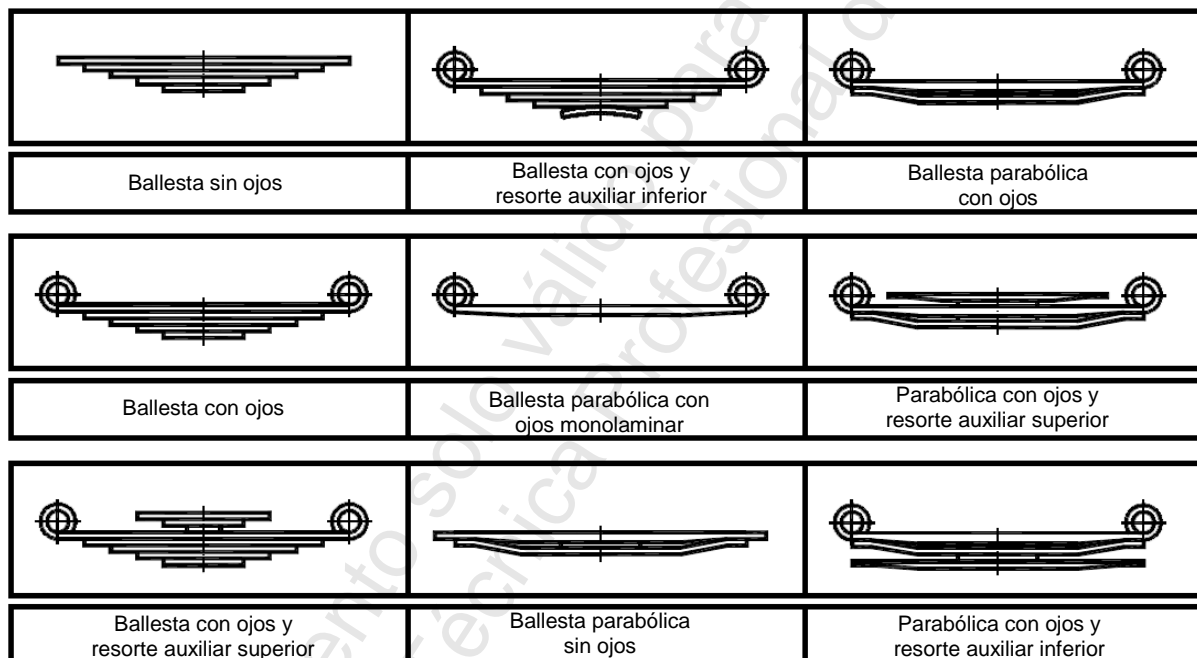


Figura. 2-32 Tipos de ballesta

El desplazamiento lateral de las láminas entre sí es impedido mediante **bridas** o abrazaderas, estando guiado el deslizamiento de las láminas de sostén, debido a la modificación de la flecha por nervaduras o **tetones** centrales.

En vehículos ferroviarios las ballestas se utilizan en trenes de mercancías debido a su gran capacidad de carga.

En este caso el montaje se realiza mediante una serie de **anillas y bulones**, colocados en cada extremo y que confiere cierta movilidad a la sujeción.

Se suelen utilizar ballestas de doble flexibilidad, en las que parte de las hojas comienzan a deformarse a partir de una determinada carga.

De esta forma, se consigue que la frecuencia natural de la suspensión no cambie demasiado entre las condiciones de tara y carga máxima y, por otra parte, en vehículos ferroviarios se asegura una deformación elevada hasta descarga completa de ruedas, lo cual es una condición necesaria para evitar riesgos de descarrilamiento.

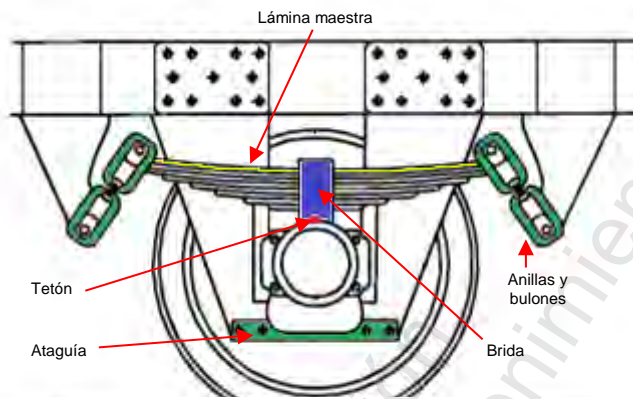


Figura. 2-33 Elementos de la amortiguación por ballesta

### 2.6.3.3 Muelles

Los resortes helicoidales o muelles, son unos operadores elásticos con la capacidad de **acumular energía** y desprenderse de ella sin sufrir deformación permanente cuando cesan las fuerzas o la tensión a las que son sometidos. Los encontramos de materiales muy diversos, tales como acero al carbono, acero inoxidable, acero al cromo-silicio, cromo-vanadio, bronce, plástico, entre otros, que presentan propiedades elásticas y con una gran diversidad de formas y dimensiones. Son probablemente los elementos de rigidez más utilizados en las suspensiones de vehículos. Normalmente se utilizan trabajando en compresión y en torsión. Se fabrican a partir de varillas y/o barras de acero de alta resistencia. Su tensión inicial es obtenida, durante el arrollamiento en frío, por una deformación permanente.

La varilla o barra de acero de sección redonda o cuadrada va arrollada en forma de hélice cilíndrica a derecha con paso uniforme formando un sistema continuo helicoidal. Trabaja tratando de extenderse en la dirección de su eje, oponiéndose a una fuerza externa que lo comprima.

Para conseguir un buen apoyo y un funcionamiento correcto, los extremos del resorte han de presentar superficies de apoyo planas y perpendiculares a su eje; por este motivo, las dos espiras extremas (espiras de apoyo) están más próximas entre sí (disminución del paso) y esmeriladas.

Podemos encontrar diferentes variantes con formas y propiedades distintas entre las que podemos destacar:

- Muelles helicoidales cilíndricos
- Muelles helicoidales cónicos
- Resortes de lámina cónicos de sección rectangular
- Muelles helicoidales bicónicos
- Muelles helicoidales de torsión
- Muelles helicoidales de tracción



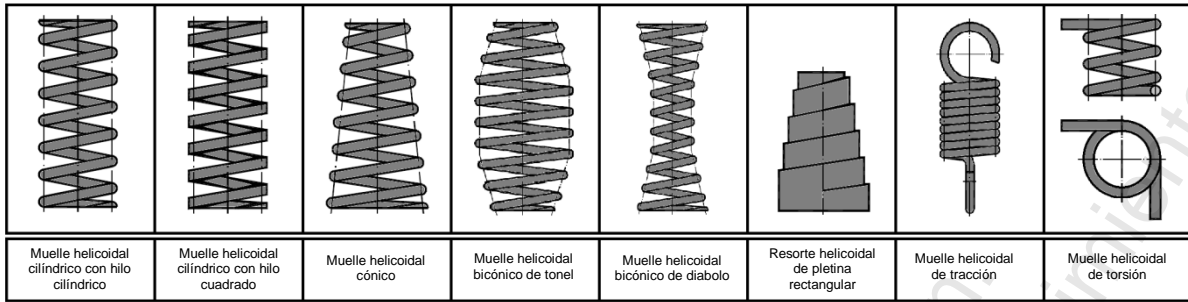


Figura. 2-34 Tipos de muelles

- **Muelles Dobles**

En algunos vehículos, en especial en suspensiones ferroviarias, es habitual utilizar resortes montados concéntricamente uno dentro de otro. Este montaje es equivalente a dos resortes en paralelo. El resorte interior suele ser de menor altura y por lo tanto actúa cuando el exterior ha sido deformado en parte. Esto confiere al sistema de dos muelles concéntricos en un sistema de suspensión de dos etapas.

Al muelle exterior se le denomina de **tara** puesto que actúa en solitario con el propio peso de la estructura. Al muelle interior se le denomina de **carga** puesto que comienza a actuar (en conjunto con el de tara) cuando el vehículo se encuentra cargado total o parcialmente.

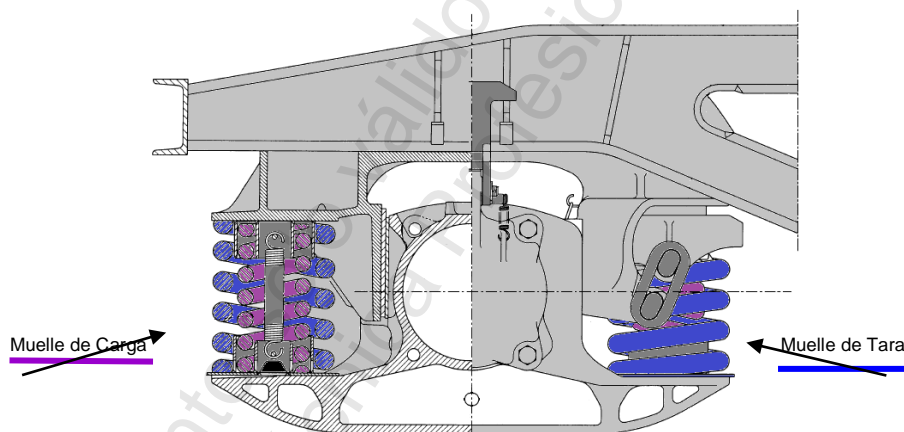


Figura. 2-35 Ejemplo de muelles doble en bogie Y-21

- **De espiral**

Es un resorte de torsión que requiere muy poco espacio axial. Está formado por una lámina acero de sección rectangular enrollada en forma de espiral. Se utiliza para producir movimiento en mecanismos de relojería, cerraduras, persianas, metros enrollables, juguetes mecánicos, etc.

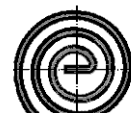


Figura. 2-36 Resorte en espiral

de

### 2.6.3.4 Amortiguadores

Estos elementos son los encargados de absorber las vibraciones de los elementos elásticos (muelles, ballestas, barras de torsión), convirtiendo en calor la energía generada por las oscilaciones. Por ello podemos definirlos como **disipadores de energía**.

Cuando la rueda encuentra una irregularidad, el muelle se comprime o se estira, recogiendo la energía mecánica producida por el choque, energía que devuelve a continuación, por efecto de su elasticidad, rebotando sobre el bastidor. Este rebote, en forma de vibración, es el que tiene que frenar el amortiguador, recogiendo en primer lugar, el efecto de compresión y luego el de reacción del muelle actuando de freno en ambos sentidos; por esta razón reciben el nombre de los amortiguadores de doble efecto.

Los amortiguadores pueden ser "fijos" y "regulables", los primeros tienen siempre la misma dureza y los segundos pueden variarla dentro de unos márgenes. En los más modernos modelos este reglaje se puede hacer incluso desde el interior del vehículo (automoción).



Figura. 2-37 Amortiguadores

### 2.6.3.5 Tipos de amortiguadores

Los más empleados en la actualidad son los de tipo telescópico de funcionamiento hidráulico. Dentro de estos podemos distinguir:

- Los amortiguadores hidráulicos convencionales (monotubo y bitubo). Dentro de esta categoría podemos encontrar los fijos y los regulables.
- Los amortiguadores a gas (monotubo o bitubo). No regulables
- Los amortiguadores a gas (monotubo). Regulables

#### 2.6.3.5.1 Hidráulicos

Son aquellos en los que la fuerza de amortiguación, para controlar los movimientos de las masas suspendidas y no suspendidas, se obtiene forzando el paso de un fluido a través de unos pasos calibrados de apertura diferenciada, con el fin de obtener la flexibilidad necesaria para el control del vehículo en diferentes estados.

Los más usuales vienen con tarados pre-establecidos (se montan habitualmente como equipo de origen).

#### 2.6.3.5.2 De efecto simple

Son amortiguadores que sólo amortiguan en un sentido; es decir, cuando se produce el efecto de expansión o compresión (depende del sentido de amortiguación), el aceite situado en las cámaras no circula a través de los pasos calibrados; por tanto, no amortiguan en uno de los sentidos

#### 2.6.3.5.3 De doble efecto

Los amortiguadores de doble efecto, hidráulicos y telescópicos, actualmente los más utilizados, se componen de dos tubos concéntricos (7 y 5), sellados por el extremo superior con el retén (2), a través del cual pasa el vástago (8), determinado en el extremo de fuerza por el anillo (1), que se une al bastidor, y que lleva un tercer tubo abierto (3), denominado *cubrebarros*. El vástago (8) termina en el pistón (4), con orificios calibrados y válvulas dentro del tubo interior (7). En el extremo del tubo interior (8) se encuentran las válvulas de amortiguación (6) en compresión. El amortiguador se une por (6) los extremos a los elementos de unión a amortiguar.

Los elementos más importantes son:

- El pistón (4), que sirve para controlar los esfuerzos de frenado en extensión.
- Las válvulas (a), que sirven para controlar los esfuerzos de frenado en compresión.
- El retén (2), que sirve para evitar la fuga del aceite.

Su funcionamiento es el siguiente: cuando el amortiguador se comprime, parte del aceite que se encuentra en la cámara intermedia (9) pasa a la cámara superior (10), a través de las válvulas (a) situadas en el pistón. El resto del aceite pasa a la cámara inferior (11), a través de las válvulas (b), que limitan el paso de aceite, amortiguando la compresión.

Cuando se produce el efecto de expansión, el aceite pasa de la cámara superior y de la cámara inferior a la cámara intermedia, a través de las válvulas (12). El paso por las válvulas (13) provoca el efecto de amortiguación en expansión.

Este tipo de amortiguadores es el más comúnmente utilizado en la suspensión de vehículos ferroviarios y pueden aparecer tanto en la suspensión primaria como en la secundaria. Su ubicación determina el tipo de esfuerzo sobre el que va a actuar, por ello los podremos denominar; **verticales** (en azul), **transversales** (en rojo) o **longitudinales** (en verde) dependiendo de la posición en la que se encuentren instalados.

También pueden aparecer como suspensión antilazo o en elementos que componen el bogie como pueden ser los motores de tracción eléctricos.

Los más utilizados son los amortiguadores de las casas Koni, Boge, Sack o Dispen. Todos ellos con la misma función, pero con diseño y características diferentes.

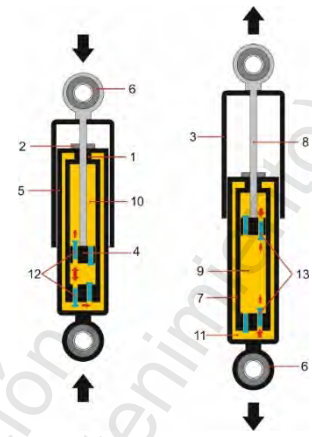


Figura. 2-38 Amortiguador de doble efecto

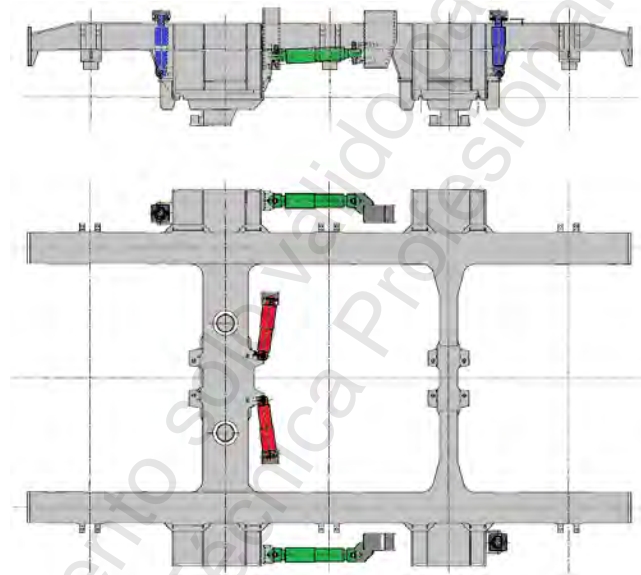


Figura. 2-39 Posición de amortiguadores en bogie

### 2.6.3.5.4 Neumáticos (de gas)

El amortiguador de gas se basa en el principio del movimiento de un pistón en un tubo lleno de aceite, que, en uno de los extremos, tiene una pequeña cantidad de nitrógeno a alta presión. Un pistón flotante separa el gas del aceite, evitando que ambos se mezclen.

El funcionamiento del amortiguador de gas es el siguiente:

Cuando el pistón desplaza el aceite durante la compresión, este aceite comprime un poco más el nitrógeno. El gas se ve, por tanto, sometido a variaciones de volumen, actuando como un muelle. La presión continua ejercida por el gas sobre el aceite, por medio del pistón flotante, asegura una respuesta instantánea y un funcionamiento más silencioso de las válvulas del pistón. Además, esta presión evita los fenómenos que provoca la aparición de espuma en el aceite, que pueden hacer, momentáneamente, ineficaz la amortiguación.

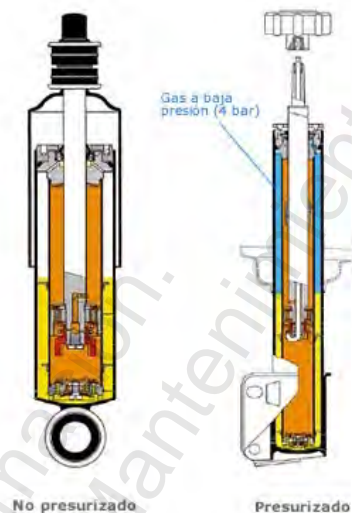


Figura. 2-40 Amortiguador neumático

### 2.6.3.6 Suspensiones Neumáticas

En este apartado veremos un ejemplo de suspensión neumática de vehículo ferroviario.

Los resortes neumáticos se encuentran en los bogies, tanto motores como remolques, constituyen el apoyo elástico entre el bogie y la caja, siendo los elementos básicos de la suspensión secundaria.

Suelen ser dos resortes neumáticos que soportan y transmiten las cargas verticales tanto estáticas como dinámicas entre el bogie y la caja. Para conseguir mayor flexibilidad, cada resorte neumático está comunicado con un depósito de aire adicional situado bajo el bastidor del coche o en el propio bogie. Además de la membrana de goma, el resorte neumático está complementado en su parte inferior con un resorte cónico, trabajando en serie que, en caso de falta de aire, proporciona la flexibilidad suficiente para conseguir una marcha en emergencia segura. En caso de pinchazo o penetración, la membrana resiste el reventón y la pérdida de presión es lenta y firme.

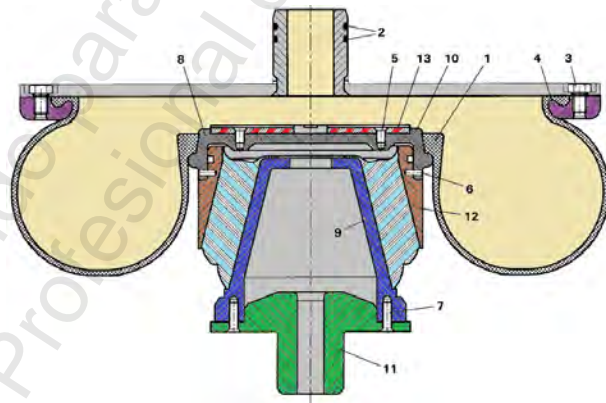


Figura. 2-41 Sistema de suspensión neumática por balonas

El resorte neumático está constituido básicamente por un plato de deslizamiento (13), una membrana (1) de caucho y un resorte cónico (9). El borde superior de la membrana (1) está sujeto por un anillo de amarre (4) fijado superiormente a una placa de apoyo mediante tornillos (3), mientras que el borde inferior está encajado en el soporte de membrana (10), apoyado sobre el resorte cónico (9) y retenido por pasadores cilíndricos (6). El resorte cónico (9) descansa sobre una base (11), fijada al mismo por tornillos avellanados (8), que presenta un pivote hueco para la inserción en el bastidor del bogie y la alimentación neumática de la membrana (1). Entre la base (11) y el bastidor del bogie pueden intercalarse calas de regulación, aseguradas mediante elementos de fijación. Sobre el soporte de membrana (10) está fijado un plato de deslizamiento (13), fijado mediante tornillos avellanados (5), sobre el que apoya la placa de apoyo en caso de falta de aire.

#### La membrana.

La estructura principal de la membrana está formada por los siguientes componentes:

- Núcleo metálico: consiste en un cable de acero a lo largo de cada borde, que garantiza un apoyo estable del mismo en el anillo con reborde del soporte correspondiente.
- Revestimiento exterior: es una capa de neopreno, altamente elástico al 100%, que sirve de protección contra la intemperie, materias fecales y en gran medida contra el aceite.
- Carcasa: está formada por tejido de poliamida y garantiza el buen funcionamiento, la seguridad contra reventones y la longevidad de la membrana.
- Revestimiento interior: es una capa de neopreno, altamente elástico al 100%, que garantiza la estanqueidad frente a la atmósfera.

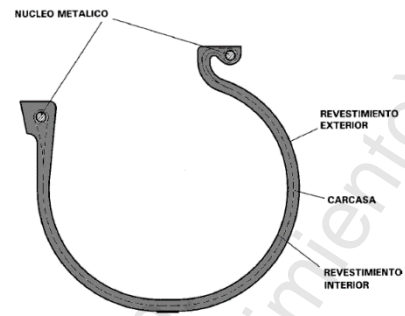


Figura. 2-42 Membrana

La membrana de aire del resorte neumático absorbe los movimientos transversales, mientras que los movimientos de torsión son absorbidos fundamentalmente por el resorte cónico. Ambos elementos trabajan en serie frente a las fuerzas verticales.

### 2.6.3.7 Barras de torsión

Las barras de torsión son dispositivos que, debido al ablandamiento de la suspensión vertical, se van incorporando a la suspensión de un gran número de vehículos ferroviarios.

Su misión consiste en disminuir el ángulo de balanceo experimentado por el vehículo cuando recorre una curva.

Las barras de torsión son esencialmente barras de metal que funcionan como un resorte. En un extremo, la barra de torsión está fijada firmemente en su lugar en el chasis o bastidor de un vehículo. El otro extremo de la barra puede estar unido al eje, brazo de suspensión, o cabezal, dependiendo de las características específicas de diseño del vehículo. Cuando este se mueve a lo largo de un recorrido, las fuerzas generadas por el movimiento del vehículo crean torsión en la barra, la cual se retuerce a lo largo de su eje, contrarrestando el par gracias a que la barra de torsión, de forma natural, quiere resistir el efecto de torsión y volver a su estado normal. De este modo, la suspensión proporciona un nivel de resistencia a las fuerzas generadas por el movimiento del vehículo. Esta resistencia es el principio clave detrás de un sistema de las barras de torsión.

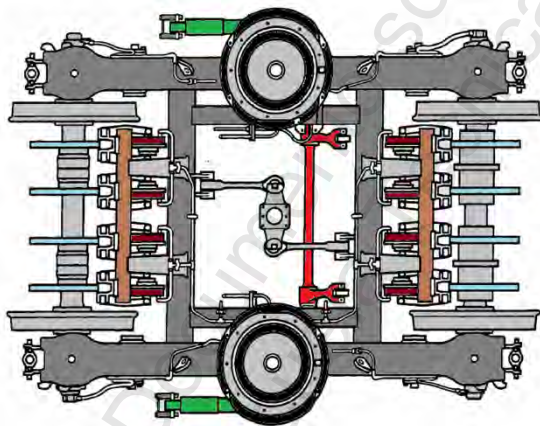


Figura. 2-43 Barra de torsión

### 2.6.3.8 Elastómeros

Los elastómeros son aquellos tipos de compuestos que están encuadrados como no metales y que muestran un comportamiento elástico. El término, que proviene de polímero elástico, es a veces intercambiable con el término goma, que es más adecuado para referirse a vulcanizados.

Cada uno de los monómeros que se unen entre sí para formar el polímero está normalmente compuesto de carbono, hidrógeno, oxígeno o silicio. Los elastómeros son polímeros amorfos que se encuentran sobre su temperatura de transición vítrea, de ahí esa considerable capacidad de deformación. A temperatura ambiente las gomas son relativamente blandas y deformables. Los forman el caucho y derivados, los neoprenos, polietilenos y poliuretanos.



Figura. 2-44 Silentblock

Un ejemplo muy común de este tipo de resortes lo forman los llamados "Silentblock".

- **Goma/caucho-metal**

La utilización de resortes caucho-metal resulta muy frecuente como suspensiones de maquinaria, motores etc., en las que es necesario filtrar vibraciones de alta frecuencia asociadas con desplazamientos relativamente pequeños. La mejora de la tecnología de producción de estos elementos ha facilitado su utilización en suspensiones de vehículos. Fundamentalmente sus aplicaciones se centran en vehículos ferroviarios en elementos accesorios de las suspensiones secundarias. Su utilización se evidencia en suspensiones primarias de vehículos autopropulsados cuyas exigencias en cuanto a peso y deformaciones son las apropiadas para estos tipos de materiales.

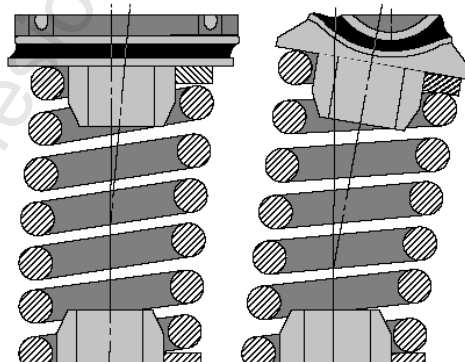


Figura. 2-45 Ejemplos de unión goma/caucho y metal

También aparece como componente principal en el interior de los topes de los vehículos ferroviarios en los denominados muelles "Batra-Estrella".

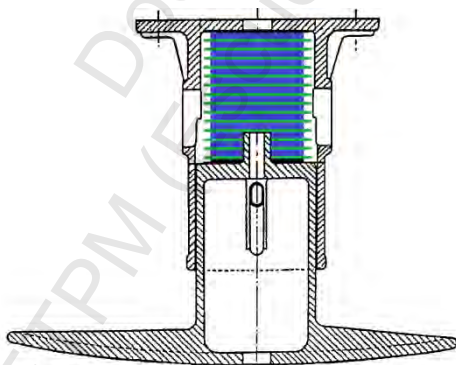


Figura. 2-46 Muelle Batra

### 2.6.3.9 Sistemas Antilazo

Se denomina movimiento de lazo al movimiento característico de auto guiado del eje montado, cuando se desvía lateralmente ante cualquier esfuerzo lateral o irregularidad de vía. Este movimiento característico de zigzag en los bogies es minorizado con un sistema auxiliar de amortiguación (generalmente mediante barras de torsión y amortiguadores) llamado sistema antilazo.

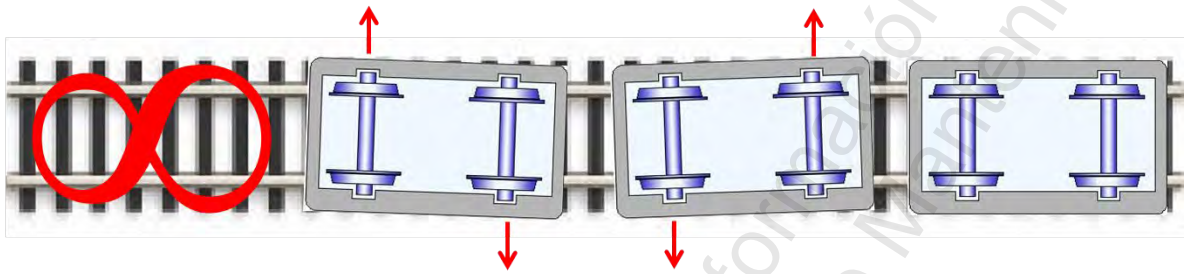


Figura. 2-47 Movimiento de lazo en un bogie en movimiento rectilíneo

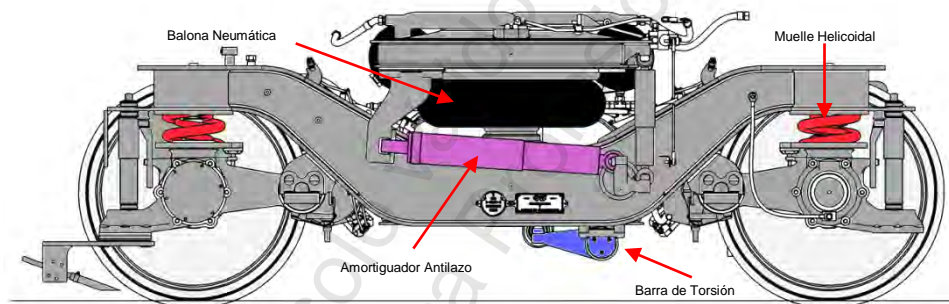


Figura. 2-48 Conjunto de suspensión con amortiguación antilazo

## 2.7 APOYO Y GUIADO

La conexión entre la caja y el bogie debe:

- Permitir que el bogie rote respecto a la carrocería del coche en curvas.
- Transmitir las fuerzas verticales, de tracción y de frenado.
- Proporcionar control adicional de las acciones laterales en la suspensión.
- Ayudar a mantener la estabilidad del bogie.
- Proporcionar la estabilidad longitudinal de los bastidores del bogie y la misma distribución de la carga sobre los ejes montados (para material rodante de tracción).

Estos problemas se solucionan de diferentes sistemas dependiendo del tipo de material rodante, sea de tracción o de arrastre, de viajeros o de carga, de alta velocidad o de velocidad normal. Si el vehículo es estable hasta la velocidad de diseño, entonces la introducción de resistencia adicional no es necesaria. Si la deformación estática de la suspensión es suficiente, entonces la flexibilidad vertical en la unión del cuerpo del coche al bogie puede no ser necesaria.

Los diseños apuntan generalmente a realizar la conexión del cuerpo del coche al bogie tan simple como sea posible usando una pequeña cantidad de elementos y reduciendo el número de elementos con superficies de fricción.

Entre los sistemas más destacables de apoyo y guiado del bogie podemos encontrar:

### 2.7.1 Placa central plana

En bogies de carga de tres partes la conexión más común es la placa circular central plana, fijada por el perno pivote en su centro. La placa transmite la mayoría del peso de la carrocería y las fuerzas de interacción longitudinales y laterales. El perno pivote tiene grandes holguras en el plano de la caja y solo proporciona restricción de desplazamiento en caso de emergencia. Cuando la carrocería oscila en la placa central plana, se produce un par de resistencia de característica suave. La placa central permite que el bogie rote en curvas y crea un par de fricción que resiste a la rotación del bogie. Por lo tanto, la placa circular del centro proporciona una conexión entre el bogie y la caja en todas las direcciones.

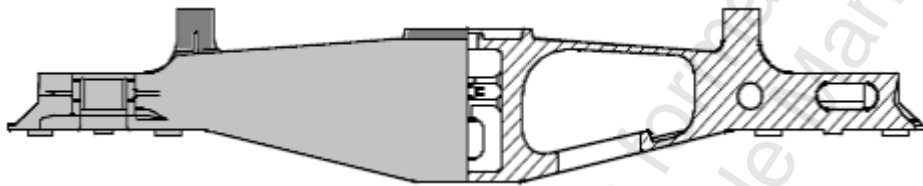


Figura. 2-49 Placa central plana

Un elemento así es de simple construcción, pero tiene varias desventajas:

- En primer lugar, existen separaciones en las direcciones laterales y longitudinales.
- En segundo lugar, el movimiento relativo ocurre bajo alta presión de contacto y por lo tanto las superficies sufren un desgaste significativo.
- En curvas, la carrocería se inclina del lado de soporte, creando un par de fricción adicional que resiste la rotación del bogie y aumenta las fuerzas rueda-carril. Cuando el cuerpo del coche balancea en vía recta, la superficie de contacto llega a ser muy pequeña y las altas presiones del contacto pueden conducir a grietas en la placa central.

Para combatir estos problemas, los diseños modernos utilizan una placa plana central combinada con soportes laterales elásticos que resisten el balanceo del cuerpo del coche y reducen la carga en el soporte central.

### 2.7.2 Bowl esférico central

En este caso, la caja se apoya sobre el Bowl (cuenco o cavidad) esférico y los portadores laterales elásticos. La ventaja de este diseño es la carencia de separación en el plano horizontal y ningún contacto del borde durante el balanceo del vehículo. Esto da lugar a niveles reducidos de tensión de contacto y aumenta la vida de servicio del Bowl esférico central.

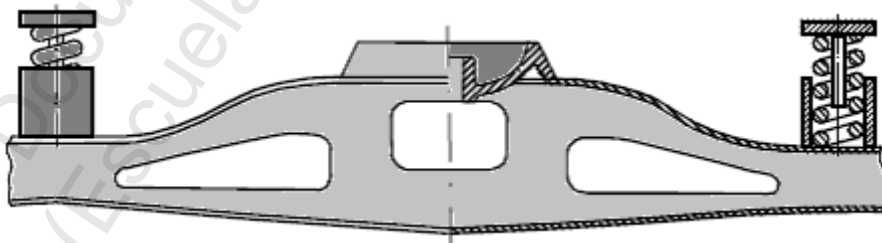


Figura. 2-50 Bowl central esférico

### 2.7.3 Pivote central



El deseo de disminuir lo máximo posible el contacto de borde y de aumentar el par de fricción para resistir la guiñada (del término náutico: giro de la embarcación sobre su eje vertical) del bogie ha llevado al desarrollo de los bogies con pivotes centrales. La mayoría de la masa del chasis es transmitida en este caso a los soportes laterales y el cuerpo del coche puede girar respecto al travesaño únicamente en relación con el cabezal sobre el eje vertical.

Este diseño ha sido ampliamente utilizado en coches de viajeros. Las desventajas incluyen los huecos en las direcciones longitudinal y lateral. El diseño sólo proporciona suficiente calidad de rodadura para los bogies que tienen baja rigidez lateral de suspensión secundaria.

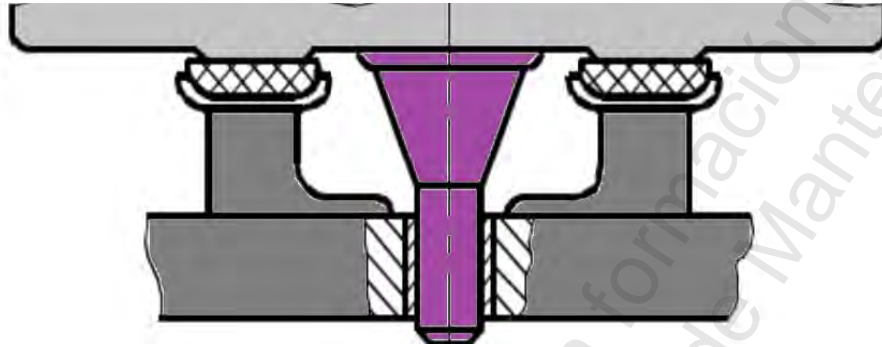


Figura. 2-51 Pivote central

#### 2.7.4 Unión tipo Watts

Este sistema permite que el bogie pivote y se mueva lateralmente mientras que restringe el movimiento longitudinal. Por lo tanto, proporciona medios de transmisión de fuerzas de tracción y de frenado. Los pivotes de la unión están equipados con casquillos de caucho para prevenir la transmisión de vibraciones de alta frecuencia a través del mecanismo.

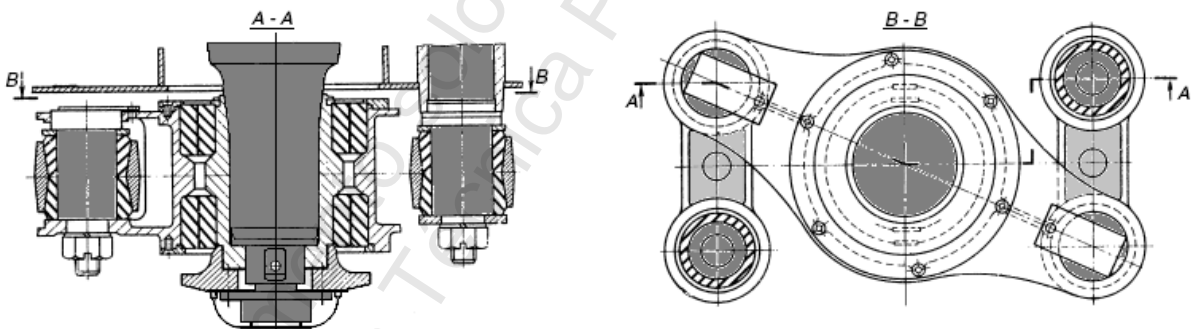


Figura. 2-52 Unión Watts

### 2.7.5 Unión de péndulo

La unión de péndulo consiste en una barra vertical conectada en sus extremos al bastidor del bogie y a la caja por medio de casquillos de goma de forma cónica. El mecanismo se mantiene en una posición central por la acción de dos resortes pre-comprimidos. Los soportes elásticos laterales proporcionan estabilidad lateral al cuerpo del coche. Para los pequeños desplazamientos, típicos del *penduleo* del bogie en vía recta, el soporte de péndulo proporciona enorme rigidez, determinada por la compresión inicial de los resortes.

Cuando se producen grandes desplazamientos en las curvas, el soporte proporciona una rigidez baja. Así, la ayuda del péndulo tiene una característica suave no lineal.

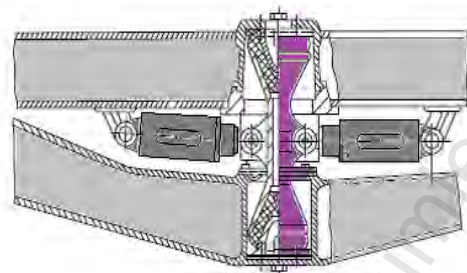


Figura. 2-53 Unión tipo péndulo

La desventaja de tal disposición es la conexión rígida con una holgura en la dirección longitudinal, los complejos requisitos de ajuste los resortes pre-comprimidos, y las fuerzas de fricción en los soportes adicionales de deslizamiento.

### 2.7.6 Conexión sin cabezal

La complejidad de los diseños arriba descritos implicó el desarrollo de modernos bogies sin cabezal usando resortes de tipo "flexicoil" o de tipo neumático. En estas suspensiones los resortes pueden alcanzar grandes deformaciones tangenciales que proporcionan desplazamientos longitudinales suficientemente grandes para permitir que el bogie rote en las curvas.

En el caso de los resortes de tipo "Flexicoil", su parte superior descansa sobre bloques elásticos de caucho para proporcionar una unión cilíndrica con el eje de rotación perpendicular al eje de la vía.

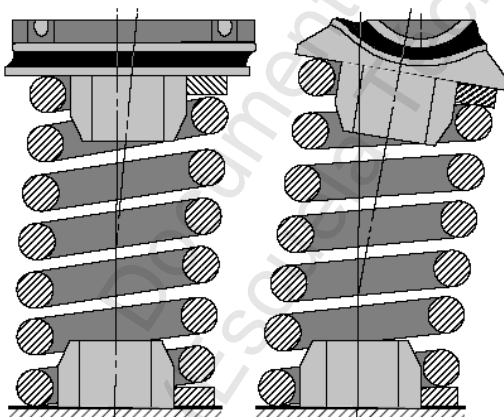
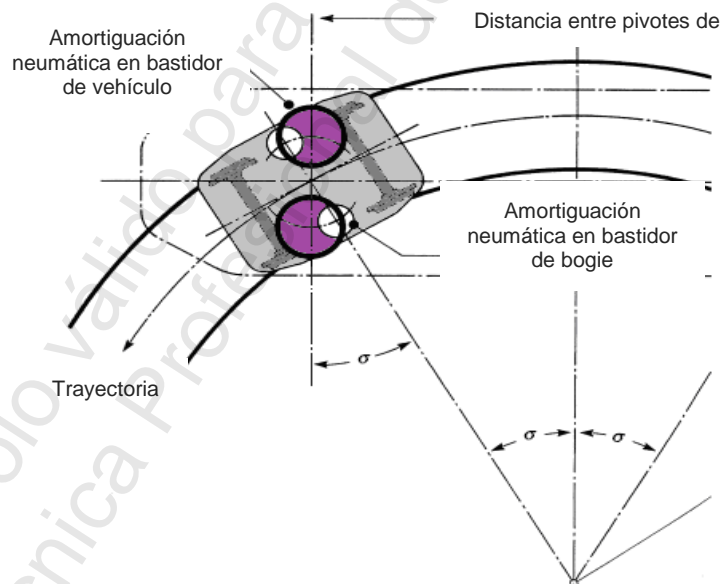


Figura. 2-56 Resortes Flexifloat



Figura. 2-55 Suspensión por balonas neumáticas

En los bogies modernos se suele utilizar varios de estos sistemas de forma conjugada aprovechando también la evolución continua de los mismos. De manera que podemos encontrar en bogies con suspensión secundaria neumática, además de los resortes de aire (balonas neumáticas) y en serie con ellos, unos resortes de caucho-metal para proporcionar una cierta suspensión en caso de que el

resorte de aire se desinflen. La transmisión de fuerzas longitudinales se hace a través del pivote central, uniones Watts, barras de tracción, o en el caso de un bogie Y32 (muy utilizado en Europa), a través de cables de anclaje. Los diseños de bogie sin cabezal alcanzan típicamente reducciones en masa del bogie de alrededor de 0.5 - 1.0 Tm.

### 2.7.7 Barra de tracción-compresión

Aunque en la mayoría de los casos encontramos estos sistemas de transmisión de esfuerzos entre bogie y bastidor del vehículo, existen algunos vehículos que disponen de otro tipo de sistema que realiza este cometido por medio de la denominada "barra de tracción".

Los bogies de algunas locomotoras modernas incorporan una o varias barras de Tracción-Compresión, la cual une mecánicamente la caja de la locomotora con el bogie. El objetivo de la barra de Tracción-Compresión es la transmisión del esfuerzo mecánico de tracción o de frenado del bogie a la caja de la locomotora. Este esfuerzo es más eficiente al encontrarse en un plano inferior al de los sistemas anteriormente expuestos y con ello consigue homogeneizar dichos esfuerzos al transmitirse desde un punto de gravedad más bajo.

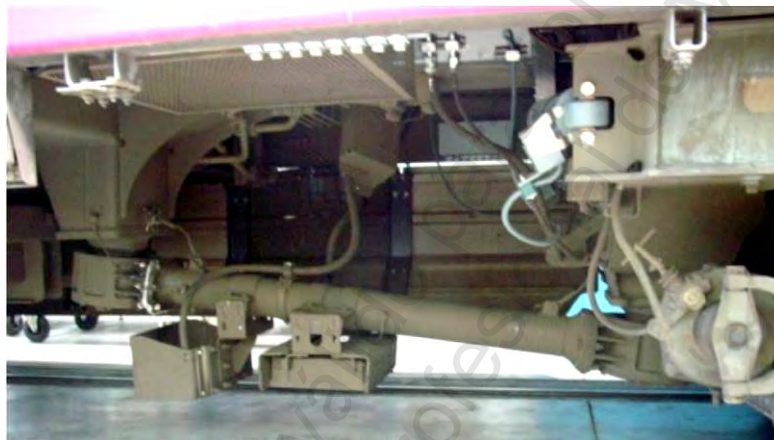


Figura. 2-57 Barra de tracción de locomotora

### 2.7.8 Barras o bielas de guiado

Elementos de unión entre las cajas de grasa y el bogie que permiten el guiado de los ejes con respecto al bogie. Aparecen en algunos vehículos y suelen ir una por caja de grasa. La unión se realiza mediante elementos (esféricos o cilíndricos) de caucho que absorben las posibles vibraciones.

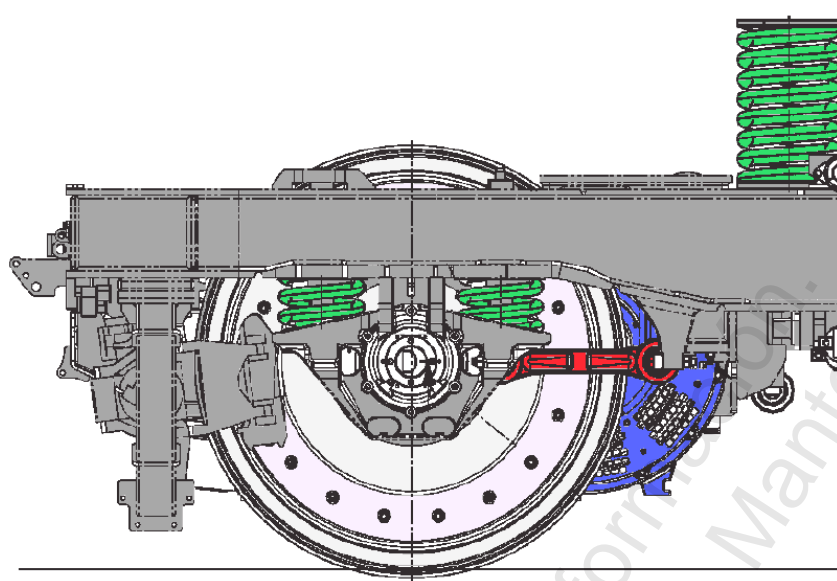


Figura. 2-58 Biela de guiado (en rojo)

## 2.8 ELEMENTOS DE FRENO

El sistema de rodadura (ejes o bogies) y el sistema de frenado del vehículo ferroviario están íntimamente ligados. El freno actúa sobre la banda de rodadura de las ruedas o sobre discos dispuestos en la zona central del eje montado o en el propio velo de las ruedas. En los vehículos con bogie, aparecen en estos mismos, otros elementos fundamentales de freno que en los vehículos no provistos de bogies suelen aparecer bajo el bastidor de la caja del propio vehículo.

Podemos distinguir varios componentes del sistema de freno que podemos encontrar en vehículos ferroviarios. La aparición de estos elementos dependerá del tipo de vehículo y del tipo de rodadura que posea. Su ubicación, disposición, tipo o tamaño dependerán también del tipo de vehículo de manera que veremos estos distintos elementos o no dependiendo de si nos referimos a un bogie motor o remolcado, si el vehículo es un vagón, un coche, una locomotora o un autopropulsado.

Los elementos que podemos encontrar en los sistemas de rodadura, componentes del sistema de freno son:

- Zapatas, portazapatas y timonería de freno.
- Discos de freno.
- Cilindros de freno.
- Tuberías de freno.
- Depósitos de aire.
- Patines electromagnéticos de freno.

### 2.8.1 Zapatas, portazapatas y timonería de freno

En vagones de mercancías y en vehículos de cierta antigüedad encontramos este sistema de freno que consiste en unas **zapatas** que en un principio se fabricaban de hierro colado (fundición) y en la actualidad se realizan con compuestos de fricción más adecuados, menos pesados y más eficientes.



Figura. 2-59 Tipos de zapatas. 1.- Portazapatas 2.- Zapata de fundición 3.- De compuesto 4.- Doble 5.- Espadín

Las zapatas inciden de manera directa sobre la banda de rodadura de la rueda. La presión que ejercen las zapatas produce el frenado de las ruedas. Su principal inconveniente es la producción de desgastes y deformaciones en la banda de rodadura que acortan la vida útil de la rueda.

Las zapatas se encuentran ubicadas en unos elementos llamados **portazapatas** (1) con una forma adaptada a alojarlas. Su fijación a los mismos se realiza mediante unos flejes de acero llamados espadines (5).

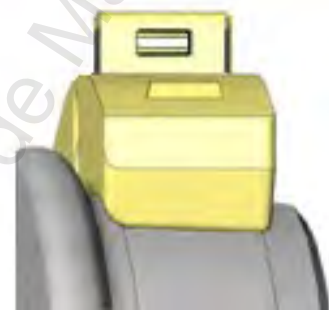


Figura. 2-60 Zapata

La presión de frenado es transmitida desde los cilindros de freno a los portazapatas mediante un sistema o conjunto de elementos compuestos por barras, cadenas, bulones y anclajes que transmiten los esfuerzos mediante un sistema de palancas y que pueden encontrarse bien en el bogie o bajo el bastidor del vehículo. A todo este conjunto se le denomina **timonería de freno**.



Figura. 2-61 Timonería de freno de locomotora con cadenas

### 2.8.2 Discos de freno

Este tipo de dispositivo es el usado casi en exclusiva en los vehículos modernos por su eficiencia y eficacia, por ello lo veremos tanto en coches, como en vehículos autopropulsados, como en locomotoras.

Estos elementos de acero pueden ir colocados en el interior del eje montado (entre las dos ruedas) o en el velo de las ruedas si el interior está ocupado por otros elementos (motores, transmisiones, etc.).

El cilindro de freno actúa sobre un mecanismo en forma de pinza donde van instaladas las pastillas de material compuesto. Estas pastillas son las que ejercen la fricción sobre las dos caras del disco de freno aportando de esta manera, una mayor superficie planificada de fricción que proporciona un frenado mucho más efectivo y que no influye en el desgaste de la banda de rodadura, como ocurre en el sistema de zapatas.



Figura. 2-62 Discos de freno de coche de viajeros (izquierda) y de autotren (derecha)



Figura. 2-63 Disco de freno en velo de rueda de locomotora

### 2.8.3 Cilindros de freno

Es el dispositivo neumático encargado de transformar la presión de aire del circuito de freno en esfuerzo de frenada sobre las zapatas o los discos de freno de las ruedas. Sus características y tamaño dependerán principalmente de:

- El número de elementos de frenada sobre los que reparta su actuación.
- Si actúa solo en freno de servicio o combinado en freno de servicio y de estacionamiento.
- Tipo y exigencias solicitadas dependiendo del vehículo.

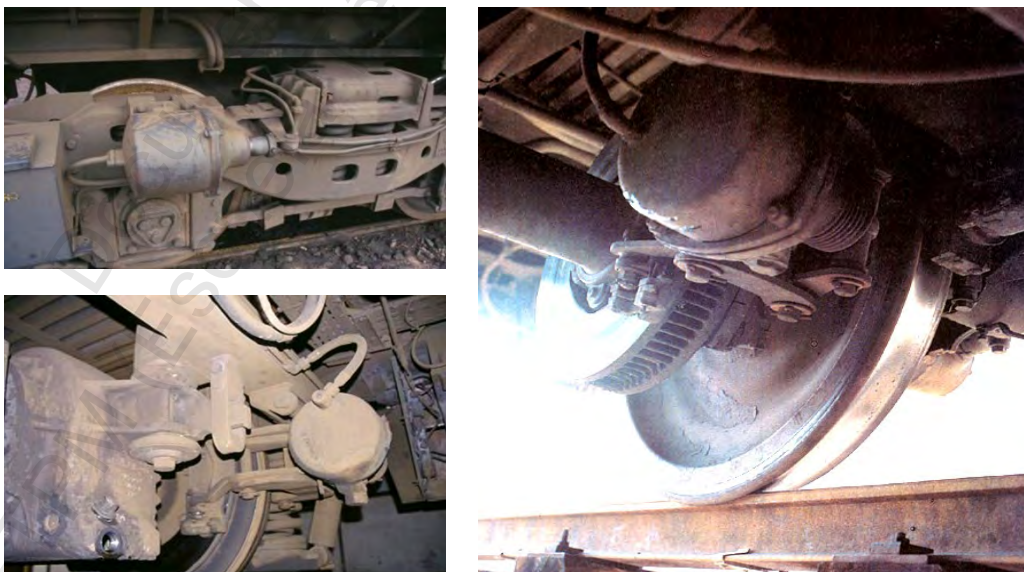


Figura. 2-64 Cilindros de freno de Locomotora (arriba izquierda), de autotren (abajo izquierda), de coche (derecha)



Figura. 2-65 Cilindros de freno sin y con sistema de freno de estacionamiento

#### 2.8.4 Tuberías de circuito neumático y depósitos de aire

En todos los bogies con sistema de freno neumático se encontrarán tuberías o canalizaciones para el aire, bien en forma de tubos rígidos o como mangueras flexibles.

Lo que no es tan habitual es encontrar depósitos para el almacenamiento de aire, pero como en el caso del bogie de la figura inferior, vemos que aparecen dos depósitos (1) de aire en el propio bogie.

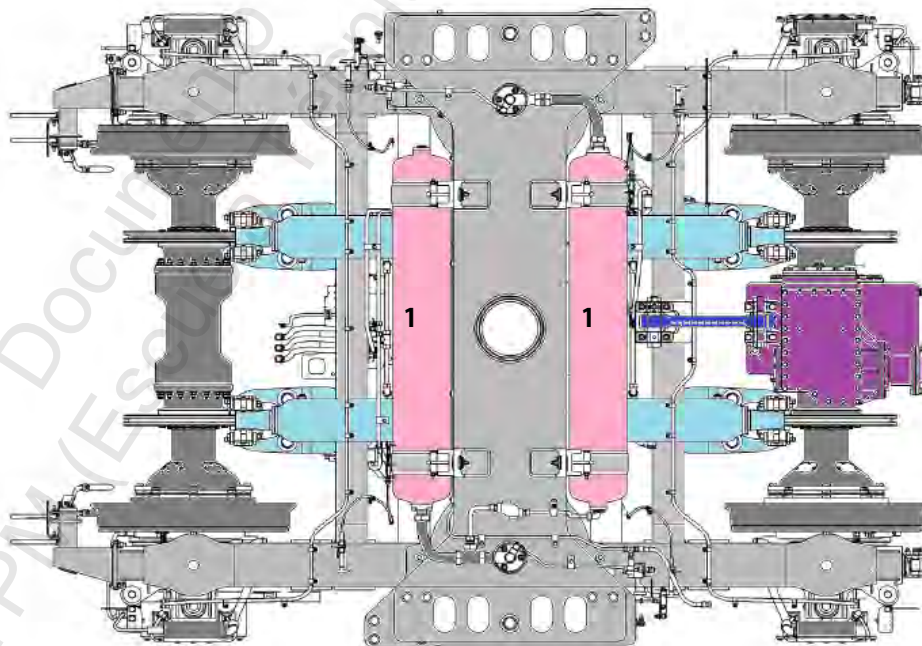


Figura. 2-66 Depósitos de aire en bogie

### 2.8.5 Patines electromagnéticos de freno

El freno electromagnético de patín es un sistema de freno que se utiliza para frenadas bruscas a baja velocidad y en freno de emergencia. Consiste en un patín metálico construido con electroimanes que se alimentan con tensión de batería (para que puedan utilizarse en caso de corte de suministro eléctrico) que se encuentra en los laterales del bogie alineados con los carriles. Al actuar sobre ellos unos pistones hacen descender el patín y lo alimentan de corriente dotándolo de un doble efecto de freno. Un primero por fricción sobre el carril y un segundo por atracción electromagnética sobre el carril.

Su utilización en la actualidad queda reducida en RENFE a los vehículos de las series 440, 444, 448 y 470, además de en algún tipo de tranvía urbano.

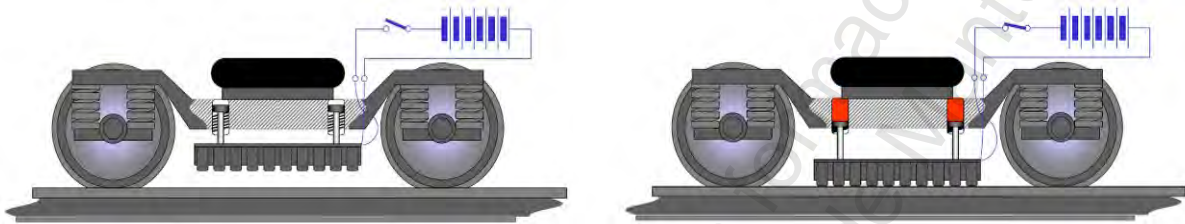


Figura. 2-67 Freno por patín electromagnético



Figura. 2-68 Patín electromagnético de UT de cercanías

No confundir el “freno de patín electromagnético” con el “freno lineal por corrientes de Foucault” que, aunque sus aspectos son muy similares, su funcionamiento es distinto. El primero utiliza la fricción sobre carril además de la atracción electromagnética. El segundo se basa en el principio electromagnético únicamente de manera que no se producen desgastes ni en patín ni en carril por rozamiento. Se comenzó a utilizar en los años 70 en los prototipos del TGV francés, pero se desestimó por la aparición de interferencias con los sistemas de seguridad. Reapareció con el ICE-3 alemán posteriormente.

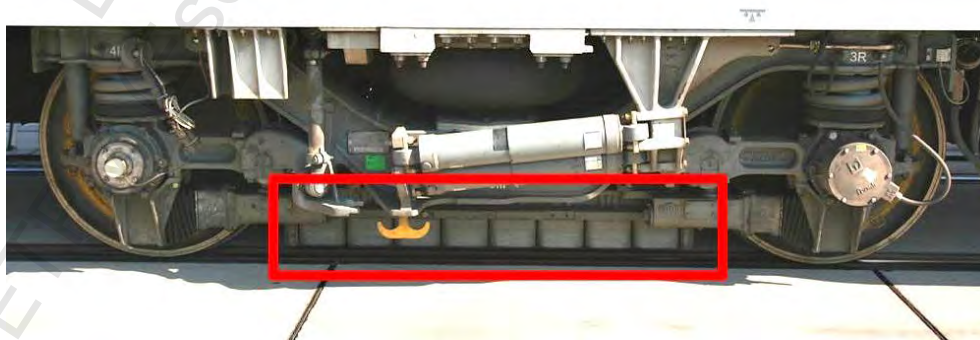


Figura. 2-69 Freno lineal por corrientes de Foucault



## 2.9 OTROS ELEMENTOS

Además de los sistemas y elementos descritos anteriormente, también encontraremos en los bogies y rodaduras elementos que describimos a continuación y que consideramos de relevancia.

### 2.9.1 Odometría

El sistema de odometría en un vehículo es el encargado de medir la velocidad del mismo cuando se encuentra en movimiento a la vez del espacio recorrido por el mismo.

Los odómetros suelen ir colocados en los extremos de los distintos ejes en los vehículos motores de manera que transmiten información sobre su velocidad de rotación y de las posibles diferencias que puedan existir entre ellas. De esta manera se detectan posibles embalamientos o patinajes, para que los equipos de control de la tracción o el freno actúen en consecuencia.

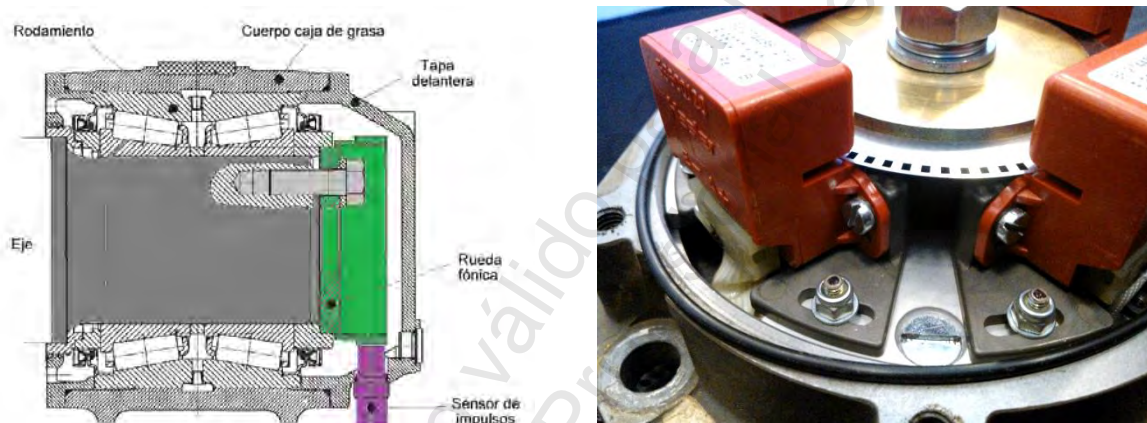


Figura. 2-70 Odómetros. Inductivo (izquierda) y óptico (derecha)

Los odómetros más usuales son los de tipo inductivo. Suelen estar compuestos por una rueda fónica (rueda dentada o almenada) y un sensor inductivo que capta las variaciones de inducción producida por los dientes de la rueda fónica en comparación con los huecos existente entre los mismos.

Otro tipo más evolucionado es el que utiliza células ópticas para la detección de un disco perforado.

### 2.9.2 Acelerómetros

Los bogies montados en las cabezas motrices o en vehículos autopropulsados de última generación, sobre todo los de alta velocidad, posee un sistema de sensores y acelerómetros, los cuales proporcionan a la cabina toda la información necesaria para el perfecto control y seguimiento del estado de la rodadura del bogie. Son esencialmente útiles en sistemas de rodadura desplazable.

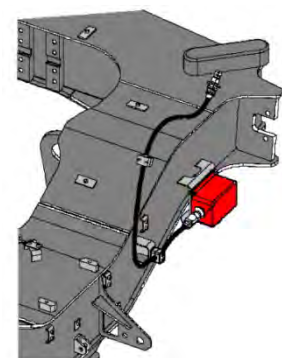


Figura. 2-71 Acelerómetro

### 2.9.3 Sondas de temperatura

Existen vehículos que disponen en cada caja de grasa de una sonda de temperatura con dos termoelementos (PT100). De esta manera, los sistemas de control del vehículo, monitorizan la temperatura de los rodamientos. También pueden aparecer estas sondas o similares en las transmisiones para conocer la temperatura del aceite lubricante de las mismas.

### 2.9.4 Engrase de Pestañas

El equipo de engrase de pestañas tiene la función de disminuir el desgaste de las pestañas, motivado por el rozamiento seco de las ruedas durante la traslación en curvas. El primer eje de los coches extremos está provisto de un sistema de engrase de pestaña. El bogie correspondiente está dotado de las toberas de inyección por aire, que pulverizan sobre el acuerdo pestaña-llanta, una pequeña cantidad de grasa especial cada cierto espacio recorrido. La posición de las boquillas pulverizadoras es regulable a fin de orientarlas convenientemente. El resto del equipo está montado en la caja.

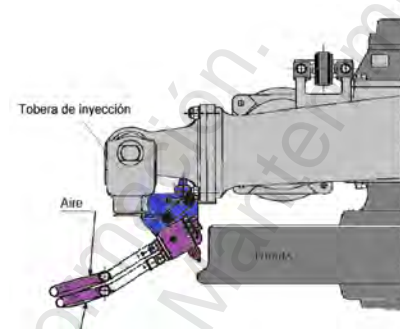


Figura. 2-72 Sistema de engrase de pestaña

### 2.9.5 Areneros

El **arenero** es un dispositivo instalado en los vehículos ferroviarios para mejorar la adherencia entre las ruedas motrices y el rail mediante el empleo de arena. Es especialmente útil en el momento del arranque en circunstancias adversas de adherencia como puede ser la lluvia, el hielo o en rampas pronunciadas, puesto que aumenta el esfuerzo de tracción; no obstante, puede utilizarse siempre que el vehículo ferroviario pierda adherencia.

Los ejes delanteros de los bogies extremos y algunos bogies compartidos (según composición y vehículo), disponen de areneros. Actúan combinados con la dirección de marcha del tren, es decir, sólo se accionan los situados en cabeza de los bogies según el sentido de marcha. Cada arenero está compuesto por una tolva dotada en su parte inferior de un eyector de accionamiento neumático que envía la arena contra la zona de carril. Esta tolva está situada en la parte delantera del bogie o montada en la caja (una a cada lado). Los tubos de los areneros se encuentran dirigidos al punto de contacto de la rueda con el carril. La altura del tubo de arena respecto al carril es regulable. El funcionamiento puede ser automático (patinaje de rueda, freno de urgencia, etc.) o manual desde el pupitre del maquinista.

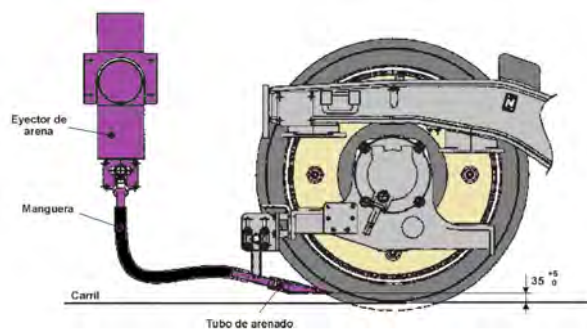


Figura. 2-73 Sistema de arenado rueda- carril

### 2.9.6 Retornos eléctricos en cajas de Grasa

El dispositivo de retorno de corriente y puesta a tierra permite el paso de la corriente de retorno al carril, a través de escobillas, evitando que dicha corriente pase por los rodillos de los rodamientos de la caja de grasa, lo que provocaría que se dañasen.

Además, asegura una correcta puesta a tierra del tren. Es un elemento fundamental en todos los vehículos, esencialmente en los vehículos de tracción eléctrica pues de este elemento depende la correcta puesta a tierra de dicho vehículo, elemento esencial para la seguridad y para el buen funcionamiento de los distintos equipos eléctricos que lo componen.

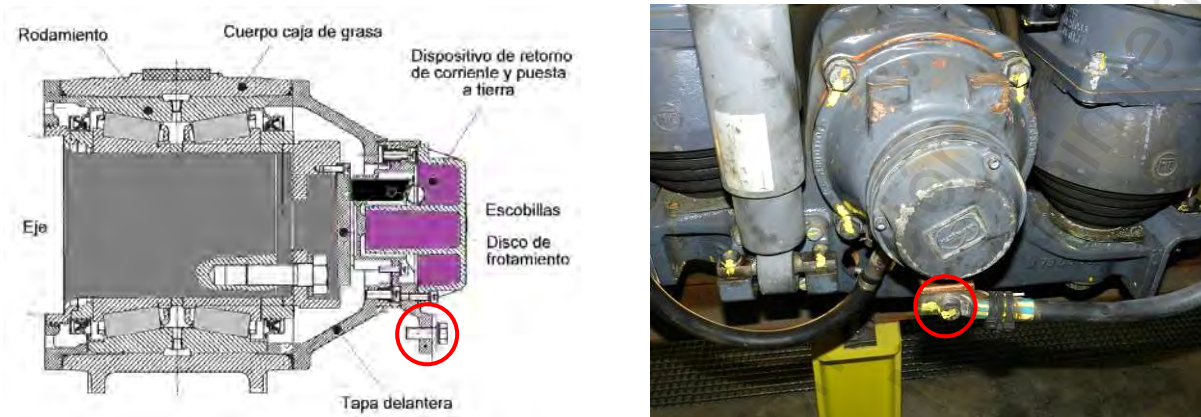


Figura. 2-74 Puesta a masa o retorno de corriente

### 2.9.7 Quitapiedras y quitarreses

Elemento de los vehículos motores encargado de retirar pequeños obstáculos de la vía (piedras de pequeño tamaño) para evitar daños en la rodadura o en otros elementos del bogie que por rebote de las mismas pudieran verse afectados. Los ejes de cabeza del material motor y autopropulsado deberán estar protegidos por quitapiedras cumpliendo el apartado 6 de la ficha UIC 615-1.

Suele consistir en unas placas metálicas sujetas al bastidor del bogie, delante de los ejes exteriores, por medio de tornillería y que forman un conjunto unido por un vástago o eje común, o bien un armazón compacto con una forma determinada que facilite la expulsión de los objetos fuera de la vía. En ocasiones el quitapiedras y el eyector de arenoso forman un solo conjunto.

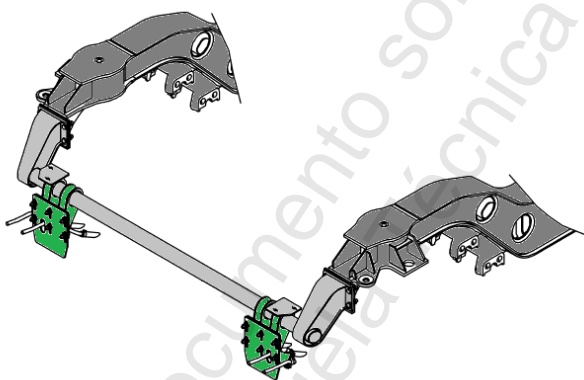


Figura. 2-75 Quitapiedras (en verde a la izquierda) y aparta objetos o quitarreses (derecha)

Los quitarreses cumplen un objetivo similar solo que se encargan de retirar de la vía objetos de mayor tamaño (reses y animales salvajes).

Suelen formar parte en la caja del vehículo (locomotoras) aunque también podemos encontrarlos en la parte exterior de los ejes exteriores de algunos bogies.

### 2.9.8 Captadores

Los vehículos motores y autopropulsados van provistos de sistemas de seguridad, como el ASFA, ERTMS, LZB, etc., en cuyos equipos embarcados aparecen elementos de captación de señales en vía (captadores) y que suelen ir instalados en los bogies extremos. Van instalados sobre soportes que permiten su regulación tanto en altura como en posición transversal.

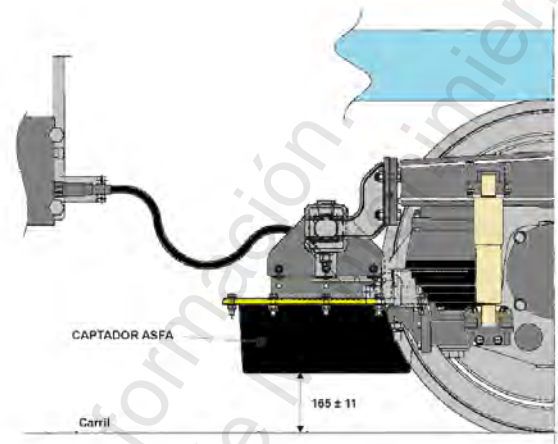


Figura. 2-76 Captadores de ASFA bajo vehículo autopropulsado

### 2.9.9 Equipos de Propulsión (Motores)

Los bogies motores (en vehículos de tracción eléctrica), llevan motores de tracción suspendidos del bastidor del bogie, que accionan cada eje por medio de un acoplamiento y un reductor calado en el eje. El conjunto de la motorización es el encargado de proporcionar los esfuerzos de tracción y frenado eléctrico a los ejes motores. Está constituido por los siguientes elementos, algunos de ellos ya tratados con anterioridad:

- Motor de tracción, suspendido del bastidor del bogie.
- Acoplamiento entre el motor de tracción y el reductor de transmisión.
- Reductor con corona calada en el eje.

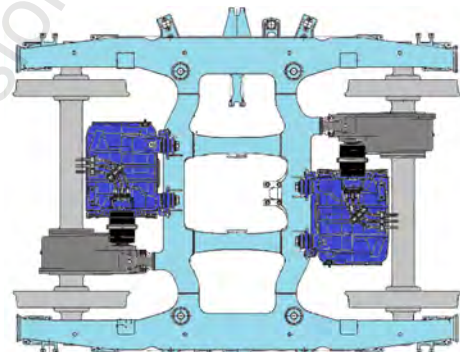


Figura. 2-77 Motor de tracción asociado a un solo eje

ETPM (Escuela Técnica Profesional de Mantenimiento)  
Documento solo válido para formación.



### 3. TIPOS DE BOGIES

Como se comentó con anterioridad, la diversidad de bogies es casi tan extensa como los vehículos existentes. Cada vehículo se diseña para unas prestaciones específicas y sus bogies o sistemas de rodadura se ajustan a estas especificaciones. Por ello clasificaremos los tipos de bogie atendiendo a las siguientes pautas:

#### 3.1 SEGÚN SU FUNCIÓN

Esta clasificación diferencia los bogies atendiendo a su función motriz o simplemente portante.

##### 3.1.1 Bogies Motores

Son los bogies en los que todos o alguno de sus ejes proporcionan tracción al vehículo, bien sea eléctrica o diésel, portando motores y transmisiones o mediante transmisiones indirectas como el tipo *Cardan* sin ubicación de motores en bogie.

Este tipo de bogies los encontraremos en todos los vehículos motores, tanto en locomotoras, donde todos sus bogies son motores, como en autopropulsados o de alta velocidad que pueden tener la tracción distribuida en todos o en algunos de sus bogies.



Figura. 3-1 Bogie de vehículo autopropulsado (izquierda) y de locomotora (derecha)

##### 3.1.2 Bogies Portantes

Estos bogies no proporcionan tracción al vehículo, solo proporcionan la sustentación de la caja y el guiado de la misma, junto con otros aspectos como puede ser la amortiguación, sistema de freno, elementos auxiliares, etc.

No son bogies característicos de locomotoras. Aparecen en coches, vagones y en vehículos autopropulsados con tracción distribuida en alguno de sus bogies.



Figura. 3-2 Bogie portante de vagón de mercancías (izquierda) y de vehículo autopropulsado (derecha)

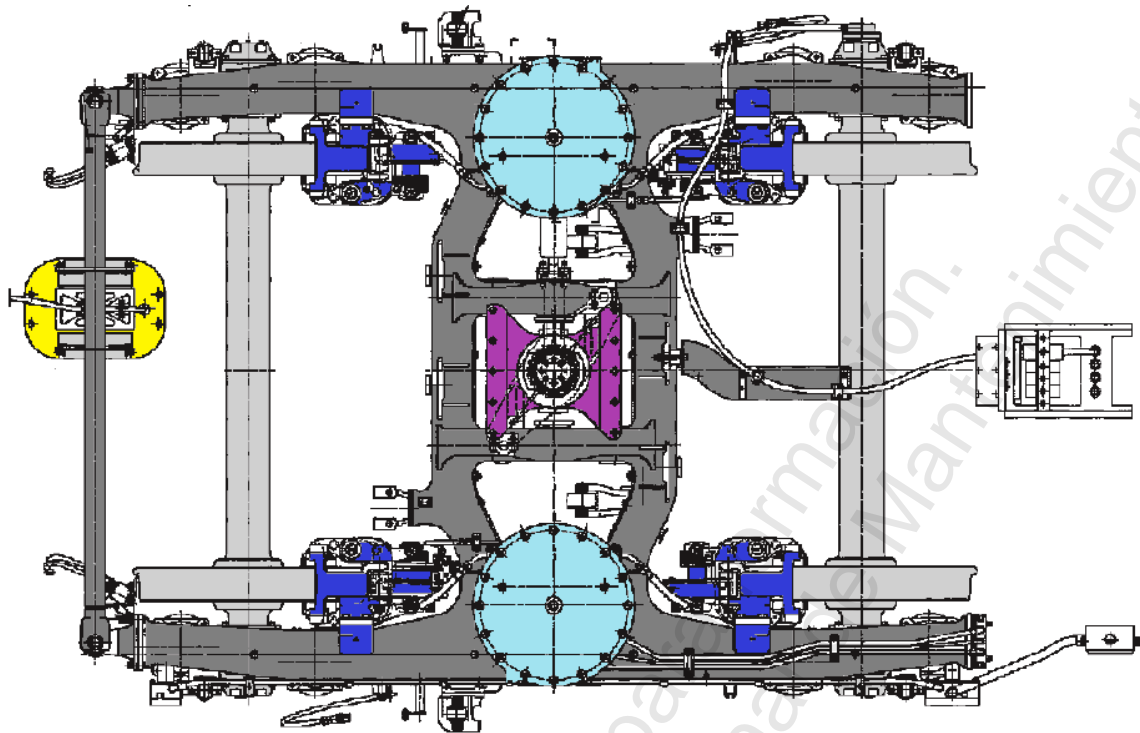


Figura. 3-3 Vista superior de bogie portante de vehículo autopropulsado

## 3.2 SEGÚN EL NÚMERO DE EJES

### 3.2.1 De dos ejes

En el parque de vehículos de RENFE, todos los bogies en vagones, coches, vehículos autopropulsados y de alta velocidad van provistos de dos ejes, adaptándose con esta configuración a las necesidades de explotación de todos ellos.



Figura. 3-4 Bogies de dos ejes

### 3.2.2 De tres ejes

La configuración generalizada en locomotoras es de dos bogies por vehículo. La necesidad de ampliación de potencia propició la aparición de bogies motores con tres ejes en vez de con dos. Ello permitía un aumento de dos ejes más por vehículo y por lo tanto de



dos motores más de tracción. Fue una configuración muy extendida en locomotoras de tipo Diésel-eléctrica, no tanto en locomotoras eléctricas.



Figura. 3-5 Bogies de tres ejes

### 3.3 SEGÚN EL TIPO DE VEHÍCULOS

En este punto se muestran gráficamente algunos ejemplos de bogies atendiendo al tipo de vehículo en el que van instalados, haciendo referencia a los más significativos y usuales.

#### 3.3.1 Vehículos Autopropulsados

La totalidad de los vehículos autopropulsados de la flota actual de RENFE se sustentan con bogies de dos ejes. Algunos bogies son motores con dos propulsores por bogie (un motor por eje), todos ellos con tracción eléctrica. Los automotores diésel suelen portar bogies, también de dos ejes, pero solo uno de ellos es motor (unido al propulsor por medio de eje tipo Cardan) y el eje restante es portante.

También encontramos ciertos vehículos en los que algunos de sus bogies no van motorizados, es decir, que son enteramente portantes.



Figura. 3-6 Bogie de vehículo autopropulsado

Un caso particular es el de los bogies compartidos que aparecen en las unidades de cercanías CIVIA y en los autopropulsados serie 449.

### 3.3.1.1 Bogies Compartidos

Son bogies que sustentan dos cajas consecutivas de un mismo vehículo. Es una solución adoptada para reducir el peso total de la composición y conseguir con ello, mejores prestaciones tanto en trenes para servicios tanto de corta distancia, media distancia o alta velocidad. Es un sistema utilizado en vehículos articulados.



Figura. 3-7 Bogie compartido de vehículo autopropulsado



Figura. 3-8 Disposición de bogies compartidos en vehículo autopropulsado

### 3.3.2 Locomotoras

Como se expuso con anterioridad, la mayoría de las locomotoras presentan la configuración de dos bogies con dos ejes cada uno. Las locomotoras *diésel-eléctricas* suelen configurarse con dos bogies de tres ejes cada uno. Mención especial merece la locomotora eléctrica serie 251 que se compone de tres bogies de dos ejes cada uno.



Figura. 3-9 Bogies en locomotoras. De dos ejes (izquierda) y de tres ejes (derecha)



### 3.3.3 Rodales

Actualmente es el sistema más utilizado en este tipo de vehículos. Fueron patentados por la firma Talgo.

Su característica principal es la independización de las rodaduras utilizando un eje por rueda en vez del eje común de los ejes montados. Su evolución ha conseguido un sistema de rodadura variable y un sistema de suspensión con pendulación de la caja del vehículo. Existen ramas de estos vehículos que pueden ser remolcadas por locomotoras convencionales y otras ramas que, como las utilizadas por el consorcio Talgo-Bombardier, conforman las composiciones de las series 102, 112, 130 y 730 de RENFE. Todas estas series portan bogies en las cabezas motrices y sistema de rodales en los coches de viajeros.



Figura. 3-11 Tren AV con rodales en los coches

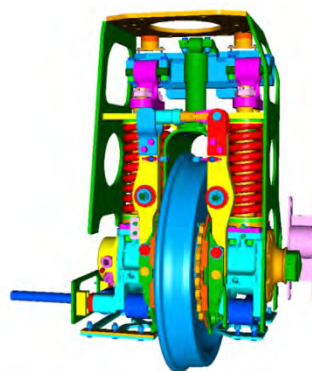
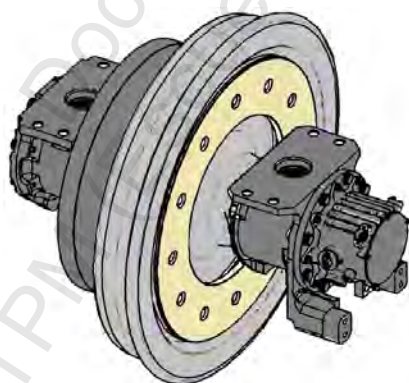
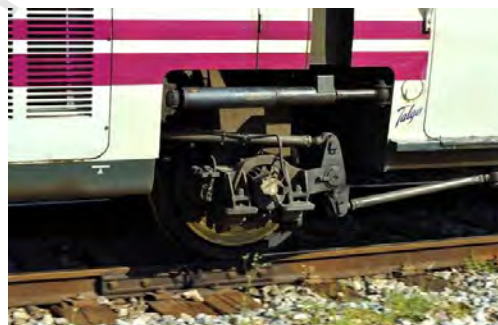


Figura. 3-12 Distintas vistas de rodales tipo Talgo

### 3.3.4 Bogie de mercancías tipo Y-21

La mayoría de los vagones, independientemente de su tipo, van sustentados por bogies de tipo Y-21.

El bogie Y-21, de aplicación en vagones de mercancías deriva del Standard U.I.C. Y-25 adaptado para el ancho de vía español y para tráfico internacional, por lo cual, los portazapatas de freno son desplazables para que puedan actuar en ambos anchos de vía (ibérico e internacional).

Presenta características que lo diferencian de otros tipos de bogies empleados anteriormente entre los que cabe destacar:

- El bastidor descansa sobre las cajas de grasa, provistas de dos robustos platos laterales, por medio de grupos de dos resortes helicoidales, concéntricos y de distinta altura. En cada grupo de resortes trabaja al principio -con poca carga- el muelle exterior y no empieza a trabajar el interior hasta un cierto valor de la carga, con lo cual se obtiene de forma simple una suspensión con dos etapas de flexibilidad.
- Para amortiguar los movimientos inherentes a este tipo de resortes, se emplea un dispositivo tipo SNCF-LENOIR que actúa por fricción variando su acción en función de la carga y evita, además, juegos longitudinales de las cajas en su alojamiento, lo cual favorece la estabilidad de la marcha.
- Para disminuir el movimiento de lazo y mejorar la estabilidad, va provisto de resbaladeras elásticas con una placa superior de material sintético que, al rozar con la resbaladera fija al bastidor del vagón, crea un par de frotamiento cuyo papel es preponderante en vacío y donde la importancia relativa se reduce en carga.
- Igualmente, y para conseguir un par de frotamiento más propicio, se emplea un forro de material sintético interpuesto entre *quicionera* y pivote que elimina las dificultades debidas (en caso de contacto acero-acero) a las degradaciones de las superficies en contacto y a la variación, con el tiempo, del estado de engrase. Por lo indicado en los tres párrafos anteriores es muy **IMPORTANTE** que las superficies de rozamiento-placas de fricción de cajas y del amortiguador, de las resbaladeras y de pivote **ESTEN SIEMPRE EXENTAS DE GRASA**.
- El frenado se consigue mediante una timonería colgada de una serie de soportes soldados al bastidor y accionada por un conector que la une a la de caja del vehículo.



Figura. 3-13 Bogie tipo Y-21 para vagones de mercancías

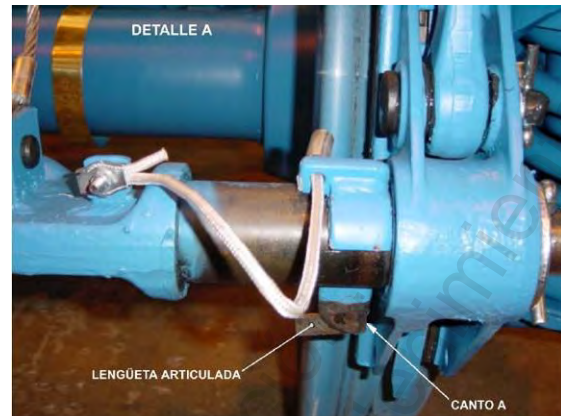
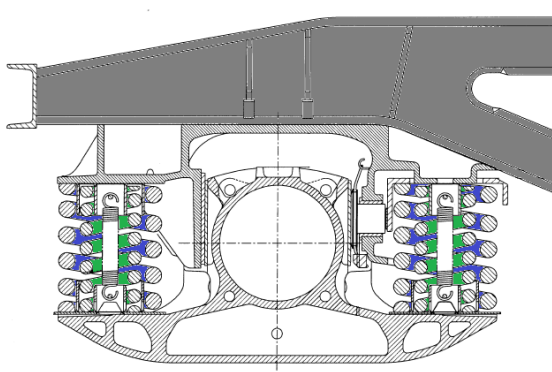


Figura. 3-14 Detalle de la suspensión (izquierda) y del sistema de cambio de ancho (derecha) en bogie Y-21

Existen varias variantes de este tipo de bogie, Cse, Lse/Lsse y Pse. En estos dos últimos, el bogie Y21 está dotado de una válvula neumática de pesada que informa del estado de la carga del vehículo.

Los vagones de mercancías disponen de un mecanismo que informa al distribuidor de freno del estado de la carga del vehículo (Tara si se encuentra vacío o poco cargado y Carga si se encuentra cargado). De esta manera el distribuidor comandará una disposición de frenado, a los cilindros de freno, distinta en cada una de estas situaciones (tara o carga), en presión de aplicación de freno. De esta manera se consigue un frenado más eficiente y seguro.



Figura. 3-15 Bogie y-21 con válvula de pesada

Documento solo válido para formación.  
ETPM (Escuela Técnica Profesional de Mantenimiento)

## 4. SISTEMAS ESPECIALES

Denominamos sistemas especiales a aquellos que aparecen con ciertas singularidades de los estándares de sistemas de rodadura o bogies que utilizan los vehículos ferroviarios con más asiduidad.

Estos sistemas pueden referirse de manera directa al sistema de rodadura, como son los sistemas de rodaduras desplazables o variables, o se pueden referir a sistemas que están íntimamente ligados a las suspensiones, como pueden ser los sistemas de basculación y de pendulación.

### 4.1 RODADURA DESPLAZABLE

El ancho de vía característico de la red ferroviaria española (ancho RENFE) es de 1668 mm. Este ancho es diferente al que se utiliza en la mayoría de los países europeos (ancho estándar o internacional) que es de 1435 mm.

Para que los vehículos ferroviarios pudieran cruzar las fronteras entre España y Europa, fue necesario buscar soluciones para posibilitar el intercambio de circulaciones con el menor coste económico y de tiempo posible.

Además, a partir de 1988 se decide la construcción de nuevas líneas de Alta Velocidad en nuestro país, con ancho internacional.

El gobierno español viene realizando la ampliación de la red de ancho estándar y sustituyendo algunas líneas de ancho RENFE. Esta decisión ha supuesto el aumento de puntos de transición entre los dos tipos de ancho de vía. Para la agilización de los tráficos ferroviarios se han ido ensayando y adoptado, en diversas épocas, algunas soluciones puntuales que se reducen a:

- Facilitar y hacer más económico y sencillo el traspaso de los viajeros y mercancías y los cambios de vehículos.
- Emplear vías de tres o cuatro carriles para que cualquier vehículo, con independencia de su ancho de vía, puedan circular por la misma línea.
- Aplicar sistemas que permitan a los vehículos ferroviarios cambiar de ancho de ejes.



Figura. 4-1 Tercer carril

Este último sistema es el más eficiente de todos, pero a su vez dispone de tres variantes significativas:

1. Intercambio de ejes de vagones o coches y utilización de cabezas tractoras de distinto ancho. Este modelo suele utilizarse principalmente para vagones de mercancías puesto que los coches de viajeros suelen ir dotados de bogies. En nuestro país existen instalaciones de este tipo en Portbou e Irún, y también se han utilizado de manera provisional en la construcción de nuevas líneas de ancho UIC para permitir el paso de trenes de trabajo.
2. Intercambio de bogies en coches de viajeros utilizando infraestructuras preparadas para este fin.



Figura. 4-2 Instalaciones para cambio de bogies de diferente ancho

3. Sistema de cambio automático de ancho mediante instalaciones que lo permiten, en marcha y sin la necesidad de sustitución de ejes ni bogies. Se varía de forma automatizada la distancia entre caras internas de las ruedas. Estos sistemas se utilizan en España desde 1969.

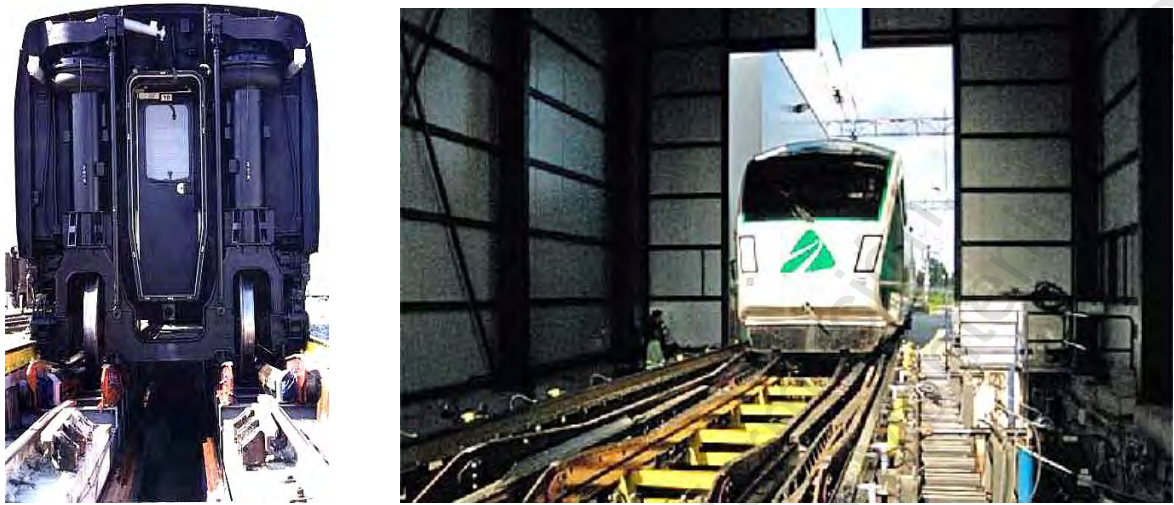


Figura. 4-3 Sistema de cambio automático de ancho de vía

#### 4.1.1 Sistemas de ancho variable

En nuestro país coexisten dos tecnologías diferentes e incompatibles de intercambio automático de anchos de vía:

- **Tecnología TALGO de Rodadura Desplazable**

Es la que cuenta con más experiencia en el mundo. Viene funcionando desde 1969 y en un principio solo se utilizaba para coches Talgo. Actualmente también se utiliza en cabezas tractoras y en vagones de viajeros y mercancías.

Sus principales características son:

- Permite coche de viajeros.
- Permite vagones de carga.
- Permite vehículos motores.
- No permite cambio con carga en rueda.
- Encerrojamiento por cerrojo ascendente.

Los vehículos que utilizan esta tecnología son todos los coches *Talgo* y las composiciones Serie 130, y 730.



Figura. 4-4 Sistema Talgo de rodadura desplazable



El sistema de rodadura de ancho variable de Talgo es característico por disponer de elementos de rodadura individuales. La rueda dispone de un pequeño eje sujeto por medio de rodamientos al bastidor y que la mantiene independiente al resto de los rodales. Este pequeño eje tiene la particularidad de poder desplazarse longitudinalmente permitiendo así la posibilidad de modificar su distancia para adaptarse a distintos tipos de ancho de vía.



Figura. 4-5 Rodal de rodadura desplazable Talgo

- **Tecnología CAF "Brava"**

Aplicada en trenes autopropulsados. Viene funcionando desde el año 2003 y sus principales características son:

- Permite coches de viajeros.
- No permite vagones de carga.
- Permite vehículos motores.
- No permite el cambio con carga en rueda.
- Encerrojamiento tipo rodadura ascendente.

Los vehículos dotados con esta tecnología son los de las series 120, 121 y la subserie 594.200 compuesta por dos unidades, aunque los de las series 449 y 599 vienen preinstalados para poder disponer de este sistema.



Figura. 4-6 Sistema BRAVA de rodadura desplazable

El Sistema BRAVA consiste en dos conjuntos de ruedas (bogie) que tienen la posibilidad de desplazarse lateralmente, de forma preestablecida sobre un eje no móvil.



Figura. 4-7 Sistema BRAVA

Otros sistemas tecnológicos de cambios de ancho de rodadura a nivel internacional son:

- **Sistema polaco SUW2000** aplicable tanto a coches de viajeros como a vagones de mercancías.

- **Sistema alemán DBAG/Rafia "Typ V"** experimental sin aplicación comercial.
- **Tecnología Japonesa** probada desde mediados de los años 90.

## 4.2 SISTEMAS PENDULARES / BASCULANTES

### 4.2.1 Sistemas de basculación pasiva (pendulación)

Desde los principios del ferrocarril, ha existido el problema que supone a los vehículos ferroviarios la transición de tramos de vía rectos a tramos en curva. Al ingresar en curva, los vehículos experimentaban una serie de bandazos, provocados por las fuerzas centrífugas, que se traducen en deformaciones o rotura de carriles, desgaste de pestañas, incomodidades a los viajeros e incluso descarrilos. Para solventar este problema sin tener que efectuar múltiples e incómodas limitaciones de velocidad, se introdujeron en la infraestructura soluciones como el peraltado de la vía y la introducción de curvas de transición. Posteriormente y aprovechando los avances tecnológicos, empezaron a desarrollarse la inclinación de los vehículos ferroviarios en su paso por curva para incrementar su velocidad y confort sin que existiera una disminución de la seguridad. En España utilizamos dos términos para referirnos a las tecnologías de trenes con cajas inclinables que son "pendulación" y "basculación".

Cuando la inclinación de la caja es natural, es decir que se aprovecha la propia inercia de la caja para inclinarla, nos estamos refiriendo a **basculación pasiva** o **pendulación**.

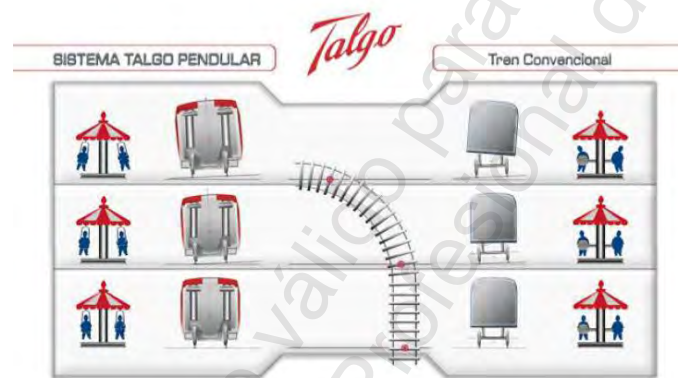


Figura. 4-8 Sistema de basculación Talgo

La tecnología de vehículos pendulares la desarrolló TALGO. Los principales vehículos dotados de esta tecnología, como podemos suponer, son los fabricados por Talgo, coches de viajeros desde el modelo Talgo IV en adelante, y trenes de las series 102, 112, 130 y 730.



Figura. 4-9 Vehículos pendulares Talgo

#### 4.2.2 Sistemas de basculación activa

Entendemos que son trenes “basculantes” aquellos que disponen de tecnología de basculación activa o forzada, es decir que utilizan mecanismos que fuerzan la inclinación de la caja en su recorrido por curva. El principal sistema de basculación es desarrollado por la empresa CAF cuya denominación se identifica con las siglas SIBI aunque existen modelos con tecnología italiana FIAT (ahora Alstom-Italia).

Este tipo de tecnología se aplica generalmente a autopropulsados. Los fabricados con tecnología de basculación italiana FIAT Ferroviaria son la actual serie 490, este sistema va equipado con sensores, giróscopos y acelerómetros. Los de la serie 443, conocido como Platanito, fueron diseñados por FIAT pero con tecnología de basculación de CAF.

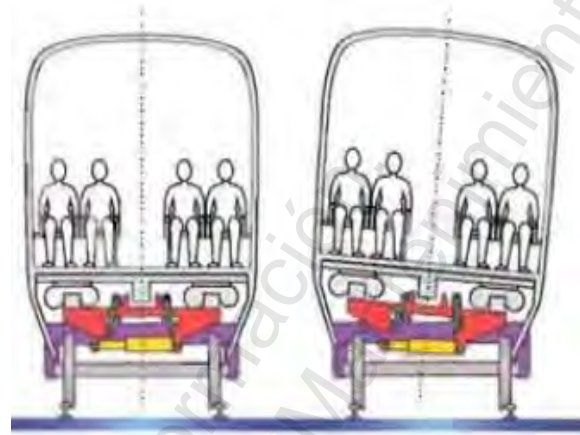


Figura. 4-10 Sistema basculante SIBI

Los dotados con la tecnología SIBI (Sistema Inteligente de Basculación Integral) de CAF son los de las series 594, 598 y 599.



Figura. 4-11 Vehículos con sistema de basculación FIAT-ALSTOM



Figura. 4-12 Vehículos con sistema SIBI (CAF)

El sistema SIBI memoriza el trazado de la línea por donde circula el tren por lo que conoce la situación de las curvas antes de encontrarse en ellas. El SDP (Sistema de detección de posición de tren) calcula su posición exacta en el trazado y realiza un ajuste continuo de la posición calculada y las compara con los datos memorizados. Para ello se sirve de unos sensores montados en el propio equipo y en el bogie. Actualmente el SDP utiliza el sistema de localización GPS para comprobar la coherencia de la posición calculada.

Las principales ventajas de este sistema con respecto a otros similares son:

- Actúa anticipándose a las curvas.
- Conoce las características del trazado.
- No actúa sobre defectos puntuales del trazado (golpes de vía).
- Informa al maquinista de la velocidad máxima en paso por curva.

Estas ventajas proporcionan más confort en los viajeros al paso por curva y posibilita el aumento de velocidad en las mismas acortando los tiempos de viaje.

Este sistema de basculación es susceptible de ser anulado bien manualmente por decisión del maquinista o bien de manera automática si el sistema detecta fallos, en este estado, el vehículo circulará por curva como tipo A.



Figura. 4-13 Actuador de sistema SIBI



Figura. 4-14 Detalle de actuador de pupitre del sistema SIBI

## 5. SISTEMAS DE TRACCIÓN Y DE CHOQUE

Los vehículos ferroviarios cuando se encuentran en movimiento, se hallan sometidos a continuos esfuerzos de tracción y de compresión. Estos esfuerzos son producidos en situaciones como la de tracción, la de frenado o las de deriva.

Estos esfuerzos deben de ser transmitidos y soportados por los distintos vehículos que componen un tren o composición ferroviaria.

Los órganos encargados de transmitir y soportar estos tipos de esfuerzos son los denominados de tracción y choque y suelen ir ubicados en los testeros de los vehículos.

### 5.1 CONJUNTO DE TRACCIÓN

Es el conjunto de elementos destinado a la transmisión de esfuerzos de tracción entre un vehículo y otro que pertenecen a una misma composición.

Para el enganche, debe conseguirse, además de una unión mecánica, la continuidad del circuito neumático y del eléctrico entre vehículos.

Existen dos tipos de enganche:

- Enganche manual o convencional (gancho de tracción).
- Enganche automático

#### 5.1.1 Gancho de tracción

La unión mecánica de los enganches manuales o convencionales se efectúa mediante un conjunto de elementos denominado gancho de tracción y que está compuesto de los siguientes elementos:

1	Gancho de tracción
2	Biela
3	Manija
4	Husillo o tensor
5	Brida
6	Gancho de apoyo
7	Bulones y pasadores
8	Resbaladera

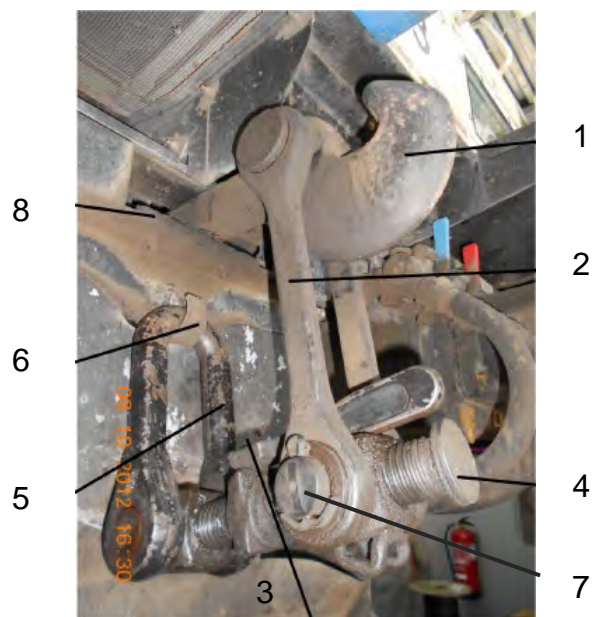


Figura. 5-1 Gancho de tracción

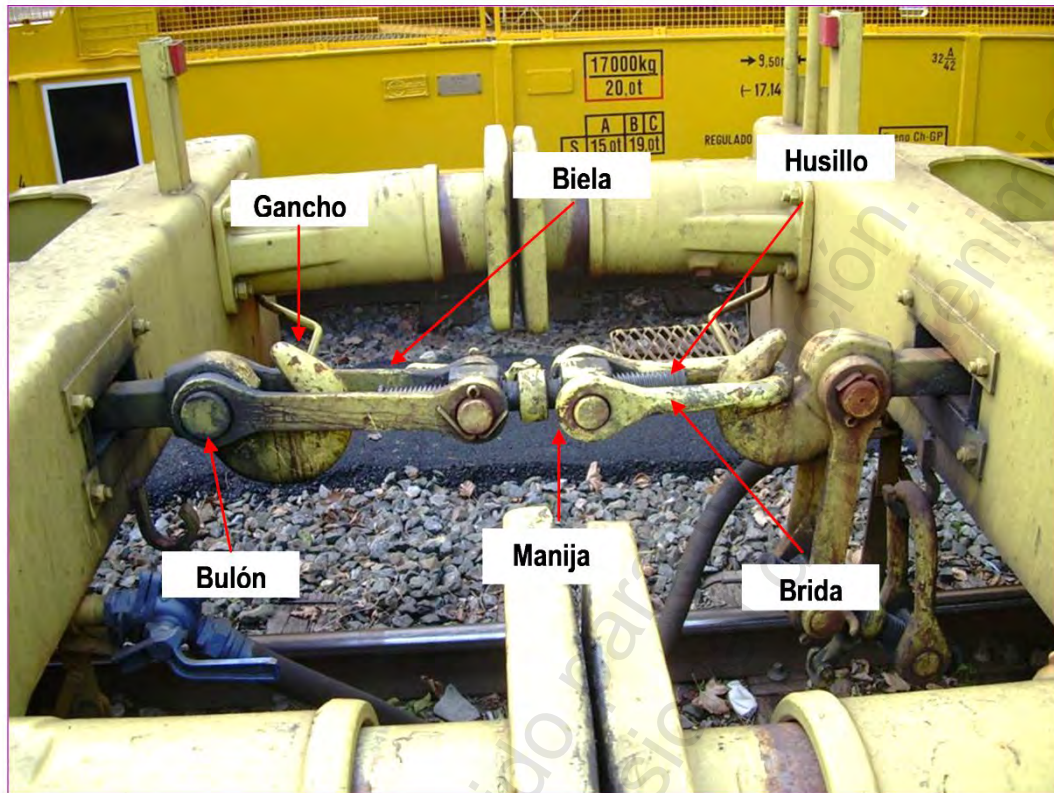


Figura. 5-2 Conjunto de tracción. Elementos.

forma manual mientras que en los sistemas automáticos no es necesaria la participación directa (según el tipo) de un operario.

### 5.1.1.1 Gancho de tracción

La misión de estos ganchos elásticos es la de transmitir el esfuerzo de tracción generado por el vehículo tractor, hacia la unidad remolcada.

Este elemento se encuentra unido al bastidor del vehículo por medio de unos resortes que actúan de sistema amortiguador de los esfuerzos de tracción. Actualmente estos resortes suelen estar formados por anillos elásticos, aunque en vehículos más antiguos aparecían muelles helicoidales. También podemos encontrar sistemas de resorte tipo goma/caucho-metal como los muelles tipo Batra.

Los anillos correspondientes al elemento elástico de fricción situados en el equipo, están diseñados de forma que, al alcanzarse el máximo recorrido elástico, las caras frontales de los anillos interiores llegan a establecer contacto entre sí, conformando de esta forma una columna rígida.

Los esfuerzos de tracción son transmitidos a través del gancho de tracción al bastidor de la locomotora.

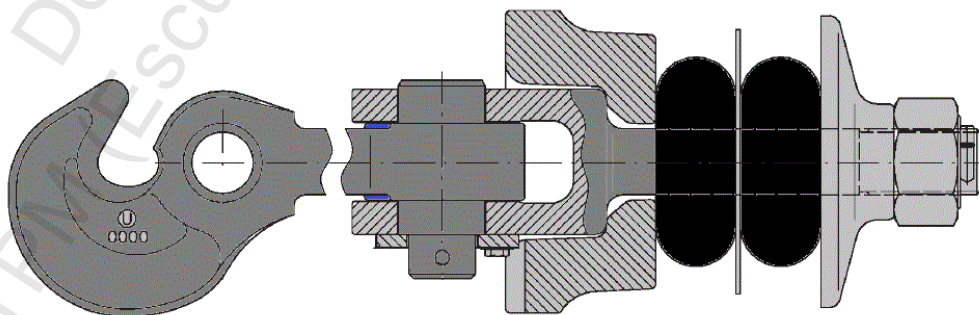


Figura. 5-3 Gancho de tracción con anillos elásticos



Figura. 5-4 Gancho de tracción desmontado

### 5.1.1.2 Biela

El elemento biela está formado por dos bielas unidas por bulones asegurados por pasadores. Una parte de la biela está unida al propio gancho de tracción y la otra al bloque roscado por donde avanza el husillo.

Este conjunto articula parte del conjunto de enganche gracias a la movilidad que proporcionan las uniones por orificio y bulón.

### 5.1.1.3 Husillo

Este elemento está formado por un esparrago roscado en sus dos extremos por roscas contrapuestas, es decir, una rosca a derechas y la otra a izquierdas. En el centro del esparrago se encuentra un maneral articulado denominado manija que facilita el esfuerzo de giro del husillo.

El husillo se encuentra roscado sobre dos bloques roscados, uno de ellos fijado a la biela mediante bulón y pasador y el otro a la brida fijado con el mismo sistema.



Figura. 5-5 Biela

Al tratarse de roscas contrapuestas supone que al girar el husillo sobre su eje en un sentido producirá la separación de los dos bloques roscados y girando en sentido contrario producirá el efecto contrario, es decir, la aproximación de los bloques roscados.

Esta funcionalidad confiere al conjunto de enganche de la posibilidad de cambiar su longitud al efectuar el propio giro del husillo, aumentando si se gira en un sentido y disminuyendo en el otro.

Esta particularidad confiere al conjunto, una vez que se encuentra acoplado, la capacidad tensora que se necesita a la hora de ajustar su dimensión después de realizarse un enganche entre dos vehículos ferroviarios.

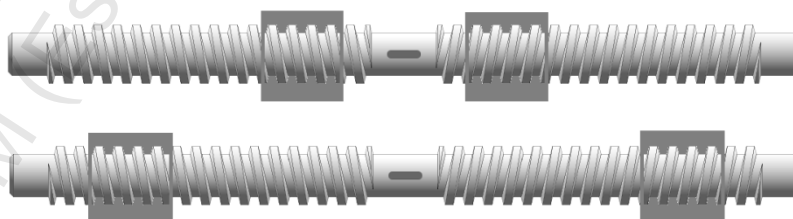


Figura. 5-6 Funcionalidad del husillo

### 5.1.1.4 Brida

Elemento con forma de U en cuya parte abierta se encuentra fijado mediante bulón y pasador un bloque roscado donde rosca el husillo y su parte cerrada se utiliza para introducirse sobre el gancho de tracción del vehículo contiguo.



Figura. 5-7 Brida

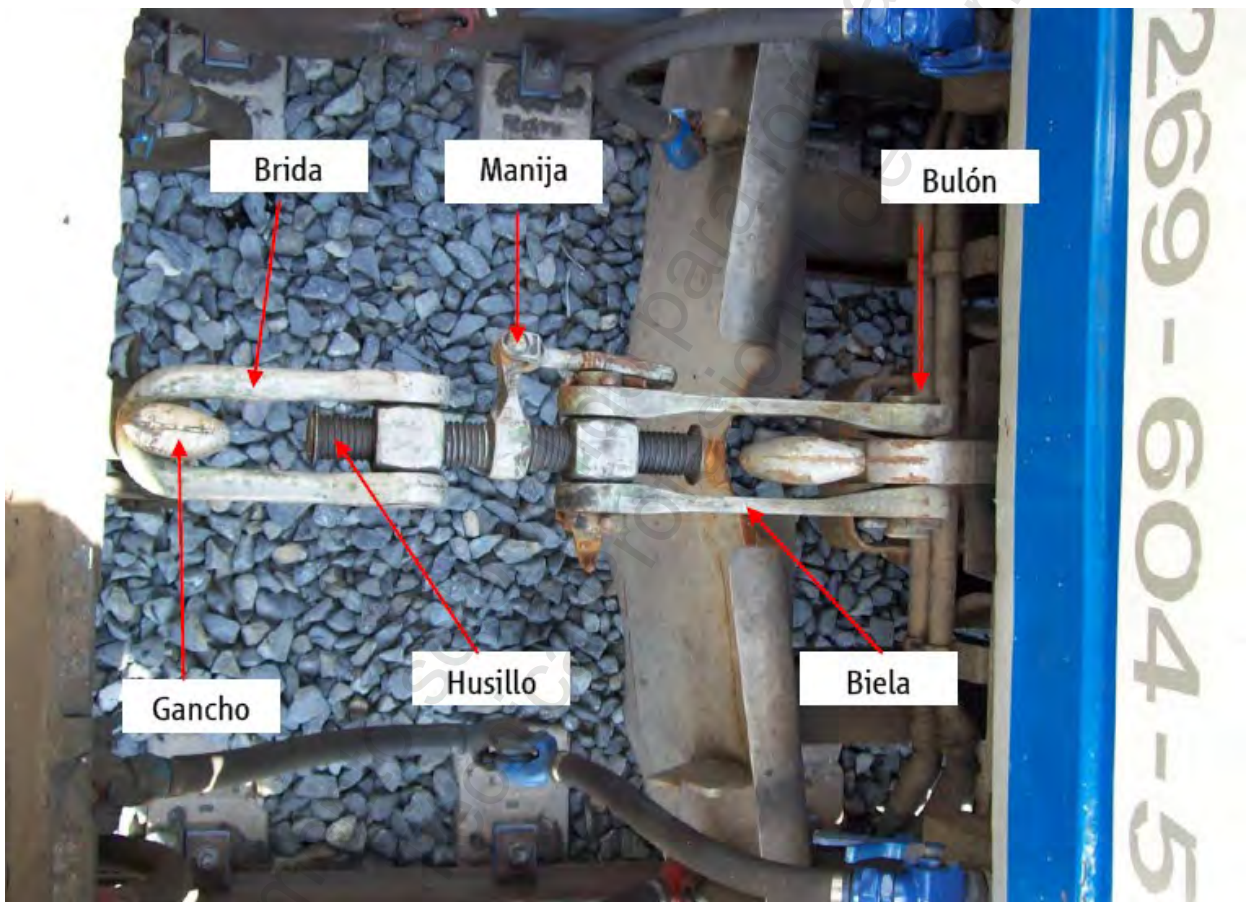


Figura. 5-8 Conjunto de tracción

### 5.1.1.5 Bulones y pasadores

El conjunto es articulado gracias a las uniones de sus elementos (gancho-biela-bloque roscado y brida-bloque roscado) mediante bulones que van sujetos mediante pasadores de aletas.

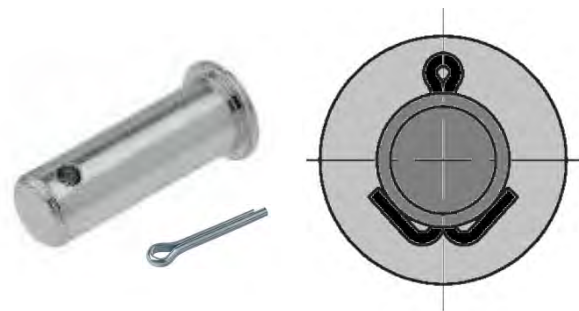


Figura. 5-9 Bulón y pasador de aletas



### 5.1.1.6 Gancho de apoyo

Este elemento, aunque no se encuentra propiamente dicho en el conjunto de gancho de tracción y enganche, es un elemento sumamente importante para el conjunto.

Se encuentra sujeto al bastidor del vehículo, en su testero frontal, generalmente mediante soldadura y su misión es la de proporcionar una sujeción al conjunto, mediante la brida, cuando el sistema de enganche no es utilizado.

Es importante que el mecanismo de enganche no quede suelto pues con los movimientos producidos al circular el vehículo puede golpear en otros elementos o equipos del vehículo y producir en estos y en sí mismo algún tipo de desperfectos.



Figura. 5-10 Gancho de apoyo

### 5.1.1.7 Conexiones neumáticas y eléctricas

Este tipo de sistema de enganche manual o convencional necesita de la actuación de una persona para efectuar todo tipo de conexiones, tanto la mecánica como la neumática como la eléctrica.

La conexión neumática se efectúa por medio de semiacoplamientos neumáticos.

Estos semiacoplamientos consisten, habitualmente, en dos juegos de mangueras neumáticas especiales conectadas al circuito de freno mediante dos conectores provistos de llaves de aislamiento que se encuentran situadas en el testero del vehículo a ambos lados del conjunto de tracción.

En sus extremos dispondrán de conectores que serán diferentes si se trata de TDP (en rojo) o TFA (en azul)

Las conexiones eléctricas se efectuarán también de forma manual por medio de mangueras y conectores de acoplamiento de mando múltiple.



Figura. 5-11 Semiacoplamientos



Figura. 5-12 Conector eléctrico de mando múltiple

## 5.2 CONJUNTO DE CHOQUE

Los vehículos dotados del sistema de enganche manual o convencional, van dotados del aparato de choque denominado tope, cuyo objeto es amortiguar los impulsos que se producen en el contacto entre topes de vehículos consecutivos durante la marcha, en el frenado o en las maniobras.

Van situados simétricamente al eje del vehículo y, cada uno de ellos, está constituido por un contratope, un tope y un muelle interpuesto entre ambos. El tope desliza dentro del contratope y el muelle tiene por misión absorber la energía del choque. La sujeción al bastidor del vehículo se realiza por medio de cuatro tornillos sujetos por medio de tuercas almenadas. En la ficha UIC 526, se regulan las características técnicas de este elemento

Los órganos de choque y enganche se montan a una altura del carril de 1060 mm., con una tolerancia de + 5 mm. -20 mm, permitiéndose una diferencia de altura entre los topes de un mismo testero de 10 mm. En determinados vehículos, se puede variar la compresión mecánica de los topes, formando éstos parte del sistema de guiado del vehículo.

### 5.2.1 Topes

Esencialmente los topes están constituidos por los siguientes elementos:

- Tope
- Contratope



Figura. 5-13 Conjunto de choque

#### 5.2.1.1 Tope

El tope es el elemento directo que soporta los choques y a su vez se pueden distinguir dos zonas bien definidas:

##### Plato:

Parte exterior plana que puede aparecer de diferentes formas; redonda, cuadrada, rectangular e inespecifica (como aparece en la imagen).

##### Caña:

Zona cilíndrica hueca que va unida al plato mediante soldadura y en cuyos laterales aparecerá una zona rasgada para la circulación y tope de la chaveta.

Esta parte se ubicará en el interior del contratope.



Figura. 5-14 Tope

### 5.2.1.2 Contratope

El contratope es el otro elemento del conjunto de choque. Está constituido por un cilindro hueco en cuya base se encuentra una placa plana con taladros en sus esquinas. Son los puntos de fijación al testero del vehículo por medio de tornillería.

En su interior se encuentra el resorte para la absorción de impactos que puede ser de diversas formas y materiales. Desde cojinetes lisos a elastómeros pasando por muelles helicoidales o amortiguador hidráulico.

En sus laterales suelen parecer hasta dos orificios dependiendo del modelo. Uno de ellos es para el alojamiento de la chaveta y el otro es una ventana de visita para inspeccionar el estado del resorte interior.

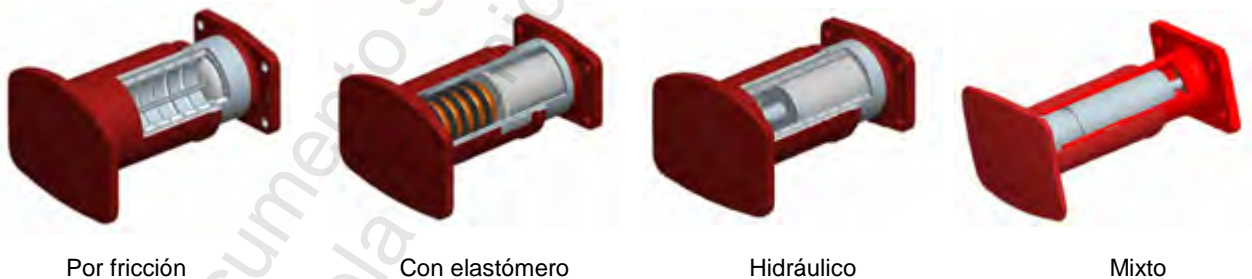


Figura. 5-15 Contratope

La chaveta engarza el tope y el contratope de manera que en los estados de tracción o descompresión del resorte interior impide la salida o desmontaje del tope sobre el contratope. Se asegura por medio de un pasador de aletas y se encuentra ubicada con un ángulo de 45° con respecto a la vertical.



Figura. 5-16 Chavetas. Ubicación.



Por fricción

Con elastómero

Hidráulico

Mixto

Figura. 5-17 Tipos de tope según elemento resorte

En los vehículos modernos con enganche convencional, se disponen de un tipo de topes conocidos como topes deformables de absorción de impactos, que pueden ir montados indistintamente sobre el bastidor o en una traviesa. Este tipo de tope actúa a modo de amortiguador de colisión, en caso de superar el límite de amortiguación, absorbiendo parte del impacto mediante su propia deformación. Una flecha de color indica el estado del tope. Cuando se produce un impacto que puede ser amortiguado por el mecanismo interno, este se recupera volviendo a estar dispuesto, pero si no se recupera, la flecha o parte de ella quedará oculta en el contratope, pudiendo incluso darse el caso de que se deforme la caña del tope o contratope.

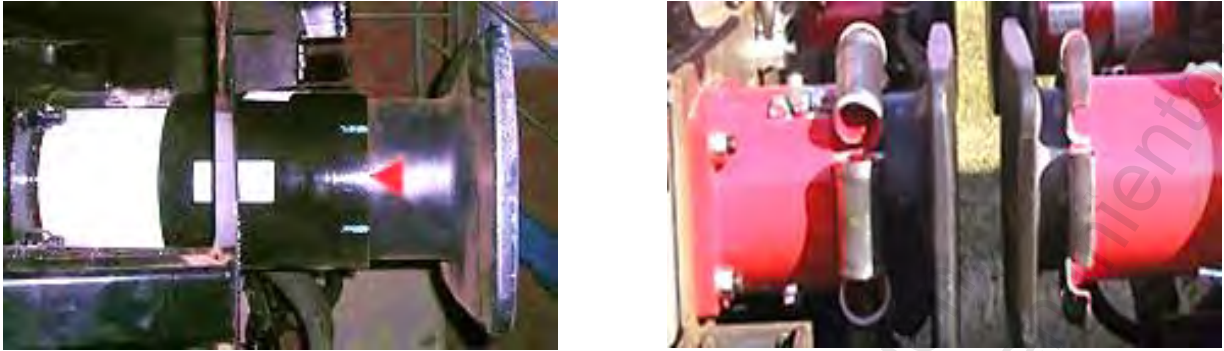


Figura. 5-18 Topes deformables

### 5.3 ACOPLAMIENTOS AUTOMÁTICOS

Los enganches automáticos, surgen como una evolución del convencional, resolviendo necesidades de operatividad, de resistencia y de agilidad a la hora de poder efectuar el acoplamiento de una manera automática de dos vehículos (generalmente autopropulsados).

Los vehículos dotados de enganche automático, normalmente carecen de topes convencionales, su función es asumida por propio enganche. Se pueden dividir en:

- Enganche mecánico, con los acoplamientos neumáticos y eléctricos.
- Enganche mecánico, con acoplamiento neumático.
- Enganche mecánico.
- Enganches auxiliares para socorros y maniobras.

#### 5.3.1 Sistema mecánico con acoplamiento neumático y eléctrico. Scharfenberg

El enganche automático SCHARFENBERG está diseñado para acoplar automáticamente dos coches motores de distintas unidades de tren siempre y cuando ambas estén dotadas del mismo tipo de enganche. Existe por tanto un enganche automático en el cabecero frontal de cada coche extremo.

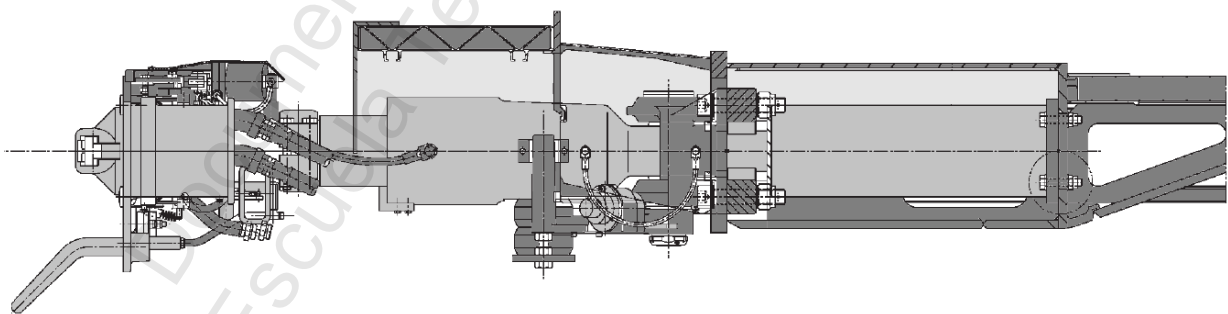


Figura. 5-19 Sistema de acoplamiento automático Scharfenberg

Al aproximar entre sí dos unidades de tren, a baja velocidad se produce automáticamente un acoplamiento mecánico, eléctrico y neumático a la vez.

El desacoplamiento de los enganches automáticos es también completamente automático y se acciona desde cualquiera de las dos cabinas de conducción mediante el pulsador de desacople, situado en el panel del pupitre de conducción. No obstante, y por razones de seguridad y de funcionalidad, está incorporado un sistema manual de desacoplamiento.

Cuando el sistema no está acoplado, el enganche automático suele estar protegido por una capota de accionamiento automático que protege el sistema y proporciona una superficie aerodinámica al vehículo.

En algunos vehículos el sistema puede disponer de un mecanismo retráctil, quedando posicionados para el enganche al realizar la apertura del carenado.



Figura. 5-20 Scharfenberg y trampilla de enganche

Dispone de llaves para el aislamiento de las conexiones neumáticas, así como de un enclavamiento mecánico o neumático para impedir que se realice el acoplamiento eléctrico cuando sólo se precise enganchar mecánicamente. Las conexiones eléctricas pueden estar indistintamente situadas en la parte superior, en los laterales y en algunos casos en el inferior, no disponiendo en este caso de guía. Las conexiones eléctricas vienen dispuestas en una botonera con tapa retráctil

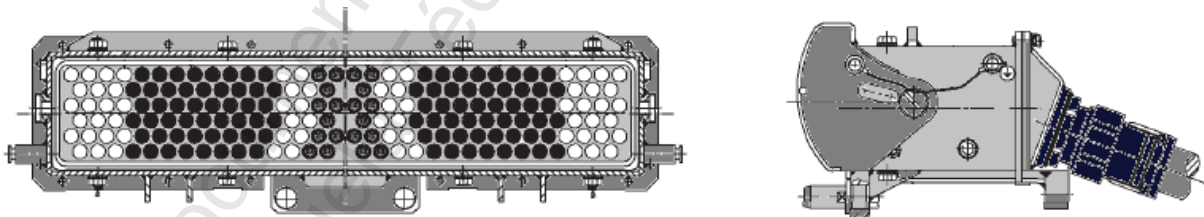


Figura. 5-21 Botonera y caja de botonera

La conexión neumática se efectúa por medio de dos orificios de conexión para freno (uno de TFA y otro de TDP) y otro de alimentación neumática del sistema. Estos elementos de conexión podrán variar dependiendo del tipo o modelo de enganche automático.

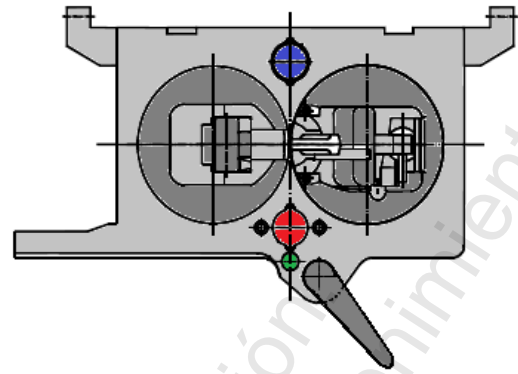


Figura. 5-22 Conexiones neumáticas

La conexión mecánica se efectúa por medio de un sistema de cerrojos automáticos que proporcionan el aseguramiento del sistema.

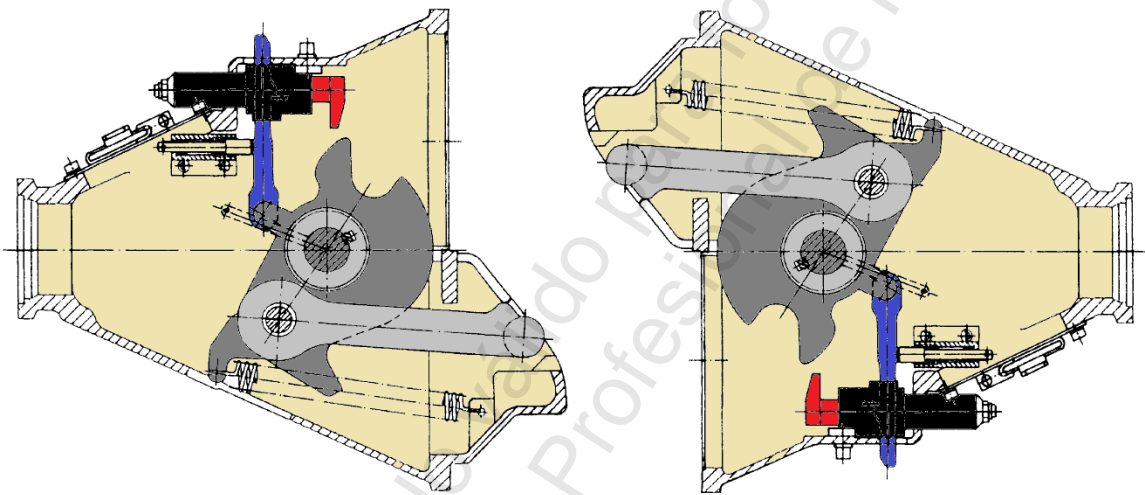


Figura. 5-23 Listo para acoplar

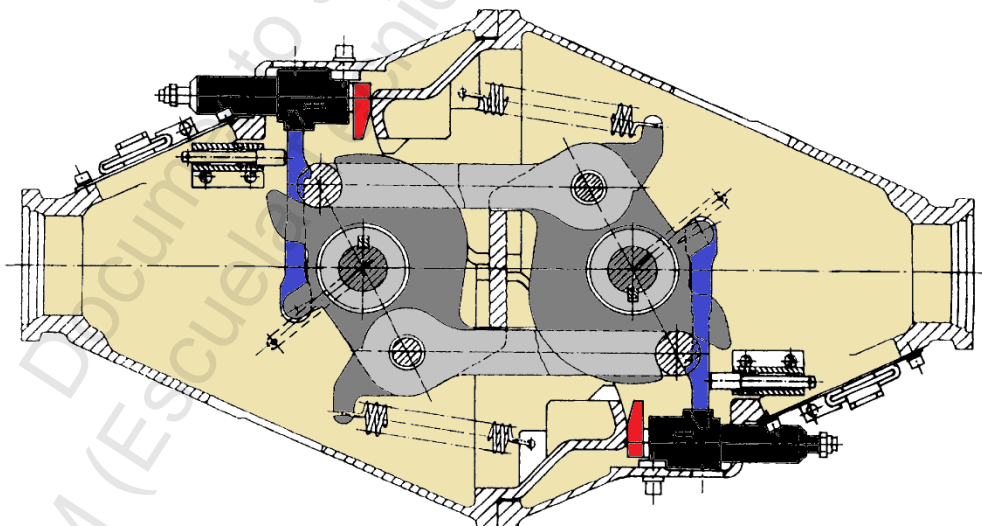


Figura. 5-24 Acoplado

### 5.3.1.1 Sistema Semipermanente

En vehículos autopropulsados que disponen de enganche automático en los extremos de la composición, es frecuente que para el acoplamiento entre coches intermedios utilicen otro tipo de enganche que no es automático, denominado semipermanente, que establece igualmente la continuidad neumática y eléctrica.

Al tratarse de composiciones indeformables, este tipo de acoplamiento, sólo se manipula para tareas de mantenimiento.

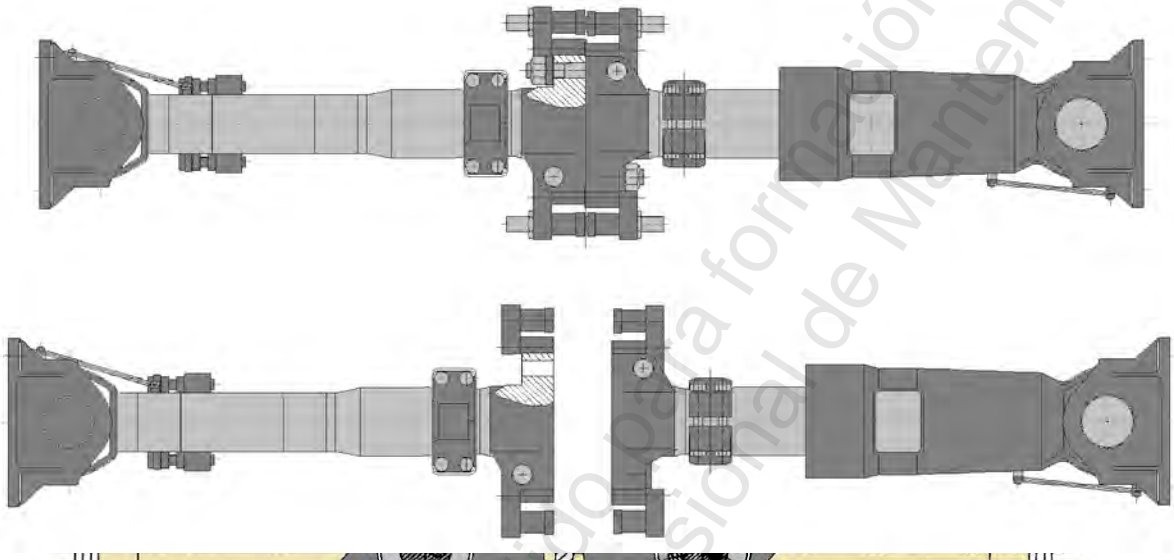


Figura. 5-26 Enganche semipermanente

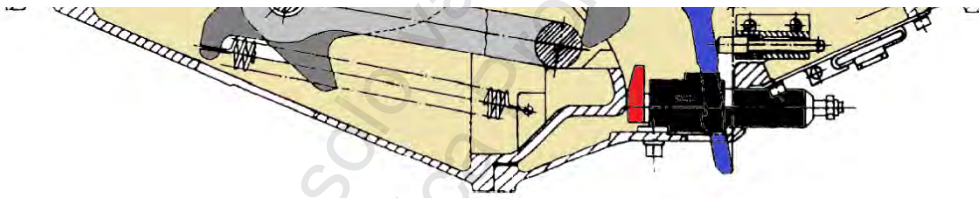


Figura. 5-25 Desacoplado

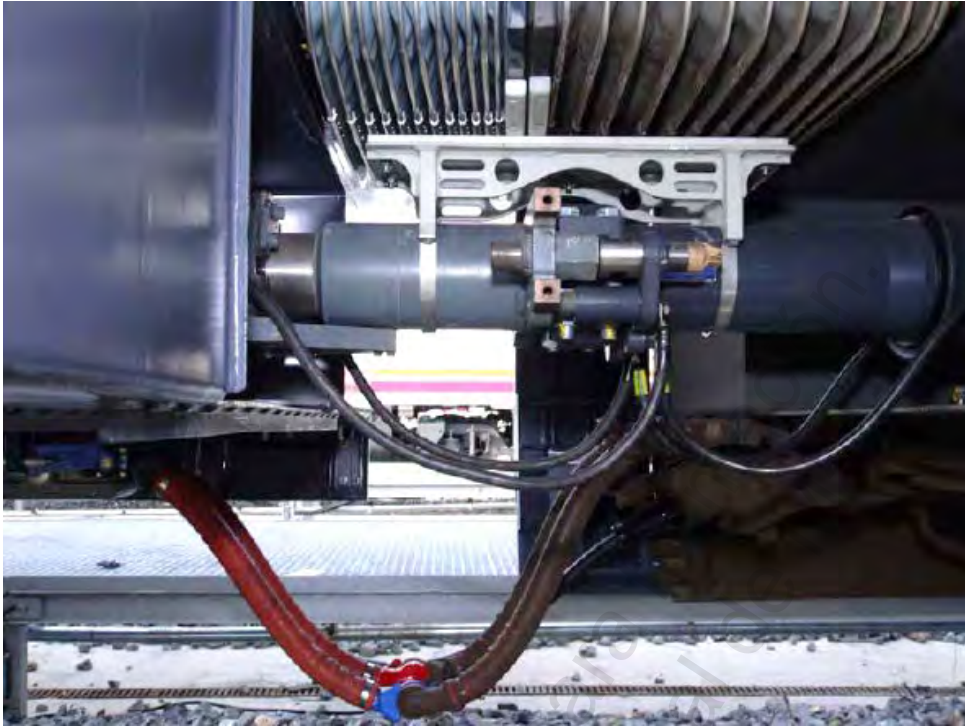


Figura. 5-27 Enganche semipermanente

### 5.3.2 Enganches mecánicos con acoplamiento neumático

Es un sistema de enganches que sólo realizan acoplamiento mecánico y neumático, se instalan en trenes ligeros como tranvías y en algunos ferrocarriles de alta montaña.

Su funcionamiento es análogo al descrito en el apartado anterior, con la salvedad de que se ha de establecer una conexión independiente para la continuidad eléctrica.

También existen modelos de enganches homologados por UIC para el remolque de trenes de mercancías. El acople se hace por contacto y el desacople suele ser manual, y en el caso de existir conexiones eléctricas, se realizan de forma manual mediante conexiones externas al enganche (Ej.- Mando múltiple S/442).



Figura. 5-28 Enganche mecánico con acoplamiento neumático



### 5.3.3 Enganche mecánico

Este tipo de enganche únicamente realiza un acoplamiento mecánico, se instala en cualquier tipo de tren, pero es más utilizado en trenes de mercancías, puesto que admite mayor carga.

En España lo utilizan distintos operadores ferroviarios: FEVE, EUSKO TREN, FC. de la Generalitat, etc., que instalan el tipo llamado ALLIANCE en la mayoría del parque de material convencional.



Figura. 5-29 Enganche mecánico

El acoplamiento se realiza por contacto como en los anteriores, y el desacoplamiento es siempre manual. Para la continuidad de las tuberías neumáticas se utilizan semiacoplamientos idénticos a los usados en el enganche convencional, la continuidad eléctrica se realiza a través de conexiones externas.



Figura. 5-30 Enganche tipo Alliance

### 5.3.4 Sistema de enganche auxiliar para socorros y maniobras.

Este tipo de enganches solo se utilizan para socorrer vehículos averiados dotados de enganche automático y para realizar maniobras. Suelen tener limitaciones técnicas respecto a su capacidad de tracción y compresión, siendo necesario en algunos casos montar topes suplementarios, o suplementos sobre el alojamiento del gancho, para recibir correctamente los esfuerzos de compresión.

El enganche auxiliar se coloca sobre el gancho de la locomotora que presta el auxilio, estableciéndose el acoplamiento mecánico y frecuentemente el neumático, por medio de semiacoplamientos entre la locomotora y el enganche auxiliar. En otros casos, se establece el acoplamiento neumático independientemente por medio de semiacoplamientos.

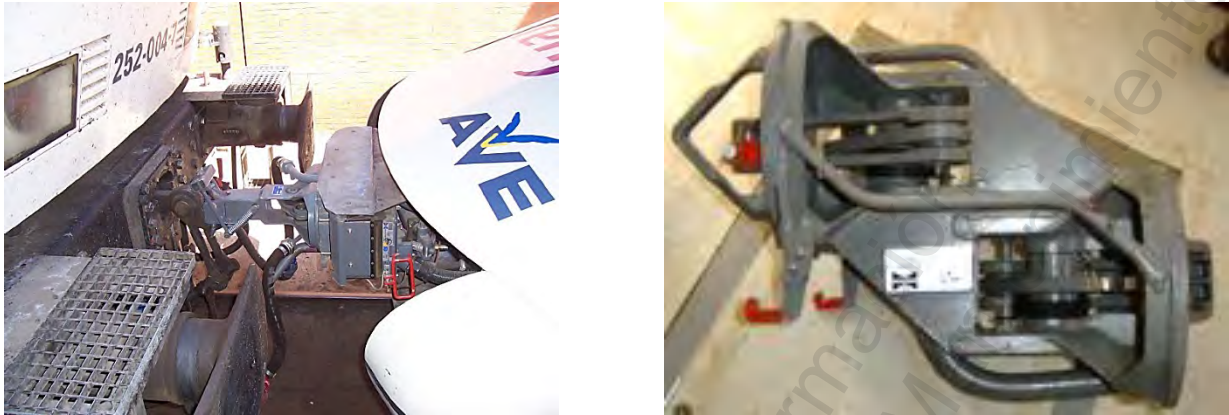


Figura. 5-31 Enganches auxiliares. Para diferentes vehículos (izquierda). Para diferentes alturas (derecha).

Al existir vehículos con diferentes alturas, en determinadas situaciones, es necesario para remolcar con enganche automático, intercalar un útil especial.

También existen barras de tracción para remolcar material con enganche automático situado a baja altura, enlazando el gancho con el cáncamo alojado en el testero del vehículo a remolcar.

Determinadas locomotoras y locotractores dedicados al servicio de maniobras, disponen de enganches automáticos, exclusivamente mecánico, que se colocan sobre el gancho de tracción. El acoplamiento se realiza por contacto como en los grupos anteriores, disponiendo de sistemas neumáticos para desenganche y elevación. En las maniobras que requieran continuidad neumática, se efectúa el enganche neumático de manera manual por medio de los semiacoplamientos.



Figura. 5-32 Enganche auxiliar para maniobras. En locotractor (izquierda). En locomotora (derecha)

#### 5.4 SISTEMAS DE ABSORCIÓN DE IMPACTOS

Cuando un vehículo sufre un impacto con una energía elevada, puede sufrir deformaciones de su estructura, pues los topes están diseñados para absorber una energía determinada.

Para evitar deformaciones en la estructura del vehículo, en sus frontales se incorporan unos elementos para la absorción de parte de esa energía, que van desde los topes convencionales, a sistemas de traviesas fusibles y estructuras metálicas que se deforman en caso

de impactos. Su misión es absorber la energía, con su deformación plástica, para de esta manera evitar o disminuir la deformación de la estructura del vehículo.

Entre estos dispositivos encontraremos, traviesas fusibles, escudos con forma de panel de abeja, partes deformables de la estructura, alojamientos deformables en enganche automático y los más recientes topes deformables de absorción de impactos que vimos anteriormente.

El sistema de traviesa fusible, consiste en una construcción de acero sobre la que se sujetan los topes. En caso de fuerte impacto se produce la deformación de la traviesa. Es fácilmente sustituible al ir sujeta por dos puntos sobre el testero del bastidor, este sistema se suele instalar en locomotoras con enganche convencional.



Figura. 5-33. Vehículo con traviesa fusible

El dispositivo de escudo en forma de panel de abeja va montado sobre el testero de vehículo.

Consiste en un bloque de aluminio, con la típica forma hexagonal en su entramado, que le da su nombre.

En caso de impacto, si el mecanismo del enganche y su espacio de deformación, no consiguen absorber la energía, se entra en contacto con el escudo en forma de panel de abeja, evitando dentro de unos límites, la deformación de la cabina y de la estructura.



Figura. 5-34 Escudo panel de abeja

En determinados vehículos el sistema de absorción de impactos, lo componen partes deformables de la propia estructura, sujetas al extremo del bastidor. Están construidas en acero con un alto límite elástico, con forma de tronco piramidal, y que como en el caso anterior, deben actuar tras la deformación del enganche.



Figura. 5-35 Sistema de absorción de impactos en estructura



**renfe**

Fabricación y Mantenimiento S.A.  
Gerencia de Área de Organización y RR HH.  
Escuela Técnica Profesional de Mantenimiento.

# DEFECTOS DE RUEDAS

**FTV-Básico**

**Edición 1ª**



DEFECTOS DE RUEDAS

Edición 1ª febrero 2019

QUEDA PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL SIN AUTORIZACIÓN EXPRESA DEL AUTOR.



## ÍNDICE

<b>1.</b>	<b>DEFECTOS EN RUEDAS .....</b>	<b>3</b>
1.1	ESFUERZOS QUE SE EXIGEN A LAS RUEDAS .....	3
1.2	FISURAS. ....	4
1.3	FATIGA .....	5
1.3.1	Fatiga Superficial .....	6
1.3.2	Fatiga Subsuperficial.....	6
1.3.3	Fatiga debida a inclusiones profundas en el material. ....	7
1.1	ZONAS DE CONTACTO SUJETAS A FATIGA. ....	8
1.1.1	Zonas de fatiga al circular en curva.....	9
1.1.2	Zonas de fatiga al circular en recta. ....	10
1.2	VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN DE LAS GRIETAS O FISURAS. ....	10
1.3	CAUSAS DE LOS DAÑOS EN RUEDAS. ....	10
1.4	CLASIFICACIÓN DE DEFECTOS EN RUEDAS. ....	12
1.4.1	Clasificación de defectos en ruedas (Pestañas) .....	12
1.4.2	Clasificación de defectos en ruedas (Rodadura-Anomalías de servicio).....	15
1.4.3	Clasificación de defectos en ruedas. (Rodadura-Fisuras).....	19
1.4.4	Clasificación de defectos en ruedas. (Rodadura- Alteraciones Volumétricas del Material).....	21
1.4.5	Clasificación de defectos en ruedas. (Rodadura-Alteraciones Geométricas del Perfil) .....	23
1.4.6	Clasificación de defectos en ruedas. En el Velo de la rueda. ....	29
1.4.7	Clasificación de defectos en ruedas. En el cubo de la rueda.....	31
<b>2.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>33</b>

Este libro ha sido elaborado por la Escuela Técnica Profesional de Mantenimiento de Renfe Fabricación y Mantenimiento S.A. Es propiedad de Renfe Fabricación y Mantenimiento S.A.

**Queda prohibida su reproducción total o parcial por cualquier medio** sin la autorización expresa del propietario.



## 1. DEFECTOS EN RUEDAS

Los daños por fatiga, deformación plástica y desgaste, reducen significativamente la vida de las ruedas. Actualmente, los aumentos tanto de velocidad como de carga por eje en los vehículos ferroviarios, conducen a tensiones elevadas en el contacto rueda-carril.

La mejora en los procesos de fabricación de ruedas produce un cambio en el principal daño hasta hace poco "desgaste" por el principal daño actual como es la "fatiga". A diferencia de los lentos procesos de deterioro por desgaste, la fatiga causa fracturas en las ruedas o pérdidas de material en la superficie de la banda de rodadura.

Estos fallos pueden causar daños en raíles, en suspensiones de trenes y, aunque no ocurre con frecuencia, pueden conducir al propio descarrilamiento del tren.

### 1.1 ESFUERZOS QUE SE EXIGEN A LAS RUEDAS.

Los procesos de fabricación y los grandes esfuerzos a los que están sometidas las ruedas durante su funcionamiento, generan un importante número de tensiones que podemos clasificar de la siguiente forma:

- Tensiones de fabricación y calado.
- Tensiones desarrolladas tras una frenada. (Eventuales deslizamientos).
- Tensiones producto de la carga. (en Europa máximo 25.000 Kg).
- Tensiones producto de la tracción.
- Tensiones de sustentación y guiado (dependiente del diseño de los bogíes).

Estas tensiones pueden variar en función de.

- El desgaste de la rueda y el carril.
- Las vibraciones producidas por las irregularidades de la vía.
- El movimiento lazo.
- Las aceleraciones transversales.
- Frenos residuales.

Esta complejidad de tensiones hace imposible desarrollar un modelo "**viable al paso**" para detectar y controlar el nacimiento y la propagación de fisuras en la llanta y el velo. Se disponen de sistemas adaptados por ultrasonidos con palpadores "Phased array" "llanta + velo".

La banda de rodadura es la parte de la rueda que más esfuerzos de freno, deslizamientos y altas cargas térmicas soporta.

Los esfuerzos a los que está sometida la rueda pueden clasificarse desde el punto de vista del **tiempo transcurrido** en el que se manifiestan en:

- **Esfuerzos constantes o de variación lenta en el tiempo.**  
En este grupo se incluyen las tensiones residuales de fabricación por defectos en el acero, las tensiones de calado de ruedas, y las tensiones desarrolladas tras una frenada de larga duración.
- **Esfuerzos que se manifiestan de forma intermitente.**  
En este grupo se incluyen las tensiones debidas a gradientes térmicos.

- **Esfuerzos cíclicos.**

Se manifiestan en la zona elasto-plástica de contacto entre rueda y carril y son las tensiones ligadas a la rodadura. Se deben a la carga, al esfuerzo de tracción y pseudo-deslizamiento. Aunque las cargas no sean muy elevadas, se pueden producir en la zona de contacto rueda-carril deformaciones plásticas en la llanta. Durante los primeros ciclos de carga se introducen en la rueda tensiones residuales que, junto a las deformaciones existentes, producen un endurecimiento del material.

Los esfuerzos a los que está sometida la rueda pueden clasificarse desde el punto de vista del **origen de dichos esfuerzos** en:

- **Esfuerzos térmicos.**

Las frenadas y los esfuerzos tractores o retardadores (T/F) cuando se produce patinaje o deslizamiento debido a la pérdida de adherencia entre la rueda y el carril, provocan la aparición de dichos esfuerzos, que afectan sobre todo a la zona de la banda de rodadura, pudiendo llegar a producir transformaciones metalúrgicas en el acero (templado de las zonas afectadas). Fuertes frenadas pueden crear tensiones que exceden en ciertas zonas el límite elástico del material, provocando modificaciones en el campo de tensiones residuales, favoreciendo de esta manera la evolución de fisuras en zonas profundas.

- **Esfuerzos mecánicos.**

La sustentación y el guiado producen esfuerzos o sollicitaciones mecánicas que se resumen en esfuerzos verticales, longitudinales y horizontales sobre la banda de rodadura en el contacto rueda-carril y un esfuerzo lateral a nivel de pestaña.

**Los esfuerzos o sollicitaciones dependen de:**

- Diseño del propio Bogie.
  - Considerando diámetro.
  - Tipo de rueda.
  - Carga por eje.
  - Valor de la masa no suspendida.
  - Características de la suspensión y de los sistemas de guiado.
- Velocidad y carga del tren.
- Acoplamiento del perfil de rueda y carril.

El considerable aumento de la velocidad en los trenes nos ha llevado a un incremento, exigencia o sollicitud de las fuerzas dinámicas, incrementándose por tanto los pares de aceleración y frenado viéndose influidas por defectos de fabricación, ovalización, diferencias de diámetro de un mismo eje, etc.

El mantenimiento de las ruedas representa entre un 30% y un 50% del coste total del mantenimiento normalmente vinculado al reperfilado de las ruedas.

## 1.2 FISURAS.

Las fisuras en las ruedas son importantes por tres razones:

- **La seguridad**, (debido al peligro de rotura de la rueda o al peligro de que parte de la pestaña o de la banda de rodadura se desprenda).
- **El confort**, (las fisuras pueden llegar a desarrollar cavidades que producen altas vibraciones y empeoran el confort de los viajeros).

- **El consumo de la llanta**, (para eliminar todas las fisuras, se debe mecanizar la rueda).

Las fisuras nacen a partir de defectos y pueden de dos tipos:

- Defectos producidos durante la fabricación.
- Defectos producidos durante el servicio y sujetos a observación en las labores de mantenimiento, estos defectos suelen ser del tipo fisuras de fatiga, defectos de corrosión o una combinación de ambos.

Cuando se inicia una fisura, bien debido a un proceso de fatiga o por una imperfección en el material original, es importante conocer bajo qué condiciones crece la fisura.

Las fisuras crecen básicamente debido a la acción de:

- Los esfuerzos mecánicos.
- Los esfuerzos térmicos. (que juegan un papel importante en la nucleación de las mismas, en su crecimiento hasta alcanzar el valor umbral y en la generación de tensiones residuales).

La formación de fisuras y su propagación se debe principalmente a las tensiones de cortadura. En una rueda sujeta a contacto de rodadura pura la tensión de cortadura mayor se da entre los 3 y 5 mm por debajo de la superficie. Si además se aplica una fuerza de fricción, como es la del frenado por zapata, ésta aumentará la tensión de cortadura en la superficie, dando lugar a dos zonas con una alta tensión de cortadura.

Es importante identificar las ruedas que contengan fisuras de fatiga antes de que se produzca una fractura rápida, especialmente en zonas con climas fríos, pues la resistencia a la fractura de los aceros en estas condiciones es menor. La magnitud de la carga, así como la geometría de contacto juegan un papel crucial en el crecimiento de las fisuras.

#### **Para conseguir un control sobre las fisuras en ruedas ferroviarias se debe determinar:**

1. Tipo de defectos que se pueden producir y su posición.  
Uno de los principales problemas que se plantean es detectar las posibles zonas de desarrollo de fisuras a partir de dichos defectos. La principal dificultad, es que en las ruedas existen numerosas localizaciones en las que una fisura podría llegar a desarrollarse y además, dependen de muchos factores.
2. Vida útil a partir de la detección de una fisura.
3. Si el resultado del fallo será catastrófico o simplemente producirá pérdidas económicas. Necesidad de reperfilear la rueda.
4. Tamaño de fisura crítico que produce rotura, dependiente de muchos factores.  
No existen normas que definan los tamaños mínimos admisibles. La Normativa Europea UIC 812-3, sustituida hace poco por la EN 13262, indica tamaño y posición de los defectos críticos para las ruedas nuevas (tras su fabricación).
5. El número de inspecciones a realizar a lo largo de la vida de la rueda.

Las ruedas que son más propicias a la aparición de fisuras son aquellas que han sufrido un sobrecalentamiento como consecuencia de una frenada prolongada, debido a que las fuerzas de compresión residuales conseguidas tras el tratamiento térmico durante su fabricación se transforman en tensiones de tracción, que ayudan a la iniciación y propagación de las fisuras.

De todos los defectos detectados en las ruedas ferroviarias, se destacan las fisuras que pueden existir a distintas profundidades en la banda de rodadura, como son las superficiales, sub-superficiales y las internas.

### **1.3 FATIGA.**

La podríamos definir como la acumulación de daño generada por la aplicación sucesiva de cargas de carácter cíclico.

Se puede dividir en dos fases:

#### **Nucleación de las fisuras (no detectables en las revisiones).**

- **Formación de micro-fisuras por defectos internos** del material por inclusiones, poros, incrustaciones.
- **Micro-defectos por deformaciones plásticas** como picaduras, óxidos o mal acabado superficial.

### Propagación de las fisuras (se inician en la superficie).

- **Propagación Estable** (no progresa por debajo de un umbral terminando la vida de la rueda)
- **Propagación Inestable** (supera un umbral y progresa generando playas de fatiga pudiendo llegar a la catástrofe)

Cuando las cargas son muy altas (peso y velocidad), son mayores los defectos internos, cuando las cargas son más reducidas son mayores los defectos superficiales y sub-superficiales.

La aparición de fatiga bajo cargas de contacto en servicio o "Rolling Contact Fatigue" (RCF) es debida a la combinación de tensiones que se producen en el contacto de la rueda con el carril debido a las fuerzas tangenciales, las fuerzas verticales y al micro-deslizamiento que se producen en el área de contacto.

Los fallos por fatiga en ruedas de trenes pueden dividirse en al menos tres categorías diferentes. Estas categorías son:

1. Fatiga superficial
2. Fatiga subsuperficial
3. Fatiga debida a defectos profundos del material.

#### 1.3.1 Fatiga Superficial

Los fallos por **fatiga superficial**, son consecuencia de deformaciones plásticas severas que se producen en la superficie del material. Estos fallos son relativamente inofensivos, aunque costosos, ya que normalmente se tiene como resultado el desprendimiento de una pequeña parte de material de la banda de rodadura, siendo en ocasiones necesario reperfilar.

Se presenta en ruedas con bajos ciclos de carga muy repetitivos, en la superficie del material. Una vez iniciada una fisura en la capa superficial se propagará en un ángulo poco profundo de la superficie desviándose primero en una dirección casi radial y después en una dirección de crecimiento circunferencial, tal y como puede verse en la siguiente figura.

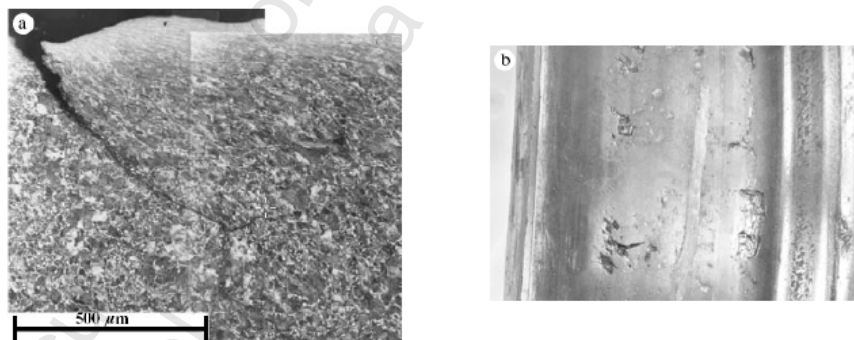


Figura. 9-1 Fallos por fatiga superficial

La dirección final se alcanza a una profundidad de unos pocos milímetros. La propagación de las grietas superficiales es favorecida por los lubricantes (grasa, agua, etc.) que puede haber en las vías. Finalmente se producirá la fractura con la propagación de la grieta hacia la superficie, rompiéndose una parte de la banda de rodadura de la rueda.

#### 1.3.2 Fatiga Subsuperficial



Los fallos por **fatiga sub-superficialmente**, por otro lado, pueden tener como resultado el desprendimiento de partes muy grandes de material de la llanta e incluso se pueden producir fallos catastróficos en los que se rompa toda la rueda. Esta fatiga es consecuencia de la presencia de defectos del material.

Las tensiones locales alrededor de los defectos son grandes incluso en el caso de defectos profundos. Esto puede causar la formación y propagación de grietas profundas.

Las grietas por fatiga subsuperficial se inician a una profundidad de más de 3 mm por debajo de la banda de rodadura de la rueda. Por debajo de unos 10 mm, la resistencia a fatiga estará totalmente gobernada por la presencia de inclusiones macroscópicas tal como veremos en el apartado "Fatiga iniciada por defectos profundos".

El fenómeno al que aquí nos referimos como "Fatiga subsuperficial" es el resultado de la fatiga a altos ciclos de carga muy repetitivos, causados por la combinación de una alta carga vertical, una mala geometría de contacto (proporcionando una superficie de contacto pequeña) y localmente una baja resistencia a fatiga del material, por fallos del acero como puede ser inclusiones, cavidades, etc.

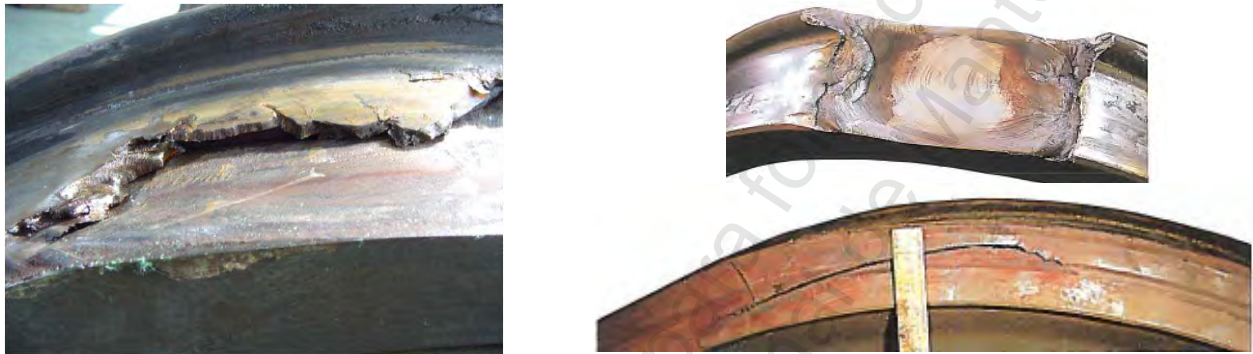


Figura. 9-2 Fallos por fatiga subsuperficial

Las características más comunes de este tipo de fatiga son:

- No hay indicios de inclusiones macroscópicas ni huecos en el punto de iniciación.
- La iniciación de la grieta se produce a una profundidad entre 3-10 mm debajo de la banda de rodadura de la rueda.
- La propagación de la grieta tiene lugar con un ángulo hacia el interior hasta una profundidad de unos 20 mm.
- La fractura final se orienta hacia la superficie.
- El tamaño de la grieta circunferencial tiene un tamaño de unos 15-100 mm de fractura (En causas extremas puede llegar a 250-300 mm).

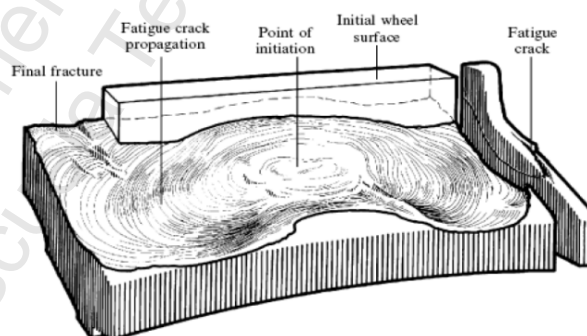


Figura. 9-3 Dibujo de fatiga subsuperficial

### 1.3.3 Fatiga debida a inclusiones profundas en el material.



En algunos casos la diferencia entre fatiga subsuperficial y la fatiga debida a defectos profundos es algo incierta. Aquí, la fatiga debida a defectos profundos denota grietas que son el resultado de HCF (o localmente debidas a defectos a LCF) consecuencia de

una combinación de altas cargas verticales e inclusiones relativamente grandes de material (del orden de un milímetro). Las características típicas de fatiga debida a defectos profundos son las siguientes:

- La iniciación de la grieta por fatiga tiene lugar a una profundidad de unos 10-25 mm por debajo de la banda de rodadura de la rueda.
- Las grietas se inician por defectos o huecos de dimensiones mayores de 1 mm.
- La propagación de la grieta se realiza a una profundidad casi constante bajo la banda de rodadura de la rueda (correspondiente a la profundidad inicial) antes de que ocurra la fractura.
- El fallo final es el resultado de la ramificación del crecimiento circunferencial de la grieta.
- El tamaño de la grieta circunferencial en el fallo es de 25-135 mm.

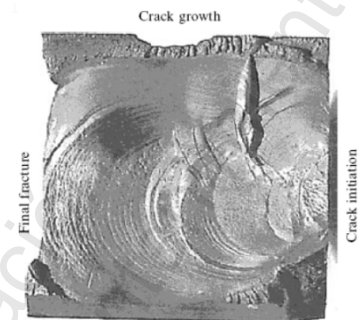


Figura. 9-4 Fallo por inclusiones profundas



Figura. 9-5 Fallos por inclusiones profundas

### 1.1 ZONAS DE CONTACTO SUJETAS A FATIGA.

Los ciclos repetidos de carga y descarga sobre la banda de rodadura de la rueda junto con las fuerzas de deslizamiento adicionales, conducen a una deformación plástica del material.

Si se supera la ductilidad del material por el incremento de deformación plástica, las fisuras empezarán a iniciarse y a propagarse por estar sometidas a ciclos de carga repetidos en el material, en dirección paralela al plano de deformación del material.

Si las fisuras alcanzan cierto tamaño, se propagarán debido a la presión hidrostática aplicada por algunos fluidos que entran en las fisuras desde la banda de rodadura o por la cabeza del carril.

En ciertas ocasiones la formación y desarrollo de redes de fisuras por fatiga producen pérdida de material en la propia banda de rodadura.

Debido a la diferencia longitudinal y a las fuerzas laterales presentes dentro de varias zonas de la banda de rodadura de la rueda, se obtienen cuatro zonas de fatiga:



Debido a la reacción igual y opuesta de las presiones de contacto y las fuerzas de deslizamiento involucradas, la fatiga afecta tanto a ruedas como a carril.

Típicamente los carriles son más sensibles a los efectos relativos a las fuerzas de tracción, mientras las ruedas son afectadas con más frecuencia por fuerzas relativas a frenadas.

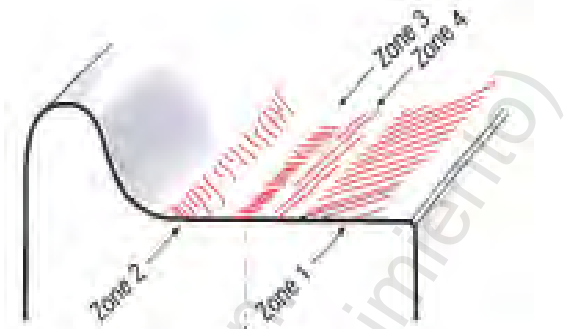


Figura. 9-6 Zonas afectadas por fatiga

### 1.1.1 Zonas de fatiga al circular en curva.

La acción repetida de las fuerzas de deslizamiento longitudinales y laterales inducidas por el paso por curva pueden dar origen a fisuras por fatiga de la **zona 1**, produciéndose principalmente en la parte exterior de la rueda que circula por la parte interna de la curva.

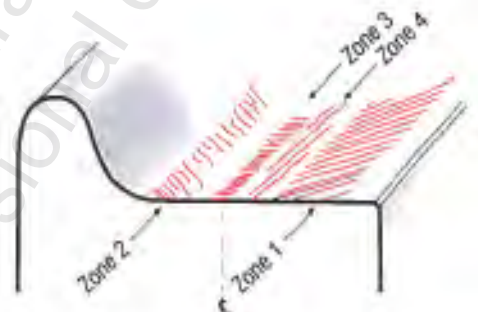
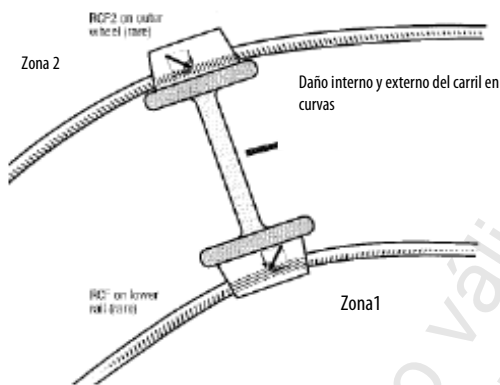
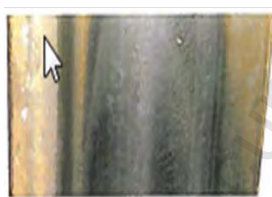


Figura. 9-7 Zonas de fatiga en curvas

Evolución de la fisura por fatiga en **Zona 1** producida en la parte exterior de la rueda al circular por el carril interior de la curva.



Inicio del proceso



Pequeños Desprendimientos



Desprendimientos mas profundos

Figura. 9-8 Proceso de evolución de la fatiga de la rueda en curvas

La acción repetida de las fuerzas de deslizamiento longitudinales y laterales inducidas por el paso por curva pueden dar origen a fisuras por fatiga de la **zona 2**, produciéndose principalmente en la parte más cercana a la pestaña al circular por el carril de la parte externa de la curva, el cual está más elevado que el interior debido al peralte existente en la curva.

La fatiga de la **zona 2** normalmente ocurre con mucha menos frecuencia que la **zona 1** debido a los cambios en la geometría y presión de contacto en la banda de rodadura mientras la rueda está en servicio, desapareciendo debido al propio desgaste durante el servicio.

### 1.1.2 Zonas de fatiga al circular en recta.

El crecimiento de fisuras por fatiga en el centro de la banda de rodadura es un fenómeno poco frecuente que ocurre por la aplicación repetida de elevadas fuerzas longitudinales de tracción que dan origen a deslizamiento longitudinal, cuando se aplica tracción para bajas velocidades

Una causa directa de las fuerzas de deslizamiento longitudinales que causan fatiga en la **zona 3**, son los diferentes diámetros de rueda dentro de un bogie, especialmente cuando los ejes son acoplados mecánicamente, y su instalación no es correcta dentro del bogie. Este hecho causa una fuerza de deslizamiento longitudinal permanente aplicada de manera constante

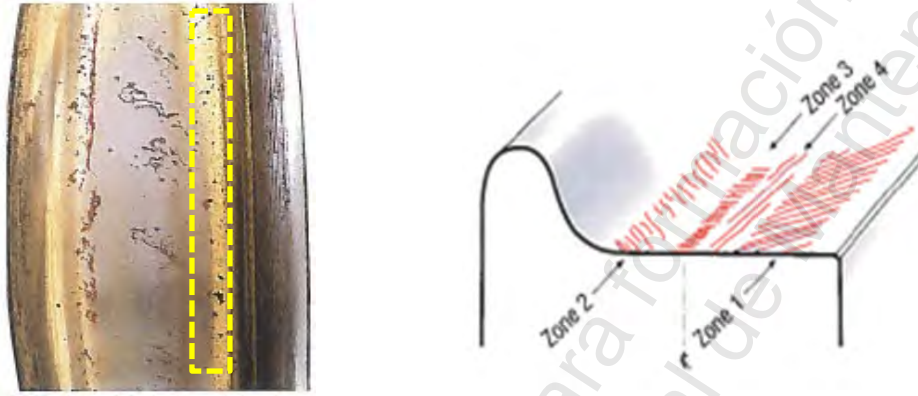


Figura. 9-9 Zona de fatiga al circular por rectas

Las fisuras por fatiga de la **zona4** pertenecientes a esta región están inducidas como consecuencia de una fuerza resultante lateral de deslizamiento. Estas fisuras por fatiga, pueden desaparecer debido al desgaste o a la deformación plástica.

Si los niveles de desgaste existentes en el perfil son lo suficientemente altos para cambiar constantemente la superficie de la banda de rodadura, no se establecerán las fisuras por fatiga.

De esta forma, cuando se consigue el balance óptimo entre desgaste y fatiga en el contacto rueda/carril es muy beneficioso para evitar la evolución de las fisuras por fatiga.

### 1.2 VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN DE LAS GRIETAS O FISURAS.

Es costosa la detección de las fisuras y muy difícil el pronóstico y evolución de las mismas.

- En el periodo de **nucleación** (micro-grietas causadas por inclusiones o precipitaciones invisibles para las técnicas actuales), la velocidad de propagación es muy baja.
- Dependiendo de la Tenacidad de Fractura y de la microestructura de la rueda, la nucleación progresará o permanecerá en esta fase hasta el final de su vida.
- Cuanto más grande es la fisura mayor es su velocidad de propagación.

### 1.3 CAUSAS DE LOS DAÑOS EN RUEDAS.

Aunque **la fatiga** es el principal fenómeno de daño en ruedas ferroviarias, existen otros tipos de daños que afectan a la integridad de la rueda, en ocasiones provocando fatales desenlaces.

**Fatiga.** Las mejoras en los sistemas de protección de la rueda han reducido el número de fallos que requieren reperfilado prematuro, apareciendo unos fallos en la rodadura asociados a la fatiga.

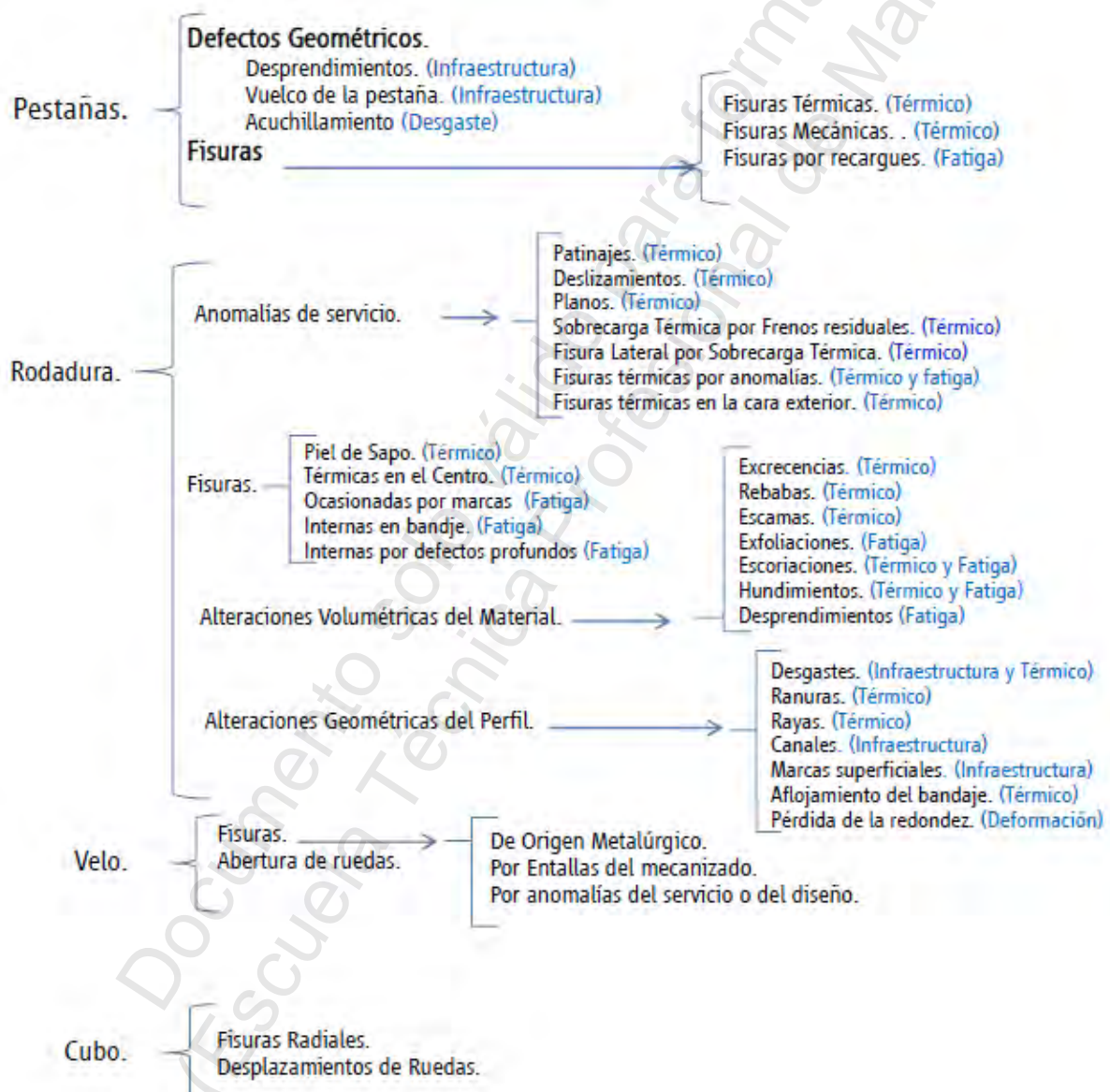
**Desgaste.** Cambios en el perfil de rodadura o circunferencialmente alrededor de la rueda incluyendo la pestaña.

**Deformación.** Las altas presiones de contacto y o faltas de homogeneidad del material pueden llevar a la deformación del material en puntos concretos o distribuido circunferencialmente.

**Térmico.** La temperatura en la banda de rodadura en procesos de frenado, (deslizamientos, patinajes, etc.) causan una variedad adicional de tipos de daños. (Aparición de Martensita).

**Infraestructura.** Son los años que se relacionan con problemas de infraestructura durante la interacción rueda carril.

**Marcas y entallas.** Son los daños ocasionados durante las operaciones de mantenimiento.



## 1.4 CLASIFICACIÓN DE DEFECTOS EN RUEDAS.

### 1.4.1 Clasificación de defectos en ruedas (Pestañas).

#### 1.4.1.1 Defectos geométricos en el borde de la pestaña. (Origen Infraestructura)

Generados por la infraestructura (desprendimientos). Suele afectar a tranvías o ferrocarriles ligeros.

Se puede ocasionar al circular en vías con perfil acanalado (raíles ranurados o de garganta) con objetos incrustados que pueden golpear la pestaña circunstancialmente a su paso.



Figura. 9-10 Defectos en el borde de la pestaña

Los desprendimientos también pueden ser motivados por desgastes de la rodadura e incluso del rail, facilitando el impacto o rozamiento de la pestaña con una parte cortante del carril, como muestra la siguiente imagen.



Figura. 9-11 Desprendimiento de material en borde de pestaña

**La solución para este tipo de defecto es el reperfilado y el control de la infraestructura para evitar su repetición.**

#### 1.4.1.2 Defecto geométrico por deformación o vuelco de la pestaña. (Infraestructura)

Es un defecto en tranvías y vehículos ligeros que circulan con el extremo de la pestaña en el interior de raíles acanalados o por el paso de cruces y desvíos.



Irregularidades en los perfiles y cuerpos extraños junto con los raíles acanalados, pueden también dar origen al incremento de las presiones de contacto localizadas en el extremo de la pestaña, que causan deformación plástica en dicha pestaña.



Figura. 9-12 Vuelco de pestaña

**La solución para este tipo de defecto es el reperfilado y el control de la infraestructura para evitar su repetición.**

#### 1.4.1.3 Defecto geométrico por desgaste de la pestaña. (Infraestructura)



El desgaste de la pestaña, afecta a las dos caras de la misma.

El mayor o menor desgaste de la pestaña está influenciado por diferentes causas:

- La naturaleza curvilínea del trazado donde trabaja.
- La infraestructura (vía cerrada detectable en la cama de la vía)
- La propia característica de los bogies. (flexibilidad a la torsión y empuje)
- El régimen de lubricación de la misma.
- Juego muy ajustado del eje montado.

La diferencia notable en el desgaste de la pestaña entre los lados diferentes de un vehículo, indica la existencia de un perfil o régimen de lubricación asimétrica, así como un desgaste asimétrico diagonalmente del bogie puede también ser como consecuencia de una puesta en marcha incorrecta del vehículo.

El desgaste de la parte posterior de la pestaña es causado por contacto con obstáculos en la vía, desvíos y cruces, normalmente en trenes ligeros y tranvías que circulan por carriles acanalados, pudiendo ocurrir también



Figura. 9-13 Acuchillamiento de pestaña

**La solución para este tipo de defecto es el reperfilado y el control de la infraestructura para evitar su repetición.**

#### 1.4.1.4 Defecto por fisuras en pestaña. (Origen térmico e Infraestructura)



Se trata de fisuras de progresión axial que pueden afectar a una o varias zonas de la pestaña y que pueden ser de origen térmico o mecánico.

- **Fisuras de origen térmico** por una fricción severa de la zapata de freno sobre la pestaña, por el uso de zapatas de geometría inadecuada.

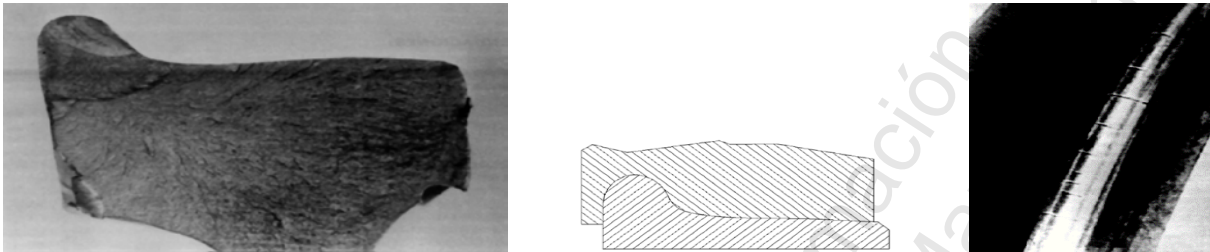


Figura. 9-14 Fisuras de origen térmico

**La solución para este defecto es retornar o retirar la rueda de servicio según los casos**

- **Fisuras de origen mecánico**, de progresión circunferencial a pocos milímetros del contacto pestaña carril por fuertes presiones anormales entre pestaña y carril debidos a trazados de vía deficientes con curvas excesivamente cerrado y muy abundante.

Estos defectos están asociados principalmente a trenes de mercancías.

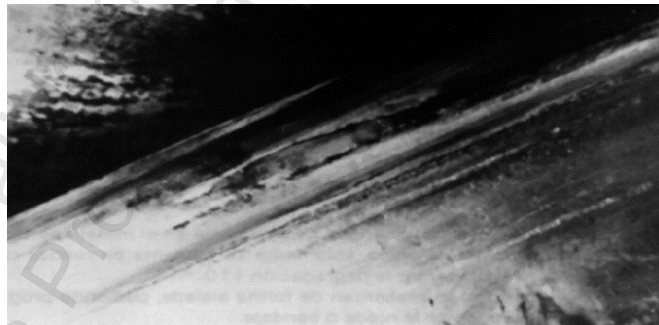


Figura. 9-15 Fisuras de origen mecánico

**La solución para este defecto es retornar o retirar la rueda de servicio según los casos.**

**Fisuras por recargues** de progresión radial se presentan de forma aislada, pudiendo progresar por fatiga hasta producir la rotura brusca de la rueda o bandaje.

Este defecto se presenta por defectos de soldadura, por faltas de fusión, grietas, etc. durante la ejecución del recargue

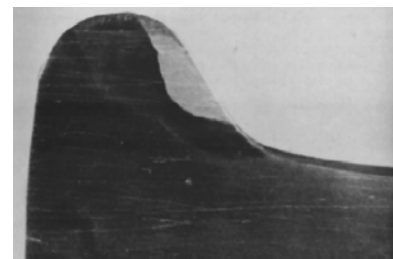


Figura. 9-16 Fisuras por recargues

**La solución para este defecto es retornar o retirar la rueda de servicio según los casos.**

### 1.4.2 Clasificación de defectos en ruedas (Rodadura-Anomalías de servicio).

La llanta o zona de rodadura es la parte de la rueda que más sufre las cargas durante la explotación del vehículo viéndose afectada por anomalías de servicio, fisuras, alteraciones volumétricas del material y alteraciones geométricas del propio perfil.

De cara a las anomalías de servicio se pueden dar:

#### 1.4.2.1 Anomalías de servicio Patinajes. (Daños de Origen térmico)

Originando **pequeños arrastres** de material en el centro de rodadura afectando a toda o gran parte de la misma, provocando **transformaciones estructurales** y endurecimiento del material.

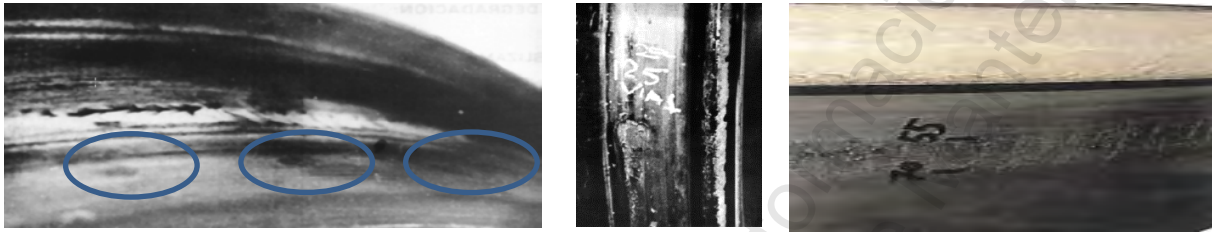


Figura. 9-17 Anomalías por patinaje

Motivados por **falta de adherencia entre rueda y carril** por efecto del agua, hielo, engrase excesivo del carril, etc., en situaciones de arranque o fuertes aceleraciones de ejes motores.

**La rueda puede continuar en servicio.**

#### 1.4.2.2 Anomalías de servicio Deslizamientos. (Daños de Origen térmico)

**Deslizamientos**, son lesiones a modo de rosario sobre la banda de rodadura, pudiendo ir asociadas a transformaciones estructurales y endurecimiento del material en función de la temperatura alcanzada.

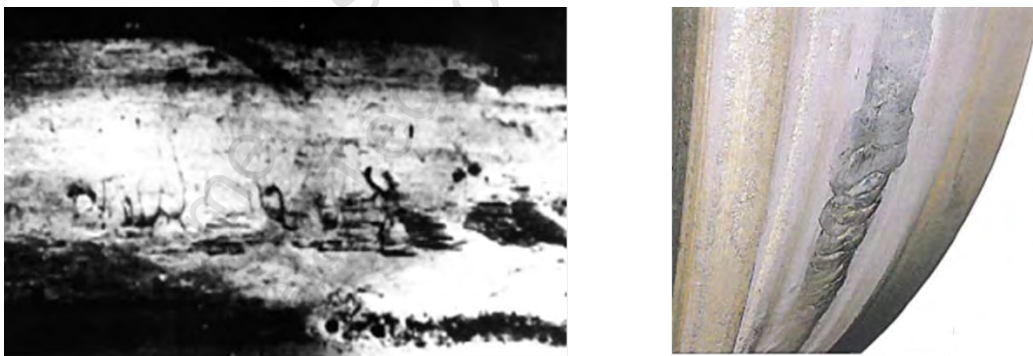


Figura. 9-18 Anomalías ocasionadas por deslizamientos

Motivados por **falta de adherencia entre rueda y carril** (preferentemente a pequeñas velocidades) debidos a una acción excesiva del freno, con bloqueo momentáneo de la rueda.

**La rueda puede continuar en servicio.**

### 1.4.2.3 Anomalías de servicio Planos. (Daños de Origen térmico)

Planos es uno de los daños más populares y aparecen cuando se produce el bloqueo de la rueda en un proceso de frenado arrastrando o deslizando la rueda sobre el carril.

El daño se ocasiona no por la abrasión aun pudiendo arrastrar una pequeña cantidad de material de la rueda sino por el calor.

**Se distinguen dos tipos de planos A y B:**



**Tipo A** se observan **rayas o estrías longitudinales** en el interior de las marcas, produciendo, transformaciones estructurales y, en ocasiones, fisuras paralelas al eje de la rueda. En ejes montados normalmente planos simétricos en ambas ruedas.



Figura. 9-19 Planos con estrías o rayas longitudinales

Por el deslizamiento de la rueda sobre el carril, la fricción resultante calienta localmente la parte de contacto con la rueda, la cual puede alcanzar temperaturas significativas (800°C- 850°C), suficientes para transformar el material de la rueda de acero perlítico en austenita. Como la parte de contacto en la rueda se enfría rápidamente después que el deslizamiento ha cesado, especialmente una vez que la rueda empieza a girar de nuevo y entra otra vez en contacto con la cabeza fría del carril, la Austenita se transforma en Martensita debido a este enfriamiento rápido. La Martensita es una forma muy dura y frágil del acero que tiene una apariencia plateada.

En el caso de continuar soportando cargas mecánicas en el área de contacto, se desarrollan fisuras en la zona afectada por el calor. Éstas se propagan hasta que la zona de acero martensítico endurecida que ha sido afectada por el calor empieza a desprenderse material dejando cavidades en la banda de rodadura.

Estas cavidades producen cargas mecánicas por el golpeteo, y conducen a pérdidas radiales significativas asociadas con los planos de rueda. Ocasionalmente la red de fisuras puede propagarse por debajo de la zona afectada por el calor dentro del material que la rodea.

**Es necesario el retorneo de las ruedas debiendo tener en cuenta la profundidad del corte que es necesaria para eliminar todo el material afectado por el calor y todas las redes de fisuras restantes situadas bajo la capa de Martensita.**

**Tipo B** se observan marcas de **forma elíptica u oval** con desgastes localizados de la rodadura, produciendo rayas o fisuras, comprendidas en la banda de contacto rueda-carril. En ejes montados normalmente planos simétricos en ambas ruedas.



Figura. 9-20 Planos con forma elíptica u oval

Debido a una acción excesiva del freno, las ruedas quedan parcialmente bloqueadas produciéndose ciclos alternos de deslizamiento. Si se genera Martensita puede crear algún desprendimiento.



#### 1.4.2.4 Anomalías de servicio frenos residuales. (Daños de Origen térmico)

En vehículos donde la banda de rodadura se usa para frenar el vehículo, existen niveles significativos de calor transferido desde la llanta hacia el interior de la rueda, como consecuencia de la conversión de energía cinética en energía térmica.



El arrastre de las zapatas, frenadas prolongadas u otras acciones inapropiadas (freno residual), afectan a la integridad de la banda de rodadura; una rueda puede calentarse más allá de su capacidad térmica para la que fue diseñada y por tanto sufrir una sobrecarga térmica y por tanto un cambio estructural.



Figura. 9-21 Anomalías de origen térmico por frenos residuales

#### Valorar distancia entre caras y tomar decisiones.

Los efectos visuales de las sobrecargas térmicas, son la decoloración de la pintura de la llanta y una decoloración del acero de la rueda en la banda de rodadura, por la cara de la llanta.

Las consecuencias son el cambio de signo de las tensiones residuales de compresión existentes en la llanta y/o el inicio de fisuras laterales en la banda de rodadura si las temperaturas y duración del sobrecalentamiento son excesivas.

#### 1.4.2.5 Anomalías de servicio fisura lateral por Sobrecarga Térmica. (Daños de Origen térmico).



Después de una sobrecarga térmica por la acción de frenado, se pueden desarrollar fisuras térmicas laterales en la banda de rodadura. La presencia de fisuras térmicas laterales es un factor relevante en la seguridad, ya que estas fisuras pueden propagarse lateral y radialmente a través de la llanta y hacia el velo de la rueda.

En el caso extremo, puede producirse un fallo catastrófico por la aplicación de cargas mecánicas y térmicas posteriores a ese inicio de fisura.

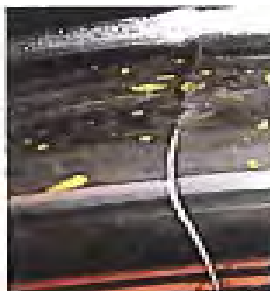


Figura. 9-22 Fisuras laterales por sobrecargas térmicas

El desarrollo de fisuras térmicas laterales puede, pero no necesariamente, indicar que las tensiones residuales protectoras de la llanta han sido neutralizadas o que han cambiado de signo como consecuencia del sobrecalentamiento anterior de la rueda.

**1.4.2.6 Anomalías de servicio Fisuras térmicas. (Daños de Origen térmico).**

Fisuras de **progresión radial** que se encuentran de forma aislada. En ocasiones con consecuencias graves por el desarrollo de fatiga.

**Recomendable el retorneo de la rueda**

Producidas por anomalías de servicio como, **patinajes, planos, deslizamientos**, etc.



Figura. 9-23 Fisura térmica

**1.4.2.7 Anomalías de servicio Fisuras térmicas en la cara exterior. (Daños de Origen térmico)**



Fisuras situadas en el borde exterior de la rodadura y progresión hacia el interior de la llanta que, pueden producir la rotura de la rueda.

Este tipo de defecto es, con diferencia, el que más roturas ha producido.



Figura. 9-24 Rotura de ruedas por fisuras de origen térmico en la cara exterior

**Retornear o retirar las ruedas de servicio, según los casos.**

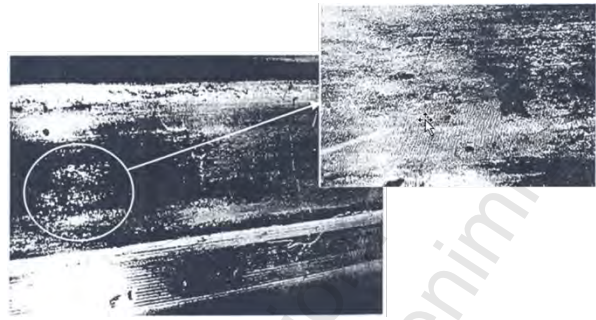
Producidas por los calentamientos a que se somete el borde exterior de la rodadura por **zapatas desbordantes**, favorecen la formación de **tensiones internas a tracción** que facilitarán la progresión de las fisuras.

### 1.4.3 Clasificación de defectos en ruedas. (Rodadura-Fisuras).

#### 1.4.3.1 Fisuras Piel de Sapo. (Origen térmico)

Red de pequeñas **fisuras superficiales que se presentan en grandes colonias** cuya progresión radial apenas alcanza unas pocas décimas de milímetro.

Ofrece el aspecto de **material cuarteado**, afectando en ocasiones a **todo el círculo de rodadura**.



**Recomendable el retorno de la rueda**

Figura. 9-25 Piel de sapo

Debido a la acción de las **zapatas de freno por calentamientos moderados** de las capas externas al debilitarse las propiedades metalúrgicas del acero.

#### 1.4.3.2 Fisuras Térmicas en el Centro. (Origen térmico)

Fisuras superficiales de **progresión radial**, situadas en el **centro de rodadura** que pueden adquirir axialmente longitudes similares a la **anchura de la zapata de freno**.

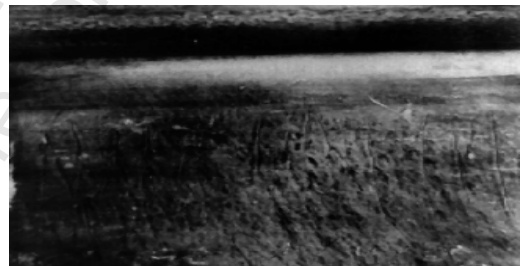
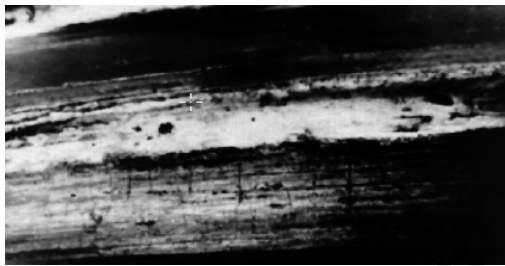


Figura. 9-26 Fisuras térmicas en el centro de la rodadura

Son debidas a la acción de las **zapatas de freno** con gran presión específica al debilitar las características del acero por la temperatura alcanzada.

**Pueden continuar en servicio, si las fisuras no se acercan en exceso a la cara exterior de la rodadura.**

#### 1.4.3.3 Fisuras ocasionadas por marcas. (Origen por Fatiga).



Marcas situadas preferentemente en la cara exterior de la llanta pueden producir fisuras que progresan por fatiga posibilitando la rotura de la rueda o bandaje.



Figura. 9-27 Marcas de origen indeterminado que pueden ocasionar fisuras

Estas marcas o entallas de aristas más o menos vivas son producidas durante las operaciones de torneado en ejes montados.

#### 1.4.3.4 Fisuras Internas en Bandaje. (Origen por Fatiga)



Fisuras de origen y desarrollo interno que, excepcionalmente en algún tipo de rueda, progresan por fatiga pudiendo producir la rotura brusca del bandaje. Se detecta por E.N.D., fundamentalmente ultrasonidos.

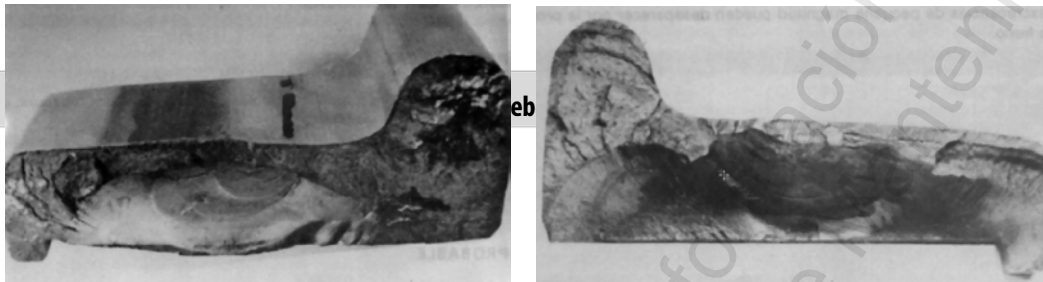


Figura. 9-28 Fisuras internas en el bandaje

Defectos internos del material por fatiga. El defecto se da preferentemente en bandajes de pequeño espesor próximo al mínimo permisible.

**Desechar y sustituir el bandaje**

#### 1.4.3.5 Fisuras Internas por defectos profundos. (Origen por Fatiga)



Generadas debajo de la superficie de rodadura, su progresión en la llanta es paralela a la superficie de rodadura.



Figura. 9-29 Fisuras internas por defectos profundos

Altas cargas verticales y huecos o inclusiones en el acero relativamente grandes (1 mm).

**La rueda debe sustituirse**

## 1.4.4 Clasificación de defectos en ruedas. (Rodadura- Alteraciones Volumétricas del Material)

### 1.4.4.1 Alteraciones Volumétricas del Material por Excrecencias (Origen Térmico).

**Partículas metálicas** de tamaños variables que, adheridas a la rodadura, dan lugar a costras o excrecencias fácilmente visibles que vienen de la descomposición de la zapata o el carril que al refundirse quedan adheridas a la rueda.

Su origen **es térmico** en los procesos de **largas frenadas de baja intensidad** (freno

**Retorno de la rueda. Si son de pequeño tamaño pueden desaparecer con la acción de las zapatas**

residual), donde la zapata puede descomponerse y aportar material adhiriéndose a la rueda.



Figura. 9-30 Excrecencias metálicas

### 1.4.4.2 Alteraciones Volumétricas del Material por Rebabas (Origen Térmico).



La rueda se calienta provocando un cambio estructural que fluye plásticamente hacia el exterior bajo las cargas dinámicas de servicio.

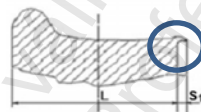
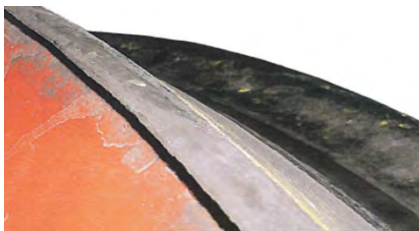


Figura. 9-31 Rebabas o resalte de chaffán

Se desarrolla un labio sobre la parte del bisel de la rodadura, apareciendo **más en locomotoras**:

Las causas que producen las rebabas pueden ser:

- **Fuertes pares de tracción.**
- **Ejes muy cargados.**
- **Actuación de zapatas sobre llanta**
- **Trayectos con numerosas curvas.**

**No se debe confundir** (figura de la derecha) con el desplazamiento del material de la banda de rodadura a nivel superficial deformándose solo el material cerca de la superficie, lo que significa que el chaffán del lado del campo dejará de ser perceptible en los casos graves.



Figura. 9-32 Desplazamiento de material

**Retorno de la rueda, según los casos. Diferentes niveles de permisibilidad según PM.**

#### 1.4.4.3 Alteraciones Volumétricas del Material por Escamas (Origen Térmico).

**Arrastres del material** por cambio estructural, situado en la banda de rodadura con formación de **líneas en C** sensiblemente paralelas entre sí.

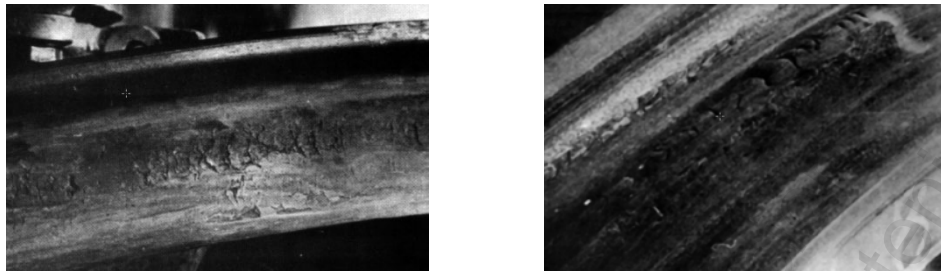


Figura. 9-33 Escamas

**Salvo en los casos graves donde es recomendable el retorneo, el defecto desaparecerá por la acción propia de las zapatas de freno.**

#### 1.4.4.4 Alteraciones Volumétricas del Material por Exfoliaciones (Origen por Fatiga).

Defecto formado por **gran cantidad de fisuras en C** situadas a lo largo de toda la banda de rodadura, provocando en **ocasiones desprendimiento** de material dando lugar a **cavidades**

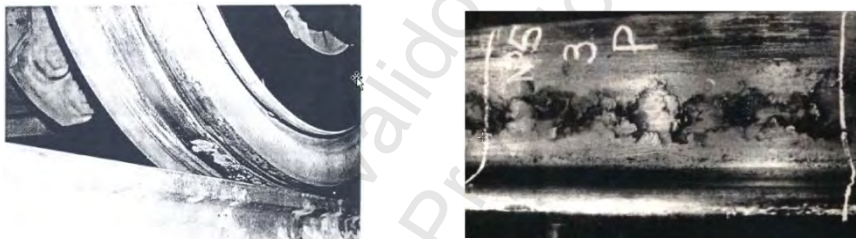


Figura. 9-34 Exfoliaciones

**Salvo en los casos graves donde es recomendable el retorneo, el defecto desaparecerá por la acción propia de las zapatas de freno.**

Se producen por **cargas excesivas** sobre las ruedas y **fatiga del material** produciendo desconchamientos y cavidades en la zona de contacto rueda y carril.

#### 1.4.4.5 Alteraciones Volumétricas del Material por Escoriaciones o Coqueras (Origen Térmico y Fatiga).

**Cavidades o desprendimientos exclusivamente de origen térmico** de diferente tamaño, distribuciones o formas más o menos importantes afectando por cambio estructural a parte o todo el círculo de rodadura.

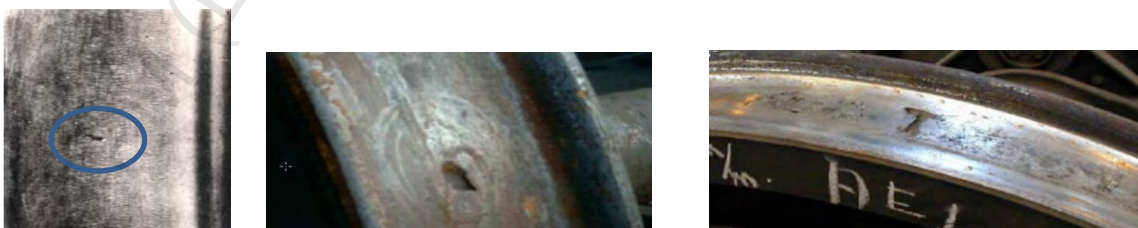


Figura. 9-35 Escoriaciones o coqueras

Estos desprendimientos son causados por, agrupación de fisuras inducidas por piel de sapo, fisuras térmicas en el centro por fuerte deslizamiento lateral, planos de bloqueo, patinajes, etc. en el centro de la banda de rodadura de la rueda provocando el desprendimiento del material.

Una vez originadas, tal agrupación de fisuras se propaga de manera significativa y conducen a un desprendimiento localizado en la banda de rodadura. Esto puede convertirse en un peligro incluso después de transcurrir un kilometraje, desde dicho desprendimiento.

Al principio el crecimiento de fisura tiene un ángulo de inclinación sobre la banda de rodadura, tendiendo a una orientación más radial, profundizando sobre dicha superficie. Debido a la presencia de deformación plástica local por las crecientes fuerzas laterales de deslizamiento, se observa a veces que el desarrollo de una

agrupación de fisuras por RCF, puede haber sido precedido por un desgaste severo en la banda de rodadura localizado.

Debido a la propagación en profundidad de las agrupaciones de fisuras "cluster", el tamaño del área afectada puede aparecer más

### Retorno de rueda

extenso durante los reperfilados, como se puede apreciar en las imágenes inferiores.

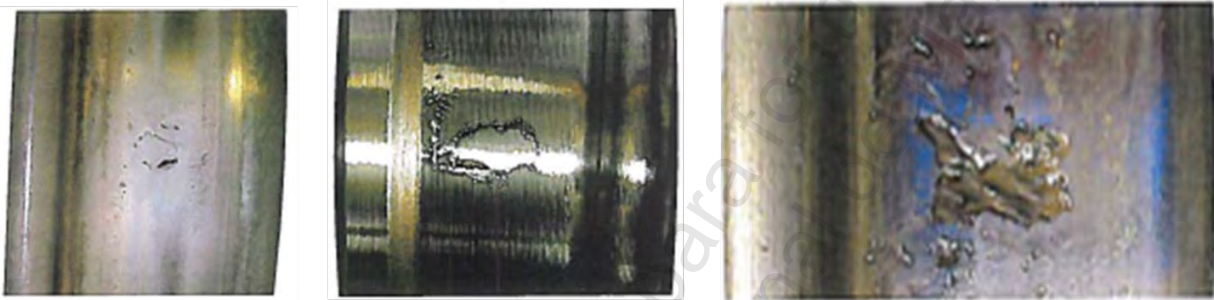


Figura. 9-36 Evolución de una coquera o escoriación

#### 1.4.4.6 Alteraciones Volumétricas del Material por Hundimientos (Origen Térmico y Fatiga).

Hundimiento de la llanta en una zona definida con flujo de material hacia la cara exterior acompañada de planos y grandes escoriaciones.



Figura. 9-37 Hundimientos

### Retorno de rueda

Flujo de material por graves anomalías de servicio, preferentemente planos de bloqueo repetitivos y cargas severas que debilitan material interno al provocar cambios estructurales.

#### 1.4.5 Clasificación de defectos en ruedas. (Rodadura-Alteraciones Geométricas del Perfil)

##### 1.4.5.1 Alteraciones Geométricas del Perfil por Desgastes. (Origen por infraestructura y Térmico)

Debido a que las medidas de la rueda se toman en el plano del círculo en la banda de rodadura, para las medidas de altura de la pestaña y anchura de la misma, el desgaste puede causar un incremento de dichas medidas, aunque realmente no son medidas reales, si no debidas a dicho desgaste.

El desarrollo de este tipo de desgaste afecta a la conicidad efectiva del eje montado. Si el desgaste aumenta, puede en ciertos casos afectar a la dinámica y a los límites de estabilidad del vehículo.

Si este tipo de desgaste es muy significativo en el centro de la banda de rodadura, puede causar el desarrollo de la llamada "falsa pestaña", como se puede apreciar en la figura.

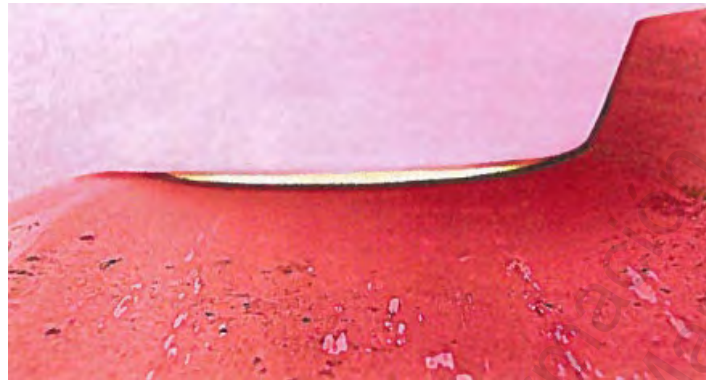


Figura. 9-38 Desgaste o acunamiento de banda de rodadura

No sólo puede afectar el desarrollo de una falsa pestaña en la dinámica del vehículo, si no también no conviene que ocurra, ya que puede ocasionar daños importantes tanto en la cabeza del carril como en los cambios y cruces de vía.

### Retorno de confort

Este efecto de desgaste concentrado, a menudo se produce debido al uso de bogies de marcha muy estables que circulan preferentemente por rutas muy rectas. La interacción de las zapatas de frenado con la banda de rodadura puede, dependiendo de su configuración y la selección del material, también acelerar el desarrollo de este tipo de desgaste produciendo **aceleraciones laterales** y pérdidas de **estabilidad en la marcha**.

Una inadecuada selección del material o mala calidad del mismo también puede ocasionar este tipo de desgaste.

El desgaste durante los primeros kilómetros de vida de la rueda es uniforme en toda la banda de rodadura, siendo después mayor en dos zonas, cerca de la pestaña y en el extremo opuesto a la misma.

El desgaste de rueda y carril depende de la dureza de sus materiales y es, en general, bastante lento, alrededor de 1,5 a 3 mm de media cada 100.000 km. El aumento de la velocidad de los trenes ha producido un aumento del desgaste y de las tensiones.

El uso de aceros de mayor resistencia y la optimización de la lubricación llevada a cabo en los últimos años ha traído como consecuencia que el desgaste disminuya, pero a costa del aumento de la fatiga en la zona de rodadura.

El peso máximo por eje actualmente permitido en Europa es de 25.000 kg, aunque se están planteando la posibilidad de aumentar dicho peso máximo hasta los 30.000 kg para aumentar la capacidad de carga de los trenes, especialmente los de mercancías. Este aumento puede producir serios problemas, como un rápido desgaste de los carriles, daño en las juntas aislantes, riesgo de fallo de los carriles por fatiga y fractura, etc.



### 1.4.5.2 Alteraciones Geométricas del Perfil por Ranuras. (Origen Térmico).

**Ranuras de aspecto brillante** coincidentes con los bordes laterales de la zapata de freno afectando a todo el círculo de rodadura sobre

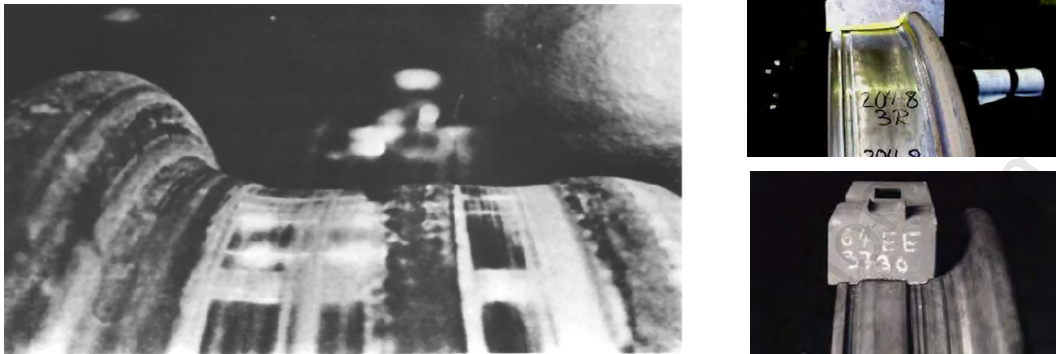


Figura. 9-39 Alteraciones geométricas con ranuras brillantes

la misma rueda.

**Retorneo de la rueda, según los casos. Es corriente admitir ranuras de hasta 2 o 3 mm. de profundidad y 15 mm. de anchura.**

Esta alteración se puede producir por el empleo de zapatas sintéticas de composición inadecuada o por deformaciones transversales de la propia zapata (por temperatura) ejerciendo presión solo en los laterales

### 1.4.5.3 Alteraciones Geométricas del Perfil por Rayas. (Origen Térmico)

El círculo de rodadura se ve afectado por un número determinado de rayas sensiblemente paralelas entre sí.

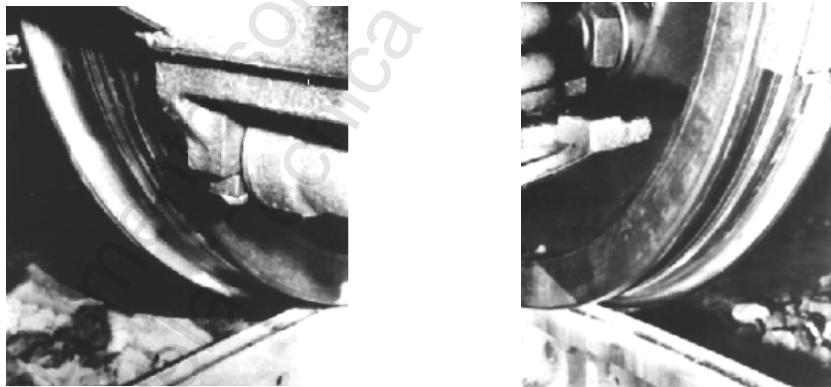


Figura. 9-40 alteraciones geométricas con rayas

**Salvo excepciones definidas, la rueda puede continuar en servicio.**

Producidas por:

- **Zapatas de fundición:** Material heterogéneo con puntos duros.
- **Zapatas de material sintético:** Material de composición inadecuada que, retiene las partículas metálicas desprendidas por la rueda y carril.

#### 1.4.5.4 Alteraciones Geométricas del Perfil por Canales. (Origen por infraestructura)

**Canales centrados** sobre la banda de rodadura que, en ocasiones, pueden adquirir proporciones importantes.



Figura. 9-41 Canales o acanaladuras

#### Torneado de ruedas. Verificar engrase defectuoso. Controlar incrustaciones metálicas en zapatas

Se producen en **Líneas** con desproporción importante de **curvas hacia uno de los lados**. (Ruedas en curvas interiores)

**Incrustaciones metálicas** en zapatas que erosionan localmente la rueda produciendo canales.

#### 1.4.5.5 Alteraciones Geométricas del Perfil por Marcas Superficiales. (Origen por infraestructura)

En ocasiones, se ha sabido de la existencia de cuerpos extraños en las vías que han creado estas imperfecciones en las ruedas, colocados deliberadamente en la cabeza del carril como resultado de un acto de vandalismo.

En la mayoría de los casos este tipo de daño afecta sólo a la apariencia de la rueda, aunque si se exceden los límites expuestos en el manual de mantenimiento, entonces las ruedas afectadas deben ser reperfiladas.

Partículas de arena desde los sistemas de arena de a bordo para mejorar la tracción o frenado pueden también crear estas marcas en la banda de rodadura. El tamaño de las marcas será por tanto proporcional al tamaño de grano de la arena usada en la respectiva red.



Marcas por cuerpos extraños



Fisura longitudinal superficial



Marcas por arena

Figura. 9-42 Marcas superficiales

#### Reperfilado de rueda

#### 1.4.5.6 Alteraciones Geométricas del Perfil por Aflojamiento del Bandaje. (Origen Térmico)



Giro del bandaje con respecto al centro de rueda. En ocasiones se aprecia aflojamiento del cintillo.

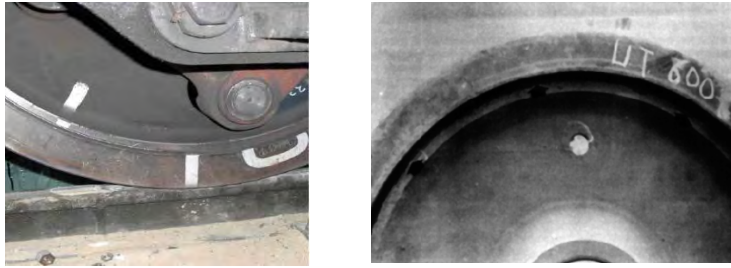


Figura. 9-43 Aflojamiento de bandaje

**La rueda debe ser retirada del servicio**

#### 1.4.5.7 Alteraciones Geométricas del Perfil por Pérdida de Redondez. (Deformación)

Se caracteriza por una poligonización con uno o más defectos alrededor de la circunferencia de la rueda. Hundimiento local de la banda de rodadura.

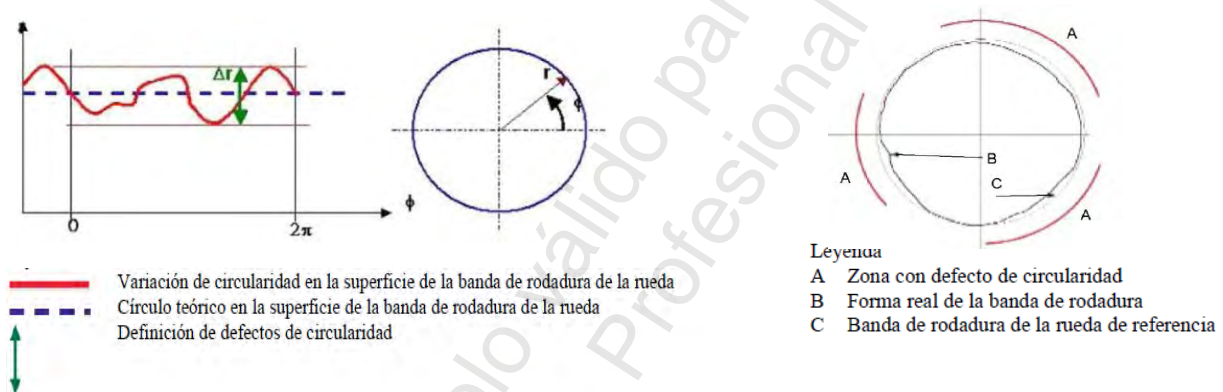


Figura. 9-44 Alteraciones por pérdidas de redondez

La pérdida de la redondez puede ser: **Periódica y Aleatoria.**

- **Periódica.** Cuando la pérdida de la redondez es regular **se puede determinar su forma** (Excéntrica, Oval y Triangular)

Por ejemplo, una rueda con pérdida de la circularidad de tercer orden, tiene una forma triangular y de cuarto orden tiene forma cuadrática.

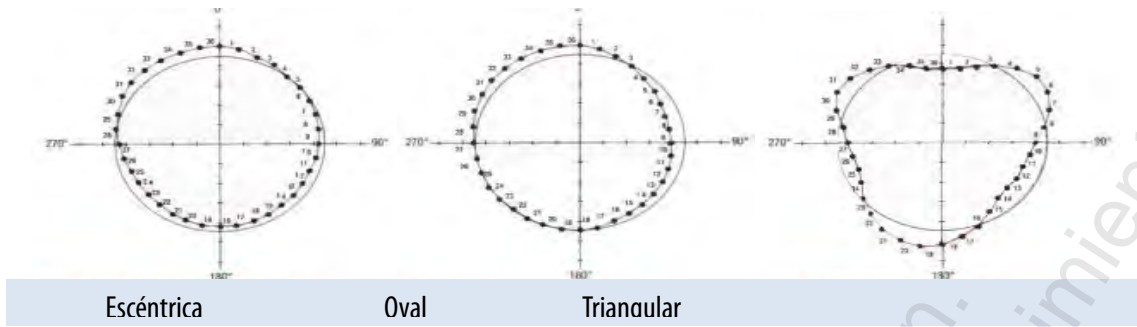


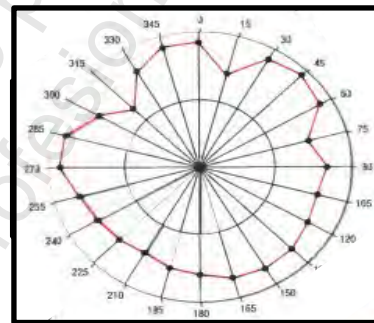
Figura. 9-45 Pérdidas de redondez de tipo periódico

### Reperfilado de rueda

Este defecto es el resultado de una mala interacción con el carril o del proceso de mecanizado.

- **Aleatoria.** Cuando la pérdida de la **redondez es indeterminada** o aleatoria es por un proceso al que se llama estocástico.

24 puntos de control (10mm a cada lado de la zona de rodadura).



0,5-1,0 mm.

Figura. 9-46 Control de redondez

Después del primer o segundo reperfilado estas áreas de microestructura mixta, deben entonces ser eliminadas y desaparecer.

La magnitud de las irregularidades radiales desarrolladas debido a la presencia de una microestructura variada puede encontrarse en el rango de 0,5 – 1,0 mm.

Cuando se use tal aproximación manual las irregularidades radiales deberían ser medidas en al menos 24 puntos igualmente espaciados a lo largo de toda la circunferencia de la rueda sobre el plano de la banda de rodadura, así como a lo largo de dos planos situados a 10 mm a cada lado del plano de la banda de rodadura. Para ruedas de locomotora de grandes diámetros la resolución debe ser más fina, por tanto, las medidas se tomarán cada 36 o 48 puntos o cuando los resultados obtenidos sean los apropiados.

### Se soluciona en el primer o segundo reperfilado al eliminar la microestructura variada

Este fenómeno a menudo se causa por la presencia de una microestructura muy variada dentro de la banda de rodadura, como resultado de la aplicación de los tratamientos térmicos durante la fabricación de la rueda.

La superficie de la banda de rodadura idealmente debería ser Perlítica y no debería contener ninguna mezcla adicional de Vainita y Martensita. Se genera normalmente por una microestructura mixta (Vainita y Martensita) de la banda de rodadura de la rueda, como resultado de problemas de tratamiento térmico durante la fabricación.

### 1.4.6 Clasificación de defectos en ruedas. En el Velo de la rueda.

Son fisuras circunferenciales que, partiendo de una zona defectuosa, se desarrollan por fatiga. Este tipo de fisuras pueden afectar a todo el espesor del velo y alcanzar grandes desarrollos circunferenciales, hasta producir la rotura brusca de la rueda.

Estas zonas defectuosas pueden ser defectos metalúrgicos, pliegues de forja o laminación, etc., capaces de generar una fisura bajo los grandes esfuerzos alternativos a los que se ve sometido el velo.

También pueden producirse por entallas de mecanizado o por un diseño incorrecto (partes delgadas, taladros de equilibrado, radios de acuerdo cerrados, zonas de rugosidad elevada).

Las tensiones en servicio, como son las producidas en curvas, producen en el velo un fenómeno de fatiga.

El momento más peligroso desde el punto de vista de la fatiga, es el paso a máxima velocidad por la curva de radio más pequeño.

La zona de transición entre la llanta y el velo es una zona peligrosa, donde el momento de flexión alternado causa fisuras de fatiga en el interior de las ruedas. Otra zona peligrosa es la zona del velo próximo al eje donde los valores de resistencia a fractura, son los más pequeños en toda la rueda.

El desarrollo de fisuras se asocia a las altas tensiones a tracción generadas tras frenadas prolongadas y bajo la acción de altas cargas verticales y laterales.

Generalmente se corresponden con fisuras de progresión axial producidas por defectos internos o aprietes excesivos durante la operación de calado. Este tipo de defecto no es muy común.

#### 1.4.6.1 Clasificación de defectos en ruedas. (Velo- Fisuras)

- **Clasificación de defectos en ruedas. (Velo-Fisuras de origen metalúrgico)**

**Fisuras circunferenciales** que, **partiendo de una zona defectuosa**, se han desarrollado por fatiga.



Pueden afectar a todo el espesor del velo y alcanzar grandes desarrollos circunferenciales, hasta producir la rotura brusca de la rueda.

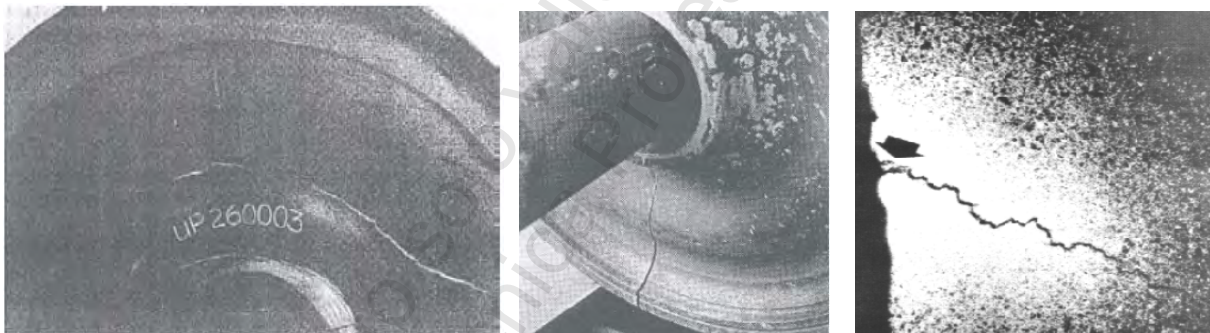


Figura. 9-47 Fisuras en el velo de la rueda

**La rueda debe ser retirada del servicio**

Defectos metalúrgicos, incrustaciones, pliegues de forja o laminación, etc., capaces de generar una fisura bajo los grandes esfuerzos alternativos a los que se ve sometido el velo en las curvas

- **Clasificación de defectos en ruedas. (Velo-Fisuras por entallas del mecanizado)**



Fisuras circunferenciales que parten de entallas del mecanizado concéntricas al eje, son capaces de generar una fisura bajo los grandes esfuerzos alternativos a los que se ve sometido el velo.

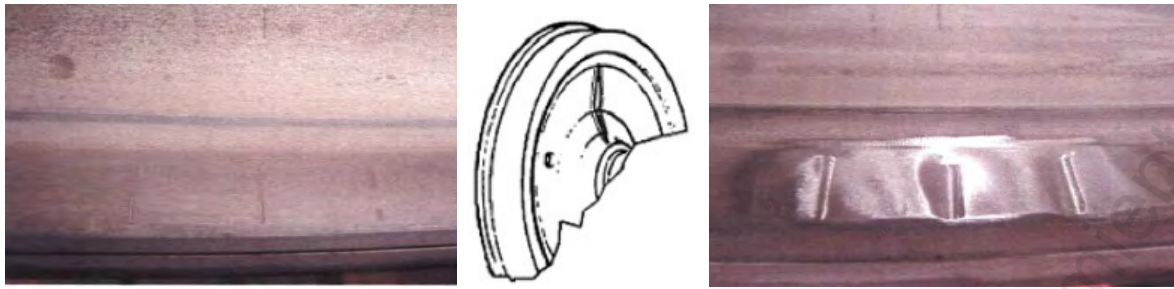


Figura. 9-48 Fisuras en velo por entallas del mecanizado

**La rueda debe ser retirada del servicio**

Entallas producidas por herramientas de sujeción para el calado o torneado

- **Clasificación de defectos en ruedas. (Velo- Fisuras por anomalías de servicio o del diseño)**



**Fisuras circunferenciales** originadas en las partes más débiles.  
**Zonas delgadas, taladros de arrastre, radios de acuerdo cerrados, zonas de rugosidad elevada, etc.**

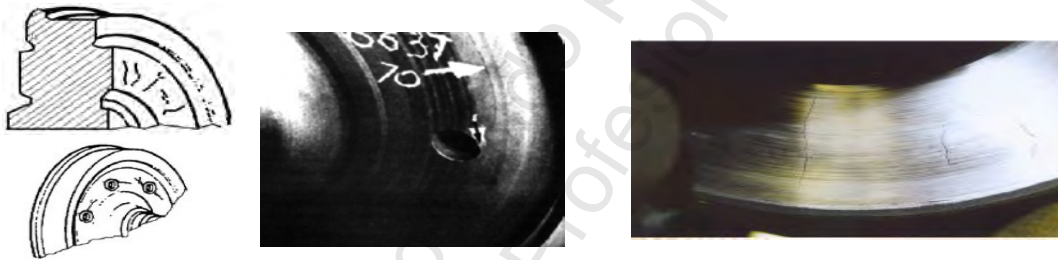


Figura. 9-49 Fisuras en el velo por anomalías del servicio o por diseño

**La rueda debe ser retirada del servicio**

- **Diseño incorrecto.**

Ruedas excesivamente solicitadas, sobrecarga de los vehículos o el trazado de la vía, cuyas especiales características deberían haberse tenido en cuenta a la hora de asignar el tipo de rueda.

**1.4.6.2 Clasificación de defectos en ruedas. (Velo-Abertura de ruedas)**

Aumento de la distancia existente entre caras internas de las ruedas correspondientes a un mismo eje montado.

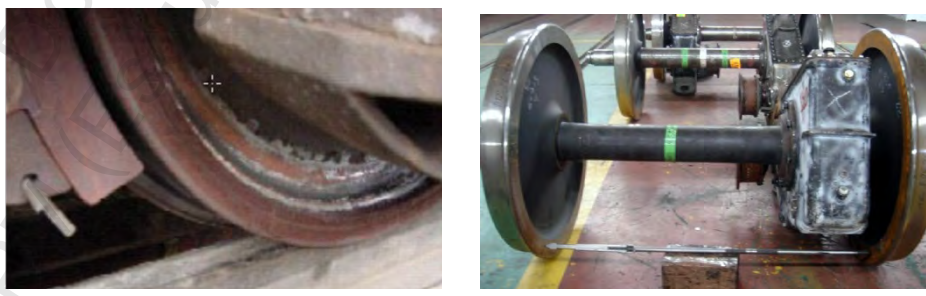


Figura. 9-50 Apertura de ruedas

**La rueda debe ser retirada del servicio según los casos**

**Calentamiento excesivo de la llanta** preferentemente por una utilización acusada y continuada de las zapatas de freno por ejemplo por freno residual.

#### 1.4.7 Clasificación de defectos en ruedas. En el cubo de la rueda.

Generalmente se corresponden con fisuras de progresión axial producidas por defectos internos o aprietes excesivos durante la operación de calado, no siendo muy habitual.

##### 1.4.7.1 Clasificación de defectos en ruedas. Fisuras Radiales.



**Fisuras** de progresión radial que puede afectar a una parte importante del cubo.

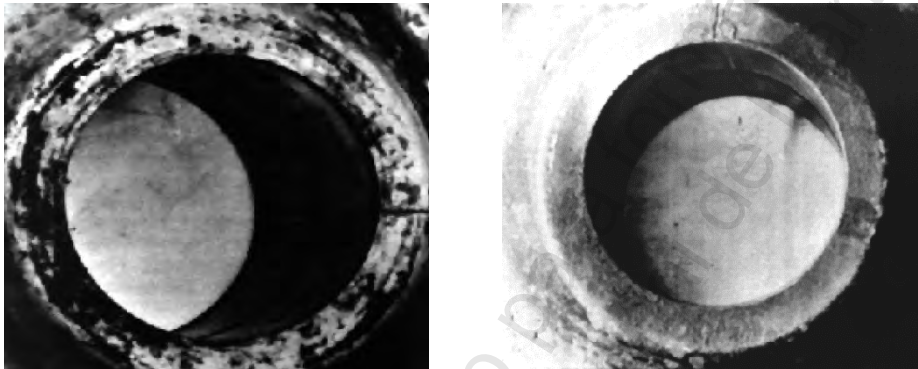


Figura. 9-51 Fisuras radiales en el cubo

**La rueda debe ser retirada del servicio**

Defectos internos de orientación radial o aprietes excesivos durante la operación de calado.

##### 1.4.7.2 Clasificación de defectos en ruedas. Desplazamientos de Ruedas



**Desplazamiento** de la rueda (hacia el centro del eje o hacia la mangueta) con respecto al eje.

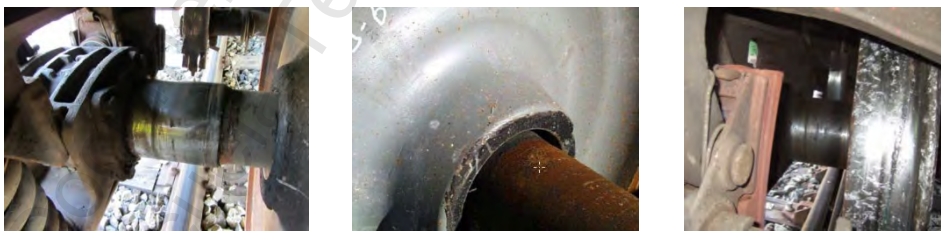


Figura. 9-52 Decalaje o desplazamiento de ruedas

**La rueda debe ser retirada del servicio**

Apriete deficiente entre rueda y cuerpo de eje.

Calentamientos excesivos de la llanta hasta el cubo, coincidentes con golpes bruscos de vía.

Documento solo válido para formación.  
ETPM (Escuela Técnica Profesional de Mantenimiento)



## 2. BIBLIOGRAFÍA

### ESTUDIO DE LA DEFECTOLOGÍA EN RUEDAS FERROVIARIAS

#### REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

Norma Técnica de Mantenimiento NTM 1000-004-00 (Parámetros de rodaje)

Norma UNE-EN 13262. *Aplicaciones ferroviarias. Ejes montados, bogies y ruedas*. AENOR. 2005.

Norma DIN 50 602. *Microscopic examination of special steels using standard diagrams to assess the content of non-metallix inclusions*.

Norma UNE-EN 13979-1. *Aplicaciones ferroviarias. Ejes montados, bogies y ruedas monobloque. Procedimiento de aprobación técnica. Parte 1: Ruedas forjadas y laminadas*.

Norma ASTM E399. *Standard Test Method for Plane-Strain Fracture Toughness of Metallic Materials*.

Norma ASTM E992. *Determination of a fracture toughness of steels using equivalent energy methodology*.

Documentación de la asignatura Ferrocarriles. 5º Ingeniería Industrial Universidad Carlos III de Madrid.

Documentación de la asignatura Tecnología de Máquinas. 4º Ingeniería Industrial Universidad Carlos III de Madrid.

Documentación de la asignatura Fractura y Fatiga de Componentes Mecánicos. 4º Ingeniería Industrial Universidad Carlos III de Madrid.

Documentación de la asignatura Comportamiento en Servicio. 4º Ingeniería Industrial Universidad Carlos III de Madrid.

Documentación de las asignaturas Materiales I y II. 2º Ingeniería Industrial Universidad Carlos III de Madrid.

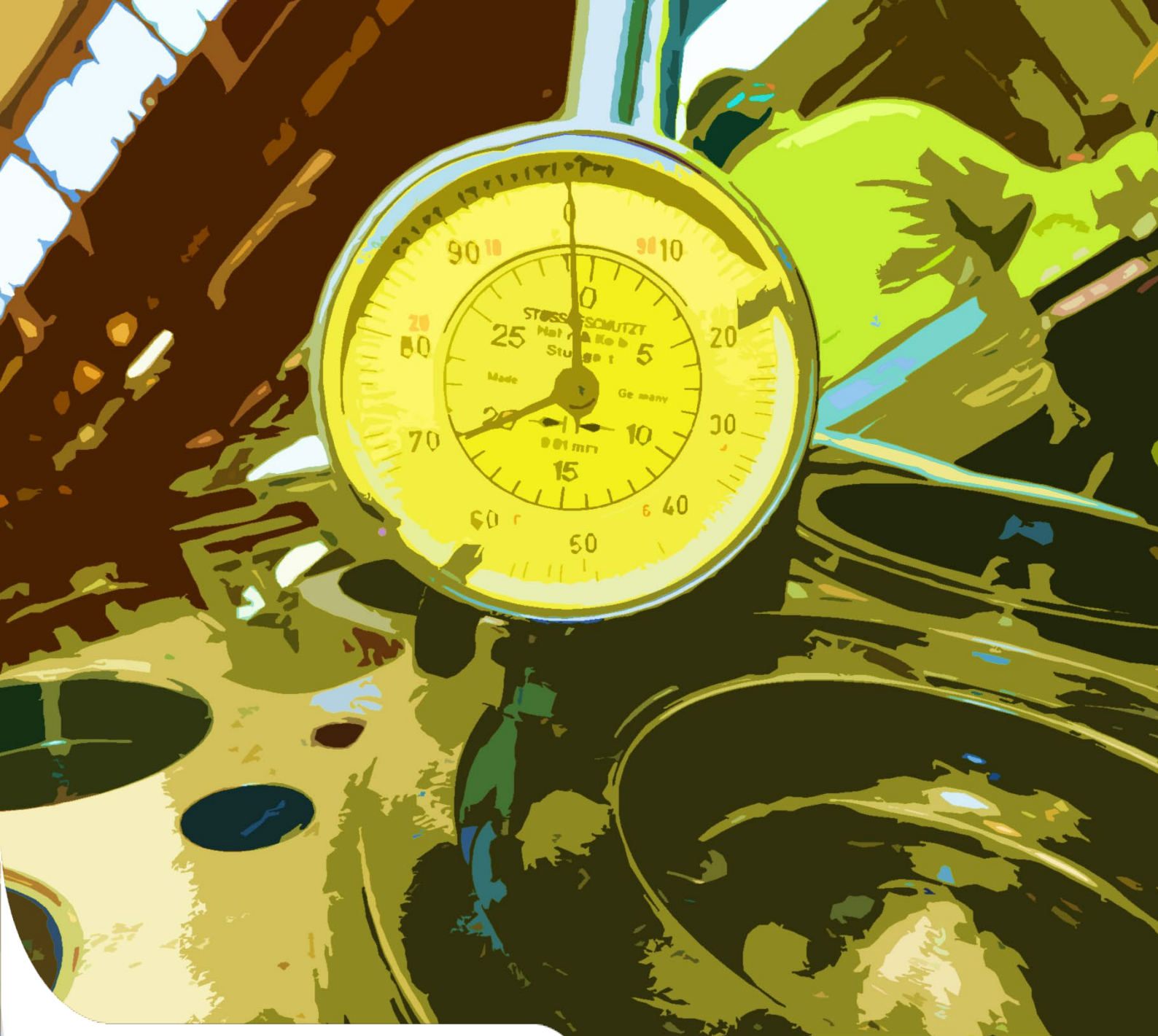
Documentación de NTMK, empresa situada en Rusia productora de una amplia gama de productos ferroviarios.

Documentación de CAF, Constructor y Auxiliar de Ferrocarriles.

Documentación de Bombardier, fabricante de vehículos ferroviarios.

Documentación de Lucchini Sidermeccanica, empresa líder mundial en diseño y producción de ejes montados para alta velocidad calida

Documento solo válido para formación.  
ETPM (Escuela Técnica Profesional de Mantenimiento)



**renfe**

Fabricación y Mantenimiento S.A.  
Gerencia de Área de Organización y RR HH.  
Escuela Técnica Profesional de Mantenimiento.

# METROLOGÍA



Autores: Escuela Técnica Profesional de Mantenimiento de Renfe

Edita: © Renfe-Fabricación y Mantenimiento S.A

Gerencia de Área de Organización y Recursos Humanos.

Gerencia de la Escuela Técnica Profesional de Mantenimiento.

Edición 1ª febrero 21019

QUEDA PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL SIN AUTORIZACIÓN EXPRESA DEL AUTOR.



# ÍNDICE

<b>1.</b>	<b>CONCEPTOS</b>	<b>7</b>
1.1	METROLOGÍA	7
1.2	MAGNITUD	8
1.2.1	Sistemas de unidades	8
1.2.2	Sistema Internacional (SI)	9
1.2.3	Unidad de medida	9
1.3	UNIDADES FUNDAMENTALES	10
1.3.1	Unidad de longitud. El metro	10
1.3.2	Unidad de masa. El kilogramo	10
1.3.3	Unidad de tiempo. Segundo	11
1.3.4	Unidad de corriente eléctrica. Amperio	11
1.3.5	Unidad de temperatura. Kelvin	11
1.3.6	Intensidad luminosa. Candela	11
1.3.7	Cantidad de materia. Mol	13
1.3.8	Unidades derivadas	14
1.3.9	Múltiplos y submúltiplos	16
1.4	SISTEMA ANGLOSAJÓN DE MEDIDAS	16
1.4.1	La Pulgada	17
1.5	MEDICIONES	18
1.5.1	Patrones de medida	18
1.5.2	Medición directa	18
1.5.3	Medición indirecta	19
1.5.4	Cifra significativa	19
1.5.5	Redondeo	20
1.5.6	Medida nominal y tolerancia	20
1.5.7	Incertidumbre	21
1.5.8	Tolerancia Mínima Asegurable	23
1.5.9	Errores de medición	25
1.5.10	Exactitud y precisión	27
1.5.11	Apreciación y sensibilidad	27
<b>2.</b>	<b>INSTRUMENTOS DE MEDIDA</b>	<b>29</b>
2.1	INSTRUMENTOS DE MEDIDA DIRECTA	29
2.1.1	Metro	29
2.1.2	Regla graduada	30
2.1.3	Nonio	31
2.1.4	Calibre	33
2.1.5	Mediciones del calibre	33
2.1.6	Tipos de calibre	34
2.1.7	Calibre especial para perfiles de rodadura	35
2.1.8	Medición con el calibre	38
2.1.9	Ejemplos de medidas en milímetros	39
2.1.10	Medición con el calibre en pulgadas (fraccionario)	40

2.1.11	Ejemplos de medidas en pulgadas (fraccionario).....	40
2.1.12	Medición con el calibre en pulgadas (milesimal).....	41
2.1.13	Ejemplos de medidas en pulgadas (milesimal).....	41
2.1.14	Micrómetro.....	42
2.1.15	Partes del micrómetro.....	42
2.1.16	Husillo y tambor.....	43
2.1.17	Principales tipos de micrómetros.....	43
2.1.18	Micrómetro para interiores de tres puntas.....	44
2.1.19	Medición con el micrómetro.....	46
2.1.20	Ejemplos de medida con el micrómetro.....	47
2.1.21	Micrómetro milesimal.....	48
2.2	<b>INSTRUMENTOS COMPARADORES</b> .....	49
2.2.1	Reloj comparador.....	49
2.2.2	Partes del reloj comparador.....	50
2.2.3	Medidas con el reloj comparador.....	51
2.2.4	Ejemplo de medida con el reloj comparador.....	51
2.2.5	Tipos de relojes comparadores.....	51
2.3	<b>INSTRUMENTOS DE VERIFICACIÓN</b> .....	52
2.3.1	Mármol.....	53
2.3.2	Compás.....	53
2.3.3	Reglas y escuadras.....	54
2.3.4	Calibre Pasa no Pasa.....	54
2.3.5	Galgas.....	55
2.3.6	Gramil.....	55
2.3.7	Alexómetro.....	56
2.3.8	Partes del alexómetro.....	57
2.3.9	Medición con el alexómetro.....	58
<b>3.</b>	<b>CALIBRACIÓN</b> .....	<b>59</b>
3.1.1	Inventario.....	59
3.1.2	Etiquetado.....	60
<b>4.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>65</b>



Este libro ha sido elaborado por la Escuela Técnica Profesional de Mantenimiento  
de Renfe Fabricación y Mantenimiento S.A.

Es propiedad de Renfe Fabricación y Mantenimiento S.A.

**Queda prohibida su reproducción total o parcial por cualquier medio  
sin la autorización expresa del propietario.**



## 1. CONCEPTOS

### 1.1 METROLOGÍA

**Metrología** es la ciencia que trata de las medidas, de los sistemas de unidades y los instrumentos usados para efectuarlas e interpretarlas. Abarca varios campos, tales como:

- metrología térmica,
- eléctrica,
- acústica,
- y **dimensional**, entre otras.

La **Metrotecnia** establece y regula la utilización de un conjunto de técnicas, habilidades, métodos y procesos en los que basarse para aplicar la Metrología a la Técnica.

La **METROLOGÍA DIMENSIONAL** se encarga de estudiar las técnicas de medición que determinan correctamente las **magnitudes lineales y angulares**.

Su objetivo es determinar si cualquier pieza fabricada con un dibujo determinado, cumple con todas las especificaciones del mismo.

La metrología dimensional se aplica en la medición de longitudes (Exteriores, Interiores, Profundidades, Alturas) y también ángulos, así como la evaluación del acabado superficial.



Figura. 1-1 Aparatos de medida dimensional, ángulos y acabado superficial

**Medida** es la evaluación de una magnitud hecha según su relación con otra magnitud de la misma especie adoptada como unidad. Tomar la medida de una magnitud es compararla con la unidad de su misma especie para determinar cuántas veces ésta se halla contenida en aquélla.



Figura. 1-2 Medida. Comparación de una magnitud

**Medir** es comparar una cantidad con su respectiva unidad patrón, con el fin de averiguar cuantas veces la segunda está contenida en la primera.

Entendemos por **medición** a esta operación de comparación y llamamos **medida** al valor numérico de su resultado.



Figura. 1-3 Medición y medida

## 1.2 MAGNITUD

Propiedad de un fenómeno, cuerpo o sustancia, que puede expresarse cuantitativamente mediante un número y una referencia. Es decir, podemos entender por magnitud, todo aquello que puede ser medido y expresado numéricamente.

Dentro de las magnitudes podemos diferenciar:

### **Magnitud fundamental:**

Cada una de las magnitudes que, en un sistema, se aceptan por convención como funcionalmente independiente una respecto de otra.

Ejemplo: Longitud, tiempo, masa, temperatura, etc.

### **Magnitud derivada:**

Es aquella que se deriva de las fundamentales y están ligadas mediante relaciones matemáticas bien definidas.

Ejemplo: Velocidad, aceleración, fuerza, densidad, etc.

### 1.2.1 Sistemas de unidades

Un sistema de unidades compone el conjunto de unidades de medida consistente, normalizado y uniforme que, en general, definen unas pocas unidades de medida determinadas patrones, a partir de las cuales se deriva el resto.

Existen varios sistemas de unidades:

**Sistema internacional (SI):** es el sistema más moderno y más usado en la actualidad.

**Sistema Métrico Decimal:** primer sistema unificado de medidas.

**Sistema Cegesimal (CGS):** denominado así porque sus unidades básicas son el centímetro, el gramo y el segundo. Fue creado como ampliación del sistema métrico para usos científicos.

**Sistema natural:** en el cual las unidades se escogen de forma que ciertas constantes físicas valgan exactamente la unidad.

**Sistema Técnico:** derivado del sistema métrico con unidades del anterior. Este sistema está en desuso.

**Sistema Anglosajón:** es el sistema anglosajón tradicional. En 1824 fue normalizado en el Reino Unido con el nombre de **Sistema Imperial**, cuyo uso se mantiene en la vida corriente de este país. También fue normalizado en los Estados Unidos, con algunas diferencias sobre el Sistema Imperial.

### 1.2.2 Sistema Internacional (SI)

Sistema de unidades con nombres y símbolos de las unidades, y con una serie de prefijos con sus nombres y símbolos, así como reglas para su utilización, adoptado por la Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM).

El **Sistema Internacional de Unidades**, abreviado **SI**, es el que se usa en todos los países del mundo, a excepción de tres (EEUU, Liberia y Birmania) que no lo han declarado prioritario o único.

Es el heredero del antiguo Sistema Métrico Decimal y por ello también se conoce como «**sistema métrico**».

Se instauró en 1960, en la XI Conferencia General de Pesas y Medidas, durante la cual inicialmente se reconocieron seis unidades físicas básicas. En 1971 se añadió la séptima unidad básica.

Una de las características trascendentales, que constituye la gran ventaja del Sistema Internacional, es que sus unidades se basan en fenómenos físicos fundamentales.

Excepción única es la unidad de la magnitud masa, el kilogramo, definida como «la masa del prototipo internacional del kilogramo», un cilindro de platino e iridio almacenado en la Oficina Internacional de Pesas y Medidas de Sèvres (Francia).

Las unidades del SI constituyen referencia internacional de las indicaciones de los instrumentos de medición



Figura. 1-4 Kilogramo patrón

### 1.2.3 Unidad de medida

Magnitud escalar real, definida y adoptada por convenio, con la que se puede comparar cualquier otra magnitud de la misma naturaleza para expresar la relación entre ambas mediante un número.

Dentro de las unidades distinguimos las unidades Fundamentales o Básicas que se refieren a las siete magnitudes Fundamentales.

Evidentemente existirán múltiplos y submúltiplos de cada una de ellas.

<b>Longitud</b>	Metro	<b>m</b>
<b>Masa</b>	Kilogramo	<b>kg</b>
<b>Tiempo</b>	Segundo	<b>s</b>
<b>Corriente eléctrica</b>	Amperio	<b>A</b>
<b>Temperatura</b>	Kelvin	<b>K</b>
<b>Intensidad luminosa</b>	Candela	<b>cd</b>
<b>Cantidad de sustancia</b>	mol	<b>mol</b>

Figura. 1-5 Unidades fundamentales

### 1.3 UNIDADES FUNDAMENTALES

#### 1.3.1 Unidad de longitud. El metro

Originariamente, el metro se definió como la diezmillonésima parte del cuadrante del meridiano de terrestre.

Posteriormente se construyó un **metro patrón** compuesto de platino e iridio depositado en la Oficina Internacional de Pesos y Medidas, de París.

No obstante, la posibilidad de que ese patrón pudiese ser destruido, o cambiar con el tiempo, hicieron necesarios buscar como referencia una **constante universal**, que a su vez aportase una mayor precisión.

Por ello, en 1960 la **Conferencia General de Pesos y Medidas** (CGPM) define el metro como 1.650.763,73 veces la longitud de onda de la radiación emitida por el salto cuántico entre los niveles  $2p_{10}$  y  $5d_5$  de un átomo de kriptón 86.

Errores detectados en el perfil de la línea espectral del kriptón, hicieron que en 1983 la CGPM adoptase una nueva definición del metro, vigente hoy en día, que lo define como:

*"La longitud del trayecto recorrido por la luz en el vacío durante un intervalo de tiempo de  $1/299.792.458$  de un segundo"*, basada en que la velocidad de la luz en el vacío es exactamente 299.792.458 metros/segundo.



Figura. 1-6 antiguas definiciones del metro patrón

#### 1.3.2 Unidad de masa. El kilogramo

La primera definición, decidida durante la Revolución francesa, especificaba que era la masa de un decímetro cúbico (un litro) de agua destilada a una atmósfera de presión y  $3,98^{\circ}\text{C}$ , una temperatura singular dado que es la temperatura a la cual el agua tiene la mayor densidad a presión atmosférica normal.

Esta definición era complicada de realizar con exactitud, porque la densidad del agua depende levemente de la presión, y las unidades de la presión incluyen la masa como factor, introduciendo una dependencia circular en la definición.

Para evitar estos problemas, el kilogramo fue redefinido mediante un objeto, cuya masa formalizó una cantidad exacta para representar la definición original. Desde 1889, el Sistema Internacional de Medidas define que la unidad debe ser igual a la masa del prototipo internacional del kilogramo (IPK), que se fabrica con una aleación de platino e iridio (en proporción de 90% y 10%, respectivamente, medida por el peso) y se trabaja a máquina en forma de cilindro circular recto (con una altura igual al diámetro) de 39 milímetros.



Figura. 1-7 Kilogramo patrón

*"El kilogramo es la masa del prototipo de Platino-Iridio, aceptada por la Conferencia General de Pesas y Medidas en 1889."*

### 1.3.3 Unidad de tiempo. Segundo

Hasta 1967 se definía como la fracción  $1/86\,400$  de la duración que tuvo el día solar medio entre los años 1750 y 1890 y, a partir de esa fecha, su medición se hace tomando como base el tiempo atómico.

Según la definición del Sistema Internacional de Unidades:

*"El segundo es la duración de 9 192 631 770 períodos de la radiación correspondiente a la transición entre los dos niveles hiperfinos del estado fundamental del átomo de Cesio 133."*

### 1.3.4 Unidad de corriente eléctrica. Amperio

El "amperio internacional" se definió en el Congreso Eléctrico Internacional de Chicago en 1893, y fue confirmado en la Conferencia Internacional de Londres de 1908 como la corriente eléctrica que provoca la deposición electrolítica de la plata de una solución de nitrato de plata a un promedio de 0.001118 g/s.

La definición actual del amperio se estableció en la novena Conferencia General de Pesas y Medidas de 1948 quedando como:

*"El amperio es la intensidad de una corriente constante que, mantenida en dos conductores paralelos, rectilíneos, de longitud infinita, de sección circular despreciable y colocados a una distancia de un metro el uno del otro en el vacío, produce entre estos conductores una fuerza igual a  $2 \times 10^{-07}$  newton por metro de longitud."*

### 1.3.5 Unidad de temperatura. Kelvin

*"El kelvin, es la fracción  $1/273,16$  de la temperatura termodinámica del punto triple del agua."*

Esta unidad de temperatura fue creada por William Thomson, **Lord Kelvin**, en el año 1848, sobre la base del grado Celsius, estableciendo el punto cero en el cero absoluto ( $-273,15^\circ\text{C}$ ) y conservando la misma dimensión.

**Punto triple del agua.** Es la combinación de presión y temperatura en la que los estados de agregación del agua; sólido, líquido y gaseoso (agua líquida, hielo y vapor, respectivamente) pueden coexistir en un equilibrio estable, se produce exactamente a una temperatura de 273,16 K (0,0098 °C) y a una presión parcial de vapor de agua de 611,73 pascales (6,1173 milibares; 0,0060373057 atm). En esas condiciones, es posible cambiar el estado de toda la masa de agua a hielo, agua líquida o vapor arbitrariamente haciendo pequeños cambios en la presión y la temperatura.

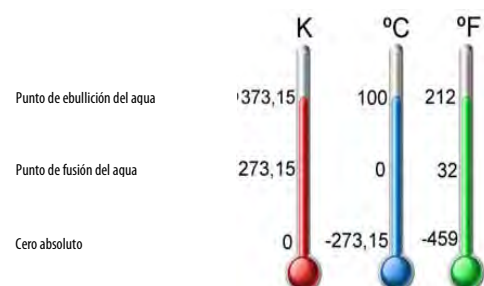


Figura. 1-8 Escalas de temperatura

### 1.3.6 Intensidad luminosa. Candela

En 1948, en la Conferencia General de Pesas y Medidas, se definió como una sexagésima parte de la luz emitida por un centímetro cuadrado de platino puro en estado sólido a la temperatura de su punto de fusión (2046 K).

En la actualidad su definición ha quedado definida como:

*“La candela es la intensidad luminosa en una dirección dada, de una fuente que emite una radiación monocromática de frecuencia  $540 \times 10^{12}$  hertz y de la cual la intensidad radica en esa dirección es  $1/683$  watt por estereoradian.”*

Documento solo válido para formación.  
ETPM (Escuela Técnica Profesional de Mantenimiento)



Fuente	Potencia aprox. en W	Luminosidad en cd	Imagen
Vela, bujía o candela de cera	Insignificante	1 cd	
Led poco luminoso	0,01 W	0,01 cd	
Led de potencia	7 W	7 cd	
Lámpara incandescente	40 W	40 cd	
Lámpara incandescente	100 W	130 cd	
Lámpara fluorescente	40 W	200 cd	
Proyector de alta potencia	10 000 W	1 000 000 cd	

### 1.3.7 Cantidad de materia. Mol

*"Cantidad de materia de un sistema que contiene tantas entidades elementales como átomos hay en 0,012 kilogramos de carbono 12."*

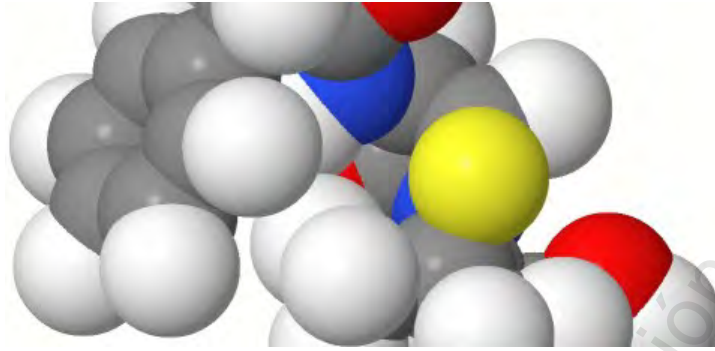


Figura. 1-10 Imagen figurada de cantidad de materia

Esta definición no aclara a qué se refiere *cantidad de sustancia* y su interpretación es motivo de debates, aunque normalmente se da por hecho que se refiere al número de entidades, como parece confirmar la propuesta de que a partir del 2011 la definición se basa directamente en el número de Avogadro (de modo similar a como se define el metro a partir de la velocidad de la luz).

Se entiende por unidades elementales a los átomos, moléculas, iones, electrones, radicales u otras partículas o grupos específicos de estas

$$1 \text{ mol} = 6,022\,141\,29(30) \cdot 10^{23} \text{ unidades elementales}$$

### 1.3.8 Unidades derivadas

Las unidades derivadas del Sistema Internacional, se definen de forma que sean coherentes con las unidades básicas y suplementarias, es decir, se definen por expresiones algebraicas bajo la forma de productos de potencias de las unidades SI básicas y/o suplementarias con un factor numérico igual 1.

MAGNITUD	NOMBRE	SIMBOLO
SUPERFICIE	metro cuadrado	m <sup>2</sup>
VOLUMEN	metro cúbico	m <sup>3</sup>
DENSIDAD DE MASA	kilogramo por metro cúbico	kg/ m <sup>3</sup>
VELOCIDAD LINEAL	metro por segundo	m/s
VELOCIDAD ANGULAR	radián por segundo	rad/s
ACELERACION	metro por segundo cuadrado	m/s <sup>2</sup>
ACELERACION ANGULAR	radián por segundo cuadrado	rad/s <sup>2</sup>

Figura. 1-11 Unidades derivadas que no tienen nombre especial

Varias de estas unidades derivadas se expresan simplemente a partir de las unidades básicas y suplementarias. Otras han recibido un nombre especial y un símbolo particular.

MAGNITUD	NOMBRE	SIMBOLO
FRECUENCIA	hercio	Hz
FUERZA	newton	N
PRESION	pascal	Pa
ENERGIA, TRABAJO	julio	J
POTENCIA	vatio	W
VOLTAJE	voltio	V
FLUJO LUMINOSO	lumen	lm
ILUMINACION	lux	lx

Figura. 1-12 Unidades derivadas que tienen nombre especial

De la misma manera existen una serie de unidades que aun no perteneciendo al Sistema Internacional, son admitidas y aceptadas para su utilización.

MAGNITUD	NOMBRE	SIMBOLO	VALOR SI
MASA	tonelada	t	1 t = 1.000 kg
TIEMPO	minuto	min	1 min = 60 s
	hora	h	1 h = 60 min
	día	d	1 d = 24 h
TEMPPERATURA	Grado Celsius	°C	°C = K-273,15
ÁNGULO PLANO	grado	°	1° = (π/180) rad
	minuto	'	1' = (1°/60) rad
	segundo	"	1" = (1'/60) rad
VOLUMEN	litro	L ó l	1 l = dm <sup>3</sup>

Figura. 1-13 Unidades aceptadas sin formar parte de SI

MAGNITUD	NOMBRE	SIMBOLO
ÁNGULO PLANO	radián	rad
ÁNGULO SÓLIDO	estereorradián	sr

Figura. 1-14 Unidades suplementarias

### 1.3.9 Múltiplos y submúltiplos

En muchas ocasiones, y dado que carece de sentido expresar el resultado de una medida en la unidad correspondiente del Sistema Internacional, se recurre al empleo de múltiplos y submúltiplos.

No tendría mucho sentido expresar la distancia entre la Tierra y la Luna en metros, ni tampoco sería adecuado utilizar esta unidad para medir el grosor de un cabello.

La tabla adjunta contiene los múltiplos y submúltiplos del Sistema Internacional de Unidades.

Puesto que hay medidas tan grandes y tan pequeñas, para facilitar los cálculos, las medidas suelen expresarse mediante lo que se conoce como notación científica.

## PREFIJOS DEL SISTEMA INTERNACIONAL

$1000^n$	$10^n$	Prefijo	Símbolo	Escala Corta	Escala Larga	Equivalencia Decimal en los Prefijos del SI	Asignación
$1000^8$	$10^{24}$	yotta	Y	Septillón	Cuadrillón	1 000 000 000 000 000 000 000 000	1991
$1000^7$	$10^{21}$	zetta	Z	Sextillón	Mil trillones	1 000 000 000 000 000 000 000	1991
$1000^6$	$10^{18}$	exa	E	Quintillón	Trillón	1 000 000 000 000 000 000	1975
$1000^5$	$10^{15}$	peta	P	Cuadrillón	Mil billones	1 000 000 000 000 000	1975
$1000^4$	$10^{12}$	tera	T	Trillón	Billón	1 000 000 000 000	1960
$1000^3$	$10^9$	giga	G	Billón	Mil millones (o millardo)	1 000 000 000	1960
$1000^2$	$10^6$	mega	M		Millón	1 000 000	1960
$1000^1$	$10^3$	kilo	k		Mil	1 000	1795
$1000^{2/3}$	$10^2$	hecto	h		Centena	100	1795
$1000^{1/3}$	$10^1$	deca	da / D		Decena	10	1795
$1000^0$	$10^0$	ninguno			Unidad	1	
$1000^{-1/3}$	$10^{-1}$	deci	d		Décimo	0.1	1795
$1000^{-2/3}$	$10^{-2}$	centi	c		Centésimo	0.01	1795
$1000^{-1}$	$10^{-3}$	mili	m		Milésimo	0.001	1795
$1000^{-2}$	$10^{-6}$	micro	$\mu$		Millonésimo	0.000 001	1960
$1000^{-3}$	$10^{-9}$	nano	n	Billonésimo	Milmillonésimo	0.000 000 001	1960
$1000^{-4}$	$10^{-12}$	pico	p	Trillonésimo	Billonésimo	0.000 000 000 001	1960
$1000^{-5}$	$10^{-15}$	femto	f	Cuadrillonésimo	Milbillonésimo	0.000 000 000 000 001	1964
$1000^{-6}$	$10^{-18}$	atto	a	Quintillonésimo	Trillonésimo	0.000 000 000 000 000 001	1964
$1000^{-7}$	$10^{-21}$	zepto	z	Sextillonésimo	Miltrillonésimo	0.000 000 000 000 000 000 001	1991
$1000^{-8}$	$10^{-24}$	yocto	y	Septillonésimo	Cuadrillonésimo	0.000 000 000 000 000 000 000 001	1991

Figura. 1-15 Tabla de múltiplos y submúltiplos del SI y sus prefijos

## 1.4 SISTEMA ANGLOSAJÓN DE MEDIDAS

El **sistema anglosajón de unidades** es el conjunto de las unidades no métricas que se utilizan actualmente como medida principal en Estados Unidos, aunque deriva del Reino Unido.

Existen ciertas discrepancias entre los sistemas de Estados Unidos y del Reino Unido, donde se denomina **sistema imperial**, e incluso existen diferencias de valores entre otros tiempos y la actualidad.

Este sistema se deriva de la evolución de las unidades locales a través de los siglos y de los intentos de estandarización en Inglaterra. Las unidades mismas tienen sus orígenes en la antigua Roma. Hoy en día, estas unidades van siendo lentamente reemplazadas por el Sistema Internacional de Unidades, aunque en Estados Unidos la inercia del antiguo sistema y el alto costo de migración ha impedido en gran medida el cambio.

Hasta hace pocos años, tanto Liberia como Birmania utilizaban el sistema imperial, pero sus respectivos gobiernos han iniciado una adopción sustancialmente amplia del sistema métrico. El comercio internacional lo realizan en unidades métricas al igual que gran parte del comercio interno, abandonando así el viejo sistema imperial

1 <b>LEGUA</b>	3 Millas	24 <u>Furlong</u>	240 Cadenas	960 <u>Rods</u>	5280 Yardas	15840 Pies	190080 Pulgadas	1,9008x 10 <sup>8</sup> Miles	4,828032 km
1 <b>MILLA</b>	8 <u>Furlong</u>	80 Cadenas	320 <u>Rods</u>	1760 Yardas	5280 Pies	63360 Pulgadas	6,336x10 <sup>7</sup> Miles	1,609344 km	
1 <b>FURLONG</b>	10 Cadenas	40 <u>Rods</u>	220 Yardas	660 Pies	7920 Pulgadas	7,92x10 <sup>6</sup> Miles	201,168 m		
1 <b>CADENA</b>	4 <u>Rods</u>	22 Yardas	66 Pies	792 Pulgadas	792000 Miles	20,1168 m			
1 <b>ROD</b>	5,5 Yardas	16,5 Pies	198 Pulgadas	198000 Miles	5,0292 m				
1 <b>YARDA</b>	3 Pies	36 Pulgadas	36000 Miles	0,9144 m					
1 <b>PIE</b>	12 Pulgadas	12000 <u>Mils</u>	30,48 cm						
1 <b>PULGADA</b>	1000 <u>Mils</u>	25,4 mm							
1 <b>MIL</b>	0,0254 mm								

Figura. 1-16 Principales unidades de longitud del sistema imperial

### 1.4.1 La Pulgada

La **pulgada** es una unidad de longitud antropométrica que equivale al ancho de la primera falange del pulgar, y más específicamente a su falange distal. Fue utilizada en muchos países, con diferentes equivalencias (muy probablemente dependiendo de la longitud de la falange del gobernante que fijó la medida).

La Pulgada en el sistema anglosajón (en inglés **inch**) tiene como símbolo in o “.

#### La Pulgada: Medida inglesa que equivale e 25,4 mm

Su submúltiplo es el Mil que equivale a su milésima parte, aunque las medidas en submúltiplos de la pulgada suelen aparecer en forma fraccionaria.

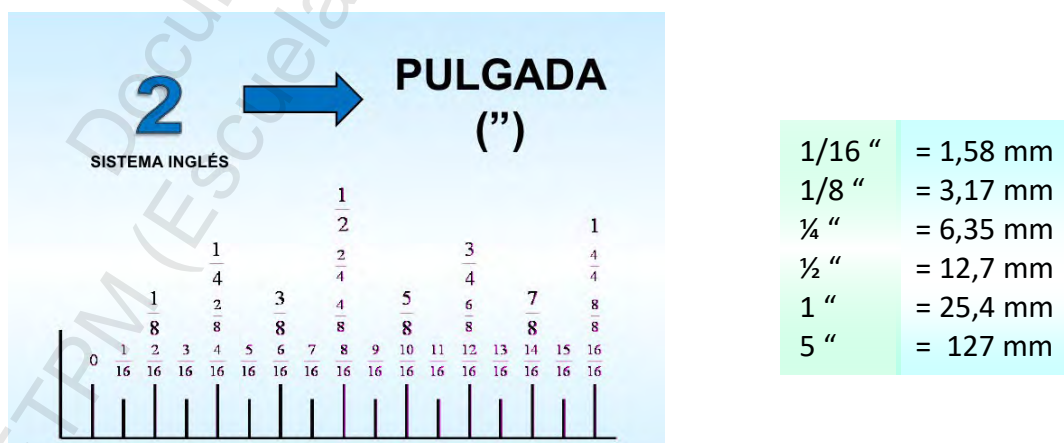


Figura. 1-17 Submúltiplos de la pulgada

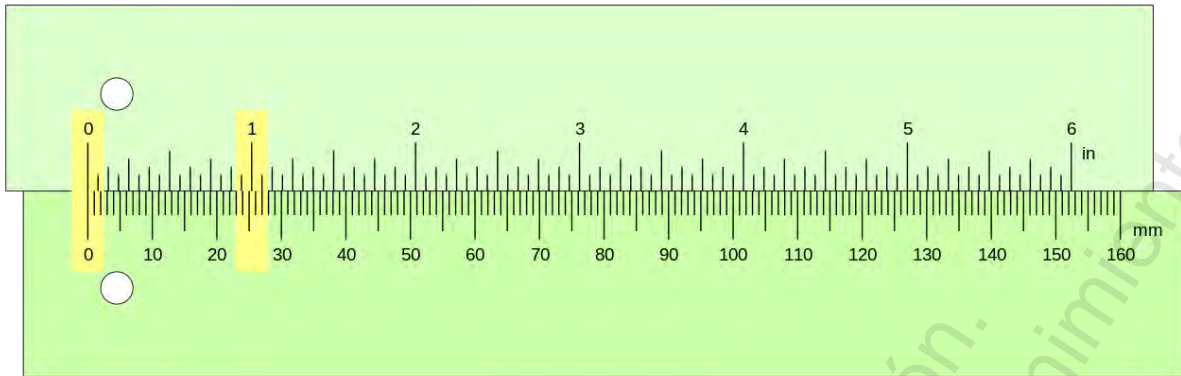


Figura. 1-18 Equivalencia de una pulgada. 1 pulgada = 25,4 mm

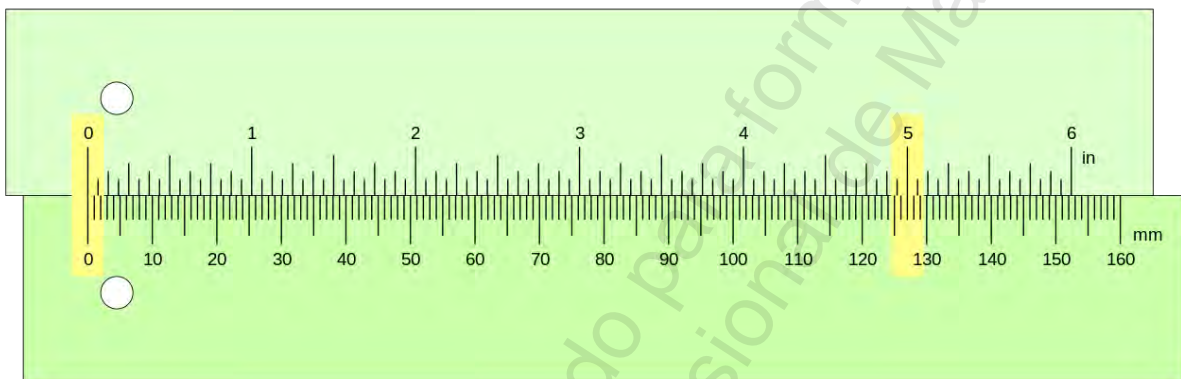


Figura. 1-19 Equivalencia de cinco pulgadas. 5 pulgadas = 127 mm

## 1.5 MEDICIONES

### 1.5.1 Patrones de medida

Un patrón de medidas es el hecho aislado y conocido que sirve como fundamento para crear una unidad de medida.

Muchas unidades tienen patrones, pero en el sistema métrico sólo las unidades básicas tienen patrones de medidas.

Los patrones nunca varían su valor. Aunque han ido evolucionando, porque los anteriores establecidos eran variables y, se establecieron otros diferentes considerados invariables.

Ejemplo de un patrón de medida sería: "Patrón del segundo: Es la duración de 9 192 631 770 períodos de radiación correspondiente a la transición entre 2 niveles hiperfinos del estado fundamental del átomo de Cesio 133". Como se puede leer en el artículo sobre el segundo.

De todos los patrones del sistema métrico, sólo existe la muestra material de uno, es el kilogramo, conservado en la *Oficina Internacional de Pesos y Medidas*. De ese patrón se han hecho varias copias para varios países.

### 1.5.2 Medición directa

Entendemos por medición directa aquella cuyo valor de la medida se obtiene directamente de los trazos y divisiones de los instrumentos, o de su pantalla en caso de ser digital.



Figura. 1-20 Ejemplo de medición directa

### 1.5.3 Medición indirecta

No siempre es posible realizar una medida directa, porque existen variables que no se pueden medir por comparación directa, es por lo tanto con patrones de la misma naturaleza, o porque el valor a medir es muy grande o muy pequeño y depende de obstáculos de otra naturaleza, etc. Medición indirecta es aquella en la que una magnitud buscada se estima midiendo una o más magnitudes diferentes, y se calcula la magnitud buscada mediante cálculo a partir de la magnitud o magnitudes directamente medidas

De la misma manera entendemos por medición indirecta, aquella en la que para obtener el valor de la medida necesitamos compararla con alguna referencia.

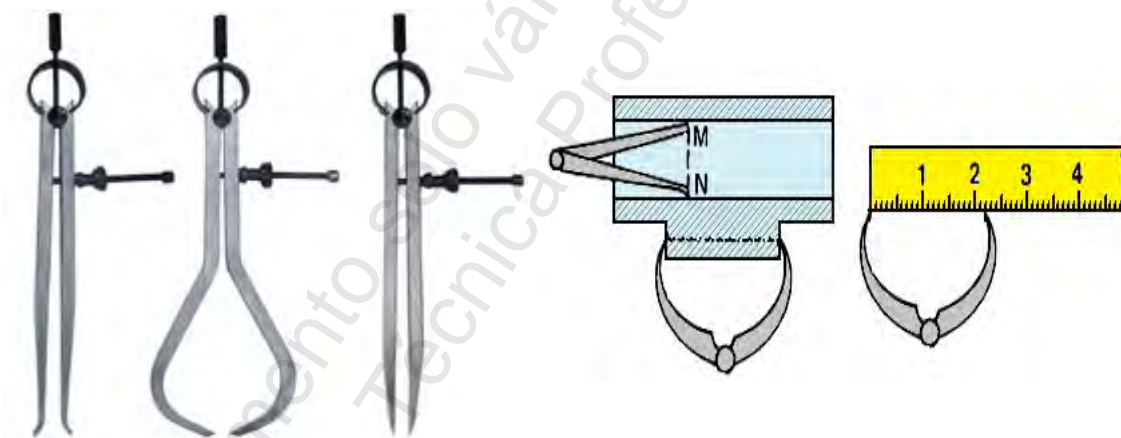


Figura. 1-21 Instrumentos y ejemplo de medición indirecta

### 1.5.4 Cifra significativa

En una representación numérica, se entiende que las cifras significativas representan el uso de una o más escalas de incertidumbre en determinadas aproximaciones. Es decir, son aquellas cifras de un número que tienen un significado real y, por tanto, aportan una información.

Se dice que la 5,2 tiene dos cifras significativas, que 3,70 tiene tres y que 0,021 tiene dos.

Ejemplo:

**Longitud (L) = 63,5 cm**

No es la única manera de expresar el resultado, también puede ser:

$$L = 0,635 \text{ m}$$

$$L = 6,35 \text{ dm}$$

$$L = 635 \text{ mm}$$

Cual quiera de ellas tiene tres cifras significativas pues son cifras que aportan información y tienen un significado real. El resto de las cifras y la coma sólo dan información sobre la unidad de medida en la que está expresada.

### 1.5.5 Redondeo

Se entiende por redondeo al proceso de eliminación de dígitos no significativos de un número, pero siguiendo una serie de reglas que se deben aplicar al primero de los dígitos que se desea eliminar.

1ª regla. Si el primer dígito a eliminar es menor de 5, dicho dígito y los que le siguen se eliminarán, el resto se deja como está.

$$\pi = 3,1415927\dots \rightarrow 3,14\underline{15927} \rightarrow 3,14$$

2ª regla. Si el primer dígito a eliminar es mayor de 5, o si es 5 seguido de otros dígitos diferentes a 0, dicho dígito y los que le siguen se eliminarán y se aumentará en una unidad el número que quede.

$$\pi = 3,1415927\dots \rightarrow 3,141592\underline{7} \rightarrow 3,1416$$

### 1.5.6 Medida nominal y tolerancia

**Medida nominal** indica el valor teórico o ideal de cualquier elemento cuantificable o medible. Es el valor que aparece en el plano.

**Medida real** es la efectuada en una medición.

**Tolerancia** es el intervalo de valores distinto del nominal entre los que se puede encontrar una medida para que se acepte como válida.

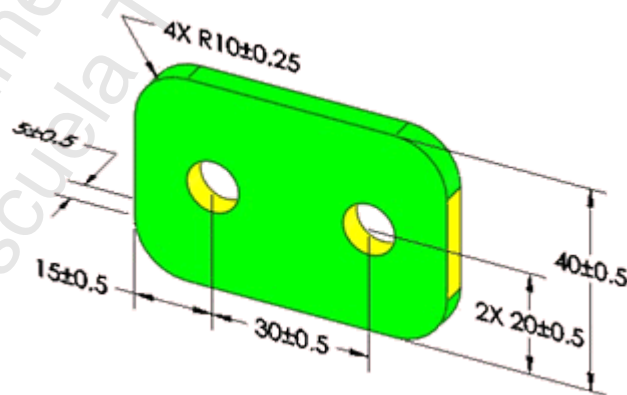


Figura. 1-22 Ejemplos de medidas nominales con tolerancia

En la figura 1-22 aparece como medida nominal de la altura de la pieza 40. Su tolerancia es de  $\pm 0,5$ . Esto nos indica que la medida ideal es de 40, pero que la pieza se dará como válida encontrándose entre el rango de medida de 39,5 hasta 40,5.



### 1.5.7 Incertidumbre

El resultado de cualquier medición es, en cierto grado, incierto. Esto puede ser debido a diferentes causas.

1. Imperfecciones del equipo de medida
2. Aplicación incorrecta del aparato de medida
3. Indefinición del mesurando
4. Otras causas: Magnitudes de influencia como la temperatura o la humedad ambiente, la resolución del aparato de medida, etc.

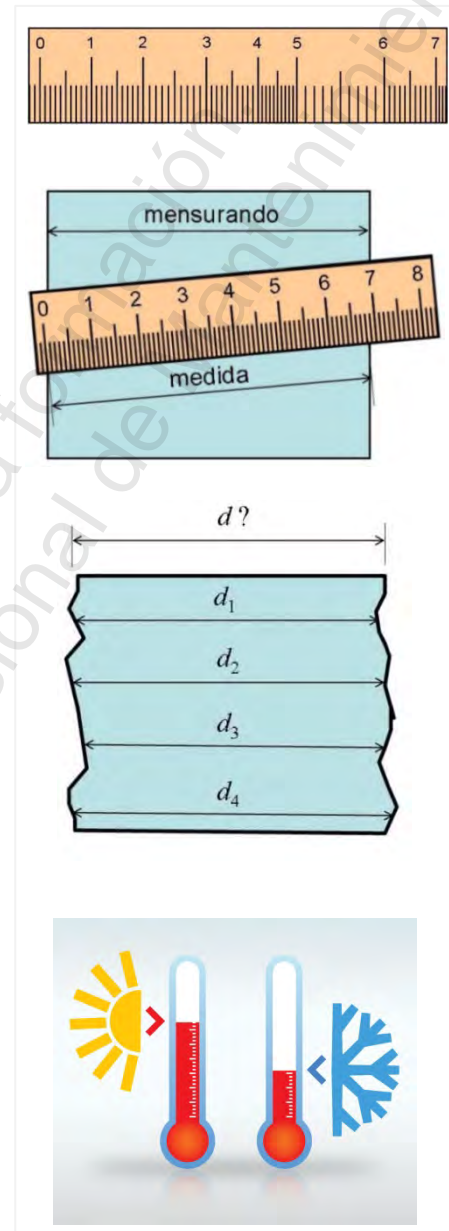


Figura. 1-23 Causas de incertidumbre

Entendemos por incertidumbre al parámetro no negativo que caracteriza la dispersión de los valores atribuidos a un mensurando.

También puede expresarse como el valor de la semi-amplitud de un intervalo alrededor del valor resultante de la medida, que se entiende como el valor convencionalmente verdadero.

El carácter convencional, y no real de tal valor, es consecuencia de que el intervalo se entiende como una estimación adecuada de la zona de valores entre los que se encuentra el valor verdadero del mensurando, y que en términos tanto teóricos como prácticos es imposible de hallar con seguridad o absoluta certeza: teóricamente porque se necesitaría una sucesión infinita de correcciones, y en

términos prácticos por no ser útil continuar con las correcciones una vez que la incertidumbre se ha reducido lo suficiente como para no afectar técnicamente al objeto al que va a servir la medida.

Existen muchas formas de expresar la incertidumbre de medida o conceptos derivados o asociados: incertidumbre típica, incertidumbre expandida, incertidumbre de calibración -calibración-, incertidumbre máxima, incertidumbre de uso, etc.

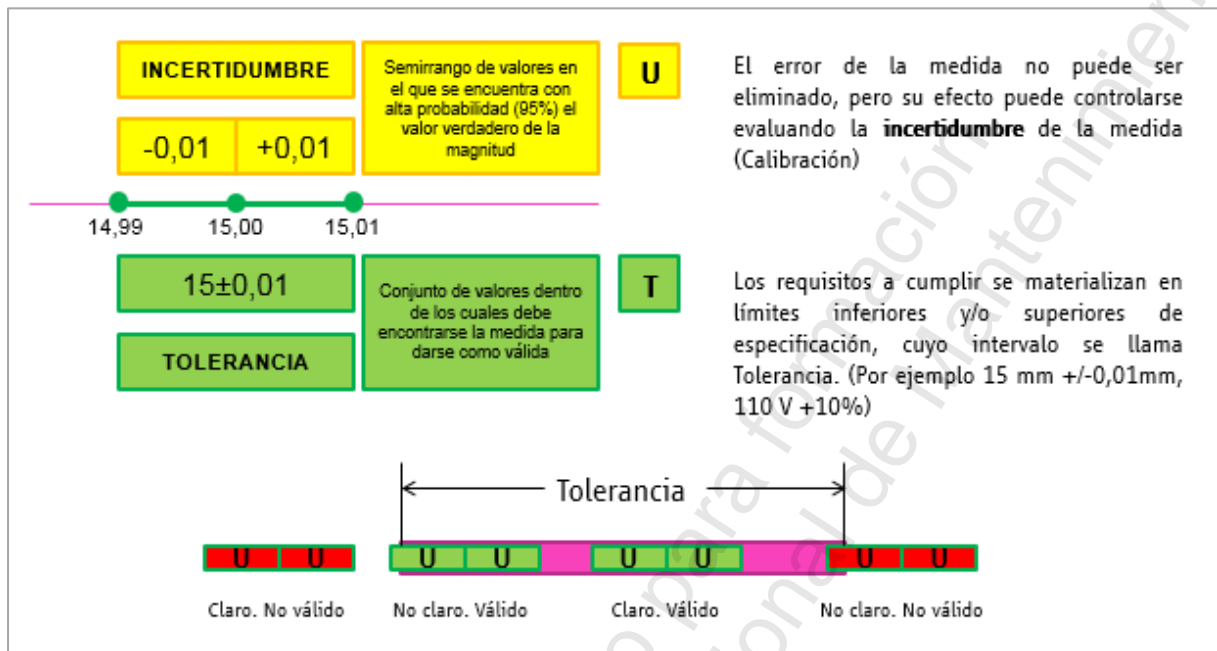


Figura. 1-24 Incertidumbre y tolerancia

Una incertidumbre alta acarrea:

- Mayor riesgo de incumplimiento de la tolerancia
- Menor coste del proceso
- Equipos menos rigurosos

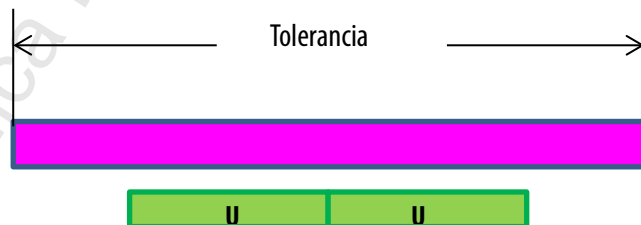


Figura. 1-25 Incertidumbre alta

Una incertidumbre baja conlleva:

- Menor riesgo de incumplir tolerancia
- Mayor coste de proceso
- Equipos más rigurosos

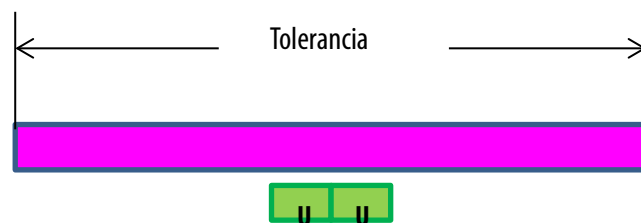


Figura. 1-26 Incertidumbre baja

### 1.5.8 Tolerancia Mínima Asegurable

La expresión de “tolerancia mínima asegurable” es propia de RENFE Fabricación y Mantenimiento, se incluye en las fichas de datos técnicos de los equipos de medición que se utilizan en esta sociedad y que se define como:

**“La menor tolerancia de una medida que puede ser medida con un equipo, teniendo presente que esta tolerancia se refiere a la tolerancia total de una medición”.**

Valor de la medida	Tolerancia	Tolerancia Total
125 mm	± 0,025 mm	0,050 mm
125 mm	+ 0,035 mm - 0,015 mm	0,050 mm
125,034 mm 124,984 mm	0,050 mm	0,050 mm

Figura. 1-27 Ejemplos de tolerancias y tolerancia total

Una vez definida la tolerancia total de la medida a realizar, es necesario comprobar si es posible realizarla con el equipo que se dispone, teniendo en cuenta que el valor de la TMA de dicho equipo debe de ser menor o igual que el de la tolerancia total de la medida a realizar.

VALOR DE LA MEDIDA	TOLERANCIA	TOLERANCIA TOTAL	TMA DEL EQUIPO		EQUIPO
125 mm	± 0,025 mm	0,050 mm	± 0,018 mm	0,036 mm	CORRECTO
			± 0,027 mm	0,054 mm	NO VÁLIDO
125 mm	+ 0,035 mm - 0,015 mm	0,050 mm	0,048 mm	0,048 mm	CORRECTO
			± 0,039 mm	0,078 mm	NO VÁLIDO

Figura. 1-28 Ejemplos de tolerancias y de TMA (tolerancia mínima asegurable)

El valor de la Tolerancia Mínima Asegurable se calcula multiplicando por seis el valor de la incertidumbre.

$$TMA = 6U$$

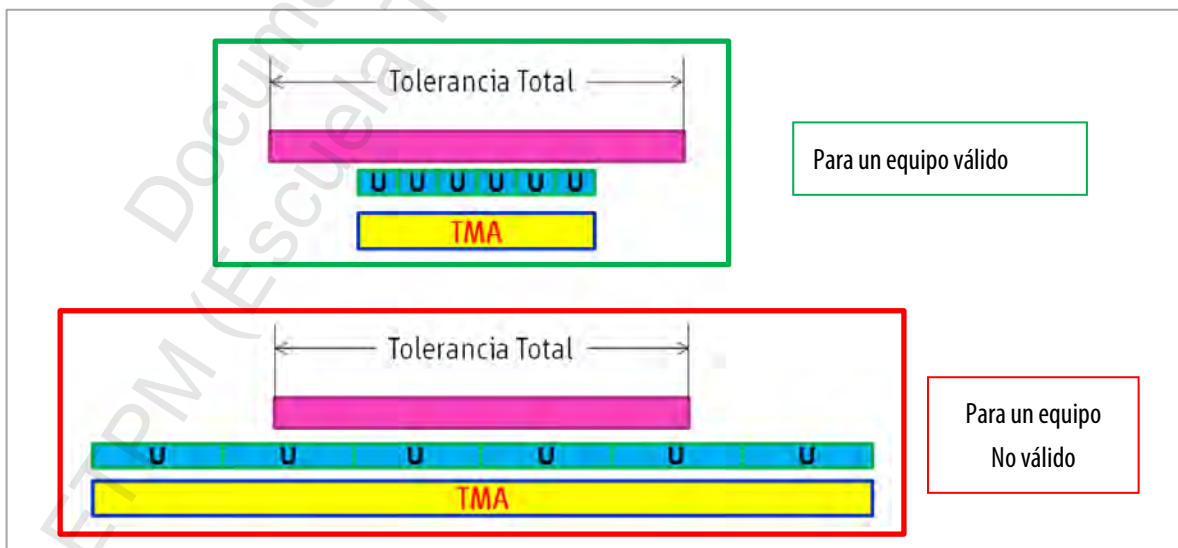
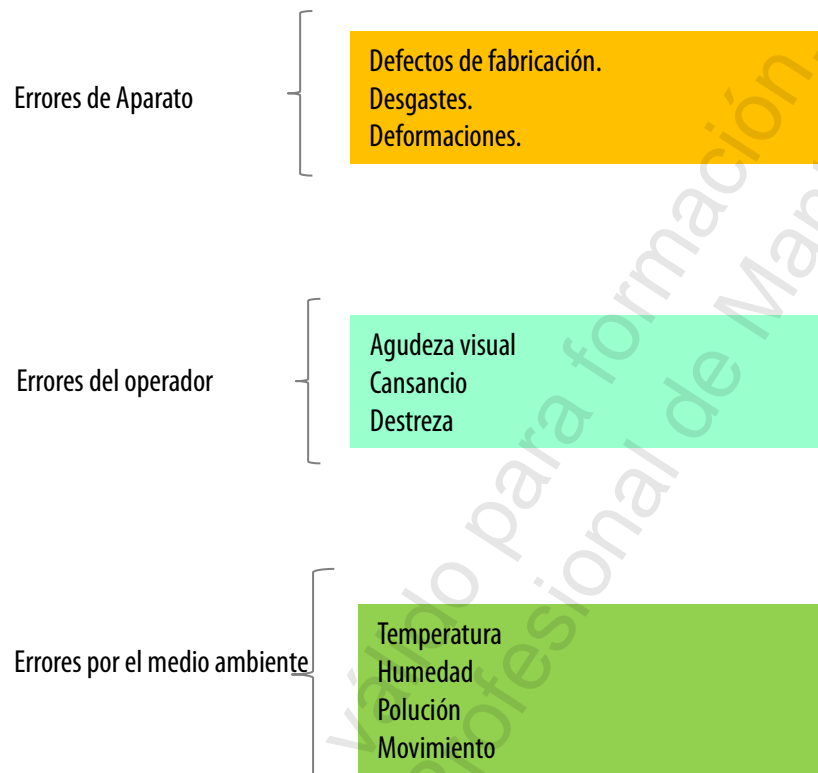


Figura. 1-29 Ejemplos gráficos de Tolerancia Mínima Asegurable

ETPM (Escuela Técnica Profesional de Mantenimiento)  
Documento solo válido para formación.

### 1.5.9 Errores de medición

A la hora de realizar mediciones es inevitable la producción de errores, pero debe hacerse todo lo posible para que este sea el menor posible. Los errores pueden ser posibles por:



Error de medición es la diferencia entre el valor real y el leído en una medición.

Podemos clasificar los errores en:

**Error sistemático:** El que se produce invariablemente en todas las medidas.

- Defectos en el aparato de medida
- Mala calibración
- Procedimientos incorrectos

**Error accidental o eventual:** El que se produce por causas fortuitas.

- Cansancio
- Posicionamiento inadecuado
- Influencia ambiental
- Destreza del operador

Los errores debidos al operario que realiza las medidas pueden ser:

**Error de paralaje**

Es el que se produce cuando la escala y la aguja o superficie indicadora se encuentran en planos distintos y la visual no es perpendicular a las mismas.

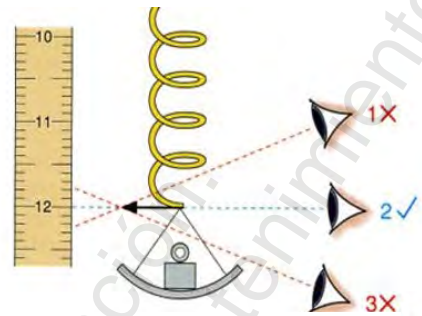


Figura. 1-30 Error de paralaje

**Presión de contacto incorrecta**

Una excesiva presión sobre los topes de contacto del aparato de medida sobre las superficies a medir puede ocasionar errores de medición debido a deformaciones elásticas de la pieza en cuestión.

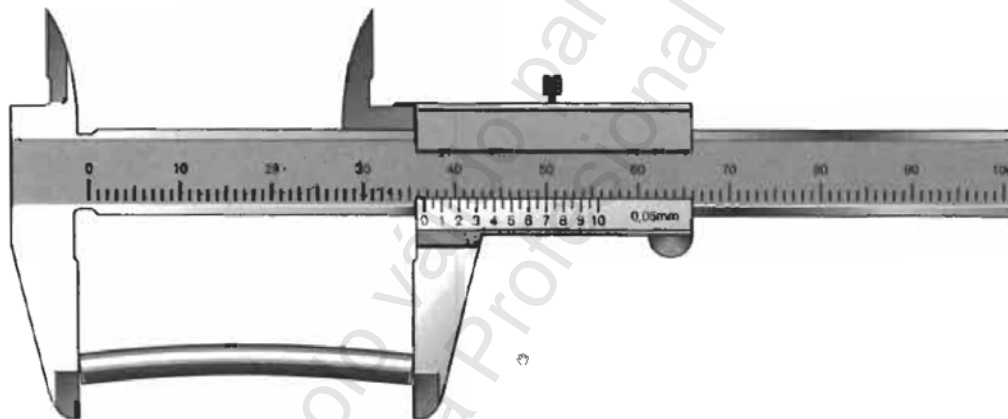


Figura. 1-31 Presión de contacto excesiva

**Colocación incorrecta del aparato**

Una colocación incorrecta del aparato de medida ocasionará medidas incorrectas

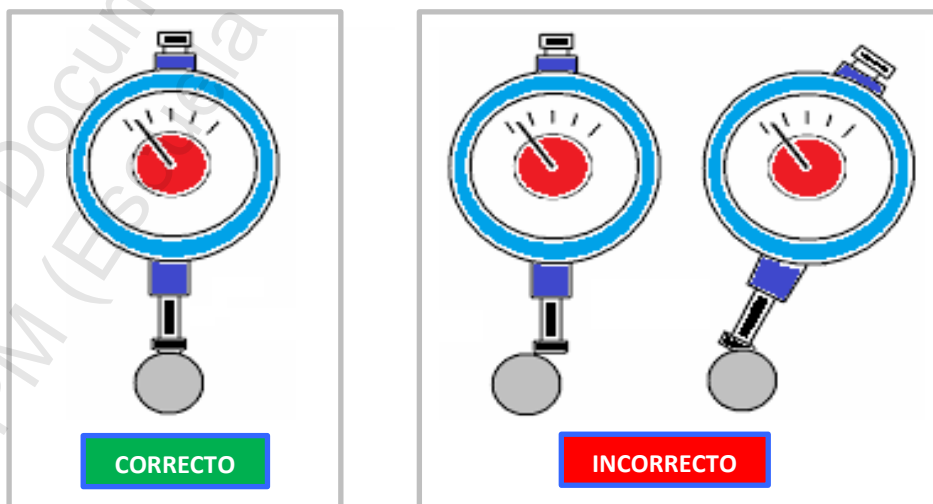


Figura. 1-32 Posición del aparato de medida

### 1.5.10 Exactitud y precisión

La **exactitud** se refiere al grado de coincidencia existente entre el resultado de una medición y el valor dado como referencia.

La **precisión** se refiere a la dispersión del conjunto de valores obtenidos de mediciones repetidas de una magnitud. Cuanto menor es la dispersión mayor la precisión.

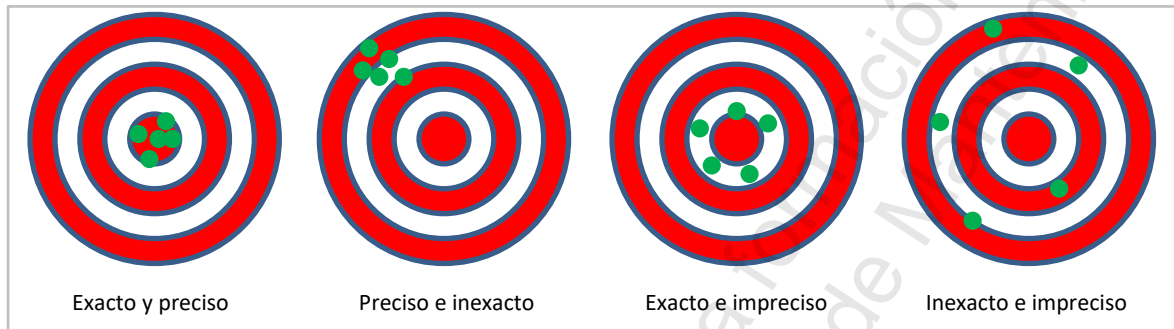


Figura. 1-33 Ejemplos de exactitud y precisión

### 1.5.11 Apreciación y sensibilidad

**Apreciación:** es la medida más pequeña perceptible en un instrumento de medida, es decir, el intervalo entre dos divisiones sucesivas de su escala



Figura. 1-34 Apreciación

**Sensibilidad:** es la relación entre la respuesta de un aparato (nº de divisiones) y la magnitud de la cantidad medida. Magnitud más pequeña que puede medir el instrumento.

También se puede definir como la relación de desplazamiento entre el indicador del aparato de medida y la medida real.

Se conoce como la mínima variación en la magnitud medida que puede apreciar un aparato

10,23 s

En este caso el error se comete en la centésima. La medida se puede dar como:

(10,23 ± 0,01) s

La sensibilidad es de 0,01 s

---

En este otro caso, el reloj mide en segundos. La medida se puede dar como:

25 ± 1 s

Figura. 1-35 Sensibilidad

Documento solo válido para formación.  
ETPM (Escuela Técnica Profesional de Mantenimiento)



## 2. INSTRUMENTOS DE MEDIDA

Entendemos por **instrumento de medición** la herramienta o aparato que se usa para comparar magnitudes físicas mediante un proceso de medición, se utilizan objetos y sucesos previamente establecidos como estándares o patrones, y de la medición resulta un número que es la relación entre el objeto de estudio y la unidad de referencia. Por medio de los instrumentos de medida se realiza esta relación.

### 2.1 INSTRUMENTOS DE MEDIDA DIRECTA

Se denomina medición directa cuando el valor de la medida se obtiene directamente de los trazos y divisiones de los instrumentos.

Los instrumentos más empleados para la medición directa de longitudes son:

- El metro
- La regla graduada
- El pie de rey
- El tornillo micrométrico o Palmer

#### 2.1.1 Metro

Se denomina metro a un elemento con escala debidamente graduada generalmente en milímetros o pulgadas. Su longitud puede variar, aunque lo más común suele ser de uno o dos metros.

Los hay de diferentes tipos y formas relacionadas con la especialidad industrial a la que van a ser destinados y la longitud para la que se vayan a utilizar.

Pueden ser plegables, enrollable, fabricados en metal, en madera o con fibras textiles, analógicos o digitales, dependiendo del tipo.

##### Metro plegable.

Constituido por varillas rectangulares de generalmente de madera que van unidas en los extremos por elementos metálicos remachados que permiten el giro de las diferentes láminas y proporcionando la plegabilidad de sus elementos. Se suelen utilizar en carpintería.



Figura. 2-1 Metro plegable

##### Cinta métrica

Fabricada generalmente con fibras textiles en forma de cinta que les confiere total flexibilidad y adaptación a los elementos a medir. Se utiliza generalmente en industria textil con una longitud de 1,5 metros y se encuentra milimetrado por las dos caras



Figura. 2-2 Cinta métrica para textil

También aparece como cinta enrollable, la denominada cinta de agrimensor, que se utiliza para medida de longitudes mayores pudiendo encontrarlas de varias decenas de metros. Se utilizan en construcción y agrimensura.

Debido a su longitud y su peso, suelen estar construidas de materiales resistentes y livianos como la fibra de vidrio.



Figura. 2-3 cinta métrica de agrimensor

### Flexómetro

Cinta métrica flexible fabricada con fleje de acero que le proporciona resistencia y flexibilidad. Son enrollables dentro de una carcasa que permite constituirse como un instrumento de reducido tamaño, y protegido del exterior, cómodo de recoger después de su uso y de fácil utilización. Se encuentra milimetrado y su longitud suele encontrarse habitualmente entre 2 y 5 metros. También puede encontrarse con medidas en pulgadas.

En su extremo aparece una pieza metálica en forma de escuadra (en ocasiones imantada) que facilita su disposición para efectuar medidas y que, a su vez, imposibilita su introducción completa dentro de la carcasa, por efecto del muelle retráctil que se encuentra en su interior y que facilita su introducción, mediante el enrollado en el interior.

En la actualidad podemos encontrarlos con un display donde se muestra con más claridad la medida realizada.



Figura. 2-4 Flexómetros analógico y digital

### 2.1.2 Regla graduada

La regla graduada es una barra prismática de forma rectangular fabricada en acero laminado y templado. Puede ser flexible, aunque normalmente suele ser rígida, dependiendo de su sección y la aplicación a la que esté destinada.

Suele estar graduada en milímetros y en pulgadas y fracciones. La primera división coincide con el uno de los extremos. Su longitud suele ser de 200, 500, 1000 o 2000 mm.

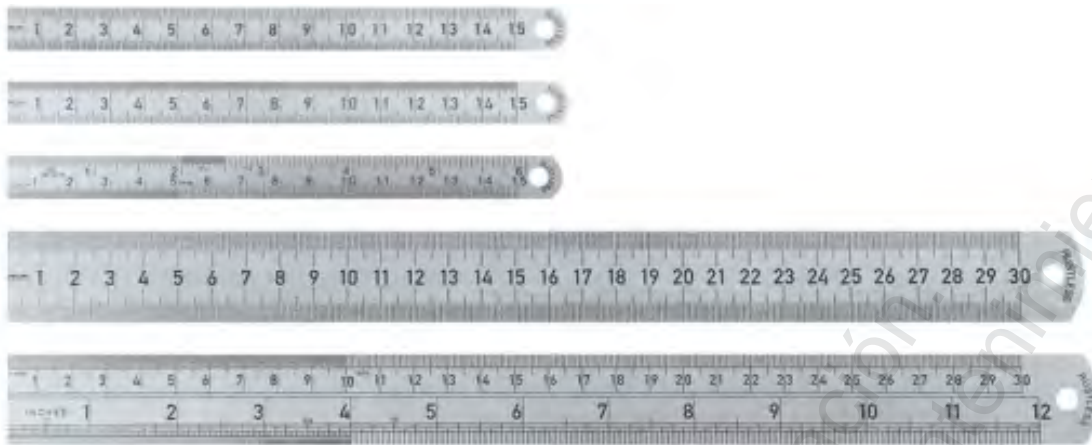


Figura. 2-5 Reglas graduadas

### 2.1.3 Nonio

El nonio o escala vernier es una escala auxiliar que se desliza a lo largo de una escala principal para permitir lecturas fraccionales exactas de la misma división. Puede ser recto o circular.

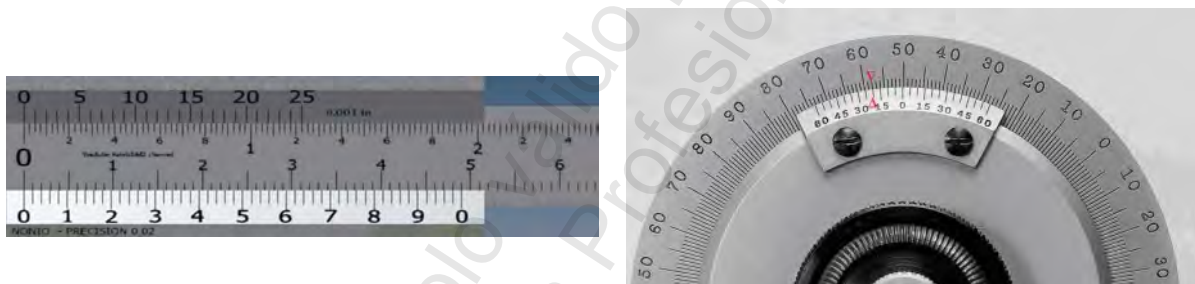


Figura. 2-6 Nonios o vernier. Izquierda, Recto; Derecha.-Circular

Fue el matemático, astrónomo y geógrafo portugués Pedro Nunes (conocido por su nombre latino como Petrus Nonius), quien inventó en 1514 el nonio: un dispositivo de medida de longitudes que permitía, con ayuda de un astrolabio, medir fracciones de grado de ángulo mediante una escala auxiliar.

Pierre Vernier, matemático francés, fue quien adaptó este sistema en 1631, mediante la escala que lleva su apellido (escala Vernier) para medir longitudes con gran precisión.

#### Nonio recto

El nonio recto consiste en una escala graduada y móvil longitudinalmente con respecto a una regla graduada fija. La división del nonio será de diez divisiones sobre nueve de la regla, de forma que entre cada división hay 0,9 mm.

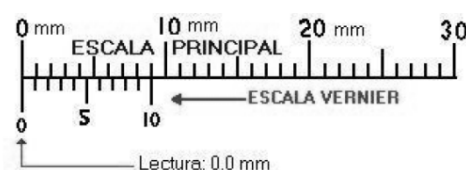


Figura. 2-7 Nonio recto

De esta misma manera, la diferencia entre la primera de las divisiones de la regla y la primera de las divisiones del nonio (en disposición de cero entre las dos escalas) será, en este caso de 1 décima de milímetro (0,1 mm).

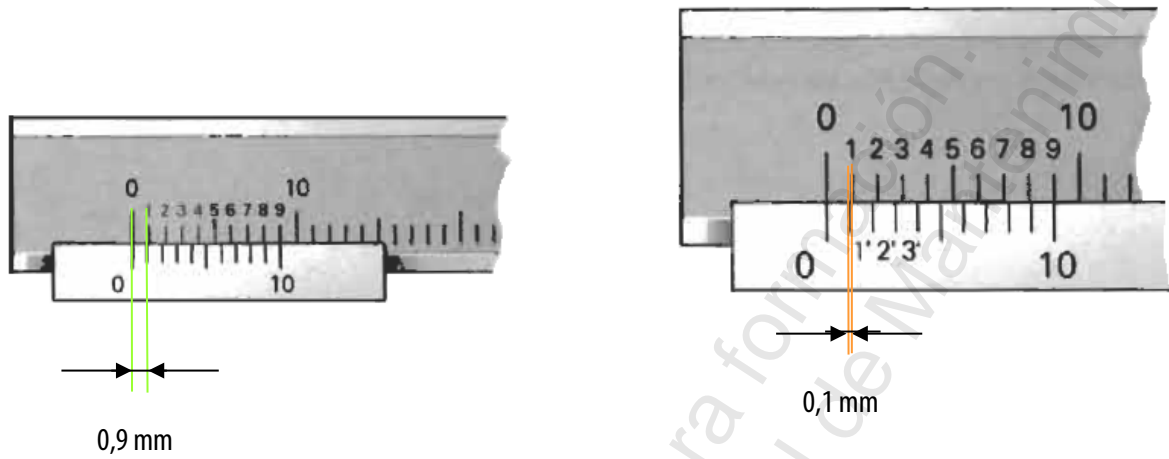


Figura. 2-8 Diferencias entre las primeras divisiones en el sistema

### Nonio circular

Los instrumentos que se utilizan para mediciones angulares de precisión deben incorporar un nonio circular para apreciar fracciones de arco de circunferencia más pequeñas que las divisiones de su escala.

El principio de funcionamiento es idéntico al del nonio recto.

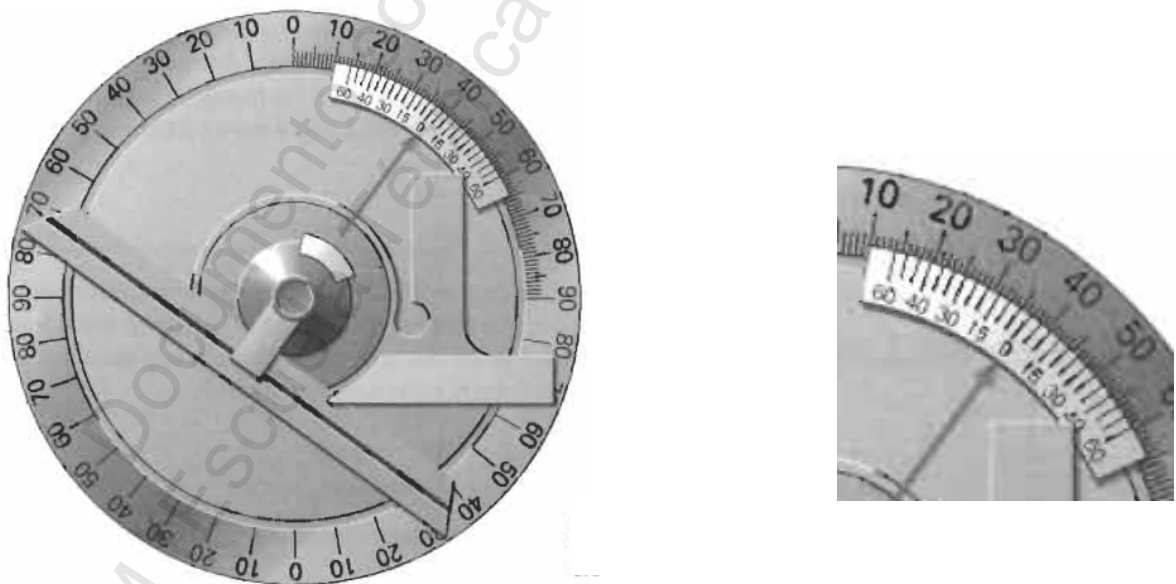


Figura. 2-9 Nonio circular

### 2.1.4 Calibre

El calibre, también denominado calibrador, vernier, cartabón de corredera o pie de rey, es un instrumento provisto de nonio para medir con precisión pequeñas longitudes como calibres, diámetros, espesores y profundidades.

Consta principalmente por una regla graduada con una escuadra en uno de sus extremos, sobre la que se desliza otra más pequeña destinada a indicar la medida en una escala.

Mediante piezas especiales en su parte superior y en el extremo, permite medir dimensiones internas y profundidades.

Las principales partes del calibre son:

**Mordazas:** Son dos piezas (una fija y otra móvil deslizante) que en su parte inferior forman una boca para medir exteriores y en la superior dos salientes para medir interiores. La mordaza móvil dispone de una varilla que sobresale para poder medir profundidades.

**Regla:** Se encuentra en la mordaza fija y tiene divisiones en centímetros y en milímetros, aunque pueden aparecer en pulgadas y divisiones o con los dos sistemas de medida (uno en la parte inferior y otro en la parte superior de la regla), en ese caso existirán dos nonios, uno para cada sistema de medición.

**Nonio:** Escala situada en la mordaza móvil marcada con divisiones del 1 al 10.

**Freno:** Pieza situada en la mordaza móvil, en forma de botón, que se presiona para poder correr la pieza. A veces dispone de un pequeño tornillo que cuando se enrosca mantiene la mordaza en una posición fija.

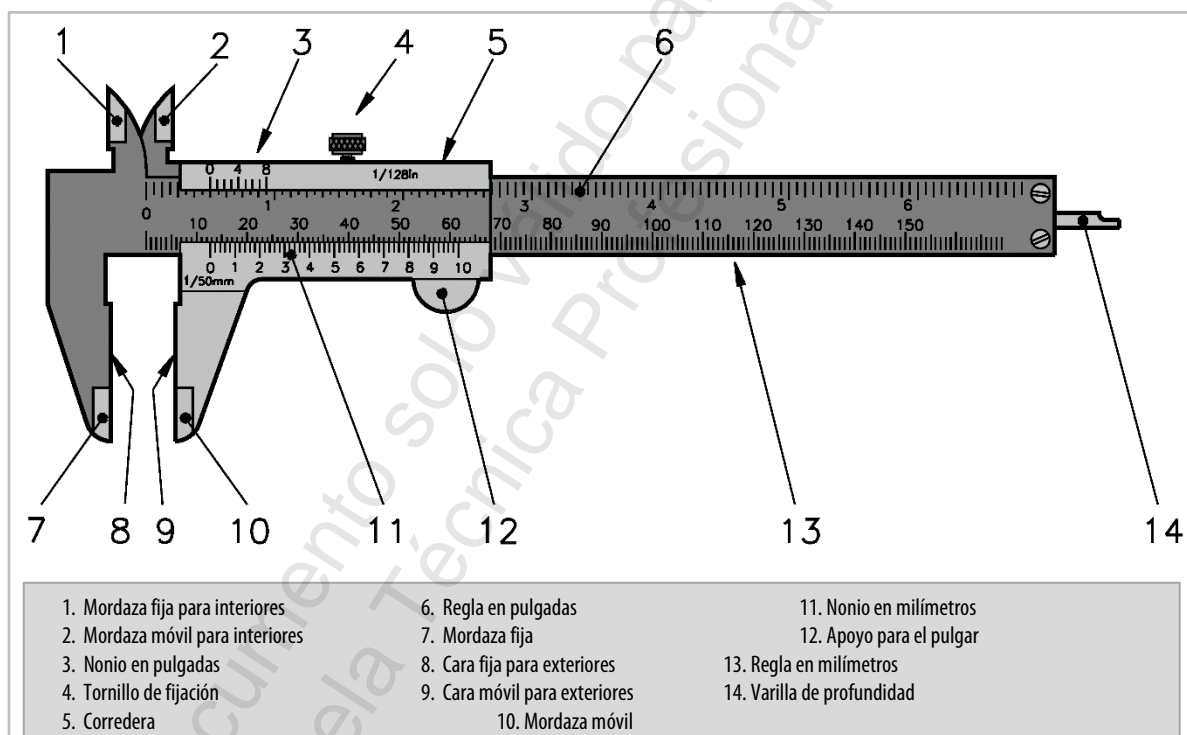


Figura. 2-10 Partes del calibre

### 2.1.5 Mediciones del calibre

Como se comentó en el punto anterior, el calibre convencional puede efectuar tres tipos de mediciones:

- Interiores
- Exteriores
- Profundidad

Cada una de estas mediciones se efectuarán con las partes correspondientes diseñadas para tal fin y que en diferentes tipos de calibres pueden aparecer con formas diferentes.

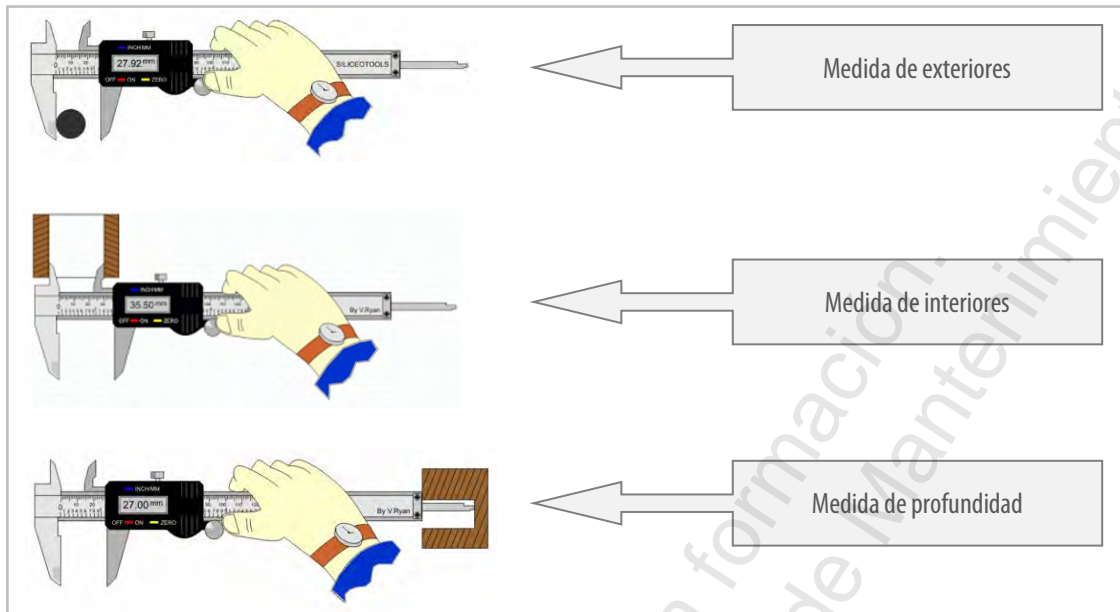


Figura. 2-11 Posibilidades de medición con el calibre

### 2.1.6 Tipos de calibre

Las principales clasificaciones de los calibres pueden ser:

#### Por su sistema de indicación

- Analógicos (1)
- Con comparador (2)
- Digitales (3)



Figura. 2-12 Por sistema indicador

#### Por su posibilidad de medición

- Para un solo tipo de medida (4)
- Para varios tipos de medida (5)

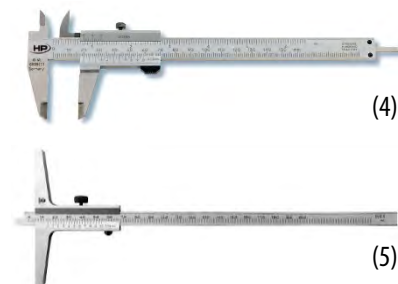


Figura. 2-13 Por posibilidad de medir

#### Por su forma y capacidad de medición



Figura. 2-14 Por su forma y capacidad de medida

### 2.1.7 Calibre especial para perfiles de rodadura

Para la medición de los distintos parámetros que se controlan en el perfil de rodadura de las ruedas de vehículos ferroviarios, se utilizarán unos calibres especialmente diseñados para este fin.

#### Parámetros del perfil de rodadura.

Los parámetros principales a controlar en perfil de rodadura son:

**Sh:** Altura de pestaña (distancia vertical desde el punto de medida del diámetro hasta el punto más alto de la pestaña).

**Sd:** Grosor de pestaña (distancia horizontal a 10 mm en vertical del punto de medida del diámetro).

**Qr:** Distancia horizontal desde el punto de medida del grueso de pestaña hasta 2 mm por encima del punto más bajo de la pestaña).

Otros parámetros a controlar en las ruedas de los vehículos ferroviarios son:

**AR:** Distancia entre caras internas de ruedas.

**Diámetro:** Diámetro de rodadura (desde el centro de la zona de rodadura).

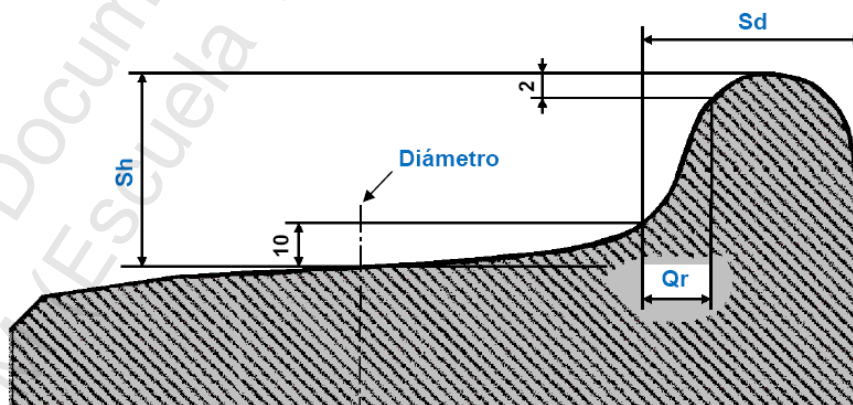


Figura. 2-15 Parámetros del perfil de rodadura

Como se ha reseñado anteriormente, se utilizarán para efectuar el control de los parámetros a controlar en el perfil de rueda, se utilizará un calibre especial que dispondrá de tres reglas graduadas y sus respectivos nonios para poder efectuar las mediciones con un

solo instrumento. Uno de ellos (2) para la medición del parámetro  $Q_r$ , un segundo (3) para la altura de pestaña ( $Sh$ ) y un tercero (4) para la anchura de la misma ( $S_d$ ). Algunos instrumentos también vienen dotados de regulación del punto de apoyo sobre la banda circular mediante una mordaza móvil (1) con su respectivo nonio. En otros casos este apoyo se encuentra fijo a 70 mm de la escuadra o mordaza fija del calibre.

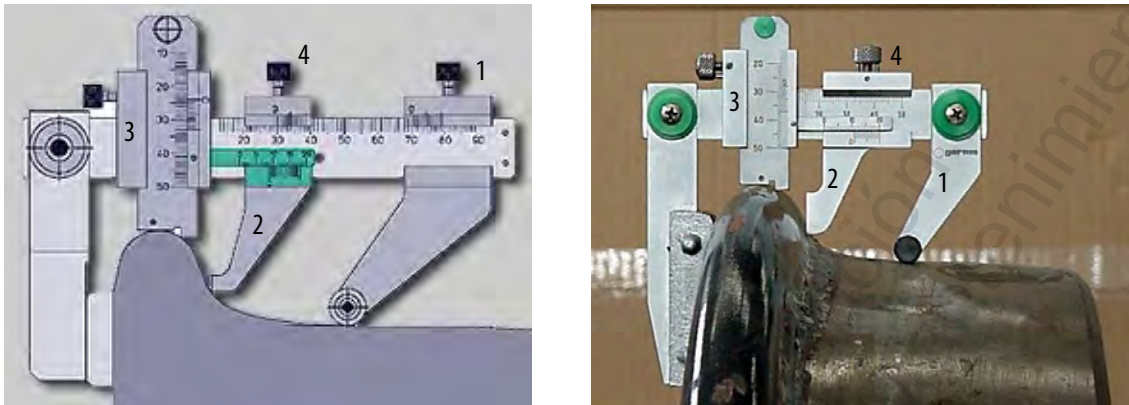


Figura. 2-16 Calibre especial para perfiles de rodadura y sus partes

### Medidor de diámetros de rueda "Sagita".

Otro de los parámetros a controlar el diámetro de rueda. En punto donde se verifica este parámetro será la banda circular de la misma (70 mm desde la cara interna de la rueda).

Utiliza un sistema indirecto de medida, es decir, se usa la medición de la flecha o sagita de un arco de circunferencia definido para calcular el diámetro de la misma mediante la fórmula matemática:

$$f = r - \sqrt{r^2 - \left(\frac{c}{2}\right)^2}$$

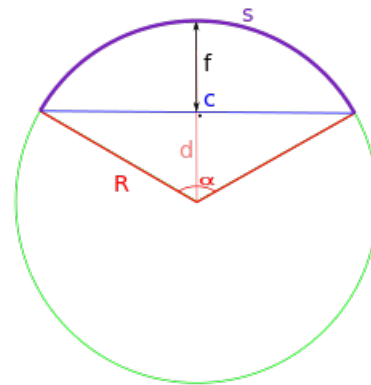


Figura. 2-17 Fórmula y dibujo de la flecha

En geometría, la **flecha** o **sagita** ( $f$ ) de un arco de circunferencia ( $s$ ) es la distancia desde el centro del arco hasta el centro de la cuerda ( $c$ ).

El instrumento consta de tres apoyos y un reloj comparador. Dos de los apoyos conforman la cuerda del arco. El tercer apoyo lo conforma una placa de apoyo sobre la cara interna de la rueda que asegura la estabilidad del aparato y la colocación de la punta del reloj comparador sobre la banda circular de la rueda.

El reloj comparador determina la medida de la flecha que normalmente, mediante la traslación de la medida a unas tablas conformadas con distintas medidas, determinan el diámetro de la rueda.





Figura. 2-18 Medidor Sagita analógico de diámetro de rueda.

Al igual que la mayoría de los instrumentos que se relacionan en este texto, podemos encontrar aparatos con lectores digitales que muestran en pantalla la medida del diámetro directamente sin tener que efectuar ningún otro cálculo adicional.



Figura. 2-19 Sagita digital

Existen otros instrumentos, de nueva generación, que efectúan algunas de estas medidas mediante una sonda (MiniProf) o mediante haces laser (Calipri Laser) y que facilitan la adquisición de estos parámetros y que mediante equipos informáticos propios o externos, permiten extraer gráficas de la medición para su posterior visualización, estudio o registro.



Figura. 2-20 MiniProf (izquierda) y Calipri Laser (derecha)

### 2.1.8 Medición con el calibre

La parte entera de la medición resulta de la coincidencia entre el cero del nonio y la línea correspondiente de la regla. En caso de no existir exactitud entre ellas se tomará como parte entera la más próxima anterior (lado izquierdo).

La parte decimal la indica la línea del nonio que coincide exactamente con la correspondiente de la regla.

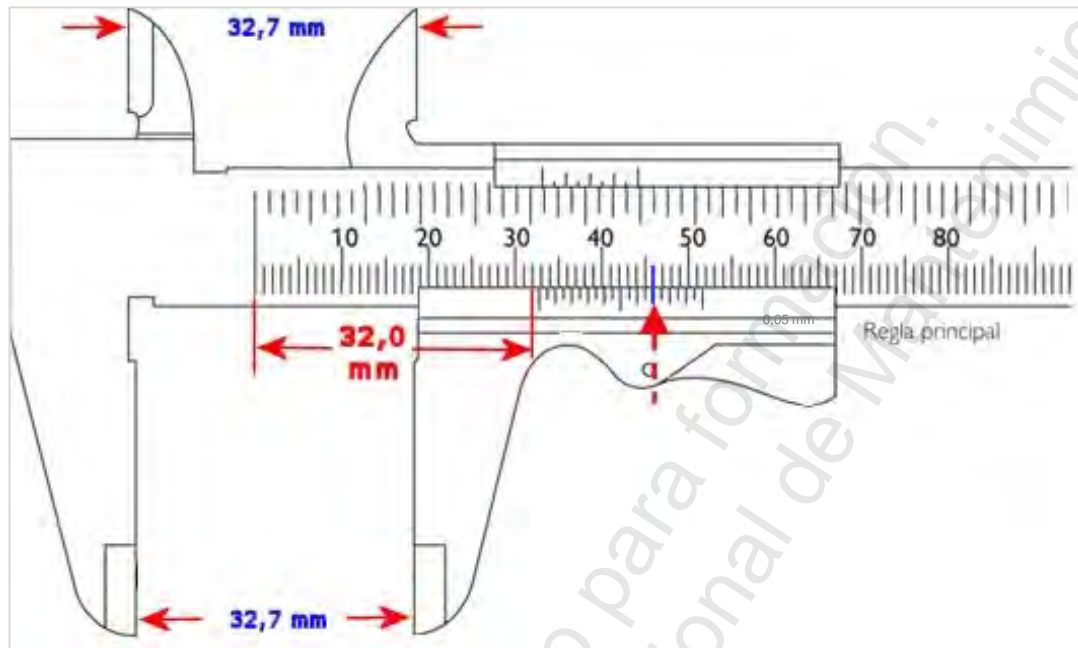


Figura. 2-21 Ejemplo de medición con el calibre

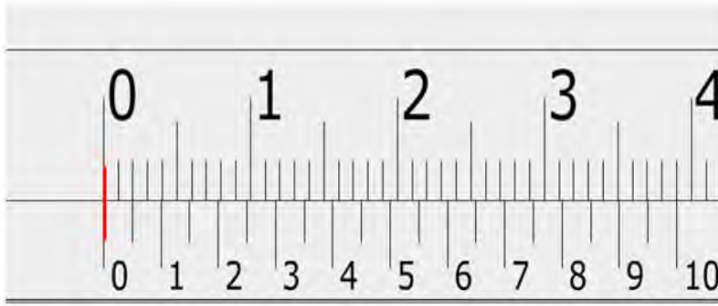
1º.- El comienzo de la escala del nonio se encuentra sobrepasando la división 32 de la regla fija. Por ello la parte entera será **32 mm**.

2º.- la coincidencia de divisiones entre regla y nonio se produce en la división 14 (séptima larga o de 0,7 mm), por lo tanto **0,7 mm** es la parte decimal.

La medida total será

$$32 + 0,7 = 32,7 \text{ mm}$$

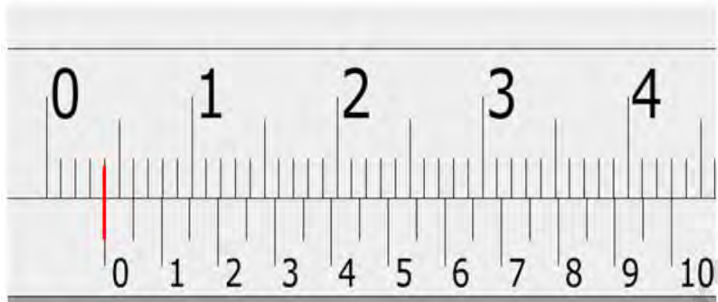
2.1.9 Ejemplos de medidas en milímetros



Entero = 0

Decimal = 0

Medida = 0



Entero = 4

Decimal = 0

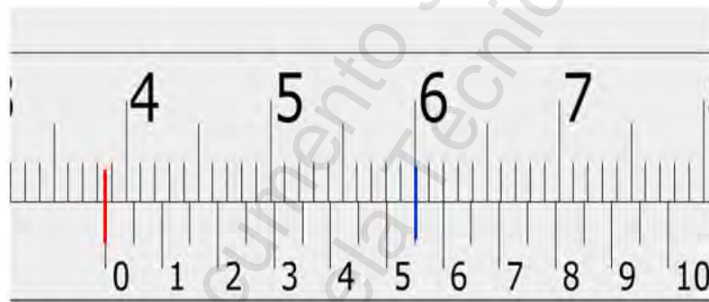
Medida = 4,00



Entero = 14

Decimal = 5

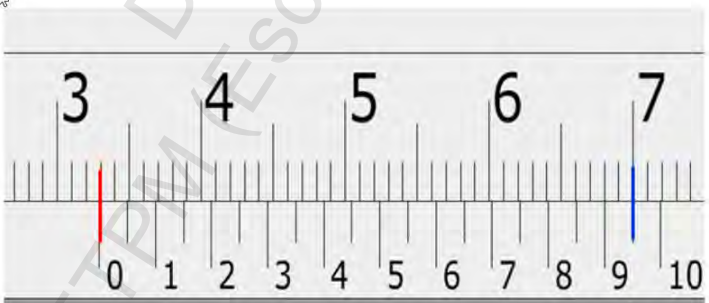
Medida = 14,50



Entero = 38

Decimal = 55

Medida = 38,55



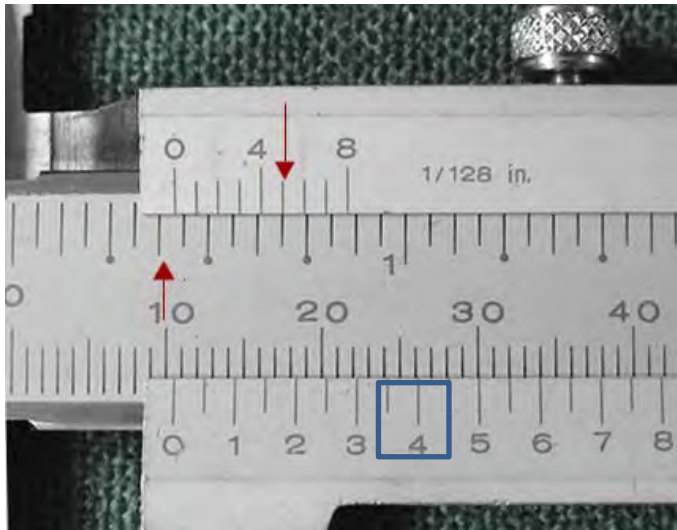
Entero = 32

Decimal = 95

Medida = 32,95

### 2.1.10 Medición con el calibre en pulgadas (fraccionario)

Para la medición en pulgadas con representación **fraccionaria**, el procedimiento será el mismo efectuado con el nonio milimetrado, pero esta vez se tomarán los datos de la parte superior marcada en pulgadas y con una apreciación (habitualmente) de regla de 1/16 de pulgada y el nonio de 1/128 de pulgada.



La medida en la regla está después de la 6ª línea.

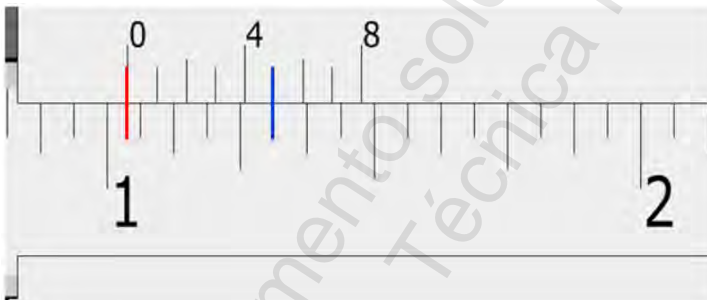
La del nonio coincide con la 5ª. Por lo tanto:

$$6/16 + 5/128$$

$$\frac{6}{16} + \frac{5}{128} = \frac{48}{128} + \frac{5}{128} = \frac{53}{128}$$

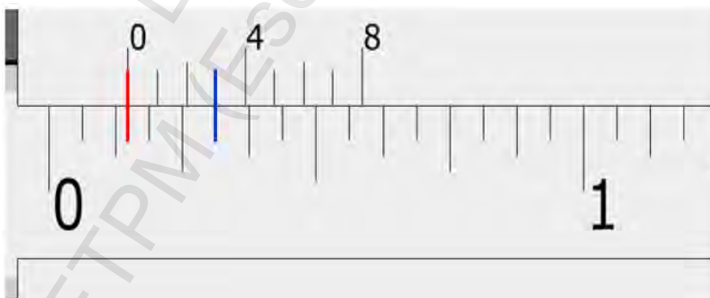
Figura. 2-22 Medida en pulgadas

### 2.1.11 Ejemplos de medidas en pulgadas (fraccionario)



Entero = **1**      Decimal = **5/128**

$$\text{Medida} = 1 + \frac{5}{128} = 1 \frac{5}{128}$$



Entero = **2/16**      Decimal = **3/128**

$$\text{Medida} = \frac{2}{16} + \frac{3}{128} = \frac{16}{128} + \frac{3}{128} = \frac{19}{128}$$

### 2.1.12 Medición con el calibre en pulgadas (milesimal)

Otro tipo de nonio para medidas en pulgadas es el de apreciación **milesimal**, es decir, en vez de submúltiplos expresados en forma fraccionaria, se representará en forma milesimal.

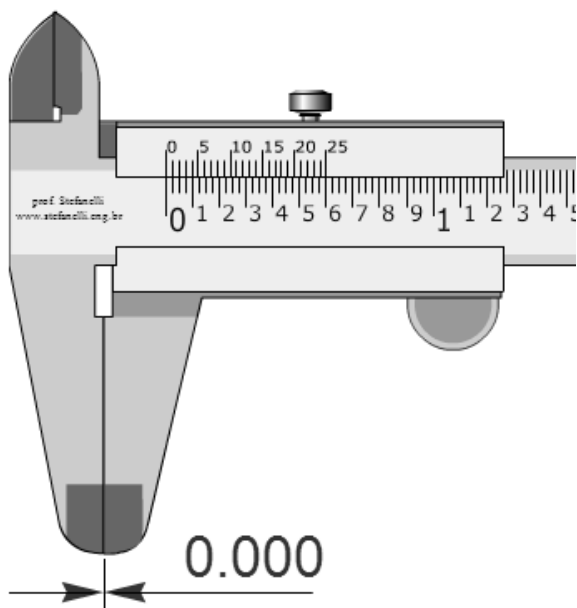


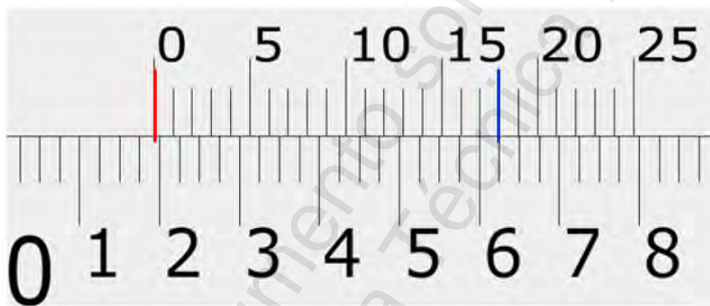
Figura. 2-23 Calibre en pulgadas milesimal

En este caso la regla se divide en 10 divisiones por pulgada (0,1) que a su vez están divididas en cuatro (0,025) cada una.

El nonio se divide en 25 partes que representan 25 milésimas.

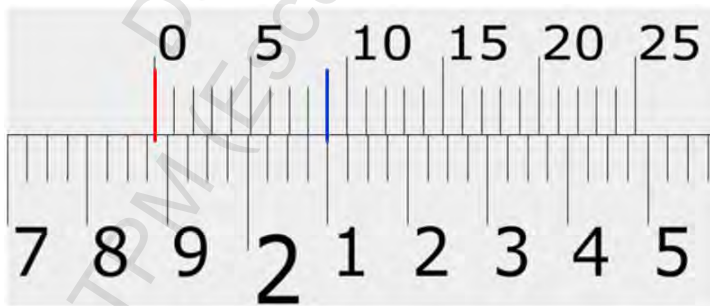
Al igual que los anteriores casos, se sumarán el resultado de la regla más el del nonio.

### 2.1.13 Ejemplos de medidas en pulgadas (milesimal)



Entero = **0,1 + 0,075** Decimal = **0,018**

Medida =  $0,1 + 0,075 + 0,018 = 0,193$



Entero = **1,8 + 0,075** Decimal = **0,009**

Medida =  $1,8 + 0,075 + 0,009 = 1,884$

### 2.1.14 Micrómetro

**El micrómetro es un instrumento de precisión para medición para longitudes.**

También se denomina **tornillo de Palmer**, **calibre Palmer** o simplemente **palmer**, es un instrumento de medición cuyo nombre deriva etimológicamente de las palabras griegas "μικρο" (micros, que significa pequeño) y μετρον (metron, que significa medición).

Su funcionamiento se basa en un tornillo micrométrico que sirve para valorar el tamaño de un objeto con gran precisión, en un rango del orden de centésimas o de milésimas de milímetro (0,01 mm y 0,001 mm respectivamente).

Para proceder con la medición posee dos extremos que son aproximados mutuamente merced a un tornillo de rosca fina que dispone en su contorno de una escala grabada, la cual puede incorporar un nonio.

El paso del tornillo determina el avance del mismo sobre la escala, lo más habitual es encontrar pasos de medio milímetro.

### 2.1.15 Partes del micrómetro

Los principales elementos o partes que componen el palmer son:

- Punta fija o yunque
- Husillo micrométrico
- Cilindro
- Tambor
- Carraca
- Arco

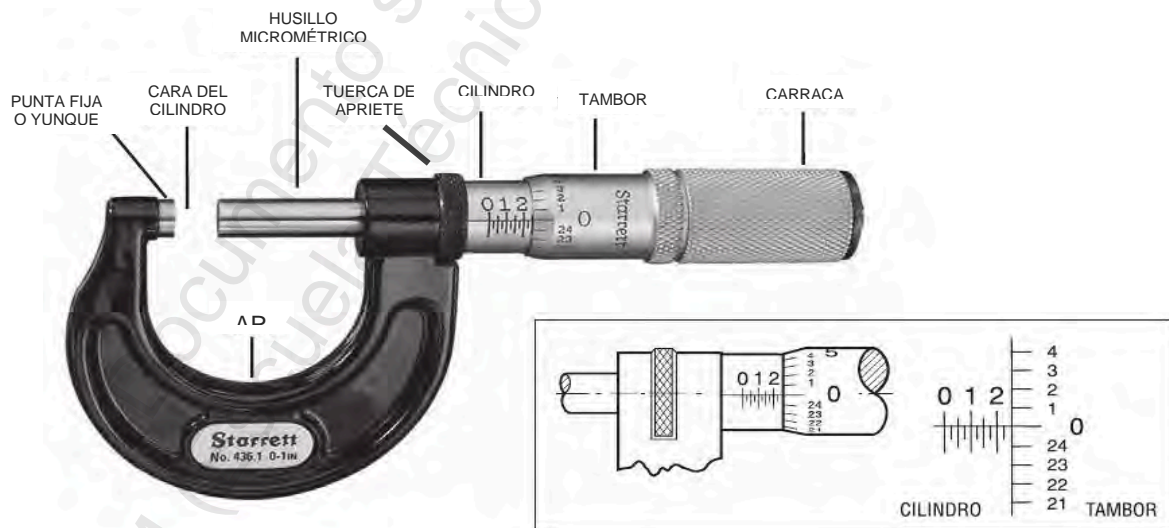


Figura. 2-24 Partes del micrómetro

### 2.1.16 Husillo y tambor

El sistema utilizado en los micrómetros o palmer consta de un husillo graduado en milímetros en la parte superior y 0,5 mm en la inferior. Sobre el husillo y mediante una rosca de paso 0,5 mm se desliza un tambor graduado en 50 divisiones.

Una vuelta del tambor sobre el husillo coincide con un avance de 0,5 mm, cada una de las divisiones representa una centésima parte de un milímetro.

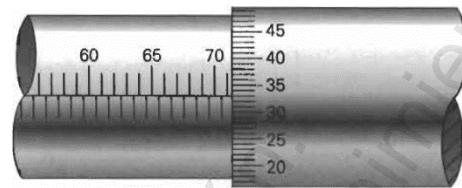


Figura. 2-25 Husillo y tambor

### 2.1.17 Principales tipos de micrómetros

Atendiendo a su uso, a su tamaño, al tipo de piezas específicas que pueden medir, a su tipo de indicador, etc., existirán diversos tipos de micrómetros con formas y tamaños diferentes. En la figura siguiente se muestran algunos de ellos.



Figura. 2-26 Tipos de micrómetros

Tanto en micrómetros de interiores como de exteriores, se pueden encontrar equipos compuestos del micrómetro propiamente dicho y de una serie de extensiones calibradas con unas dimensiones variadas y determinadas para poder utilizar el equipo en rangos de medida mucho más amplios.

De la misma forma que otros aparatos de medida, encontraremos micros para medidas en el Sistema Internacional (milímetros) y para el Sistema Anglosajón en pulgadas.

### 2.1.18 Micrómetro para interiores de tres puntas

Tipo de micrómetro dotado de tres puntos de medición que se encuentran repartidos en el perímetro de la circunferencia a medir. Al disponer de estos tres puntos de medida, y por lo tanto de apoyo, el centrado del instrumento sobre el orificio de la pieza a medir, se produce de manera mucho más fácil que la realizada con un micrómetro de interiores convencional.

Los tres puntos de medición pueden encontrarse equidistantes unos de otros, es decir, a  $120^\circ$  cada uno. En otros casos se encuentran posicionados a  $90^\circ$  y a  $135^\circ$  y perpendiculares al eje del instrumento.

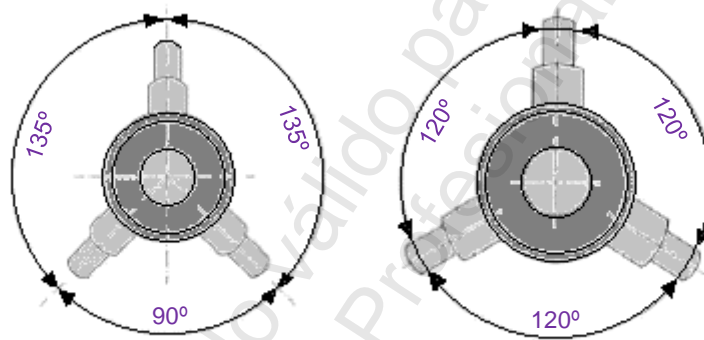


Figura. 2-27 Situación de los tres puntos de contacto

Este posicionamiento permite el auto centrado del micrómetro en el orificio de medir facilitando su manejo. Solo será necesario un pequeño movimiento de vaivén a la vez que se abre el diámetro de los puntos de contacto mediante la carraca.





Figura. 2-28 Micrómetros de interiores con tres puntos de contacto

### 2.1.19 Medición con el micrómetro

A lo largo del cilindro (longitudinalmente) aparecerá una línea que servirá de referencia central para las marcas de medida del cilindro.

Sobre su parte superior se encontrará milimetrado indicando los milímetros enteros.

Sobre su parte inferior también se encontrará milimetrado, pero en este caso indicará los medios milímetros.

El tambor se encontrará milimetrado en toda circunferencia y cada marca nos indicará la centésima de milímetro hasta un total de 50 en su coincidencia con la línea longitudinal del husillo.

La suma de cada uno de estos valores dará el valor de la medida realizada.

$$16 + 0,18 = 16,18 \text{ mm}$$

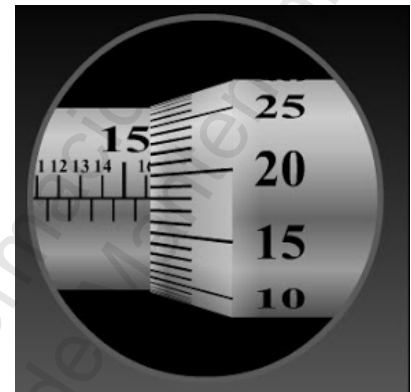


Figura. 2-29 Lectura del micrómetro

Para efectuar la medición con el micrómetro, tanto de interiores como de exteriores, será necesario el centrado del mismo sobre el diámetro a medir mediante una serie de movimientos de vaivén sobre los ejes axial y longitudinal del orificio a medir, a la vez que se va abriendo (en caso de micrómetros de interiores) o cerrando (en el caso de micrómetros de exteriores) el aparato mediante la carraca correspondiente, hasta encontrar el máximo diámetro en interiores y mínimo en exteriores.

Como entenderse, la pericia a la hora de realizar estos tipos de medición es de enorme importancia. Dicha pericia se obtiene, generalmente, fruto de la experiencia.

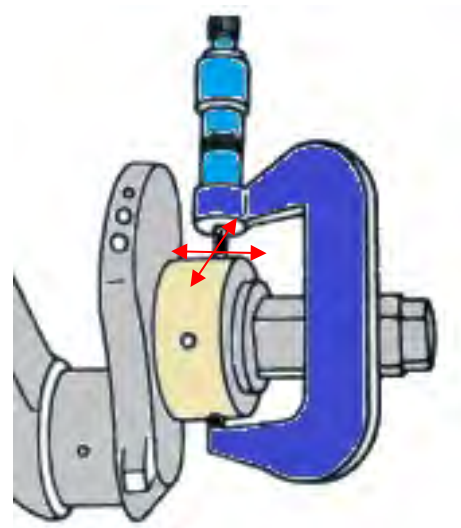
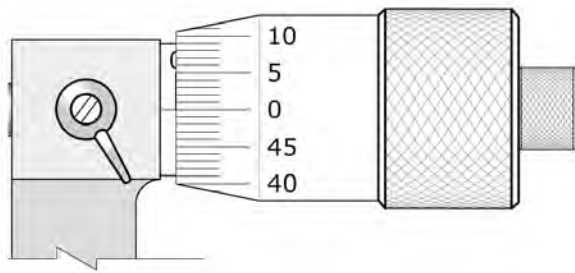


Figura. 2-30 Movimiento de vaivén para posicionamiento de micrómetros

2.1.20 Ejemplos de medida con el micrómetro

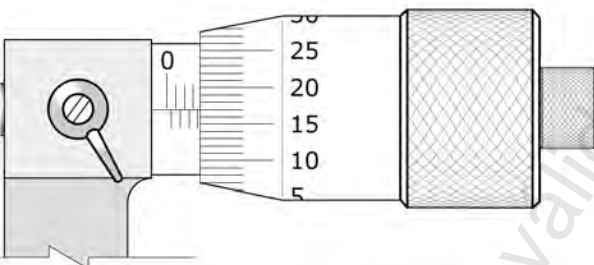
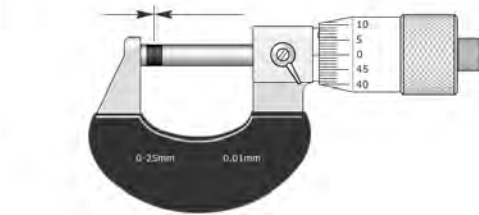


Husillo superior = 0

Husillo inferior = 0

Tambor = 0

TOTAL = 0 + 0 + 0 = 0

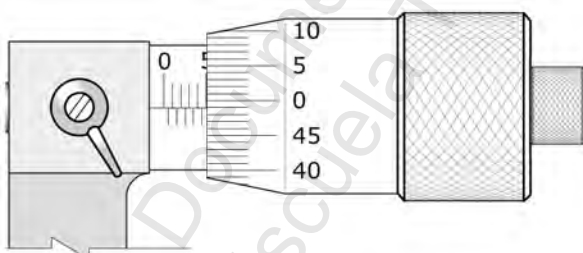
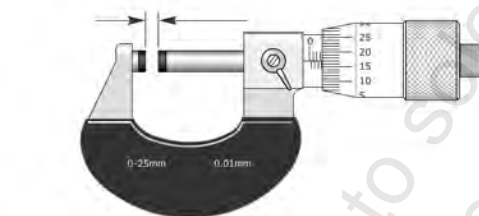


Husillo superior = 3

Husillo inferior = 0,5

Tambor = 0,17

TOTAL = 3 + 0,5 + 0,17 = 3,67

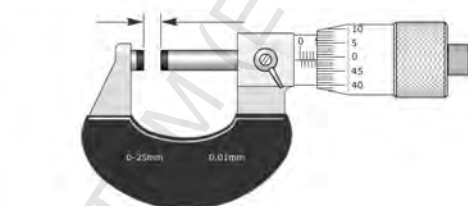


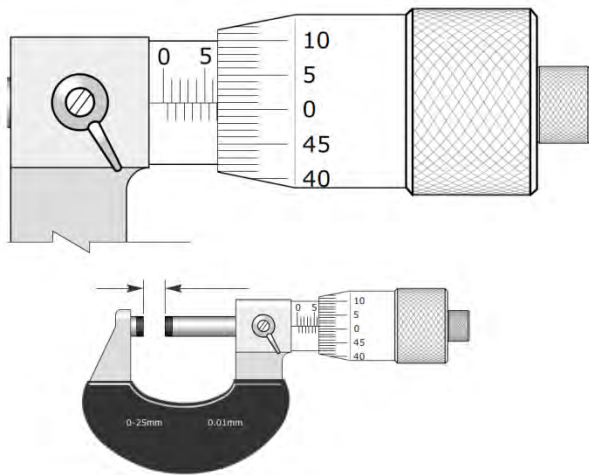
Husillo superior = 4

Husillo inferior = 0,5

Tambor = 0,49

TOTAL = 4 + 0,5 + 0,49 = 4,99





Husillo superior = 6

Husillo inferior = 0,5

Tambor = 0,01

TOTAL = 6 + 0,5 + 0,01 = **6,51**

### 2.1.21 Micrómetro milesimal

El micrómetro milesimal dispone de un nonio sobre la línea de marcación del husillo donde aparecerán diez líneas horizontales. La décima línea coincidirá con la novena del tambor, al igual que ocurre con los nonios rectos o circulares anteriormente mencionados.



Figura. 2-31 Micrómetro milesimal

Para su lectura se tendrá en cuenta, en primer lugar, la línea liberada por el tambor en la zona marcada bajo la línea longitudinal del husillo. En el caso del ejemplo de la figura anterior, parte derecha, sería

**5,5 mm**

A continuación, la lectura del tambor coincidente con la línea longitudinal del husillo, en este caso:

**0,28 mm**

Y por último línea del nonio del husillo coincidente con la correspondiente del tambor,

**0,003 mm**

La medida total sería:

**$5,5 + 0,28 + 0,003 = 5,783$**

## 2.2 INSTRUMENTOS COMPARADORES

Comparar es la operación con la que se examinan dos o más elementos u objetos geométricos, para descubrir sus relaciones, diferencias o semejanzas.

Los instrumentos utilizados para comparar se llaman comparadores y, estos, sirven para la verificación del paralelismo de dos caras, comprobar la redondez y concentricidad de ejes y agujeros o la colocación de las piezas en las máquinas herramientas, medir y clasificar piezas, etc.

Existen cuatro tipos de comparadores:

- Neumáticos
- Electrónicos
- Ópticos
- Mecánicos

Existe una íntima relación entre los instrumentos comparadores y verificadores, que en la mayoría de los casos se utilizan para cualquiera de estas dos funciones.

### 2.2.1 Reloj comparador

Un **reloj comparador** es un aparato que transforma el movimiento rectilíneo del palpador o punta de contacto en movimiento circular de unas agujas.

Se trata de un instrumento de medición que se utiliza para la verificación y comparación de medidas en piezas y que por sus propios medios no da lectura directa, pero que es útil para comparar las diferencias que existen en la cota de varias piezas que se quieran verificar, paralelismo entre caras, redondez, cilindricidad y concentricidad de agujeros y ejes, correcta colocación de piezas en máquinas herramientas, medida y clasificación de piezas, planitud, desviaciones y desplazamientos, esfericidad etc.

La capacidad para detectar la diferencia de medidas es posible gracias a un mecanismo de engranajes y palancas, que van metidos dentro de una caja metálica de forma circular. Dentro de esta caja se desliza un eje, que tiene una punta esférica que hace contacto con la superficie. Este eje, al desplazarse, mueve la aguja del reloj, y hace posible la lectura directa y fácil de las diferencias de medida.

La precisión de un reloj **comparador** puede ser de centésimas de milímetros o incluso de milésimas de milímetros (micras), según la escala a la que esté graduado. También se presentan en milésimas de pulgada.

El reloj comparador se posiciona en un lugar determinado de la pieza a comparar por medio de un soporte, generalmente magnético, que proporciona la fijación del mismo.



Figura. 2-32 Reloj comparador

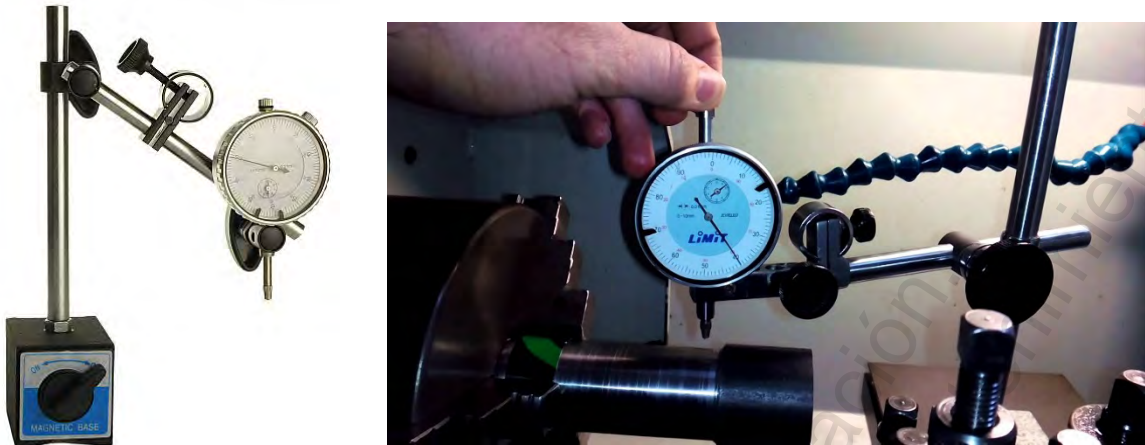


Figura. 2-33 Soporte magnético para reloj comparador

### 2.2.2 Partes del reloj comparador

Las principales partes o elementos de los que está compuesto son:

- |                         |          |                            |                      |
|-------------------------|----------|----------------------------|----------------------|
| Capuchón                | Carátula | Aguja principal,           | Indicador de vueltas |
| Vástago                 | Husillo  | Punta de contacto          | Arillo móvil         |
| Fijadores de tolerancia |          | Tornillo fijador de arillo |                      |



Figura. 2-34 Partes del reloj comparador

### 2.2.3 Medidas con el reloj comparador

Para medir la variación en la medida entre piezas, primero se debe ajustar a cero el comparador haciendo uso de un patrón que tenga un valor establecido o una superficie plana como un mármol.

Una vez se establece a cero, se sujeta el comparador en ese punto por medio de un soporte para asegurar que no se va a perder el cero, luego se procede a medir las piezas a las cuales se les desea saber cuánto varían con respecto al patrón.

En el caso de comprobaciones de ejes, su colocación en máquinas herramientas, ovalizaciones en orificios y similares, en primer lugar, se posicionará el comparador mediante su soporte sobre la pieza a verificar. Se establece a cero mediante el movimiento del arillo móvil y posteriormente se verifica la superficie en cuestión mediante el movimiento de la pieza. Las agujas indicarán sobre la carátula las posibles desviaciones tanto en positivo (giro en sentido de las agujas del reloj), como negativo (giro en sentido anti horario).

El reloj comparador suele tener un campo de medida de 10 mm, aunque existen relojes comparadores desde 10 micras hasta 100 mm. La resolución de los relojes comparadores suele ser de 0,01 mm, aunque resoluciones de 0,001 o 0,0001 mm están disponibles.

Estos instrumentos de medida son instrumentos muy utilizados en banco de trabajo, talleres y departamentos de calidad debido a su robustez y sencillez manejo y a que su relación precio y calidad metrológica suele ser muy buena.

En cuanto a su exactitud y precisión es necesario calibrar el reloj comparador conforme a un sistema de calidad. Es imprescindible que la calibración del reloj comparador sea realizada en laboratorios de calibración acreditados por el organismo competente. Estos dos parámetros son fundamentales para un buen control de la calidad de los productos. En el proceso de medición no es tan importante la precisión de la medida sino la fiabilidad del resultado y que el técnico conozca bien los distintos conceptos estadísticos y metrológicos.

### 2.2.4 Ejemplo de medida con el reloj comparador

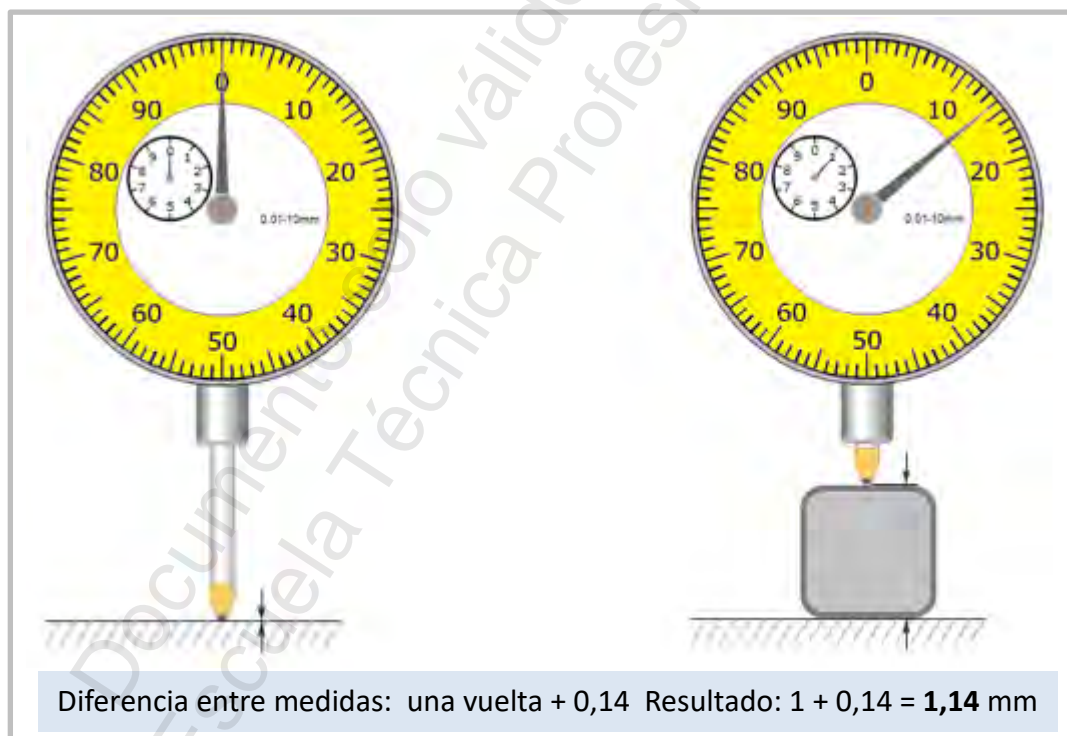


Figura. 2-35 Medición con el reloj comparador

### 2.2.5 Tipos de relojes comparadores

Los relojes comparadores pueden ser de distintos tipos, formas y tamaños, atendiendo al uso para el que son requeridos. Los más habituales pueden ser:

Sistema de visualización

Analógicos  
Digitales

Unidad de medida

Para S. Internacional (milímetros)  
Para S. Anglosajón (pulgadas)

Tipo de palpador

De vástago vertical  
De vástago orientable

Del mismo modo, podemos distinguirlos por su apreciación.



Figura. 2-36 Tipos de relojes comparadores

### 2.3 INSTRUMENTOS DE VERIFICACIÓN

En ocasiones no es necesario conocer el valor de una magnitud en una pieza, tan solo saber si cumple o no unas determinadas características preestablecidas como:

- Dimensiones
- Calidad superficial
- Uniformidad geométrica
- Forma
- Tipo de material



Esto quiere decir que se comprueban las medidas, forma y otras características, pero sin obtener el valor numérico de dicha característica.

La verificación consiste en determinar si una pieza u objeto está de acuerdo con un diseño previamente establecido

### 2.3.1 Mármol

Instrumento en forma de mesa, generalmente de acero fundido, formado por una lámina rectangular y una estructura. La superficie de la mesa debe estar muy pulida y planificada y es donde se apoyarán las piezas a verificar. En su parte inferior estará compuesta de una serie de nervios que evitarán su deformación.

Pueden existir de diferentes tamaños.

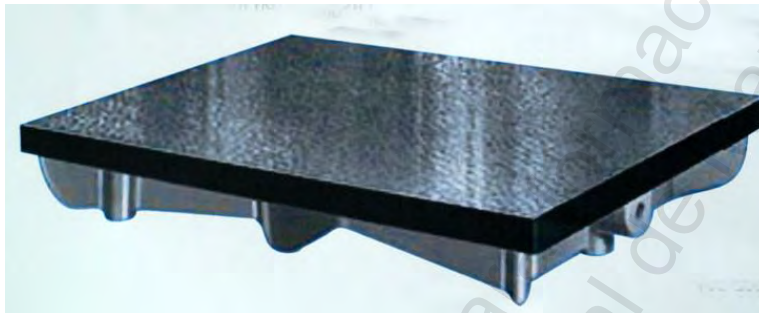


Figura. 2-37 Mármol

### 2.3.2 Compás

El compás es un instrumento que está formado por dos brazos iguales de acero, con una articulación en un extremo y los otros extremos libres con distintas formas y con punta afilada.

Se utilizan para el trazado de circunferencias, arcos de circunferencias y para el transporte de medidas.

El transporte de medidas se realiza adaptando las puntas del compás a la medida de la pieza y, posteriormente, trasladando esta medida, con cuidado de no efectuar variaciones en la misma, a una regla graduada u otro aparato de medida similar. Las medidas transportadas no suelen ser de mucha precisión.



Figura. 2-38 Tipos de compases

### 2.3.3 Reglas y escuadras

Instrumentos para la verificación de planos (reglas) y de ángulos (escuadras).

Son elementos metálicos y con diversas formas, materiales y dimensiones adecuadas a las piezas a verificar para las que están diseñadas.

Su acabado debe de ser lo suficientemente estricto para poder realizar las verificaciones con ciertas garantías. En ocasiones se encuentran graduadas.



Figura. 2-39 Escuadras

### 2.3.4 Calibre Pasa no Pasa

En la fabricación de piezas en serie, el control de las dimensiones generalmente no se realiza tomando medidas con instrumentos de lectura, sino que se utilizan calibres de límites, también llamados calibradores, calibres de tolerancia o calibres pasa-no pasa.

Son dispositivos con un tamaño estándar establecido que realizan una inspección física de una pieza para determinar si sus características, sencillamente pasa o no pasa la inspección. No se hace ningún esfuerzo de determinar el grado exacto de error.

Un calibrador límite o pasa o no pasa se fabrica para ser una réplica inversa de la dimensión de la parte y se diseña para verificar la dimensión de uno o más de sus límites de tolerancia.

Este tipo de calibradores suelen ser dobles, uno en cada extremo, el primero comprueba el límite inferior de la tolerancia en la dimensión de la parte y el otro verifica el límite superior.



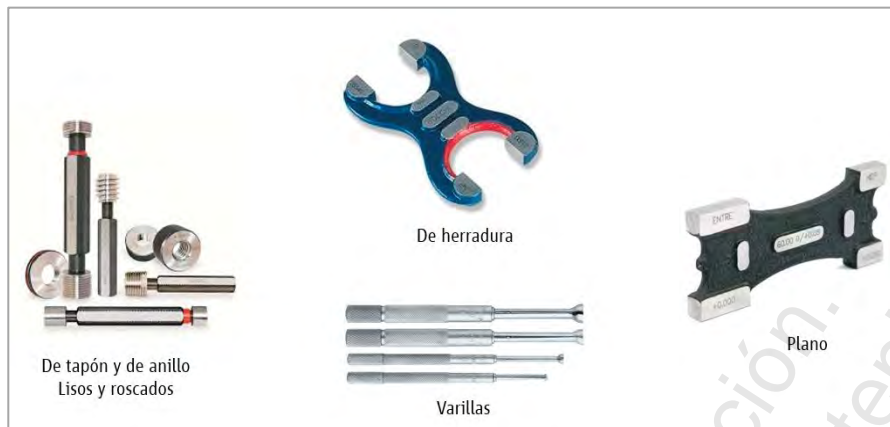


Figura. 2-40 Tipos de calibres pasa no pasa

### 2.3.5 Galgas

Se llama **galga** o **calibre fijo** o "filler" a los elementos que se utilizan en el mecanizado de piezas para la verificación de las cotas con tolerancias estrechas cuando se trata de la verificación de piezas en serie.

Las galgas son de acero, templado y rectificado, o de carburos, con una gran precisión de ejecución, también se hacen galgas cerámicas de zirconia. Las dimensiones, dureza y título de las galgas están estandarizados en la norma DIN 2275.



Figura. 2-41 Galgas de espesores y de diferentes tipos

### 2.3.6 Gramil

**Gramil**, **Gramil de altura** o **Calibrador de Altura con Vernier**, instrumento de medición y trazado que se utiliza en los laboratorios de Metrología y control de calidad, para realizar todo tipo de trazado en piezas como por ejemplo ejes de simetría, centros para taladros, excesos de mecanizado, etc.



Figura. 2-42 Tipos de gramil

### 2.3.7 Alexómetro

El alexómetro es un instrumento de comparación de medidas en diámetros interiores. Dispone de un reloj comparador anexo a un eje en cuyo extremo se encuentra el contacto que hace girar las agujas del comparador. De esta manera se pueden comparar el diámetro interior de distintas piezas o verificar si el diámetro interior de una pieza es el mismo en toda su circunferencia (ovalizaciones o deformidades).

El pistón suele ser intercambiable con un cierto número de elementos extensores para permitir la medida de diferentes diámetros.

Dispone de dos puntos de apoyo (además del contacto móvil) para asegurar el alineamiento del punto de medición.



Figura. 2-43 Alexómetro y accesorios

Para realizar comprobaciones con el alexómetro es necesario, previamente, conocer la medida de la pieza a verificar (diámetro) para preparar el aparato de medida con las extensiones pertinentes aproximándose lo más posible a dicha magnitud.

La puesta a cero del comparador del alexómetro se realizará conociendo esta medida y se efectuará con aro de calibración o, en su defecto, con un micrómetro de interiores. En el micrómetro se posicionará la medida pertinente y sobre esta medida se posicionará a cero el alexómetro.

Una vez preparado el alexómetro ya se podrá realizar la verificación o comprobación pertinente.

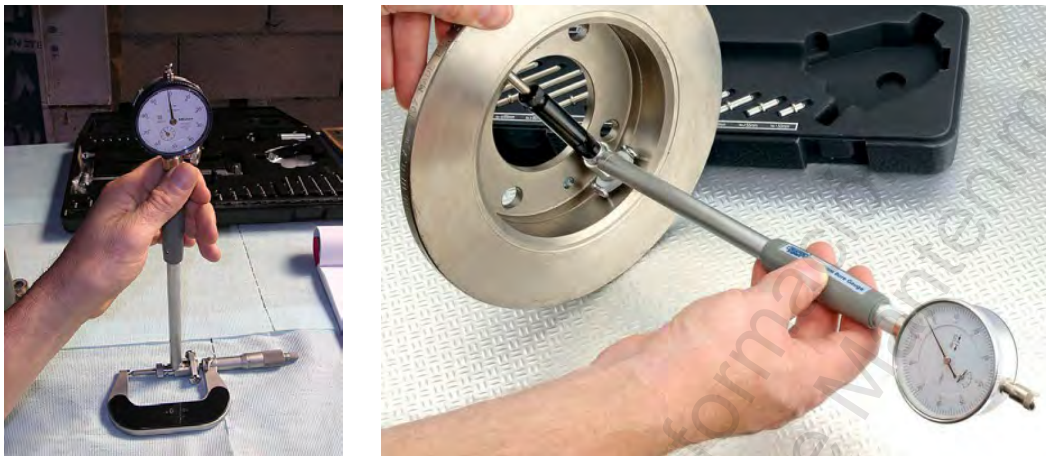


Figura. 2-44 Preparación y uso de alexómetro

### 2.3.8 Partes del alexómetro

Las principales partes o elementos componentes del alexómetro son:

- Comparador
- Vástago
- Discos de apoyo y centrado
- Pistón intercambiable
- Punta de contacto

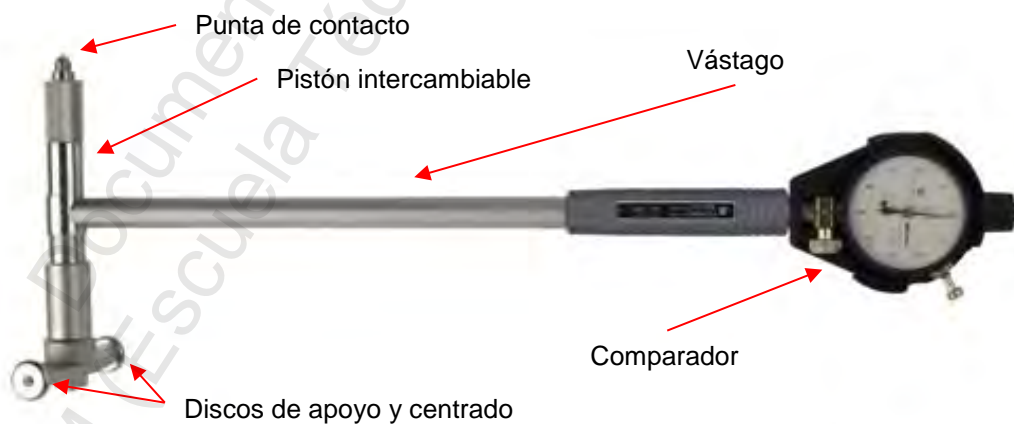


Figura. 2-45 Partes del alexómetro

### 2.3.9 Medición con el alexómetro

Para efectuar una correcta lectura de la medición realizada con el alexómetro, será necesario efectuar movimientos de vaivén.

De esta manera, se intentará localizar el punto de medida mínimo, dentro del rango de variaciones producidas por el propio movimiento de vaivén.

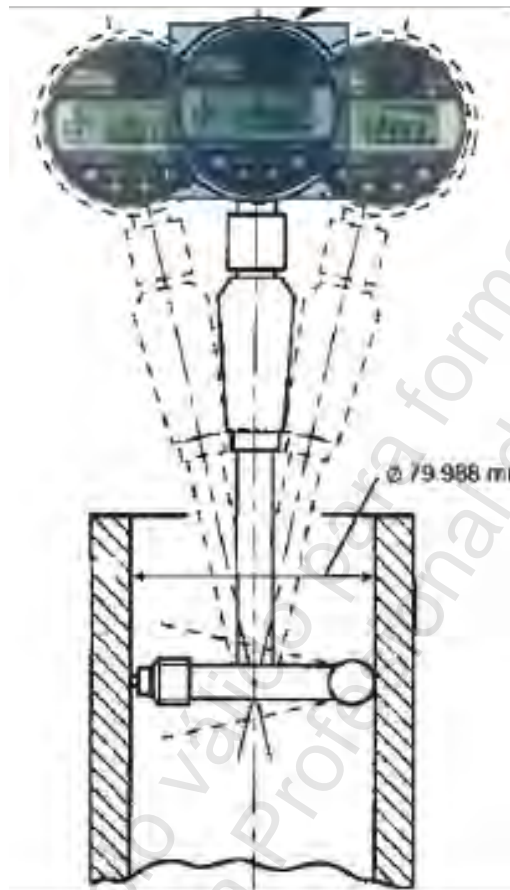


Figura. 2-46 Movimiento de vaivén para centrado de medición con alexómetro

### 3. CALIBRACIÓN

Conjunto de operaciones que establecen, en unas condiciones especificadas, la relación entre los valores de una magnitud indicados por un instrumento o sistema de medida, o los valores representados por una medida materializada o por un material de referencia, y los valores correspondientes de la magnitud realizados por patrones.

Las calibraciones se realizan por comparación entre un patrón que determina un valor de referencia y el medidor incógnita. Se ejecutará dicha comparación para una serie de valores nominales determinados por el usuario del equipo. Se verificarán medidas además en sentido creciente y decreciente para determinar la posible histéresis del equipo. Cálculo de Incertidumbre y criterios de aceptación.

La calibración de los instrumentos de medida debe realizarse cada cierto tiempo para asegurar que las mediciones realizadas con los mismos sean siempre fieles y correctas dentro de unas tolerancias mínimas que conforman parte de la incertidumbre del propio aparato.

La calibración debe realizarse en laboratorios de calibración certificados.

En Fabricación y Mantenimiento se encuentran laboratorios de estas características en:

- La BMI de Málaga (Laboratorio)
- La BMI de Madrid (Laboratorio)
- La BMI de Valladolid (Laboratorio)
- La BMI de Vilanova (PCM)



Figura. 3-1 Localización de laboratorios metrologógicos

#### 3.1.1 Inventario

Es fundamental tener registrados todos los instrumentos de medida para su seguimiento y control para controlar la perfecta calibración de los mismos. Esta tarea se realizará por medio de un estricto inventariado de todos los instrumentos existentes en una organización.

RENFE dispone de un inventario informatizado en la intranet de RENFE donde aparecen relacionados, identificados y controlados todos los instrumentos de medida. En la aplicación aparecen todas las características de cada uno de los aparatos.



Figura. 3-2 Ejemplos de páginas del inventario informático

### 3.1.2 Etiquetado

Para el control de los instrumentos de medida y para conocer las fechas de control de calibración es necesaria la identificación de los aparatos. En algunos casos los propios instrumentos irán marcados con un sistema indeleble (normalmente mediante grabación) con su número de identificación. También será imprescindible que lleve una etiqueta de identificación, situación o restricción, para conocer en cada instante la disponibilidad del aparato dentro de periodo o situación de calibración.

Las etiquetas existentes en nuestro sistema son cinco diferentes:

- De identificación.
- De uso sin restricciones
- De uso restringido
- De exención de calibración
- De bloqueo

#### Etiqueta de identificación

De color blanco

<b>renfe</b>	<i>Integria</i>	<b>IDENTIFICACIÓN DE EQUIPOS DE MEDIDA</b>	
		<b>FECHA</b>	<b>Nº EQUIPO</b>
		<b>DENOMINACIÓN</b>	

Figura. 3-3 Etiqueta de identificación

Complementa o sustituye al grabado indeleble del equipo (en caso de que no sea posible dicho grabado por características del propio aparato).

Contiene los campos de fecha de identificación, número del equipo y denominación del mismo.

#### Etiqueta de uso sin restricciones

De color verde

<b>renfe</b>	<i>Integria</i>	<b>Nº EQUIPO</b>	
		<b>NO USAR PARA TOLERANCIAS INFERIORES A</b>	
		<b>CALIBRADO</b>	<b>DEBE CALIBRAR</b>

Figura. 3-4 Etiqueta de uso sin restricciones



Permite la utilización del instrumento en todo su rango para las tolerancias indicadas en el mismo, y está dispuesto para ser utilizado para la cumplimentación de medidas en bonos de trabajo y fichas de inspección.

Contiene los campos de número de equipo, tolerancia (con aviso de no utilización por debajo de ella), fecha de calibrado y fecha de nueva calibración.

### Etiqueta de uso restringido

De color naranja

<b>renfe</b>	<i>Integría</i>	<b>USO RESTRINGIDO</b>	
		<b>Nº EQUIPO</b>	
		<b>RESTRICCIONES DE USO</b>	
		<b>CALIBRADO</b>	<b>DEBE CALIBRAR</b>

Figura. 3-5 Etiqueta de uso restringido

Indica una restricción determinada de uso del instrumento de medida. Es necesario conocerla e identificarla para poder utilizar el aparato fuera de esta restricción. También es utilizada en equipos de reserva o en stock.

Contiene los campos de número del equipo, restricción del aparato, fecha de calibración y fecha de nueva calibración.

### Etiqueta de exento de calibración

De color azul

<b>renfe</b>	<i>Integría</i>	<b>EXENTO DE CALIBRACIÓN</b>	
		<b>Nº EQUIPO</b>	
		<b>ATENCIÓN: NO USAR PARA MEDICIONES QUE SE DEBAN REFLEJAR EN FICHAS DE INSPECCIÓN Y BTP</b>	

Figura. 3-6 Etiqueta de exento de calibración

Indica que se permite la utilización del aparato para medidas de referencia, pero no se permite el uso del mismo para cumplimentar documentación oficial como bonos de trabajo o fichas de inspección.

Solo contiene el campo con el número de equipo y una nota de atención con la advertencia "no usar para mediciones que se deban reflejar en fichas de inspección y BTP".

**Etiqueta de equipo bloqueado- no utilizar**

De color rojo

<b>renfe</b> Integría	<b>BLOQUEADO - NO UTILIZAR</b>
	<b>Nº EQUIPO</b>
	<b>FECHA</b>

Figura. 3-7 Etiqueta de equipo bloqueado

Indica que el equipo se encuentra bloqueado en espera de decisión o reparación. Bajo ningún concepto puede utilizarse pues sus mediciones pueden ser erróneas.

Contiene los campos número de equipo y fecha de bloqueo.

Documento solo válido para formación.  
ETPM (Escuela Técnica Profesional de Mantenimiento)

Documento solo válido para formación.  
ETPM (Escuela Técnica Profesional de Mantenimiento)



#### 4. BIBLIOGRAFÍA

- Lecturas de ingeniería 16. METROLOGÍA DIMENSIONAL. (Felipe Díaz del Castillo Rodríguez)
- Tecnología de comparación. Tema 4 (Daniel Abalo Costas)
- Metrología Básica. Ed. EDEBÉ (E. Manrique y A. Casanova)
- Introducción a la Metrología. Ingeniería del mantenimiento (Alfons Basalsch Blanch)
- Procedimiento general de gestión. CONTROL DE LOS EQUIPOS DE MEDICIÓN Y ENSAYO. Renfe Fabricación y Mantenimiento
- Vocabulario Internacional de Metrología 1ª Ed. en español, 2008 (BIPM)

Documento solo válido para formación.  
ETPM (Escuela Técnica Profesional de Mantenimiento)

Documento solo válido para formación.  
ETPM (Escuela Técnica Profesional de Mantenimiento)

# **TORNO DE FOSO**

**Modelos D2500/D1800/D1500**

---

**Seguridad**





## CAPÍTULO 6 - SEGURIDAD

### 6.1 USO PREVISTO DE LA MAQUINA

El torno de foso es una máquina diseñada para el mecanizado de ruedas de ferrocarril de revolución de diferentes metales con las herramientas de corte adecuadas, así como de discos de freno. La carga máxima de los ejes a tornearse es de 18.000 Kg., con apoyo en caja de grasa interior y 25.000 Kg. con apoyo exterior.

### 6.2 USO CORRECTO DE LA MÁQUINA

El uso correcto de la máquina implica:

- No realizar trabajos de mecanizado diferentes para los que está diseñada la máquina: no limar, no lijar, etc.
- No emplear herramientas diferentes a las que están en la torreta de herramientas o las que se indican en el manual de instrucciones.
- No efectuar mediciones sin parar la máquina (excepto cuando se utilice el medidor de diámetros).
- No sobrepasar la capacidad de trabajo de la máquina.
- Debe ser manejada por personal capacitado e instruido en el manejo de la misma.
- Trabajar con los sistemas de seguridad de que va provista la máquina, revisarlos y mantenerlos de acuerdo con el manual de instrucciones.
- Utilizar las prendas de protección personal especificadas en el manual de instrucciones.
- Observar las medidas de seguridad de tipo general que pueden afectar al trabajo en la máquina que sean legalmente exigibles, así como las que sean exigidas en el centro de trabajo.
- Observar las medidas de seguridad expresadas en los carteles adosados a la máquina.

### 6.3 EQUIPO DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL

Al utilizar, reparar, mantener o inspeccionar la máquina, se deben tener en cuenta una serie de normas de seguridad personal relativas al entorno de la máquina como son:

- **Botas de seguridad:** Es muy importante emplear siempre botas de seguridad cuando se realicen trabajos con la máquina.
- **Ropa de protección:** Debe emplearse siempre cuando la máquina está mecanizando, para prevenir quemaduras o cortes por virutas escapadas.
- **Casco:** Debe ser empleado en el entorno de la máquina, para prevenir posibles golpes en la cabeza contra componentes bajos (por ejemplo vías del tren...).



- **Guantes:** Se puede mecanizar sin ellos, pero es muy importante utilizarlas para quitar virutas enganchadas, tanto en trabajos de reparación como de mantenimiento.
- **Gafas de protección:** Es muy importante que se utilicen durante todo el proceso de mecanizado y durante la manipulación de virutas.
- **Mascarillas:** Deben ser utilizadas para realizar la limpieza de los filtros del sistema de aspiración de gases.



Cada parte del equipo de protección personal arriba mencionada debe cumplir con las normas de seguridad vigentes en el país.

#### 6.4 SEGURIDAD DEL ENTORNO

Es necesario tener en cuenta una serie de medidas de seguridad, debido a que el torno se encuentra situado en el foso. Estas medidas de seguridad son las siguientes:

- Bajar las escaleras con cuidado.
- Asegurarse que el suelo del entorno de la máquina esté libre de posibles líquidos deslizantes que puedan dar lugar a caídas.
- Atención a los elementos bajos.
- Tener una iluminación óptima durante el mecanizado o durante cualquier maniobra.
- Cuando se trabaje en foso prestar atención a los sonidos (o luces) de alarma de movimiento de vehículo. Se recomienda al usuario que dote de señales acústicas el foso, que indiquen el acceso inminente de vehículos al mismo.
- Al finalizar la operación de elevación de rodillos, es recomendable que se coloque una señal de prohibición de movimiento del vehículo.



- Carretillas elevadoras adecuadas para la evacuación de contenedor de virutas.



### 6.5 MEDIDAS DE SEGURIDAD EN EL PROCESO DE INSTALACIÓN

- El personal encargado de la instalación de la máquina, debe tener los conocimientos precisos para desarrollar los trabajos encomendados.
- Debe protegerse con la ropa adecuada.
- Cuando se instale la máquina debe respetar las instrucciones de montaje y las tolerancias del diseñador.
- La zona del foso debe señalizarse adecuadamente.
- Se deberá proteger el foso con vallas provisionales, hasta la instalación definitiva del torno.



No se puede realizar un conexionado diferente al indicado en los esquemas.

### 6.6 SEGURIDAD DURANTE EL MANEJO

#### 6.6.1 Precauciones Generales Asociadas al Modo de Funcionamiento

- La máquina ha sido diseñada para un funcionamiento seguro. En el modo de operación de producción las defensas de protección permanecen cerradas y bloqueadas no siendo posible iniciar ningún movimiento peligroso si alguna de las puertas no se encuentra cerrada. Si los movimientos se han detenido, es posible la apertura de las puertas por medio del mando correspondiente para realizar labores de inspección.
- Para realizar movimientos de reglaje con puertas abiertas, tener en cuenta las precauciones de seguridad descritas en el apartado correspondiente más adelante.
- Para un funcionamiento seguro se deben de utilizar las funciones descritas en este manual de operación. Otras funciones no descritas pueden representar un riesgo para la máquina o para el operario. Es por lo tanto necesario leer el manual de operación antes de iniciar el manejo de la máquina.
- Deben mantenerse todas las partes del cuerpo alejadas del recorrido de partes móviles, y fuera de la “zona de mecanizado” durante las operaciones de mecanizado. No debe inclinarse sobre la máquina o alcanzarse cosas a través o sobre la máquina, ya que pueden producirse enganches con herramientas u otras partes móviles o se pueden accionar, de forma inadvertida, pulsadores de puesta en marcha, mando de avance, o dispositivos similares. Deberá tenerse además cuidado de no dar a ningún pulsador mientras la máquina esté en funcionamiento.
- En caso de riesgo, accionar el pulsador PARO DE EMERGENCIA. Los movimientos son entonces detenidos inmediatamente.
- Debe desconectarse la alimentación de energía de la máquina al abandonarse la zona de trabajo o al finalizar la jornada laboral. No se debe dejar nunca la máquina funcionando sola. El interruptor general debe ponerse en posición OFF antes de



procederse a limpiar la máquina al final de la jornada laboral o cuando se retiran defensas o cubiertas que exponen zonas peligrosas.



Los elementos de seguridad (micros de seguridad, pulsadores de emergencia, relés de seguridad y su circuito correspondiente), no pueden ser nunca inhibidos.

### 6.6.2 Precauciones de Seguridad con Puertas Cerradas

- Las puertas protegen al operario de los riesgos de atrapamiento por elementos móviles, proyecciones de viruta, etc.
- Los movimientos en cualquier modo de funcionamiento son detenidos si causa se perdiera la condición de “cerrada y bloqueada” en una o varias puertas controladas por micros de seguridad con control eléctrico.
- Antes de abrir cualquier protección no controlada por interruptores eléctricos de seguridad, se debe de asegurar que la máquina está sin tensión.
- Son activos los siguientes elementos de seguridad (ver detalle de los paneles de mando):
  - Interruptores de seguridad de puertas y defensas de protección atornilladas.
  - Pulsadores de emergencia en panel general izquierdo, panel general derecho, panel opcional extractor de virutas, mando opcional portátil de reglaje torno, mando opcional portátil enchufable carro de arrastre, mando inalámbrico del carro de arrastre (opcional con carro).
  - Sólo uno de los paneles está activo a la vez.

### 6.6.3 Precauciones de Seguridad con Puertas Abiertas (sólo con Panel Portátil de Reglaje Opcional)

- Las funciones activas con puertas de protección abiertas están destinadas a labores de inspección o reglaje cuando el modo de funcionamiento normal no es suficiente.
- El manejo sólo debe de ser realizado por un operario o técnico experto con la formación adecuada en el manejo, ajuste y mantenimiento tanto de la máquina como del CNC que la gobierna. Debe de conocer asimismo los riesgos adicionales en esta situación y utilizar adecuadamente los elementos de seguridad en caso de riesgo.
- Están activos los elementos de seguridad antes descritos y además:
  - Las velocidades de los ejes están limitadas y si se superan se produce un paro de emergencia. En modo incremental la amplitud del desplazamiento está limitada.
  - Los movimientos se realizan utilizando un panel de mando portátil dotado de un pulsador adicional de emergencia y un pulsador de seguridad de “validación”.
  - Para realizar cualquier movimiento de ejes, se debe de mantener accionado el pulsador común de “validación” y además el específico del movimiento. Si se suelta el pulsador de “validación” el movimiento es detenido de forma segura.



- Los movimientos desde los paneles de mando generales están desactivados, sólo se validan o autorizan desde el panel de mando portátil que incluye tanto los elementos de mando como los de seguridad.
- El técnico, en este caso, está sometido a riesgos adicionales como movimientos de dispositivos cercanos, presencia y proyecciones de virutas, etc.

### 6.6.4 Precauciones de Seguridad durante la Utilización del Carro de Arrastre

El carro de arrastre (opcional) siempre se utiliza en modo manual, por medio de un mando portátil inalámbrico. El operario se sitúa en un lugar desde el cual tenga una buena visualización del carro en movimiento incluyendo ambos lados de la composición de tren que está acoplada. Para realizar cualquier movimiento es necesario mantener accionado el pulsador correspondiente y si se suelta, el movimiento se detiene con una frenada controlada. Para advertir del movimiento del tren durante el arrastre, cuando se activa el carro de arrastre por medio del selector correspondiente, dos avisadores luminosos de peligro situados a ambos lados del tren se iluminan (dos avisadores por cada carro). Además si hay movimiento del equipo, se activan automáticamente los avisadores sonoros correspondientes para advertir del riesgo del movimiento.

En caso de avería del mando inalámbrico, se puede conectar un mando portátil enchufable para manejo temporal del carro de arrastre, teniendo en cuenta precauciones adicionales de seguridad. Este mando enchufable no permite una visibilidad completa del entorno del tren en movimiento debido a que está unido por un cable al armario. Por ello es necesario la confirmación de un segundo operario de que el entorno no visible del tren está libre para el movimiento del tren sin riesgos. Tan pronto como sea posible se debe de reparar el mando inalámbrico para su utilización ya que ofrece la posibilidad de comandar los movimientos desde cualquier zona del entorno del tren permitiendo un mayor grado de seguridad con un solo operario. Cuando no se utiliza, el mando portátil cableado se debe de desconectar y guardarlo fuera del alcance del operario.

Sólo uno de los paneles portátiles puede estar activo simultáneamente, ello se asegura por medio del selector de activación en cada panel.

El carro de arrastre y el torno no pueden estar activos simultáneamente. Si hay más de un carro de arrastre por cada torno, el funcionamiento es el mismo, teniendo en cuenta que un selector permite activar sólo uno de los carros a la vez.

- Están activos los elementos de seguridad antes descritos y además:
  - La velocidad más elevada sólo se puede activar con el carro en vacío.
  - Los movimientos se realizan utilizando un panel de mando portátil inalámbrico dotado de un pulsador de emergencia, con el interface correspondiente dotado de señales redundantes. Si se utiliza el panel portátil enchufable también tiene pulsador de emergencia y señales redundantes.
  - Para realizar cualquier movimiento, se debe de mantener accionado el pulsador correspondiente, de lo contrario el movimiento es detenido de forma segura.



- Los movimientos desde el panel de mando general están desactivados, sólo se validan o autorizan desde el panel de mando portátil. De este modo el operario tiene una buena visibilidad de todo el entorno del tren.
- Columnas luminosas por cada carro, situadas una a cada lado del tren, advierten con destellos que el carro está activo y el movimiento puede ser inminente. Asimismo unos avisadores sonoros sobre las columnas advierten del movimiento cuando se produce.  
El operario en este caso debe de utilizar el mando inalámbrico controlando previamente que no hay otras personas en el entorno del tren a ambos lados ni entre los vagones. Se debe seleccionar la velocidad adecuada al recorrido a realizar y que permita detener el movimiento sin riesgo.
- La utilización del mando enchufable debe de ser temporal sólo cuando sea necesario por avería del mando inalámbrico. Se debe de asegurar que no hay personas en el área de movimiento del tren o del carro de arrastre en caso de movimiento en vacío contando con la colaboración permanente de otro operario si es necesario para tener una visibilidad suficiente.
- Consultar el apartado general de “Seguridad” para ver los elementos de protección individuales adicionales necesarios.

### 6.7 SEÑALIZACIÓN EN VÍA

Se recomienda la instalación y utilización de semáforos de vía para informar al tren si tiene permiso para circular sobre el torno o no (ver punto 3.3.2 del manual de instrucciones).

- El **semáforo rojo** informará al tren que no puede circular sobre el torno.
- El **semáforo verde** informará al tren que puede circular sobre el torno.

La instalación de los semáforos es necesaria y será responsabilidad del cliente. Dano-Rail, S. Coop. no se responsabilizará de los posibles daños derivados de la falta de instalación de los semáforos en la vía por la que se accede al torno.

### 6.8 ATENCIÓN ESPECIAL

El diseño de la máquina ha sido pensado con la intención de que sea lo más seguro posible, pero existen una serie de peligros que no han podido ser eliminados mediante las medidas de prevención.

El operador, antes de comenzar a trabajar, debe tener un cuidado especial ante una serie de partes de la máquina que pueden conllevar peligro:

- Parte mecánica: cuando se elevan los rodillos, los frenos del tren tienen que estar libres, pero una vez que este proceso ha concluido, se deben frenar los bogies anterior y posterior del que se está realizando el mecanizado. Se debe tener la precaución necesaria para que el cuerpo del operario se encuentre fuera del alcance del espacio entre rueda y dichos rodillos.



- Parte hidráulica: vigilar los manómetros de la presión para evitar explosión de mangueras.
- Parte eléctrica: cuando se realice cualquier maniobra de tipo eléctrico, debe asegurarse que la conexión principal no se encuentre en tensión. (Ver punto 6.8.1)
- Cinta transportadora y triturador de viruta: cuando esté en funcionamiento, no acercarse con partes del cuerpo ni con objetos a las charnelas de la cinta transportadora ni a los dientes del triturador de viruta.

Las operaciones de manutención de la máquina o de partes de la misma, se deben efectuar con los medios de elevación adecuados y conforme a las medidas de seguridad que sean exigibles.

### 6.8.1 Atención Especial Equipo Eléctrico

Las presentes indicaciones son complementarias a las medidas generales de seguridad expuestas anteriormente.

Antes de proceder a la puesta a punto o puesta en marcha deben estudiarse y entenderse perfectamente todas las instrucciones de seguridad. En caso de duda sobre cualquier procedimiento de operación, deberá consultarse al supervisor.

La operación y mantenimiento deben ser asignadas exclusivamente a personal cualificado, que conozca las instrucciones de seguridad las funciones de la máquina relativas a dichas operaciones.

#### 6.8.1.1 Peligro: Alta Tensión

Antes de trabajar en los circuitos eléctricos, debe ponerse el interruptor principal en posición OFF y bloquearlo.

A no ser que se indique lo contrario de forma expresa en los documentos no se deben de desmontar elementos con la alimentación eléctrica conmutada (posición ON). Si existiese dicha indicación expresa, los trabajos con la alimentación eléctrica conmutada deberán ser realizados por un especialista con la formación adecuada.

El cliente y propietarios subsiguientes de la máquina, deberán asegurarse que las personas que realicen los trabajos de mantenimiento con la máquina bajo tensión, deberán disponer de la calificación y experiencias técnicas apropiadas.



**EL INCUMPLIMIENTO DE LOS PUNTOS ANTERIORES PUEDE SER CAUSA DE MUERTE O GRAVES LESIONES, DEBIDAS A DESCARGAS ELÉCTRICAS.**

Antes de desmontar o abrir todo cerramiento, tapa, placa o puerta de sistemas eléctricos, debe asegurarse que el interruptor está en posición OFF. Si es necesaria alguna herramienta para desmontar una defensa, tapa, soporte o cualquier pieza básica de esta máquina, deberá ponerse delante del interruptor general un cartel que diga "NO PONER EN MARCHA".



Siempre que se vayan a realizar operaciones de mantenimiento en una zona lejos del interruptor principal, no estando bloqueado éste, deberá ponerse un cartel en todos los paneles de pulsadores de puesta en marcha que digan “NO PONER EN MARCHA”. Deberán tomarse todo tipo de precauciones para impedir que los equipos eléctricos sean accionados cuando se estén realizando trabajos de mantenimiento.

Antes de realizar operaciones de regulación, reparación o mantenimiento en los circuitos eléctricos conectados con conductores naranjas, se debe buscar primero la fuente de alimentación eléctrica, desconmutarla y bloquearla en esta posición. Los circuitos de control de bloqueo de la máquina, conectados con conductores naranjas, son alimentados desde una fuente exterior de la máquina, y están bajo tensión incluso cuando el interruptor principal de la máquina está en posición OFF.

Al desmontar equipos eléctricos, deben identificarse los conductores que no están marcados con una etiqueta. Si se sustituyen los conductores, debe asegurarse que son del mismo tipo, longitud, sección y que tienen la misma capacidad de transmisión de carga eléctrica.

Deben cerrarse y fijarse firmemente todas las defensas, protecciones, tapas, placas o puertas antes de volver a conectar la alimentación de corriente.

Un técnico en electricidad debe analizar el sistema eléctrico para determinar la posible presencia de dispositivos de retención de energía, tales como condensadores. Dichos dispositivos de retención de energía deben ser desconectados, descargados o hechos seguros antes de realizar cualquier operación de mantenimiento.

### **6.8.1.2 Dispositivos de seguridad asociados al manejo de la máquina**

Los elementos descritos a continuación están disponibles para asegurar una operación segura. Consultar el apartado “Descripción de los paneles de mando” para detalles de ubicación y funcionamiento.



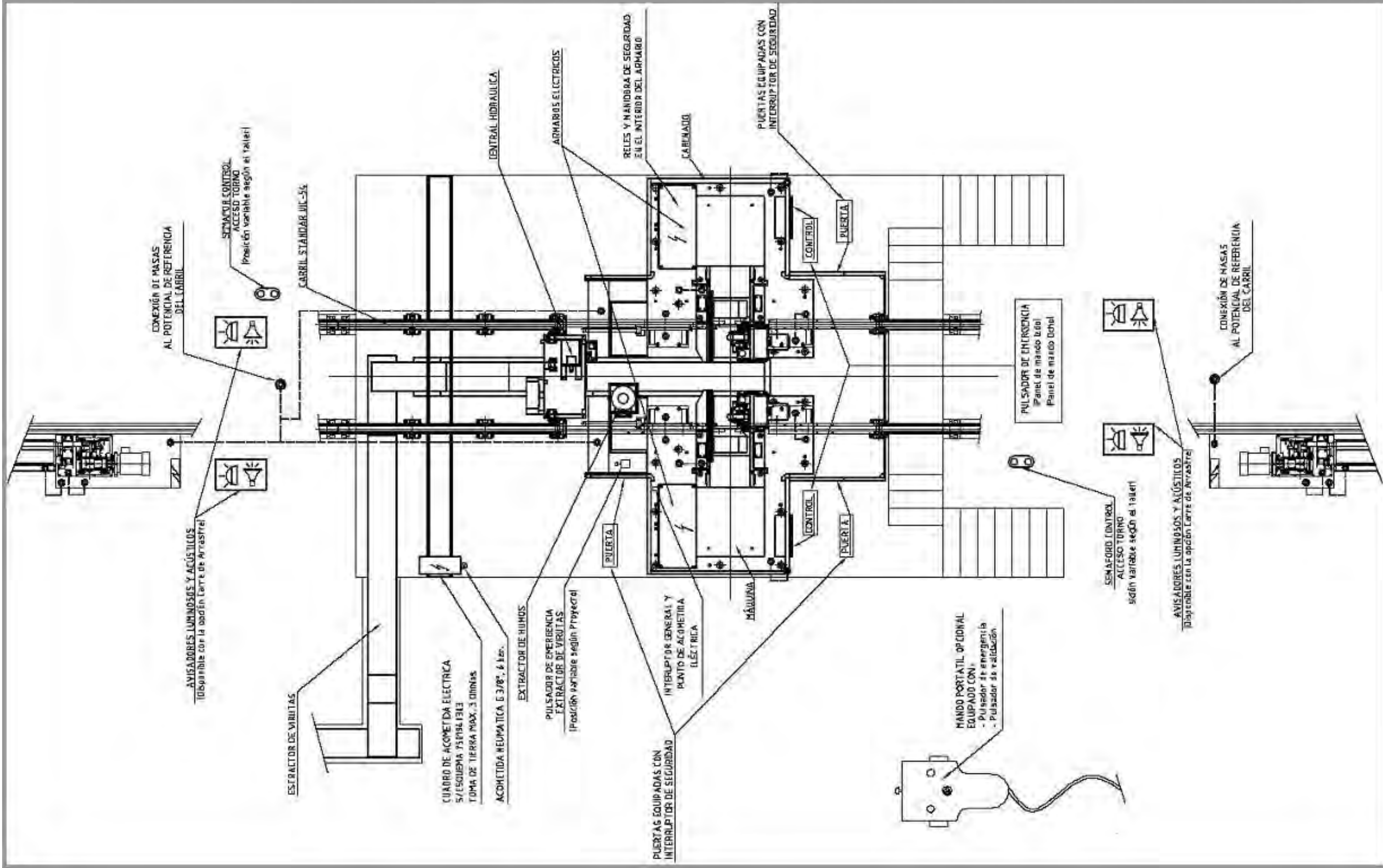


Figura 6.8.1.2-1 Elementos de seguridad



*renfe*

RENFE