

Manual de Vapor

Capítulo IV: Vehículo

José Gabriel Naranjo

CAPÍTULO IV

VEHÍCULO

Al principiar este trabajo hemos considerado la locomotora como formada por tres elementos esenciales: la caldera que produce el vapor; el motor que lo utiliza; el vehículo que recibe el movimiento del motor y soporta a éste y a la caldera.

El vehículo consta a su vez del bastidor o chasis, especie de marco rígido que forma el zócalo para la caldera y el motor. Este bastidor apoya, por el intermedio de la suspensión y de las cajas de grasa, sobre un número más o menos grande de ejes, unos motores y otros simplemente portantes.

Ciertas combinaciones aseguran a los ejes una relativa movilidad con relación al bastidor, facilitando así el paso de la máquina por las curvas.

Sobre el bastidor se montan también:

1° los aparatos de enganche, que establecen la solidaridad entre la locomotora y los vehículos que remolca;

2° los aparatos de choque, destinados a amortiguar las sacudidas, cuya violencia perjudicaría a la conservación de la locomotora.

Finalmente, el conjunto se completa con diversos accesorios, como frenos, areneros, repetidores de señales, abrigo para el personal, barrepiedras y cubrerruedas.

107. Bastidor de las locomotoras. — El bastidor o chasis debe constituir un conjunto capaz:

1° de soportar sin deformación el peso de la caldera y de los cilindros;

2° de mantener invariablemente los ejes en sus posiciones respectivas;

3° de soportar el esfuerzo de tracción necesario para remolcar el tren;

4° de resistir a los esfuerzos que originan el trabajo del vapor y los empujes de los ejes al pasar por las curvas.

Su objetivo es, como en toda máquina, mantener invariables las distancias entre los ejes del conjunto, ya que en caso contrario el funcionamiento del mecanismo, por ejemplo, y el de las bielas de acoplamiento, se vuelve precario, dando lugar a incidentes y a elevados gastos de mantenimiento.

La solidez y rigidez necesarias a este fin se obtienen constituyendo el bastidor por un marco formado por dos piezas longitudinales paralelas, llamadas largueros, arriostradas por un número mayor o menor de travesaños, según la longitud de la máquina.

Prácticamente, los bastidores nunca son demasiado rígidos, y en ningún caso se debe pensar en su flexibilidad para hacer frente, por ejemplo, a una posible insuficiencia de los juegos laterales otorgados a los ejes. Se comprende, en efecto, y la infortunada experiencia sobre algunas máquinas lo demostró claramente, que no puede resultar de tal disposición otra cosa que la creación de esfuerzos anormales en los cojinetes de bielas y en las cajas de ejes, esfuerzos que significan el recalentamiento de estos órganos, las tomas de juego rápidas y finalmente de las fisuras de los largueros bajo la influencia de las flexiones alternadas. Por ello la técnica americana se orientó cada vez más hacia los largueros indeformables, presentando casi todos los ejes, incluidos los motrices, por el contrario, desplazamientos laterales controlados. Por ello algunas locomotoras de los tipos 4-6-4 y 4-8-4 sólo poseen, por ejemplo, un único eje rígido, el último eje acoplado.

En Europa, el bastidor consta de largueros de chapa recortada, unidos por travesaños transversales. A veces el bastidor fue doble, con cajas interiores y exteriores, pero se renunció a esta disposición, que complica la máquina sin gran ventaja.

Los largueros pueden ser interiores o exteriores a las ruedas; actualmente dominan los largueros interiores. Los largueros exteriores dejan un poco más de anchura para el hogar, que sólo se limita por las ruedas; pero se deforman más fácilmente que los largueros interiores, sobre todo cuando las ruedas tienen un gran diámetro.

Vehículo

Más largos, sus travesaños son más pesados; y la prolongación de los ejes y las manivelas exteriores aumentan el peso no suspendido.

Las dimensiones de la caldera y la posición dada a los cilindros determinan aproximadamente la longitud total del bastidor; en cuanto a su forma, resulta de las principales características de la máquina y, principalmente, del número de ejes y del diámetro de sus ruedas.

Un ejemplo nos mostrará la dependencia que existe entre la forma del bastidor y los principales elementos de la locomotora. Consideraremos la locomotora belga tipo 10, cuyo gran peso, 112 toneladas, se reparte sobre seis ejes, tres de ellos acoplados y situados entre un bogie y un eje portante (fig. 518).

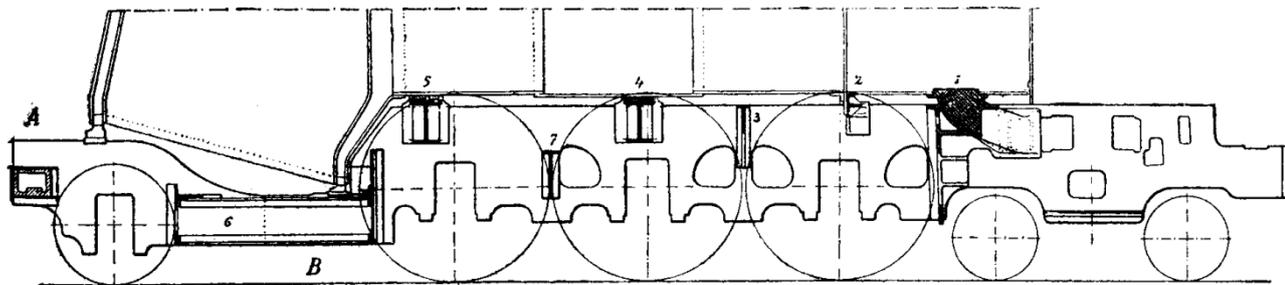


Fig. 518 – Bastidor de la locomotora belga Pacific tipo 10.

Delante y detrás, los largueros están arriostrados por sendos travesaños; el anterior se encuentra a la altura reglamentaria de los topes; el posterior a una altura tal que se preste al acoplamiento con el tender. La altura en A queda así determinada; por lo tanto, el larguero debe primeramente bajar bastante para liberar convenientemente las cajas del eje posterior portante, cuyas ruedas tienen poco diámetro, y para dejar lugar, en este caso, al hogar desbordante y semi profundo; luego debe subir para abrazar las cajas de los ejes acoplados y llega finalmente al travesaño anterior pasando por encima del bogie. Los cilindros interiores los conectan firmemente: una fuerte conexión transversal es necesaria entre cilindros exteriores. Además los largueros se unen en el lugar del apoyo de las guías de crucetas, y delante de la caja a fuego, que impide conectarlos el uno con el otro sobre una longitud bastante grande. Los travesaños son en chapa y los esquineros o escuadras moldeados en acero.

Para aligerar el bastidor, pero principalmente para hacer accesible el mecanismo con vista a la facilidad de inspección y engrase, también se hace indispensable agujerear los largueros. Claro está que estos agujeros deben practicarse racionalmente para no debilitar los largueros con exceso.

Por lo que antecede podremos darnos cuenta de las dimensiones de las planchas para fabricar los largueros y de los desperdicios de que son forzosamente tributarios. Esto ha conducido a la construcción de los largueros en dos piezas. En la locomotora belga tipo 10 (fig. 518), las dos piezas se unen por recubrimiento en B, estando sobrepuestas en una gran extensión para no debilitar demasiado el bastidor en este lugar.

El travesaño posterior es siempre de plancha de gran espesor; el anterior, que antiguamente se construía de madera, actualmente se construye también, casi siempre, de plancha.

Los largueros deben formar con los travesaños un marco rectangular indeformable, es decir, que la construcción del bastidor debe imposibilitar cualquier desplazamiento longitudinal de un larguero con relación al otro y a la vez cualquier arqueamiento de los largueros.

La indeformabilidad del bastidor se obtiene por el empleo de un arriostramiento que, por lo menos, solidarice perfectamente los largueros. Si los cilindros son interiores, ellos mismos forman el arriostrado; si son exteriores se interpone entre ellos un arriostrado rígido, formado por planchas remachadas o por una pieza de acero moldeado. En las máquinas de cuatro cilindros, si los cuatro están en batería (locomotora belga tipo 9), los cilindros interiores hacen el oficio de riostra; cuando los cilindros exteriores están más atrás que los interiores, se dispone también entre los largueros un arriostrado convenientemente agujereado para dar paso al mecanismo de los cilindros interiores.

Independientemente de los travesaños anterior y posterior, llamados testeras, y del arriostrado de que acabamos de hablar, los largueros están ligados por cierto número de travesaños, cuya situación se determina procurando poderlas aprovechar al mismo tiempo como apoyos del mecanismo y de la caldera.

Volviendo al ejemplo de la figura 518, hallamos sucesivamente de delante hacia atrás:

Un travesaño (1) destinada a soportar las guías de las crucetas y los conductos de escape.

Un travesaño (2) que sirve de soporte y sujeción de la caldera.

Dos travesaños (3 y 7) que unen los largueros.

Dos travesaños (4 y 5) que hacen de soportes intermedios de la caldera.

Un entabicado (6) que une los largueros por debajo del hogar.

Todos estos travesaños son de acero moldeado, excepto el posterior (6), que está constituido por ménsulas y planchas remachados formando caja.

Al bastidor se fijan unas ménsulas o escuadras que sirven para la sujeción de las guías de los vástagos de correderas y émbolos, de los soportes de los árboles del cambio de marcha, de la pasarela de engrase, etc.

El bastidor con largueros de acero tal como hemos descrito es la construcción generalmente empleada en Europa. Los largueros se construyen de plancha de acero de 25 a 30 milímetros de espesor.

Una disposición similar, pero de barras laminadas, se encuentra desde hace varios años sobre las locomotoras de origen alemán.

La figura 519 muestra distintas disposiciones de largueros que se pueden encontrar actualmente.

Actualmente, el desarrollo de la soldadura ha permitido encarar la construcción de tales bastidores con ayuda de elementos forjados o fundidos armados, lo que, en ausencia de fundiciones lo bastante resistentes, permite realizar igualmente piezas monobloques de grandes dimensiones.

Por fin la disposición en H debida a Corpet Louvet parece susceptible de numerosas aplicaciones.

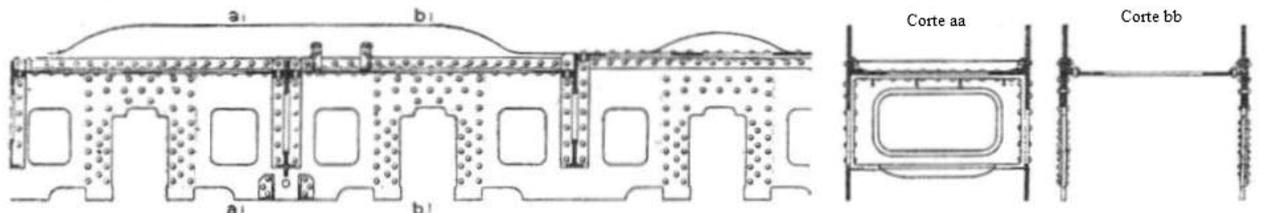


Fig. 519-1 – Largueros de plancha o chapa.

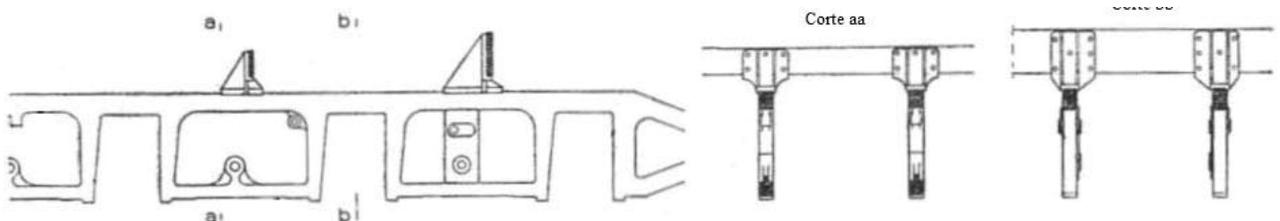


Fig. 519-2 – Largueros moldeados de barras.

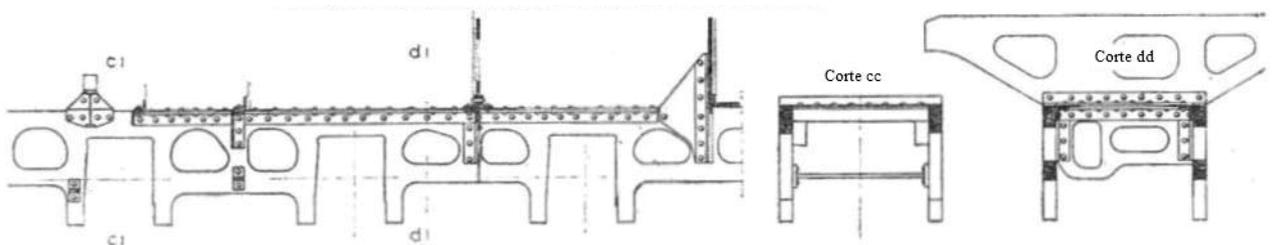


Fig. 519-3 – Largueros de barras, laminados, con planchas de refuerzo horizontales.

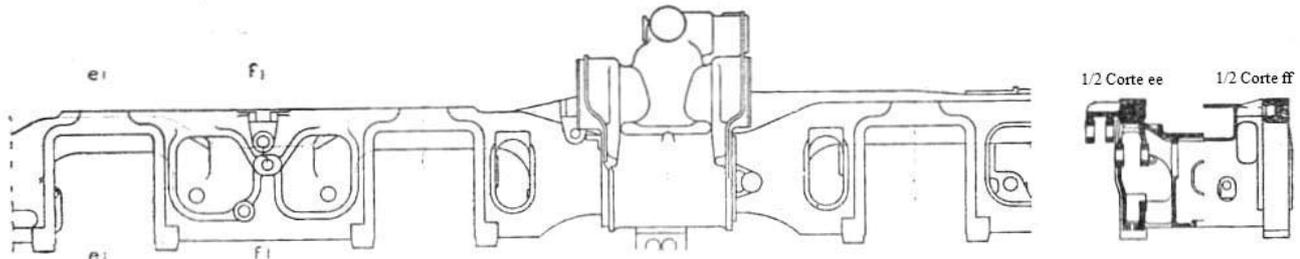


Fig. 519-4 – Bastidor con cilindros, soportes, travesaños y depósitos fundidos en una única pieza.

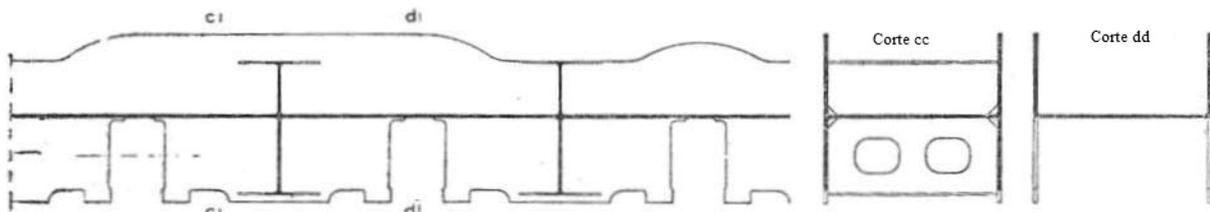


Fig. 519-5 – Largueros de planchas, soldados con autógena, disposición en H.

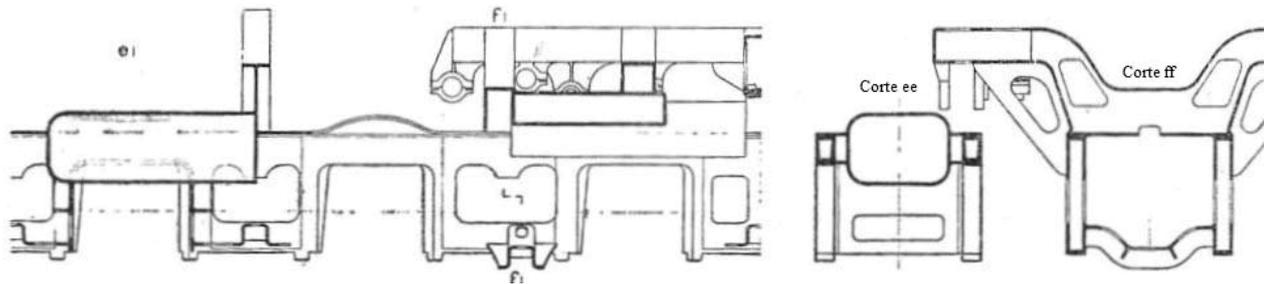


Fig. 519-6 – Bastidor de plancha, soldado con autógena, con cilindros, soportes, travesaños y depósitos constituyendo una única pieza.

108. Bastidor monoblock. – Más recientemente (1926), la construcción americana se orientó hacia una nueva solución: el bastidor monoblock de acero moldeado, que se funde en una única pieza con los cilindros, las travesaños e incluso los tanques (fig. 520). Se obtiene así un conjunto indeformable y no desmontable, lo que tuvo por consecuencia reducir notablemente los gastos de mantenimiento.

Se trata, así, de suprimir las dificultades y el coste de entretenimiento, que provienen del desajuste de las ensambladuras entre los cilindros los largueros.

La fijación de los cilindros en las máquinas potentes, sobre todo en las de dos cilindros exteriores, ha sido siempre uno de los puntos críticos de la construcción de las locomotoras, por los empujes alternativos de 50 a 80 toneladas que soportan en esos puntos.

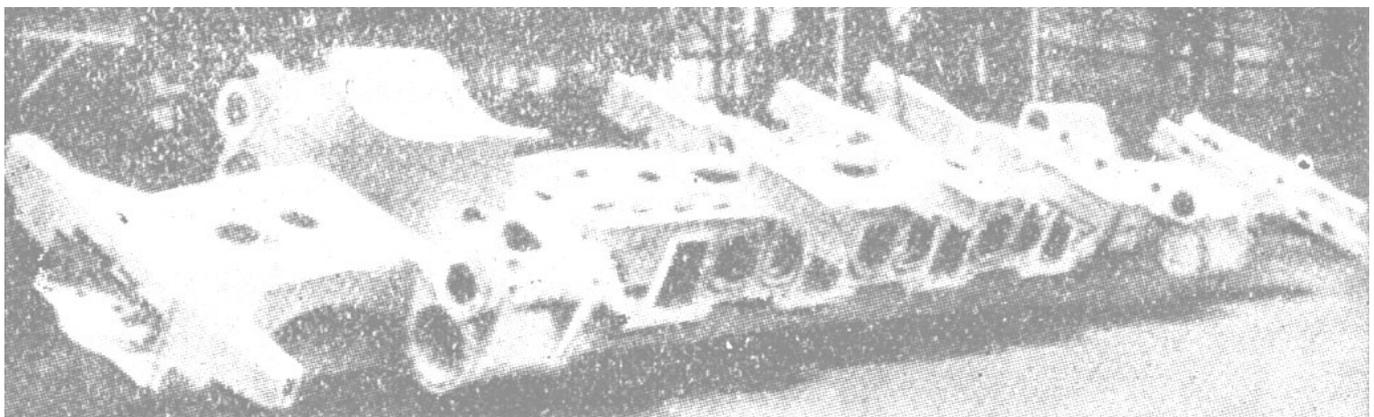


Fig. 520 – Bastidor monoblock de la locomotora de 4 cilindros del Pennsylvania.

En los talleres de la General Steel Casting Corporation, de América, se funde el bastidor inclinado, con los cilindros colocados en la parte más baja, con mazarotas importantes, que representan un 40 %, aproximadamente, del peso de la pieza moldeada.

Así es que para el bastidor de la locomotora 6-4-4-6 del Pennsylvania, de 276 toneladas de peso total (fig. 520), que pesa él solo 44,5 toneladas, se funden 70 toneladas de metal.

109. Unión del bastidor y la caldera. — La caldera está apoyada por sus partes anterior y posterior y por varios puntos intermedios en número mayor o menor según sea su longitud, su peso y el volumen de agua contenido. La sujeción en estos soportes requiere una atención particular. La caldera sufre, en efecto, dilataciones que no experimenta el bastidor; por lo tanto, sólo puede fijarse a éste en un solo punto para que pueda dilatarse libremente.

¿Qué punto es conveniente elegir?

Los cilindros están en comunicación con la caldera por medio de los tubos de admisión; por consiguiente, si el punto de sujeción estuviera en el extremo opuesto a los cilindros, las dilataciones y contracciones subsiguientes producirían, en esos tubos, flexiones repetidas que conducirían a su rotura o a su desencajamiento. Por lo tanto, viene muy indicado fijar la caldera en la proximidad de los cilindros, es decir, en la parte anterior de la misma; así la dilatación podrá efectuarse libremente hacia atrás. Es la práctica corriente y, por otra parte, la caja de humo proporciona el poder fijar la caldera al bastidor sin que la unión interese a ninguna porción que esté bañada por el agua.

La caldera, pues, se emperna fuertemente por su caja de humo, ya sea a un soporte especial que arriostra los largueros, ya sea a los mismos cilindros, si su parte superior se ha fundido en forma de cuna.

La libertad de dilatación puede obtenerse de distintas maneras.

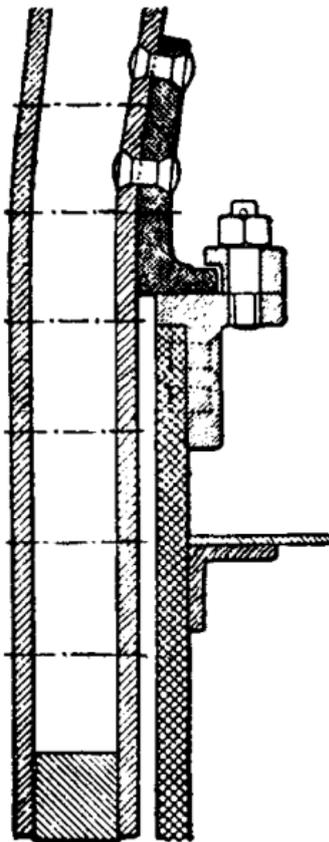


Fig. 521

En los *soportes intermedios*, la caldera descansa sobre los arriostrados de los largueros por una pieza remachada al cuerpo cilíndrico; esta pieza forma sencillamente el patín de deslizamiento (riostroas 4 y 5, fig. 518). El *apoyo posterior* está formado, si el hogar es desbordante, por unas zapatas que se fijan al marco del hogar, delante y detrás, a la altura de los largueros, y que abrazan un patín fijo encima de estos últimos; el desplazamiento está así asegurado y cualquier movimiento transversal es imposible (fig. 518). Cuando el hogar va introducido entre los largueros, se remacha a las paredes verticales de la caja de fuego una pieza en ángulo suficientemente larga que descansa sobre un patín que va fijo al larguero del bastidor (fig. 521).

En las modernas locomotoras, los soportes intermedios de la caldera sobre los largueros se construyen a menudo con plancha flexible, cuyo espesor varía de 8 a 13 mm. La figura 522 representa una aplicación de esta clase a las locomotoras belgas tipo 38.

El apoyo *A* es el apoyo principal, que es donde la parte posterior de la caldera transmite la mayor parte de su peso al bastidor, y consiste en un patín que desliza sobre una fuerte riostra de los largueros. El cuerpo cilíndrico está sostenido por dos planchas *B* y *C*, que, al mismo tiempo que unen verticalmente la caldera al bastidor, se prestan además, debido a su flexibilidad, al desplazamiento longitudinal producido por la dilatación.

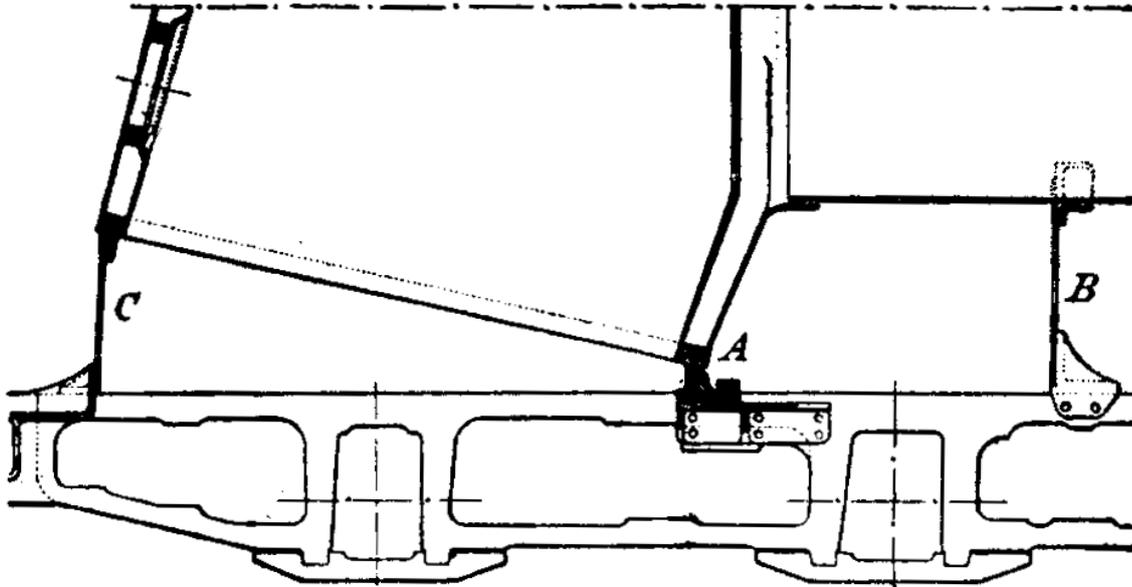


Fig. 522. — Apoyos de dilatación de la caldera de las locomotoras belgas tipo 38.

Este modo de efectuar los apoyos, que ya se encuentra en las antiguas locomotoras, resuelve perfectamente la cuestión desde el punto de vista de la dilatación; presenta además la ventaja de oponerse enérgicamente a cualquier desplazamiento transversal de la caldera sobre el bastidor, desplazamiento que tiende a producirse durante la marcha por el movimiento de lanzadera.

110. Suspensión. — Se utilizan elementos elásticos montados entre el bastidor y las cajas de los ejes, guiadas entre guías o resbaladeras verticales. Sin estos elementos, la locomotora y los rieles recibirían choques violentos y destructivos. Además, como consecuencia de las flexiones y desigualdades de la vía, algunas ruedas no apoyarían sobre el riel, y todo el peso se repartiría sobre las otras.

No obstante, una parte importante del peso de la locomotora no se suspende: incluye las ruedas montadas, las cajas, las bielas de acoplamiento, y parcialmente las bielas motrices, las bielas excéntricas, y los elásticos.

Los elásticos de los coches de pasajeros son muy flexibles y permiten grandes desplazamientos de la estructura sobre los ejes; no puede decirse lo mismo de la locomotora, cuyas bielas motrices y excéntricas vinculan el eje motriz a piezas del mecanismo invariablemente vinculadas al bastidor. Como consecuencia del movimiento de los elásticos, el eje del cilindro no corta siempre al eje del eje motriz. Cuando el centro del eje motriz pasa de O a O' (fig. 523), con relación al bastidor, la manivela pasa de OM a $O'M'$, y la cruceta, en vez de estar en B , se encuentra en B' . Esta diferencia no tiene gran importancia para el pistón, ya que se vuelve menos importante cuando la manivela se acerca a sus puntos muertos y el pistón a los fines de su carrera, si el eje del cilindro es horizontal.

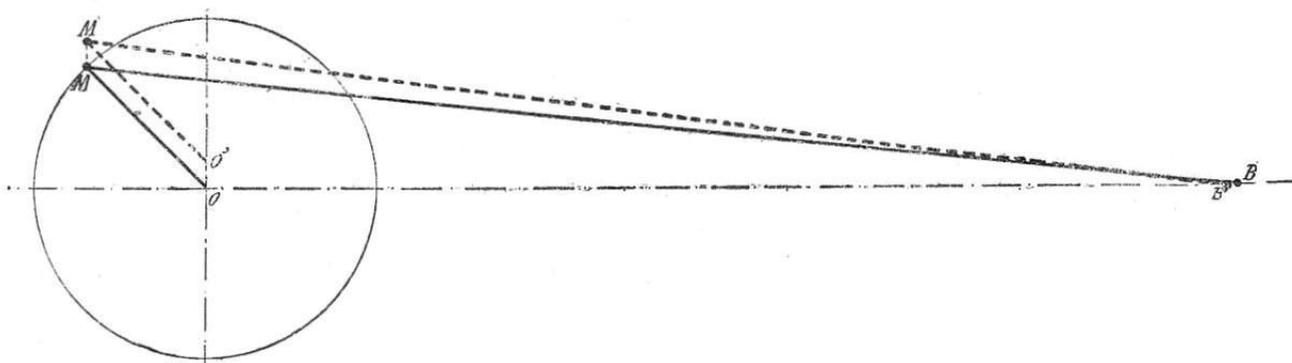


Fig. 523 - Desplazamiento del pistón, resultante del movimiento vertical del eje con relación al bastidor.

Pero el mismo efecto sobre la corredera, altera la distribución cuando el desplazamiento es demasiado grande. Cuando el eje del cilindro está inclinado, el ascenso o descenso del eje motriz

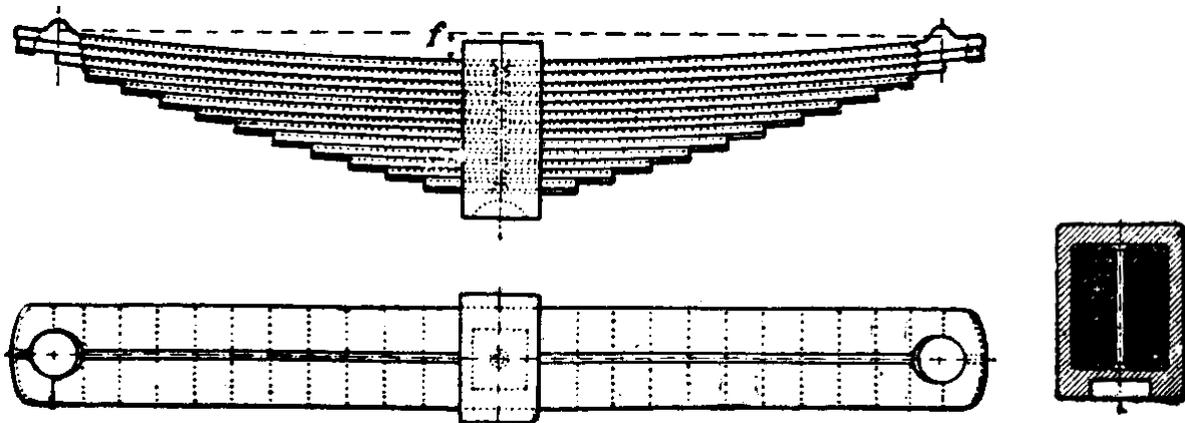
influye sobre la posición del pistón en los fines de su carrera: con una inclinación del eje del cilindro de 12 cm por metro ($6^{\circ} 48'$), una biela motriz larga de 1.500 mm, una carrera de 600 mm, el pistón a fin de carrera puede desplazarse cerca de un centímetro, si el juego de los elásticos permite una oscilación de 4 cm por arriba y por debajo de la posición normal del eje. La elevación de un eje acoplado con respecto a otro, exige algo de juego sobre la articulación de la biela de acoplamiento, que no puede alargarse: con una biela larga de 1.200 mm, la distancia de eje en eje de los pivotes aumenta en 0,4 mm cuando se eleva un eje 31 mm con respecto al adyacente.

111. Resortes. – Preliminares. — Por su forma constructiva, los resortes empleados en las locomotoras se dividen en dos categorías principales:

- 1° Los resortes de láminas escalonadas (figs. 524).
- 2° Los resortes de hélice (fig. 534).

1° *Los resortes de láminas escalonadas o ballestas* están formados por una serie de hojas superpuestas, de planchuelas de acero, cuya longitud va disminuyendo de arriba abajo.

La carga se transmite por los extremos de la lámina superior, llamada hoja maestra. Las láminas tienen sección sensiblemente rectangular (fig. 525) y presentan un nervio que encaja en una ranura de la hoja próxima, para impedir que las hojas puedan desplazarse transversalmente.



Figs. 524

Los elásticos de locomotoras suelen tener las primeras hojas de la misma longitud que la hoja maestra. Se evita que las hojas puedan deslizar las unas sobre las otras en sentido longitudinal, uniéndolas con un pasador que las atraviesa por el centro. Las hojas se reúnen en su parte media por una brida collar colocado en caliente, para que al enfriarse realice un apriete muy enérgico. Antes de montar la brida, se engrasan las hojas con grasa grafitada, para protegerlas de la oxidación y al mismo tiempo asegurar un rozamiento suave y regular de unas hojas sobre otras.

Actualmente se prefiere la disposición representada en la figura 526. El resbalamiento transversal se impide, como hemos dicho, con el nervio n central de cada hoja.

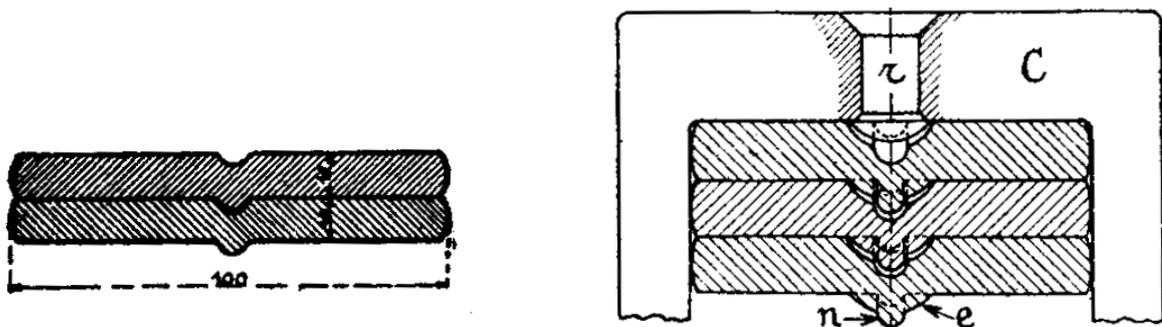


Fig. 525

Fig. 526

Vehículo

Para impedir el resbalamiento longitudinal se recurre a un saliente e en forma de casquete esférico (fig. 526), que encaja en la hoja de debajo. Para la hoja superior, hace el papel de tope la cabeza del roblón *r*, colocado en el collar o brida *c*.

Los vástagos de suspensión cargan sobre el resorte por medio de una tuerca roscada sobre el vástago, que atraviesa un ojal ovalizado perforado en las hojas; el gancho, que deja las hojas intactas (fig. 527), es una sujeción menos segura.

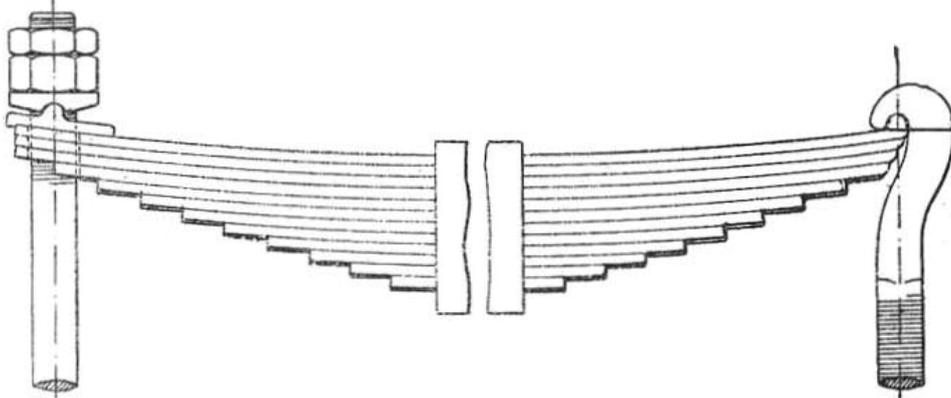


Fig. 527 – Enlace de los vástagos de suspensión mediante tuerca (a la izquierda), y por medio de gancho (a la derecha).

Aplicación de la carga. — En el dispositivo, sumamente conocido, de los coches y vagones, los resortes de láminas descansan en su parte media sobre las cajas de grasa, llevando la carga aplicada en sus extremos; esta disposición también se encuentra en las locomotoras (fig. 528).

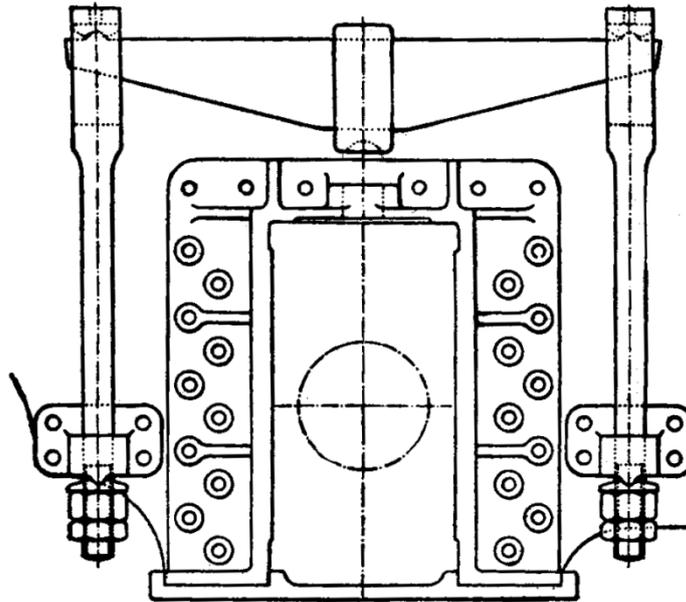


Fig. 528 — Resorte apoyado en el techo de la caja de grasa y cargado en sus extremos. (Eje trasero de la locomotora belga tipo 18)

La disposición inversa se encuentra igualmente, es decir, con la carga apoyando en el punto medio del resorte (fig. 529), transmitida a las cajas de grasa por medio de unos tirantes colgados de un caballete (resortes del bogie de las locomotora belgas tipo 18).

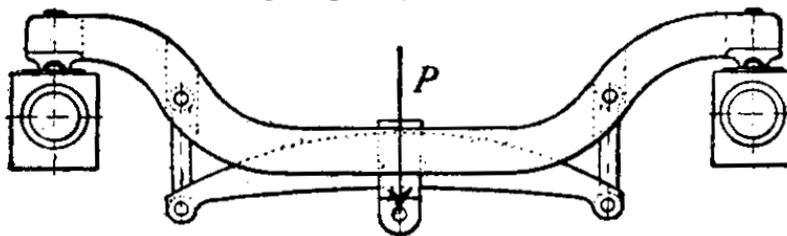


Fig. 529 — Resorte cargado en su centro con transmisión de la carga a las cajas de grasa por medio de un caballete. (Bogie de la locomotora belga tipo 18.)

En lugar de apoyar el resorte sobre la caja de grasa, puede suspenderse de la misma (fig. 530). En este caso, las bielas de suspensión trabajan comprimidas; pueden flexarse si son largas, pero además es un caso de equilibrio inestable y, por poco juego que tenga la caja de grasa en sus guías, las bielas se colocan oblicuamente tendiendo las láminas del resorte a deslizarse en su collar; por esta razón se prefiere la disposición de la figura 531, pues así las bielas trabajan como tirantes y el equilibrio es estable. La flecha de un resorte es la altura f del arco formado por la hoja maestra (fig. 524).

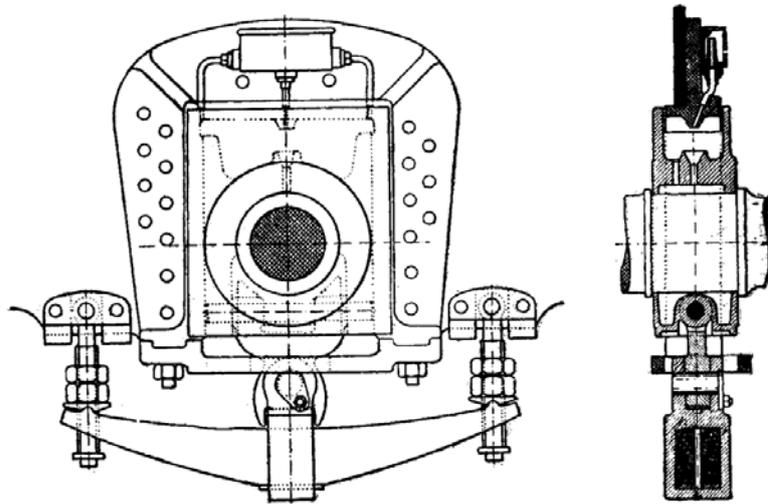


Fig. 530 – Resorte suspendido de la caja de grasa con bielas comprimidas.

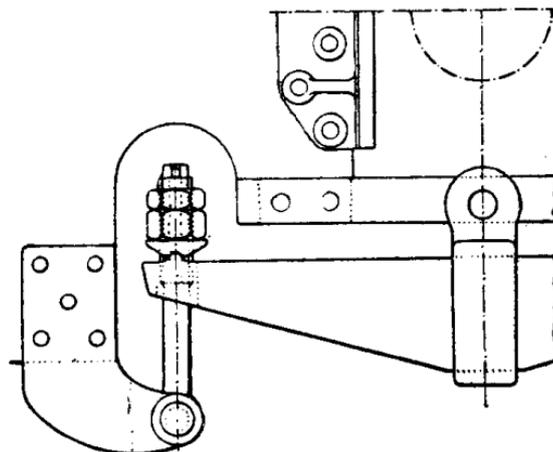


Fig. 531 – Resorte suspendido de la caja de grasa con bielas extendidas (locomotora belga tipo 10).

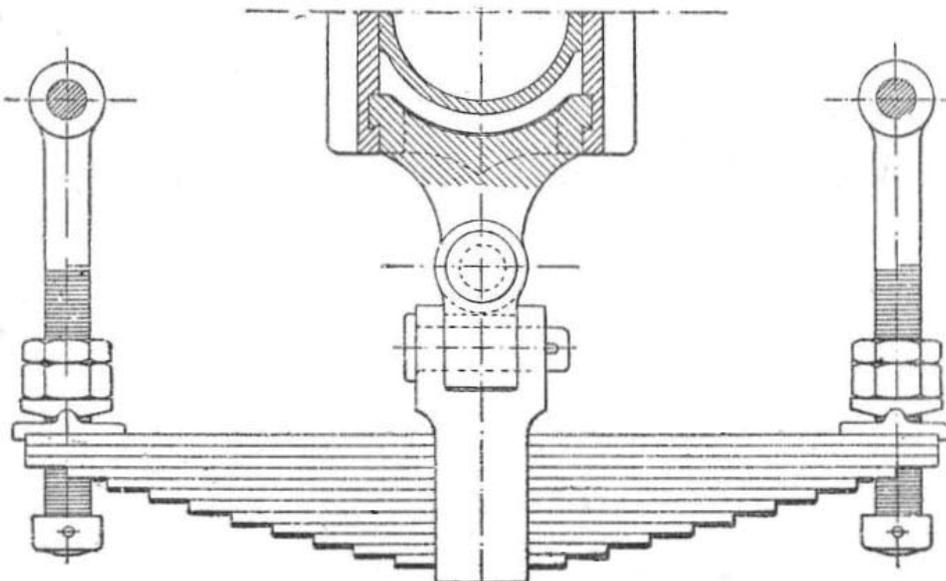


Fig. 532 – Resorte debajo de la caja, con doble articulación.

Además de la articulación transversal, que garantiza la igualdad de las cargas sobre los dos extremos, se proporciona a veces una articulación longitudinal, como sobre la figura 532, articulación útil cuando el eje se inclina. El resorte sobre la caja puede apoyar sobre una rótula esférica, que permite el desplazamiento en todos los sentidos.

La flexibilidad por tonelada es la magnitud que varía la flecha cuando la carga del resorte varía una tonelada. La disminución de la flecha es aproximadamente proporcional a la carga; como promedio puede considerarse de 3 a 7 mm por tonelada. En general, en las locomotoras, los resortes son más bien duros, para que las oscilaciones de la máquina no lleguen a ser suficientemente grandes como para desajustar el mecanismo de distribución. Ciertos resortes, tipo Belpaire, se construyen de modo que, cuando no soportan carga, su flecha es nula, es decir que antes de montarlos son rectos, y luego la carga los curva hacia abajo (fig. 533); entonces se dice que la flecha es negativa. En otros casos, la flecha es nula con carga.

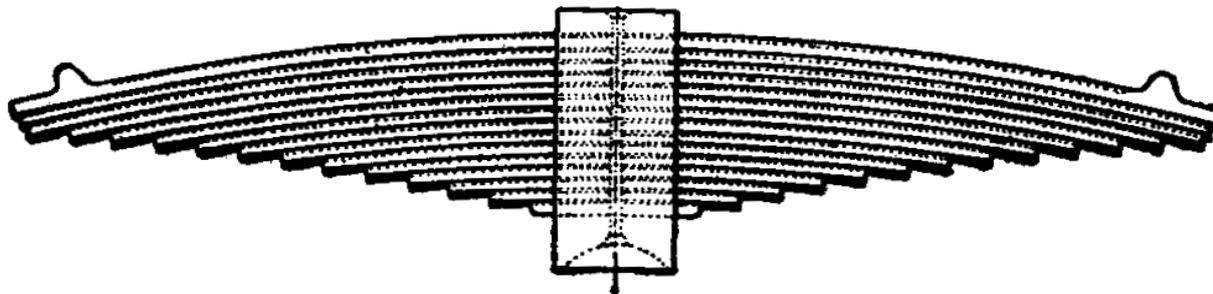


Fig. 533 — Resorte Belpaire con carga.

Los resortes de láminas presentan las siguientes ventajas:

a) En el caso de romperse una hoja, cosa aparente, no trae consigo la rotura completa del resorte. Para evitar la completa rotura se hace la hoja maestra generalmente de espesor doble o hasta triple o cuádruple que las demás.

b) Las oscilaciones son amortiguadas por el rozamiento de unas hojas sobre otras. Ésta es una excelente cualidad, porque las causas que provocan las oscilaciones pueden sucederse con regularidad, las juntas de los carriles, por ejemplo, y sin el amortiguamiento por el roce de las hojas, las oscilaciones podrían ir creciendo y adquirir una importancia suficiente para comprometer la seguridad.

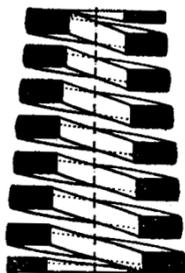


Fig. 534

2° *Los resortes helicoidales* (Fig. 534), formados de una sola pieza, funcionan sin rozamiento y, por lo tanto, no poseen las dos cualidades anteriores, que caracterizan un buen resorte de suspensión; por esto se emplean apenas en las locomotoras (primitivamente se aplicaron al eje motor de la locomotora belga tipo 18).

A veces se emplean resortes helicoidales (fig. 535) para la suspensión de las locomotoras; al colocar dos de estos resortes, uno a cada lado de la caja, cada uno soporta la mitad de la carga total. La flexión por tonelada es entonces igual a la de un único resorte bajo la carga de media tonelada.

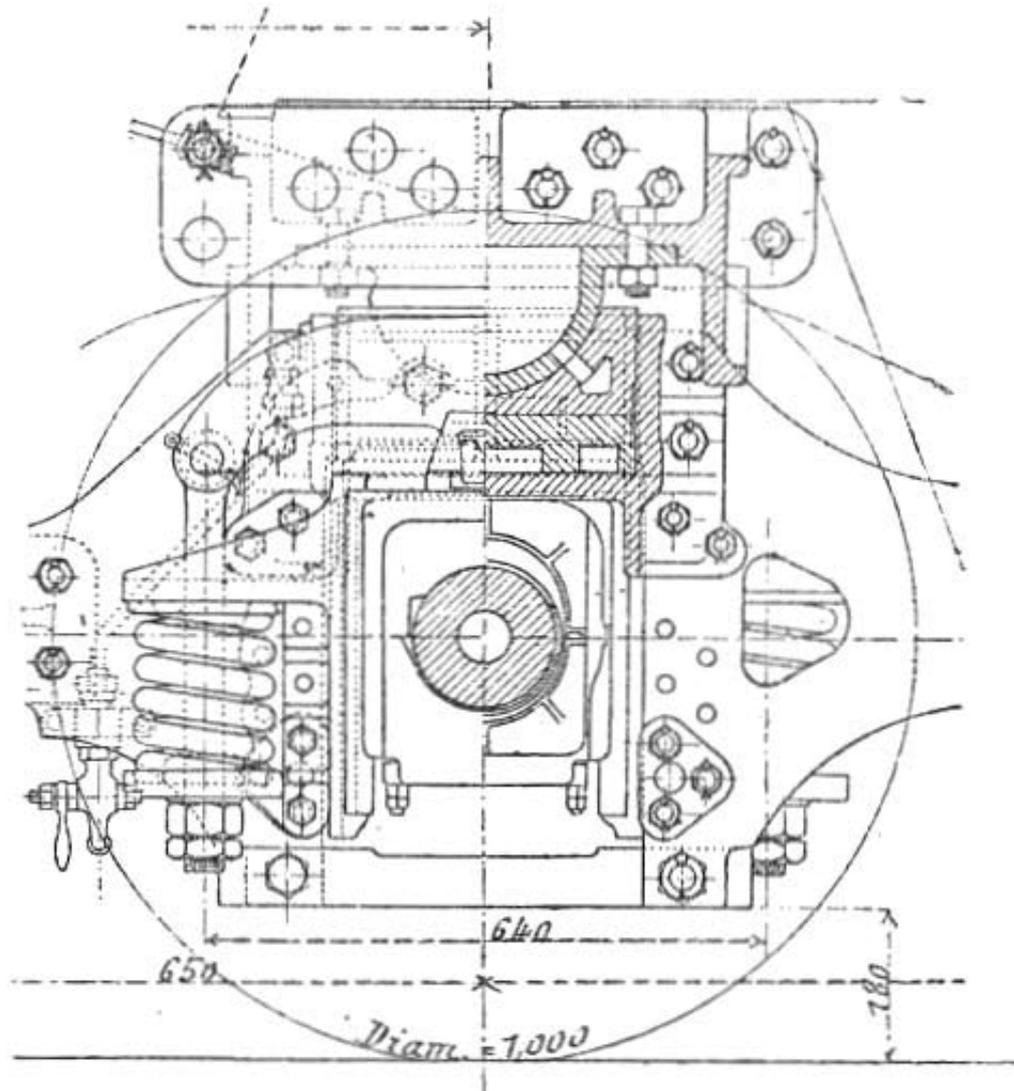


Fig. 535 – Suspensión del bissel posterior de las locomotoras Mikado del P.L.M. El bastidor del bissel descansa, de cada lado, en un par de resortes helicoidales, que transmiten la carga a vástagos de suspensión articulados sobre un yugo que carga la caja.

112. Material de los resortes. — Todos los materiales son elásticos, pero muy pocos, no obstante, pueden utilizarse ventajosamente para la construcción de resortes. Deben, en efecto, satisfacer dos condiciones esenciales:

- Poder soportar, sin deformación permanente, una carga tan grande como sea posible.
- Entre dos materiales, será mejor aquel que para una misma carga sufra una deformación elástica mayor.

La primera condición predomina en importancia sobre la segunda. El acero templado y revenido posee en alto grado esta primera cualidad; puede soportar sin deformación permanente tensiones que llegan hasta 160 kg/mm^2 . En la S.N.C.B., las hojas de los resortes son de acero silicomanganeso (carbono: 0,47 a 0,55 %; silicio: 1,60 a 2 %; manganeso: 0,50 a 0,80 %).

Las láminas, después de curvadas y calentadas a 930° , se templan al agua a la temperatura de 20 a 30° y después se revienen a 475° durante veinte minutos por lo menos.

En la S.N.C.B., la resistencia de las hojas varía de 129 a 148 kg/mm^2 .

Utilizando la nomenclatura AISI-SAE, común en Argentina, los materiales usuales para resortes son acero SAE 5160 o acero SAE 9260. El acero SAE 9260 es similar al utilizado en la S.C.N.B., con un contenidos: carbono: 0,55 a 0,65 %; manganeso: 0,70 a 1,00 %; silicio: 1,80 a 2,20 %; fósforo: 0,04 % máximo; azufre: 0,04 % máximo. Las temperaturas de temple y revenido son similares a las especificadas anteriormente.

Vehículo

La segunda opción, acero SAE 5160, es un acero al cromo, especial para resortes, y su composición es: carbono: 0,55 a 0,65 %; manganeso: 0,75 a 1,00 %; fósforo: 0,04 % máximo; azufre: 0,04 % máximo; silicio: 0,2 a 0,35 %; cromo: 0,70 a 1,00 %. Su tratamiento térmico consiste en templado en aceite a 850°, y revenido a 430°; su carga de rotura es de 155 kg/cm², y su carga de fluencia es de 142 kg/cm².

113. Papel que desempeñan los resortes. — Los resortes de las locomotoras, como los de cualquier vehículo, tienen por objeto, en primer lugar, amortiguar los choques que resultan del rodamiento de las ruedas sobre los carriles, transmitiéndolos así ya muy debilitados al bastidor. En segundo lugar, aseguran cierta constancia en la carga sobre los ejes, a pesar de las desigualdades de la vía. Efectivamente, si se imagina una locomotora sin resortes rodando sobre una vía que presenta desigualdades, se concibe que, debido a estas mismas desigualdades, nunca podrían tocar al carril más de tres ruedas a la vez. Las otras estarían completamente descargadas, con peligro de descarrilar. Los resortes con su flexibilidad obligan las ruedas a guardar siempre contacto con los carriles; además, si su flexibilidad es, por ejemplo, de 6 mm por tonelada de carga, será preciso que exista en la vía un desnivel de 12 mm en el punto de apoyo de la rueda para hacer variar en 2 toneladas la carga sobre ella. Así, pues, la variación de cargas sobre los ejes no será de importancia a pesar de las desigualdades de la vía y, para iguales desniveles en la vía, esta constancia de carga será tanto más perfecta cuanto más flexibles sean los resortes.

Pero en las locomotoras, el papel de los resortes no se limita sólo a las dos funciones mencionadas, sino que también gracias a ellos se puede, como vamos a ver, modificar en cierto modo el reparto de cargas entre los diferentes ejes.

114. Distribución del peso suspendido. — La construcción de la locomotora se ha estudiado de modo que se pueda obtener un determinado reparto de cargas sobre los ejes basándose en las siguientes consideraciones:

a) La carga sobre cada eje no puede exceder de cierto número de toneladas, para no fatigar excesivamente la vía y las obras de arte (puentes, etc.).

b) Los ejes acoplados, cuya adherencia se utiliza para permitir a la locomotora desarrollar el esfuerzo de tracción de que es capaz, deben necesariamente soportar cierto peso determinado, para evitar el patinaje de las ruedas.

c) Los ejes libres, destinados únicamente a soportar la carga, deben sostener un peso conveniente para darles la suficiente estabilidad sobre la vía. Si estos ejes estuvieran insuficientemente cargados, podrían descarrilar en las curvas de pequeño radio.

El constructor debe evaluar lo más exactamente posible el peso que la locomotora tendrá una vez construida, calculando a su vez la posición del centro de gravedad de la máquina para así poder fijar la posición de los ejes en el bastidor, según el reparto de cargas que se le ha impuesto.

Una vez construida la locomotora, durante el montaje se han apretado las tuercas de los resortes a estima y, por lo tanto, puede muy bien suceder que, al pesar la máquina, se encuentre un reparto de cargas distinto del previsto. Por otra parte, aunque este reparto fuese exacto a la primera vez, no se conservaría en la máquina en servicio, ya que los resortes pueden perder su flexibilidad. El mecánico encargado de ajustar los pesos de la máquina debe dar a cada eje la carga que se considere más conveniente. Se encuentra delante de una masa de un peso determinado, con el centro de gravedad ocupando una posición invariable y que apoya sobre un cierto número de apoyos (las ruedas) de emplazamiento fijo. Observemos, además, que los resortes proporcionan a la máquina apoyos elásticos, que se deforman más o menos a voluntad del operador, según apriete o afloje las tuercas de las bielras de suspensión de los resortes, permitiendo así obtener una modificación en las cargas.

Consideremos el caso sencillo de una máquina con tres ejes igualmente separados, igualmente cargados y colocados sobre la vía a un mismo nivel (fig. 536). El centro de gravedad se hallará en la vertical que pasa por el centro de la rueda del medio.

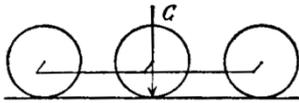


Fig. 536

Evidentemente, apretando los resortes del eje central, se aumentará la carga sobre este eje, el conjunto de la máquina se elevará y los resortes extremos se descargarán cada uno en una cantidad igual a la mitad de la que ha aumentado el resorte del centro.

En todas las operaciones de esta clase — apriete o afloje de los resortes — el reparto de la carga sobre los diferentes ejes variará, pero la resultante de todas las cargas transmitidas por las ruedas pasará siempre, en todo instante, por el centro de gravedad, de posición invariable.

En el sencillo caso explicado anteriormente no podría descargarse una mitad el eje anterior sin descargar al mismo tiempo en la misma cantidad el eje posterior.

Igualmente se comprende que si el centro de gravedad de la máquina se encuentra exactamente sobre el eje de la vía, la suma de la carga de las ruedas de la izquierda debe ser exactamente siempre igual a la de las ruedas de la derecha.

Resumiendo, la tensión mayor o menor dada a los resortes permite hacer variar la carga sobre los ejes dentro de límites bastante extensos. Por otra parte, aparece también claramente que, debido a la invariabilidad de la posición del centro de gravedad, las cargas de los diferentes ejes están ligadas entre sí en forma tal que la variación de una de ellas arrastra la de las otras.

Se puede fijar a discreción, entre ciertos límites, la carga de uno de los ejes, el del medio por ejemplo, y fórmulas simples permiten calcular la carga de cada uno de los dos otros. Es necesario comenzar por pesar cada uno de los tres ejes con sus cajas, resortes, collares de excéntricas, y con la porción de las bielas que lleva (según una estimación aproximada): es el peso no suspendido de la locomotora. Sean p' , p'' y p''' los pesos así encontrados para los tres ejes (p' , p'' y p''' expresados en kilogramos). Se vuelve a colocar la locomotora sobre sus ruedas y se la coloca en las tres bandejas de la balanza: se encuentran los pesos P' , P'' y P''' (en kilogramos) en cada bandeja: al deducir los pesos de los ejes, se calculan los pesos suspendidos sobre los tres ejes, $P' - p'$, $P'' - p''$, $P''' - p'''$.

La determinación de estos tres pesos permite conocer la posición del centro de gravedad de la masa suspendida, es decir, el punto sobre el cual se podría hacer colocar en equilibrio toda la masa. Sea P el peso total suspendido: si l y l' (fig. 537) son las distancias entre ejes, en metros, y si d es la distancia buscada del centro de gravedad al trasero, la fórmula es:

$$d \times P = l \times (P'' - p'') + (l + l') \times (P' - p')$$

La determinación de estos tres pesos permite conocer la posición del centro de gravedad de la masa suspendida, es decir, el punto sobre el cual se podría hacer colocar en equilibrio toda la masa. Sea P el peso total suspendido: si l y l' (fig. 537) son las distancias entre ejes, en metros, y si d es la distancia buscada del centro de gravedad al trasero, la fórmula es:

$$d \times P = l \times (P'' - p'') + (l + l') \times (P' - p')$$

Por ejemplo, con los valores:

| | | |
|------------------|-------------------|--------------|
| $p' = 1500$ kg | $P' = 10500$ kg | $l = 2$ m |
| $p'' = 2000$ kg | $P'' = 15000$ kg | $l' = 1,8$ m |
| $p''' = 1500$ kg | $P''' = 13000$ kg | |

El peso total suspendido P es de 33500 kg, y:

$$d \times 33500 = 2 \times 13000 + 3,8 \times 9000 = 60200$$

$$\text{ó } d = 1,795 \text{ m}$$

Si se quiere que la carga suspendida sobre el eje central tenga otro valor, $P''_1 - p''$, se tiene siempre la relación:

$$d \times P = l \times (P''_1 - p'') + (l + l') \times (P'_1 - p')$$

entre las nuevas cargas suspendidas $P''_1 - p''$ y $P'_1 - p'$: esta relación permite calcular a P'_1 , luego P''_1 sobre el tercer eje.

Vehículo

En el ejemplo elegido, si se quiere que la carga bajo el eje central se convierta en 13.500 kg, se tiene:

$$60\ 200 = 2 \times 11\ 500 + 3,8 \times (P'_1 - 1500)$$

de ahí se tiene $P'_1 = 11.300$ kg, y luego $P'''_1 = 13.700$ kg.

Es una mejor distribución que la primera.

Se supone que la carga es la misma sobre las dos ruedas de un eje: es una condición fácil de entender, vista la simetría de la locomotora con relación al plano vertical que pasa por el eje de la vía⁽¹⁾, pero que no está necesariamente satisfecha: se podría, por el contrario, llegar a hacer llevar casi todo el peso de la locomotora en diagonal sobre dos ruedas solamente, por ejemplo sobre la rueda delantera izquierda y sobre la rueda posterior derecha.

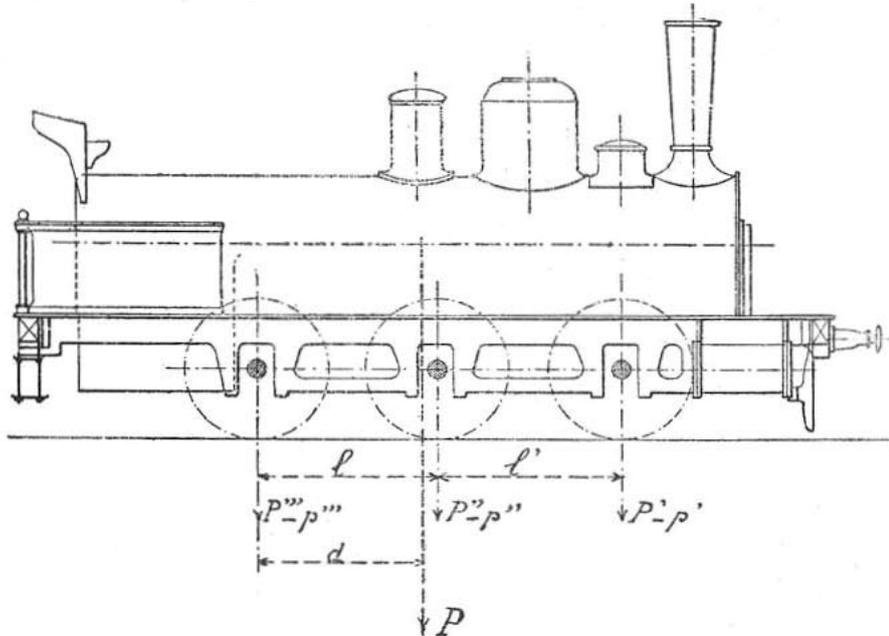


Fig. 537 – Peso sobre los ejes de una locomotora de tres ejes.

Con cuatro ejes (fig. 538), se pueden variar, dentro de ciertos límites, las cargas sobre dos de los ejes. Llamando así mismo p' , p'' , p''' , y p'''' los pesos de los cuatro ejes, P' , P'' , P''' , P'''' los pesos en las cuatro bandejas del eje de balancín, l , l' , l'' las distancias entre los ejes, d a la del centro de gravedad al eje posterior (fig. 239), la fórmula es:

$$d \times P = l \times (P''' - p''') + (l + l') \times (P'' - p'') + (l + l' + l'') \times (P' - p')$$

dónde P es el peso total suspendido.

Esta fórmula permite calcular d con los resultados de una primer pesada, luego P'' , si se fija P' y P''' . Se deduce por fin P'''' .

1. No obstante, esta simetría puede ser perturbada por la acción de algunos elementos sobre un lado de la locomotora. Cuando un máquina-ténder se detiene, o se mueve a baja velocidad, sobre una curva, en una vía con peralte; una parte bastante grande pasa de un tanque al otro. Además en esta posición, la inclinación transversal de todo vehículo carga las cajas del lado interior de la curva más que las exteriores.

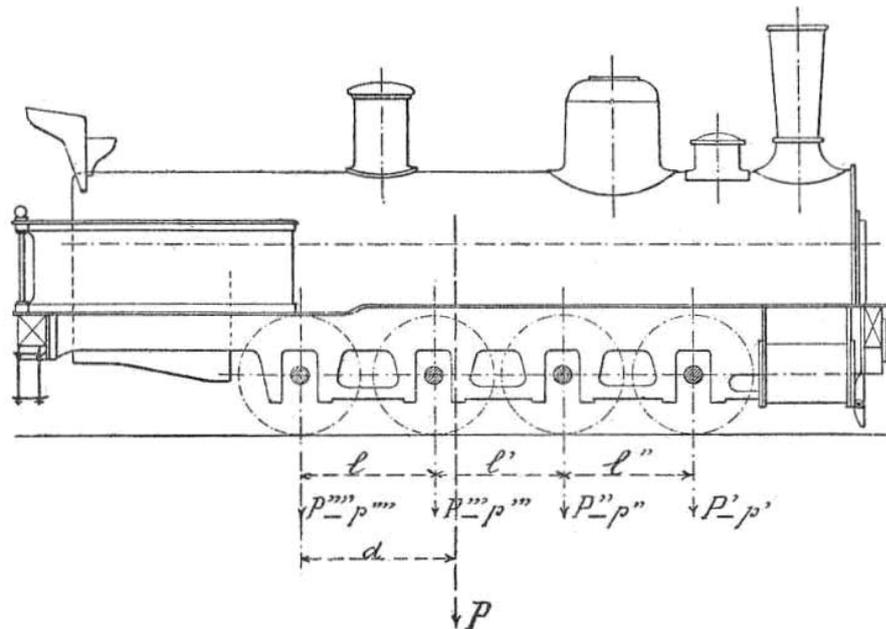


Fig. 538 – Peso sobre los ejes de una locomotora de cuatro ejes.

115. Balancines. — Hemos visto que empleando resortes se llegaba a asegurar cierta invariabilidad en el reparto de cargas, a pesar de las desigualdades de la vía. En realidad, los resortes de las locomotoras son bastante duros, pero, no obstante, el reparto variará durante la marcha, hemos ya señalado dentro de qué límites. Además la distribución puede ser alterada por una regulación deficiente de las tuercas de ajuste. Sin embargo, puede, en ciertos casos, llegarse a obtener un reparto completamente invariable. Citemos, como ejemplo sencillo, el caso de una máquina con un solo eje motor y bogie anterior (fig. 539). La locomotora apoya entonces sobre tres puntos, el pivote del bogie y las dos ruedas del eje motor.

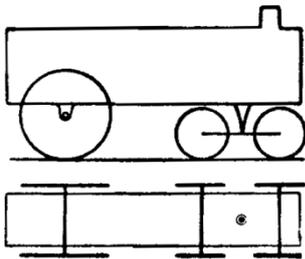


Fig. 539

El reparto de cargas entre estos tres puntos es evidentemente invariable. Una mesa de tres patas carga sobre ellas de un modo invariable, cualesquiera que sean las desigualdades del suelo o de los mismos pies. Es el mismo caso de la máquina de la figura 539. Un ajuste efectuado sobre los diferentes resortes de suspensión no puede tener entonces otro efecto que elevar más o menos el bastidor para colocar, por ejemplo, los topes a un nivel determinado, o el eje motor en el eje de los cilindros, o bien colocar las cajas a una altura conveniente en sus guías para evitar los choques contra los largueros.

Pero, con esta operación, el reparto de cargas no variará. No obstante, observemos que la carga invariable transmitida por el pivote se reparte entre las cuatro ruedas del bogie de un modo que puede no ser rigurosamente constante; pero esto apenas tiene importancia; lo esencial, en el caso estudiado, es que el eje motor conserve una carga rigurosamente constante.

Pasemos al caso de una máquina con dos ejes acoplados y un bogie (tipo 18) (fig. 540). La carga se reparte entre el pivote del bogie y las cuatro ruedas de atrás, es decir, entre cinco puntos. El reparto de las cargas variará en marcha.



Fig. 540

Si los resortes del eje central se comprimen, por ejemplo, el pivote del bogie y el eje posterior se descargan o inversamente. Es fácil darse cuenta de que la carga total que apoya en los dos ejes acoplados sólo variará dentro de límites bastante estrechos, puesto que el eje motor queda en parte compensado por una disminución de peso sobre el eje acoplado.

La disposición de la figura 541, que consta de un eje motor comprendido entre un bogie y un eje libre, se presenta en una forma menos ventajosa. A igualdad de circunstancias, la variación en el reparto será la misma que en el caso de la figura 540, pero sus consecuencias serán distintas.



Fig. 541

Efectivamente, si como consecuencia de un desnivel de la vía, el eje motor se descarga, a esta reducción de carga corresponderá un aumento en la de los otros ejes que no se utilizan para la adherencia, y la máquina patinará.

No obstante, podría lograrse que el eje motor conservase su carga normal empleando balancines. He aquí cómo:

Un gorrón O se fija de un modo rígido al bastidor de la locomotora (fig. 542 y 543) y los extremos M y N de los resortes se ligan a los extremos A y B de una palanca que gira alrededor de O y hace el oficio del fiel de una balanza. Si se quiere que el resorte del eje motor cargue 11 toneladas, por ejemplo, y el del eje libre 7, se dará a los brazos de A O y OB longitudes inversamente proporcionales a estas cargas, es decir, que estén entre ellas como 11 es a 7; al brazo más corto corresponderá la carga mayor. El peso total que carga sobre los resortes de los dos ejes posteriores se reparte siempre entre ellos en esta relación de 11 a 7; la resultante de las cargas sobre estos dos ejes se hallará, pues, siempre sobre la vertical A'' situada a una distancia fija del gorrón⁽¹⁾. Se ve que el peso total suspendido se reparte entonces según tres verticales: el pivote P del bogie, la vertical X de la derecha y la vertical X de la izquierda. Las cargas completamente determinadas transmitidas en X se descomponen entre las dos ruedas posteriores en dos partes proporcionales a 11 y 7.

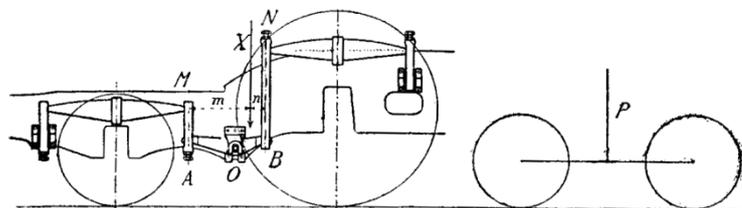


Fig. 542

Gracias al empleo de los balancines se ha logrado un reparto de cargas constante. Un ajuste efectuado en los resortes, igual que sucedía en el primer ejemplo, no influirá en el reparto de cargas.

No debe perderse de vista que las cargas sobre el carril serán transmitidas a los resortes, aumentadas en el peso propio de los trenes de ruedas, cajas, resortes, etc.

Para fijar ideas, el eje acodado de la locomotora belga tipo 12, con sus ruedas montadas, pesa 7 020 kg. El eje recto con sus ruedas montadas, 4 315 kg.

En la locomotora belga tipo 1, los pesos son:

- Primer eje, motor (acodado)..... 5 300 kg
- Segundo eje, motor (recto)..... 4 500 kg
- Tercer eje, acoplado..... 2 200 kg

Estudiemos el caso de la figura 544, que representa la suspensión de una locomotora con tres ejes acoplados.

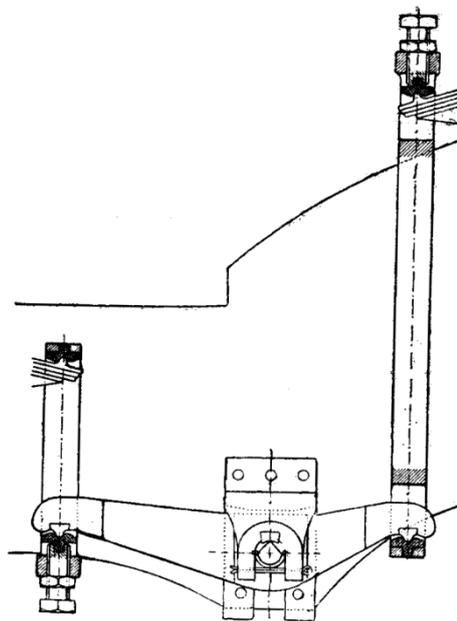


Fig. 543

El estudio del ejemplo que acabamos de exponer permite comprender los casos más complicados.

(1) El punto de aplicación de la resultante de dos fuerzas paralelas divide la recta que une los puntos de aplicación en dos partes inversamente proporcionales a las fuerzas.

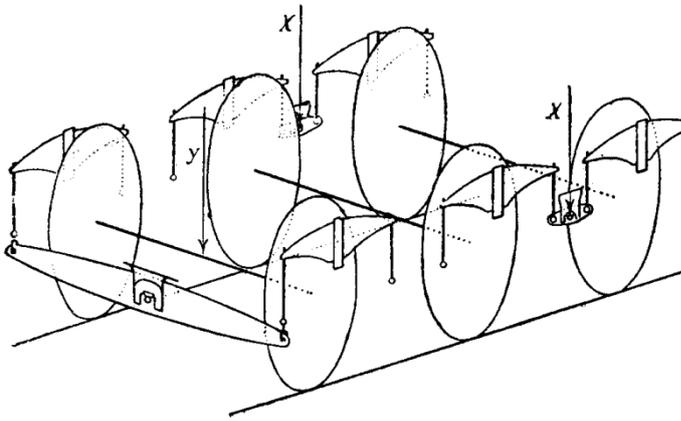


Fig. 544

Los resortes de las ruedas posteriores están igualmente acoplados mediante un balancín transversal, de brazos evidentemente iguales. Estos dos resortes tendrán una carga igual y su resultante pasará por el centro del eje posterior Y . La carga total se reparte, pues, como anteriormente, según tres verticales fijas: las verticales X de derecha y de izquierda y la vertical Y .

El reparto de la carga es invariable para todas las ruedas de la máquina. Aquí, como anteriormente, un ajuste efectuado en los resortes sólo podrá influir en aumentar o disminuir la altura del bastidor. Es la suspensión llamada «de tres puntos».

Si hay cuatro ejes, se pueden conectar los resortes de los dos primeros y los de los últimos ejes por balancines (fig. 545), que garantizan así mismo una distribución invariable. Sea l la distancia del eje de uno de los balancines a la vertical del centro de gravedad (determinada como se dice más arriba), l' la distancia de los ejes de los dos balancines, P el peso total suspendido, P' la carga soportada por los dos ejes traseros; los dos ejes anteriores soportarán $P - P'$; en la relación simple $P' \times l' = P \times (l' - l)$ de ahí deduce a P' ; P' y $P - P'$, se distribuyen así entre los dos ejes correspondientes en relación inversa a los brazos del balancín.

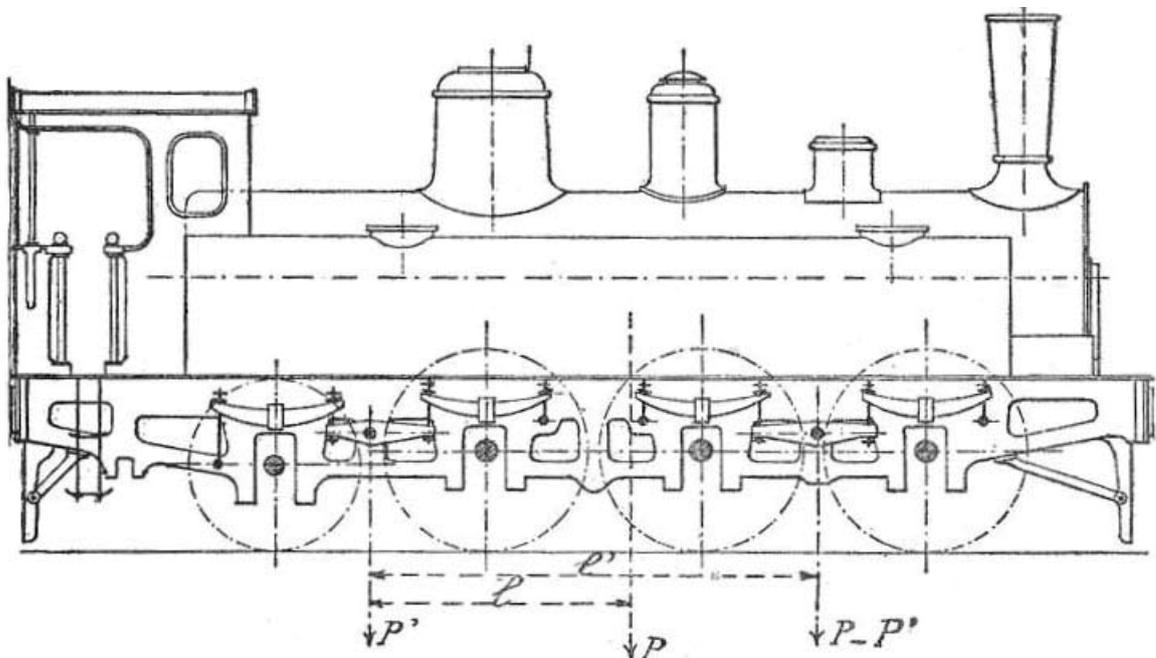


Fig. 545 – Distribución de una carga sobre dos puntos de apoyo, para una locomotora de cuatro ejes, con ayuda de balancines

Para que la distribución se efectúa exactamente según los valores calculados, es necesario que las articulaciones de los balancines, vástagos de suspensión, elásticos, sean perfectamente libres: si se agarrotan estas articulaciones, por falta de lubricación, o, el balancín ocupa convenientemente su posición; hasta puede ser más nocivo que útil, y perturbar la distribución más que regularizarla. Esta es la razón por la que se articula a menudo el balancín sobre una cuchilla, es decir, sobre un borde de acero.

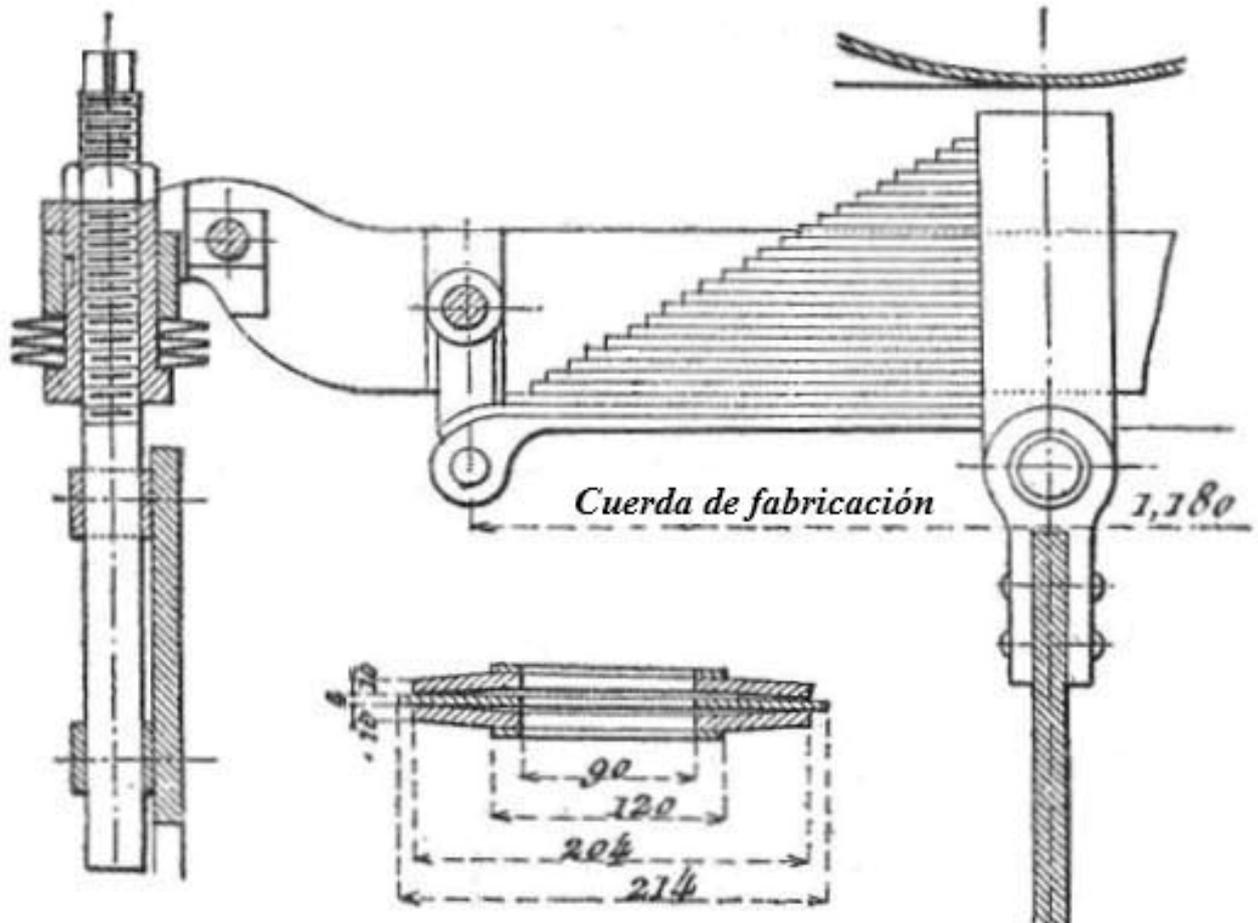


Fig. 547 – Suspensión, por elástico transversal, del eje anterior de locomotoras del Ouest (Etat); detalle de las arandelas elásticas Belleville.

En la figura 548 se muestra la disposición de la suspensión de las locomotoras 4-8-0, serie 600, de la Compañía General.

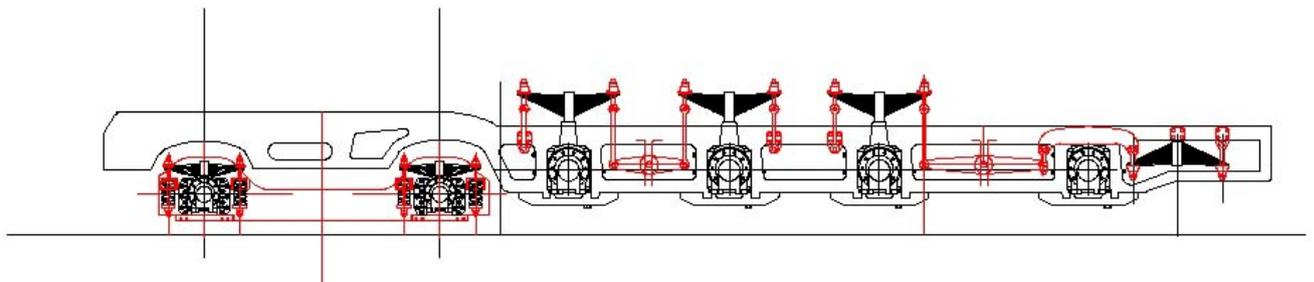


Fig. 548 – Suspensión de las locomotoras serie 600 de la Compañía General.

116. Suspensión de tres puntos. – *Suspensión de la locomotora belga tipo 29 (fig. 549).* — Esta suspensión es también del tipo «de tres puntos», es decir, que el peso suspendido se reparte en tres grupos de ruedas y que, en cada grupo, la carga se reparte proporcionalmente entre las ruedas interesadas, mediante el juego de palancas compensadoras (fig. 549).

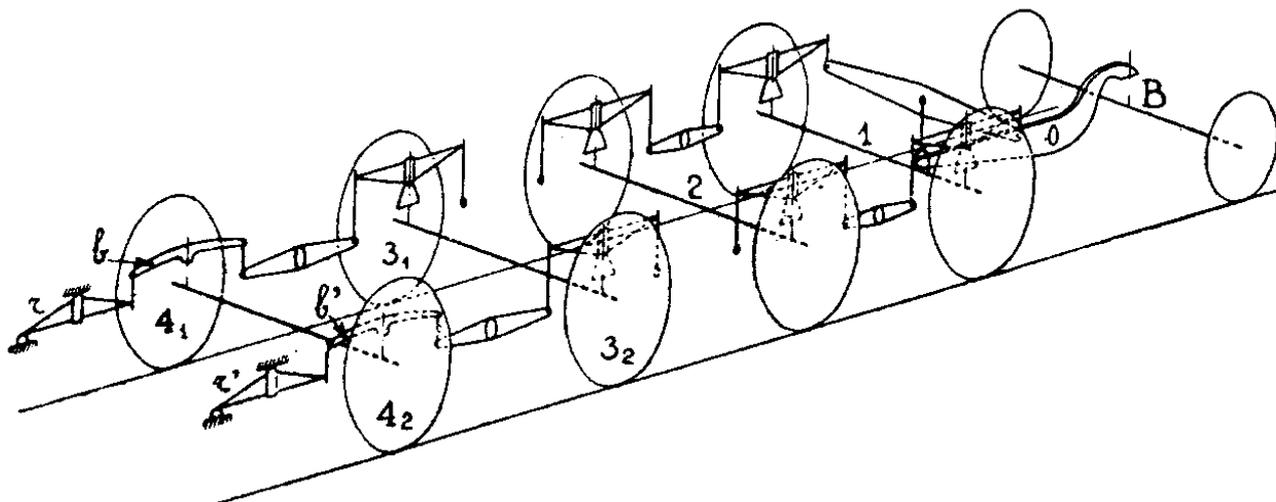


Fig. 549 — Suspensión de la locomotora belga tipo 29.

Primer grupo: Bissel delantero y los dos primeros ejes acoplados, a izquierda y derecha (ejes 1 y 2).

Segundo grupo: Tercera y cuarta ruedas acopladas del lado izquierdo (ruedas 31 y 41).

Tercer grupo: Tercera y cuarta ruedas acopladas del lado derecho (ruedas 32 y 42).

Los resortes se apoyan sobre las cajas de grasa y toman la carga en sus extremos por intermedio de las columnas o bielias de resorte; éstas son solicitadas, sea directamente por el bastidor o bien por intermedio de balancines igualadores.

Una excepción se tiene en el cuarto eje acoplado, en el que (por la presencia de la caja de fuego) falta sitio para colocar el resorte rr' por encima de la caja de grasa. El resorte se traslada y se substituye, encima de la caja, por un caballete bb' .

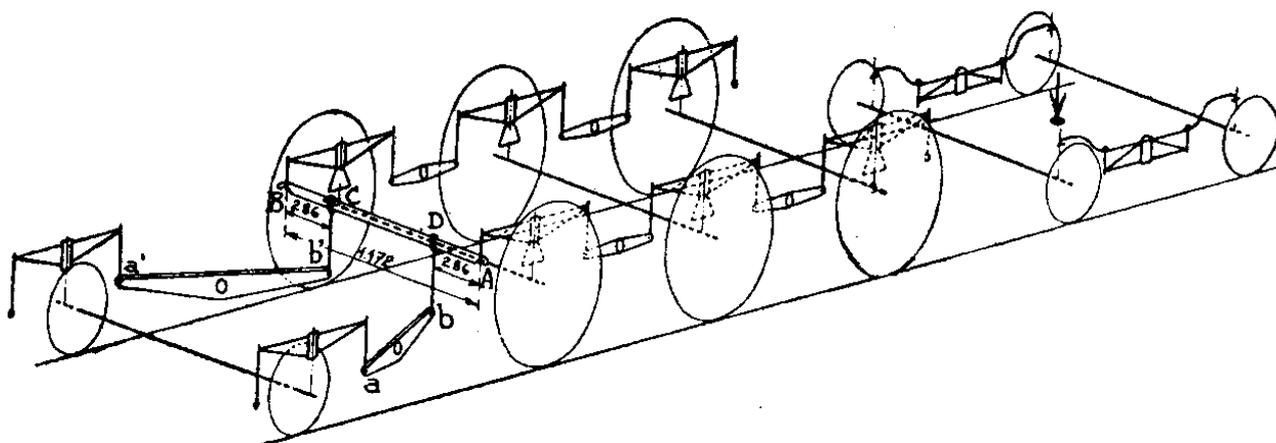


Fig. 550 — Suspensión de la locomotora belga «Pacific» tipo 1.

Suspensión de la locomotora belga "Pacific" tipo 1 (fig. 550). — Los resortes de láminas colocados por encima de las cajas de grasa y conjugados por balancines compensadores realizan aproximadamente la suspensión «de tres puntos», a saber:

- 1º. El pinzote central del bogie delantero.
- 2º. El grupo de ruedas acopladas de la izquierda.
- 3º. El grupo de ruedas acopladas de la derecha.

Hemos dicho «aproximadamente» porque los resortes de suspensión de la pareja trasera, colocados bajo el hogar, han tenido que montarse al exterior de los largueros.

Para enlazar estos resortes a los del último eje acoplado que van por el interior de los largueros, ha sido necesario recurrir a los balancines ab $a'b'$, que atraviesan oblicuamente los largueros; y unir estos balancines en C y D a otro balancín transversal AB , que reúne las columnas de resorte del último eje acoplado.

Si el punto D coincidiera con el punto A y el punto C con el B, se realizaría exactamente la suspensión de tres puntos. Como no es así, toda modificación en la repartición de las cargas que venga del lado derecho modificará ligeramente la distribución de las del lado izquierdo, y recíprocamente.

Suspensión de la locomotora belga "Atlantic" tipo 12. — Lleva balancines longitudinales, instalados entre el eje motor, el eje acoplado y el eje libre sustentador trasero, para realizar la suspensión de tres puntos.

117. Ruedas y llantas. — Las ruedas están construidas en dos partes: el cuerpo y la llanta. El cuerpo de la rueda lo constituyen el cubo, los rayos o radios, y la corona, y está construido de una pieza. Los cuerpos de rueda de locomotoras se formaban antes por una serie de rayos de hierro soldados; luego se los realizó en una única parte, en hierro forjado; hoy se prefiere el acero moldeado. En los ferrocarriles belgas se exige que este acero moldeado tenga una resistencia mínima de 48 Kg/mm², con un alargamiento mínimo del 15 %.

En las locomotoras recientes, las formas de la llanta y de los rayos, y especialmente de su empalme, se mejoraron (fig. 551), para obtener un buen llenado de la fundición y una mayor solidez. La superficie exterior de la corona se tornea cuidadosamente. Los rayos son generalmente de sección elíptica y a veces rectangular.

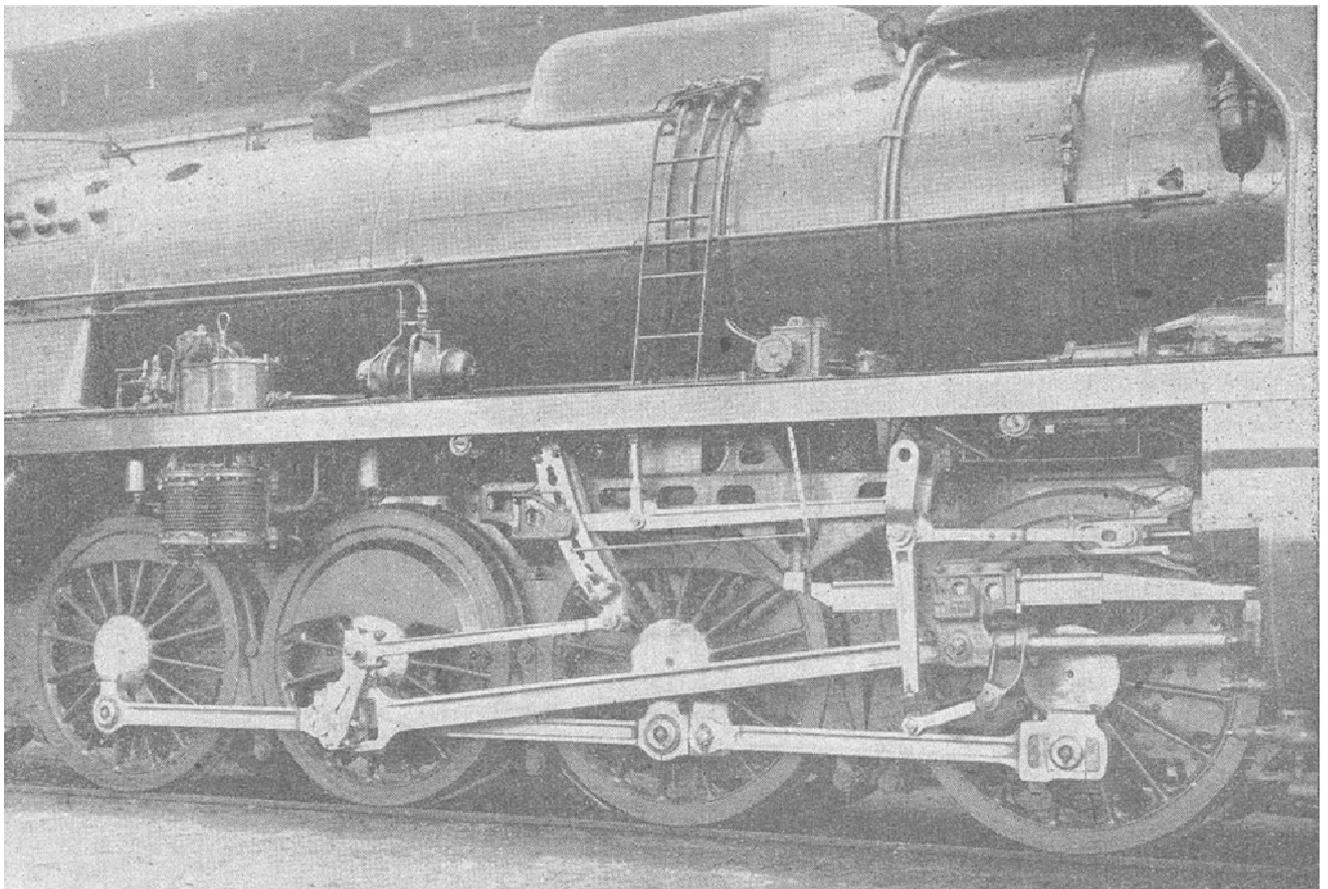


Fig. 551 – Conjunto de las ruedas motrices de la locomotora 141 P.

Las ruedas motrices y las acopladas llevan contrapesos, generalmente obtenidos de fundición y, en el caso de que deban tener dimensiones considerables, presentan unas cavidades que se rellenan con plomo. El plomo, por ser más denso que el acero, presta mayor eficacia a volumen igual, permitiendo así reducir las dimensiones de los contrapesos (ejemplo: locomotora belga tipo 38).

En América, la rueda de rayos ha sido abandonada como insuficientemente rígida transversalmente, sobre todo para los grandes diámetros, y las grandes velocidades. Fue sustituida por ruedas enterizas, como la rueda Boxpok (fig. 552) o la rueda Baldwin (fig. 553). Para las locomotoras con ruedas pequeñas, esta solución permite colocar más fácilmente los contrapesos del eje motriz.

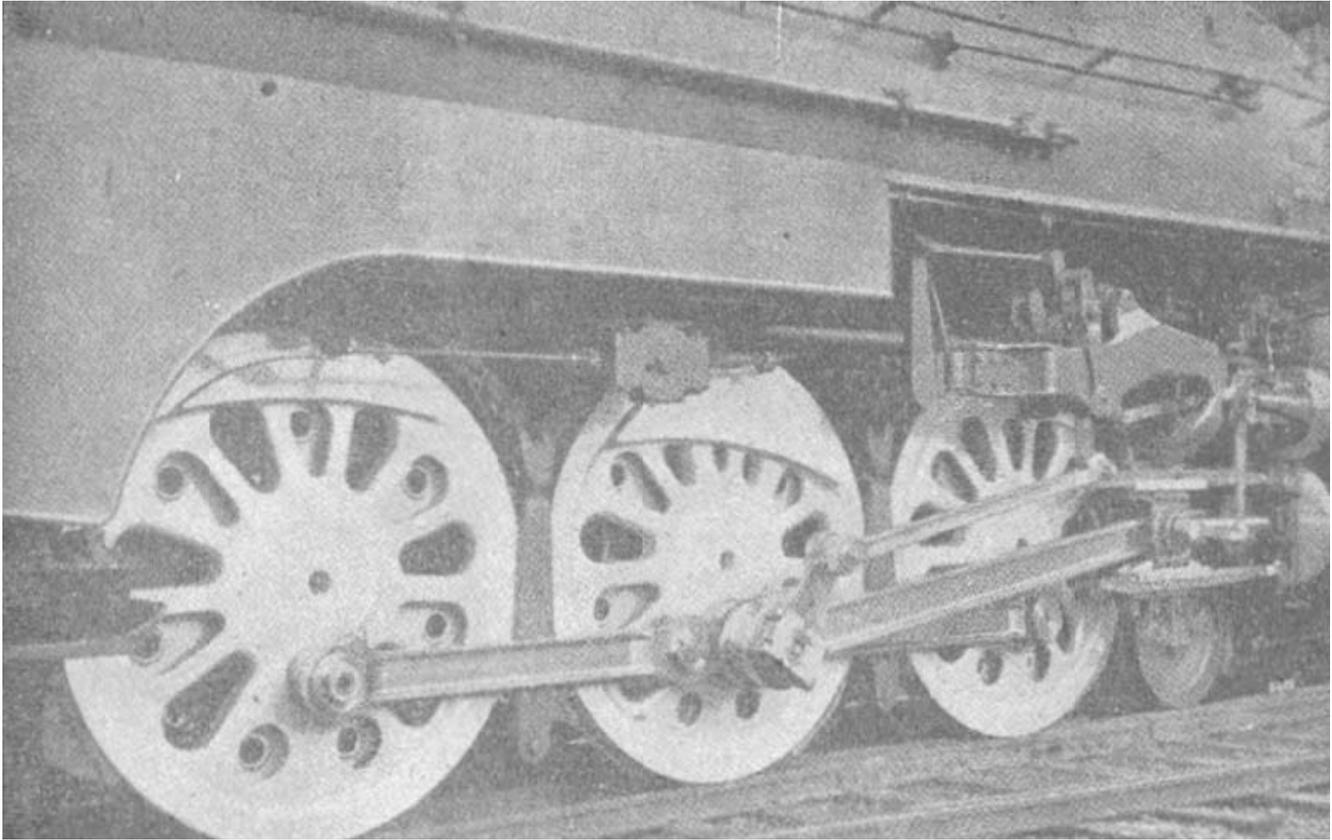


Fig. 552 – Ruedas Boxpok.

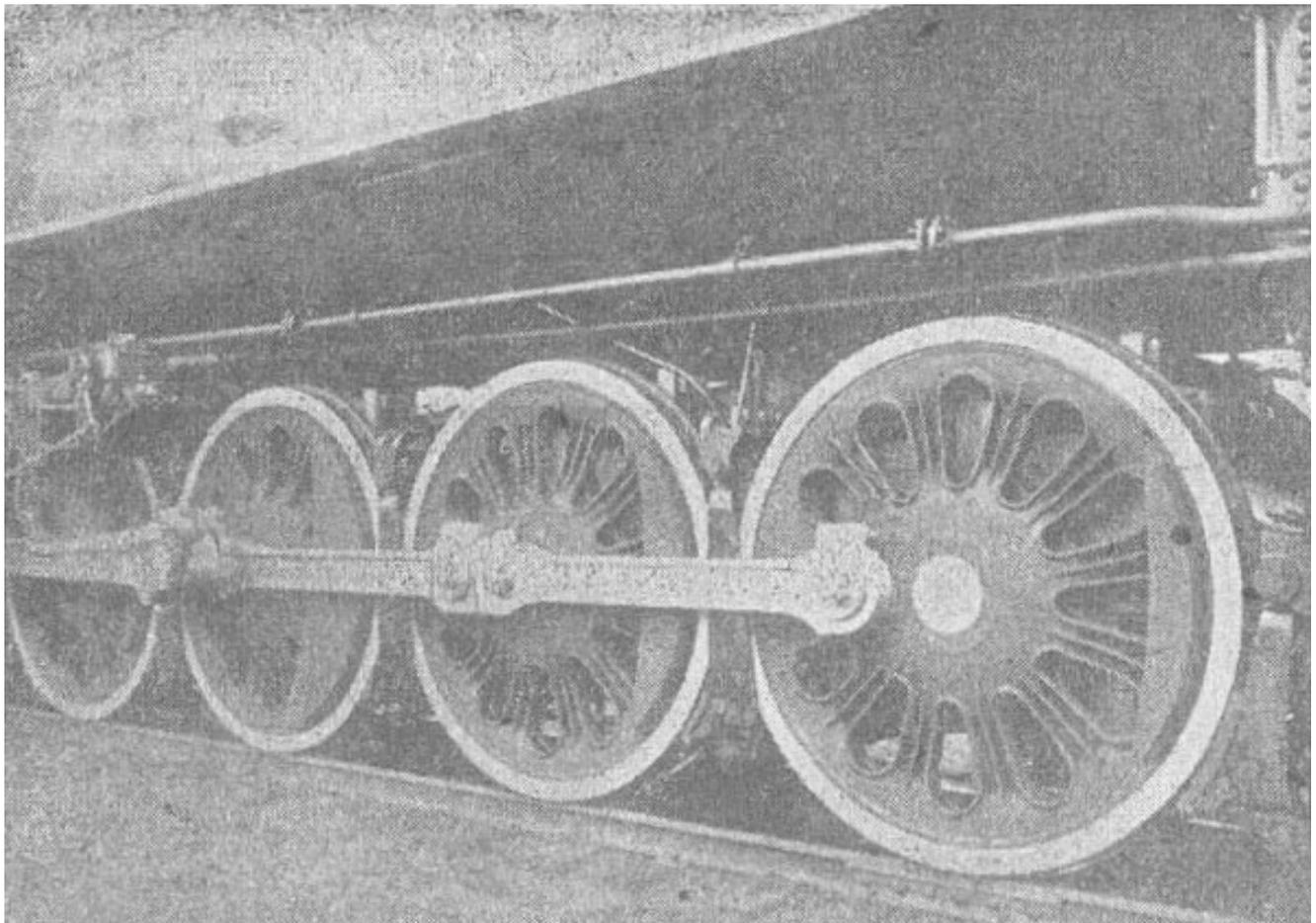


Fig. 553 – Ruedas Baldwin.

Vehículo

Las llantas se fabrican de un disco de acero agujereado en el centro y laminado de una sola pieza en laminadores especiales.

El perfil de llanta admitido por la S.N.C.B. se representa en la figura 555. La superficie de rodamiento BC tiene una inclinación de $1/20$; esta conicidad tiene por objeto conducir constantemente el tren de ruedas en el eje de la vía, y, en las curvas, aumentar el diámetro de rodamiento sobre el carril exterior, que tiene un mayor desarrollo. Del lado exterior, opuesto a la pestaña, AB , la inclinación es mayor, $1/10$, para evitar que se produzca un reborde en dicho lugar y que la rueda no sobrepase el borde exterior del carril, sobre todo cuando la superficie habitual de rodamiento es modificada por el desgaste. En los Estados Unidos, sin embargo, la pendiente de $1/20$ se extiende sobre toda el ancho de la llanta. La superficie de rodamiento se une al reborde o pestaña de la llanta mediante un perfil curvo, de radio mayor que el correspondiente del carril.

A esto, hay que añadir un efecto negativo, especialmente en altas velocidades: el movimiento de lanzadera, cuyo período es tanto menor cuanto la conicidad sea mayor. Por eso, sobre algunos materiales, en particular, sobre los coches automotores y los coches de trenes rápidos, la conicidad habitual de $1/20$ a veces se reduce hasta $1/40$.

Se llama diámetro medio de rodamiento o de contacto, al diámetro de la circunferencia generada al colocar la llanta sobre el carril cuando ambos perfiles tienen sus dimensiones nominales. Se acepta este diámetro a 750 mm del centro del eje.

El juego que existe entre los rieles y las pestañas de las llantas permite el movimiento de lanzadera de los vehículos; importa, pues, que este juego no sea demasiado grande. Con los rieles espaciados 1,435 m y pestañas gruesas (30 mm), y siendo la cota de separación de las llantas de 1,360 m, este juego es por término medio de 7,5 mm de cada lado. Con rieles espaciados 1,450 m y las pestañas reducidas por el desgaste a 22 mm, este juego alcanza 23 mm. Se debe, en la medida de lo posible, mantener la posición los rieles, para evitar la exageración de este juego. Además, con el fin de facilitar el paso por las curvas y los cruces, a menudo se reducen las pestañas de las ruedas intermedias de las locomotoras (fig. 409 y 560) y se aumenta la separación de las llantas; a veces incluso se suprime completamente la pestaña sobre algunas ruedas de las locomotoras de cuatro o más ejes. También suele darse a algunos ejes, la posibilidad de un pequeño desplazamiento transversal. Las locomotoras serie 600 de la Compañía General tenían pestañas completas en sus ejes primero y tercero, el segundo eje no tenía pestaña, y el cuarto eje tenía la posibilidad de desplazamiento transversal de aproximadamente 50 mm a cada lado.

La pestaña de la llanta presenta al carril una línea inclinada a unos 60° , aproximadamente. Cuando, por una causa cualquiera, principalmente en las curvas, la rueda intenta subir sobre el carril, el contacto entre el carril y la llanta tiene lugar según esta línea inclinada a 60° , pero si la carga vertical que soporta la rueda es suficiente, la llanta desliza de modo permanente según esta línea, inclinada, y toda probabilidad de descarrilamiento desaparece.

Si, por el contrario, la carga vertical de la rueda fuese demasiado pequeña o si la inclinación fuese mucho menor de 60° , el descarrilamiento podría producirse por subir simplemente la rueda encima del carril. Se ve, pues, así la utilidad de asegurarse, por las pesadas periódicas obligadas por los reglamentos, de que especialmente los ejes anterior y posterior, que son los llamados a guiar la locomotora, tienen sus cargas normales.

La experiencia ha demostrado que la inclinación de 60° adoptada sensiblemente en todos los países, era la que daba la mayor garantía. Una inclinación superior daría más seguridad contra el descarrilamiento, desde el punto de vista que hemos considerado; pero, en cambio, el perfil de la llanta se acomodaría entonces menos fácilmente a cualquier irregularidad que se presentara en la alineación de los carriles; las juntas, por ejemplo.

La situación se hace especialmente peligrosa cuando la cara considerada de la pestaña llega a ser vertical, lo que acontece algunas veces como consecuencia de un desgaste más pronunciado en la superficie de rodadura de la rueda con relación a la otra rueda de la pareja. O también porque la locomotora circule constantemente en líneas muy sinuosas.

Entonces se dice que la pestaña es cortante o que se ha desgastado en cuchillo. La menor irregularidad en la alineación de los carriles puede entonces producir un descarrilamiento.

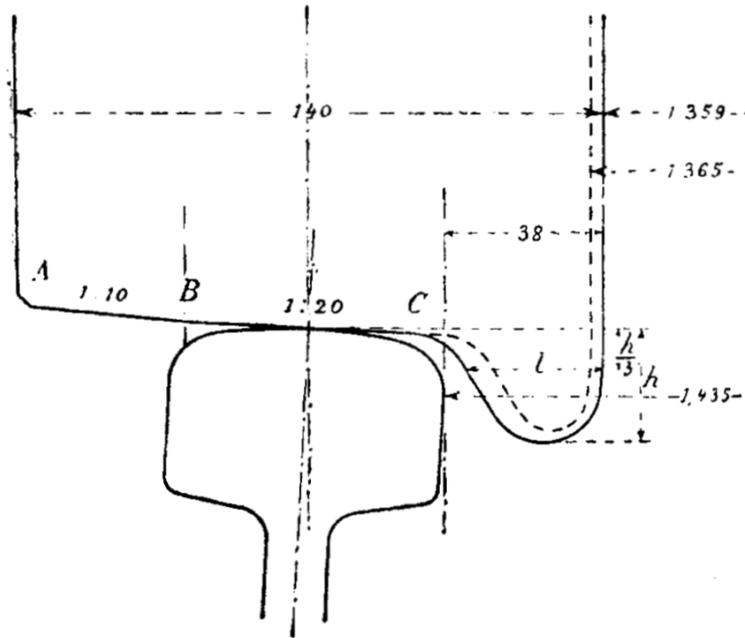


Fig. 555 — Perfil de una llanta de locomotora.

La cara interior plana de la llanta tiene también un papel importante que cumplir: en el paso de los cambios de vía, las ruedas tienen que franquear interrupciones de los carriles. Se asegura entonces la guía del tren de ruedas con los contracarriles colocados en el lado opuesto al espacio vacío, que obran por presión sobre la cara plana de la llanta.

Se concibe, en estas condiciones, que la separación interior entre caras verticales sea objeto de una reglamentación precisa. La separación normal en la S.N.C.B. es de 1360 mm⁽¹⁾ y lo mismo en otras compañías. Cuando, debido al desgaste, esta cota llega a 1363 mm, el tren de ruedas debe retirarse del servicio.

La pestaña se une con la cara plana interior por un redondeado tangente a la cara vertical, o bien este redondeado se une a una línea ligeramente inclinada, como se practica en muchas compañías. Se ve, pues, que la pestaña presenta por el lado interior un trazado que facilita la penetración entre el carril y el contracarril.

Hemos visto anteriormente que un desgaste en cuchilla de la pestaña ofrecía un peligro desde el punto de vista de los descarrilamientos. Así, pues, no se aguardará a que el desgaste convierta en vertical la cara inclinada de la pestaña para retirar del servicio el tren de ruedas. Cuando la cara de que se habla alcanza una inclinación de 75°, aproximadamente, es conveniente volver a tornear las llantas.

El ancho de las llantas en las locomotoras es, generalmente, de 140 mm. Además de la forma de la rueda y la llanta, el grosor de esta última no es indiferente. La experiencia pone de manifiesto, en efecto, que las llantas finas se aflojan y que es difícil mantenerlas sobre las locomotoras potentes, por debajo de un grosor de 45 a 50 mm. Así pues, en los Estados Unidos, las llantas tienen 100 mm de espesor en estado nuevo. Lo mismo ocurre sobre las últimas locomotoras alemanas de gran velocidad. Las recientes locomotoras francesas, del tipo 141 P, utilizan también llantas gruesas (90 mm). Gracias a este fuerte espesor, la llanta puede ser torneada de nuevo varias veces antes de quedar inutilizada. En la S.N.C.B. se retiran cuando su espesor ha quedado reducido a 30 mm.

En las locomotoras tipos 1, 5, 10, 12 y 25 de la S.N.C.B., en vista de las grandes cargas soportadas, el espesor de las llantas de las ruedas acopladas es de 81 mm, y el límite del desgaste se lleva hasta los 30 a 35 mm.

(1) Para las ruedas con pestaña delgada, de las que trataremos más adelante, la separación normal es de 1,365 mm, y el límite de rechazo, 1,366 mm.

Vehículo

Cuando la aplicación del calibre señala un hueco de 5 mm en la superficie de rodamiento o cuando el desgaste de la pestaña a 1/3 de su altura llega a 3 mm⁽¹⁾ la rueda debe retirarse del servicio para volver a tornerla, dándole otra vez el perfil normal.

Para las ruedas intermedias se disminuye a veces el espesor de la pestaña, como se indica de trazos en la figura 555, y hasta se la suprime por completo para facilitar el paso por las curvas. Insistiremos más tarde sobre este asunto.

Claro está que las dos llantas de un mismo par de ruedas deben tener rigurosamente el mismo diámetro exterior y que el retorneado de una rueda cualquiera de un eje acoplado lleva consigo el de todas las demás ruedas acopladas.

Las llantas, formadas por anillos de acero laminado, se montan sobre la corona en caliente con un apriete que ordinariamente es de 1,25 mm por cada metro de diámetro exterior de la corona. Esta operación se llama *calzado* en caliente de las llantas.

Se ha decidido recientemente en la S.N.C.B. aumentar este apriete en una cantidad fija de 0,25 mm para tener en cuenta las inevitables imperfecciones del acabado (salientes que deja la herramienta del torno, por ejemplo).

El apriete que resulta de la contracción al enfriarse es muy enérgico y normalmente basta para retener la llanta en el núcleo de la rueda. Efectivamente, sería preciso en estas condiciones que se produjera una diferencia de temperatura de unos 100° entre la corona y la llanta para que hubiese peligro de que saliera. La corona participa siempre bastante del calentamiento de la llanta postiza; así, pues, sólo puede temerse que se aflojen en el caso de un frenado exagerado y prolongado.

Este modo de sujeción por simple apriete daría completa satisfacción si la fractura de la llanta o su aflojamiento accidental no hubieran de tenerse en cuenta. Una llanta puede romperse al poco rato de arrancar un tren y, por lo tanto, tener que recorrer aún distancias considerables antes de la inspección. Rota la llanta desaparece el ajuste, el paso repetido por los cruces y cambios de vía, el frenado y los diversos choques pronto dislocan por completo la sujeción y a menudo acentúan la rotura. Se ha tratado de resistir a esta eventualidad, bastante rara con las cualidades del acero empleado actualmente para las llantas, creando dispositivos especiales para fijar las llantas a los núcleos.

Antes se fijaban las llantas a los núcleos por medio de tornillos. Estos procedimientos, que parecían responder al objeto, presentaban el gran inconveniente de debilitar la llanta por la presencia de un agujero, originándose con mucha frecuencia la rotura de las llantas precisamente en este lugar. Este sistema de sujeción ha sido abandonado por completo.

Los sistemas actualmente empleados no crean ningún punto débil en la llanta, y la unión se hace en todo su contorno de un modo uniforme: son las llamadas *sujeciones continuas*. Limitaremos nuestra descripción a los cuatro tipos siguientes:

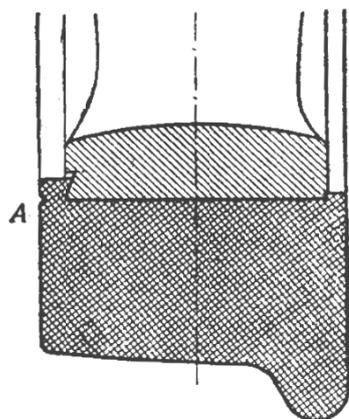


Fig. 556 – Fijación de llanta de la Sociedad Alsaciana

El sistema de la *Sociedad Alsaciana* es el más sencillo (figura 556). Del lado exterior, en A, el núcleo y la llanta se tornean en forma de cola de milano; del lado interior, un sencillo reborde de 2 mm de altura retiene la llanta. Evidentemente es imposible colocar por este lado una unión en cola de milano parecida a la anterior, pues la introducción del núcleo de la rueda en la llanta calentada debe hacerse precisamente por este lado. Aunque la altura del reborde se limite a 2 mm, la llanta debe ya calentarse a temperatura bastante elevada para poder introducir el núcleo. Una vez enfriada, la llanta se rebate golpeando con el martillo para forzar el reborde a adherirse al núcleo. Esta unión es muy sencilla, pero en caso de rotura, difícilmente se retienen las distintas porciones.

(1) Este desgaste máximo es de 1,5 mm para las llantas torneadas del perfil n.º 4 del Estado prusiano.

La figura 557 representa la sujeción del *London-Chatham*. Por el lado exterior, la llanta se retiene con una lengüeta *A* que penetra en la ranura correspondiente del núcleo. Por el lado interior, un aro *C* agarra sobre el núcleo de la rueda. Para introducir el aro, éste debe cortarse según un radio o estar formado por varias piezas. Una vez colocado el aro en su sitio se rebate la llanta sobre él.

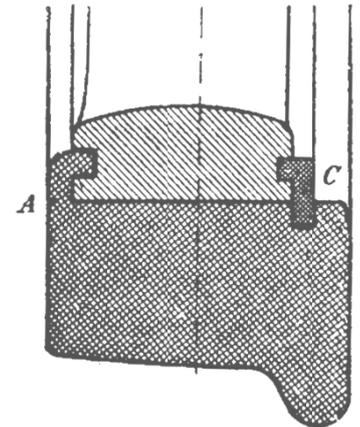


Fig. 557 – Fijación de llanta del London-Chatham

Para que este aro retenga eventualmente los pedazos de la llanta, su sección tiene la forma de cola de milano.

La lengüeta *A* presenta cierto juego para tener en cuenta la dilatación al colocarse. Para quitar la llanta deteriorada, debe quitarse evidentemente al torno la porción que se rebate sobre el aro.

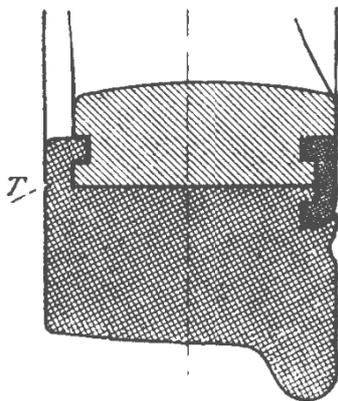


Fig. 558 – Fijación de llanta de la Calédonian

La fijación de la *Caledonian*, representada en la figura 558, se parece mucho a la anterior, pero el aro de retención penetra en forma de grapa lo mismo en la llanta que en el núcleo de la rueda. El trazado de puntos señala la forma de la llanta antes de su rebatimiento sobre el aro. El sistema de sujeción utilizado en las locomotoras de la S.N.C.B. se representa en la figura 559. Consta, como la sujeción de la Sociedad Alsaciana, de un encaje a cola de milano en el lado opuesto a la pestaña y en el de la pestaña un aro formando grapa, en forma de V muy abierta, sobre el que se rebate con el martillo el metal de la llanta.

Desde este punto de vista tiene analogía con el tipo de la *London-Chatham*.

Este sistema de sujeción presenta el inconveniente, respecto al de la *Calédonian*, de la menor anchura de contacto entre llanta y núcleo. Por el contrario, su ejecución es sensiblemente menos costosa, prestándose mejor al empleo de llantas de acero relativamente duro.

Observaciones. — En la S.N.C.B., la llanta y la corona del núcleo se marcan en su cara exterior con un trazo de buril *t* en la prolongación de un rayo (fig. 563), haciéndose más visible si se pinta de color rojo. Si la llanta gira sobre el núcleo, los dos trazos ya no se corresponden, y el maquinista y el agente inspector se dan cuenta. Finalmente, una ligera marca de torno sirve de referencia para verificar el espesor de la llanta en el lugar del círculo de rodamiento.

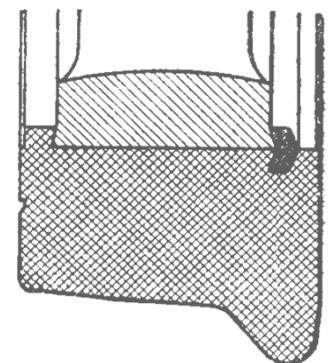


Fig. 559 – Fijación de llanta de la Verain

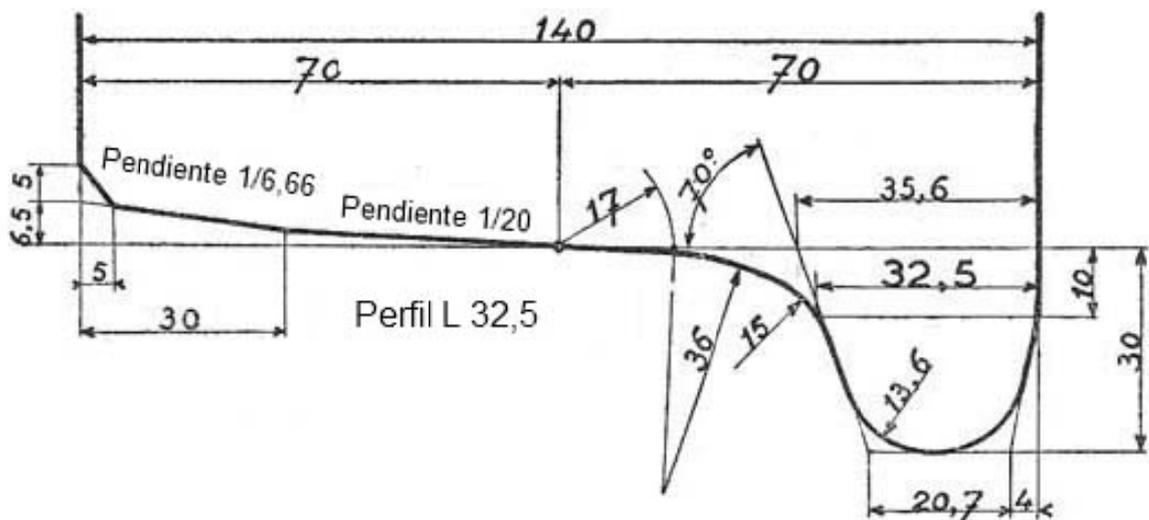


Fig. 560 - 1

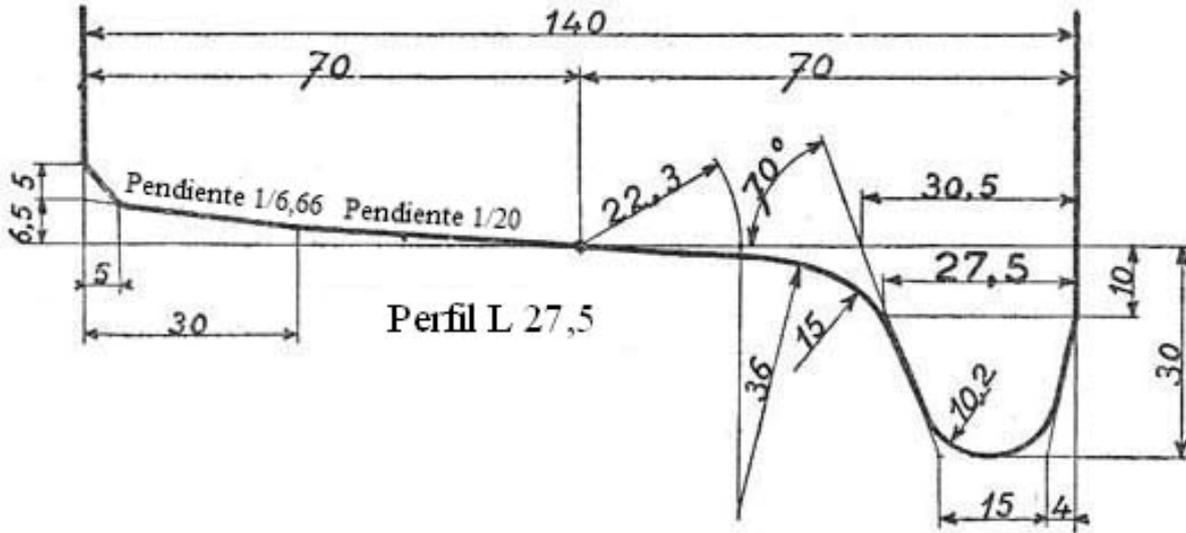


Fig. 560 - 2

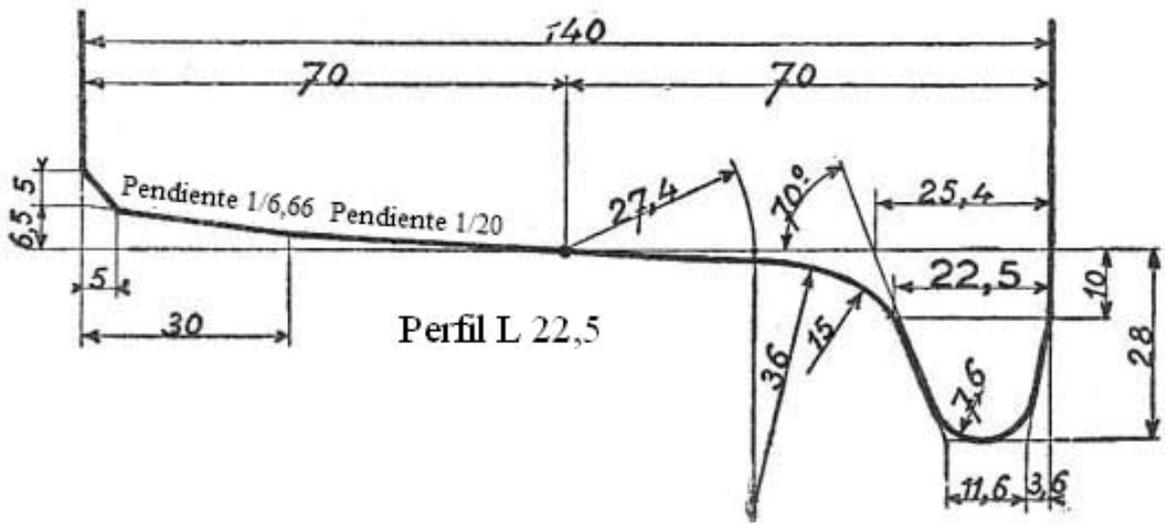


Fig. 560 - 3

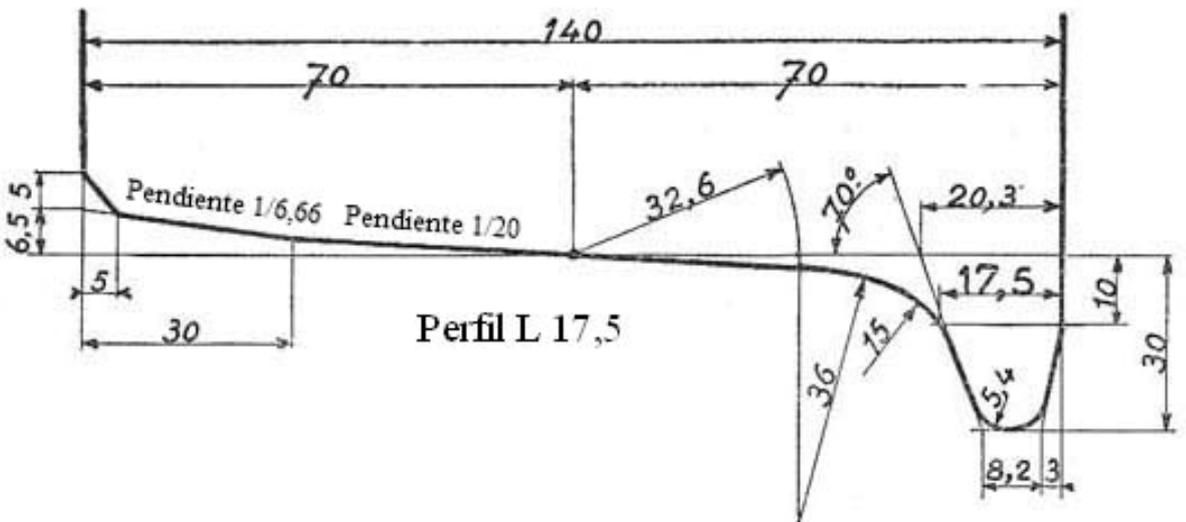


Fig. 560 - 4

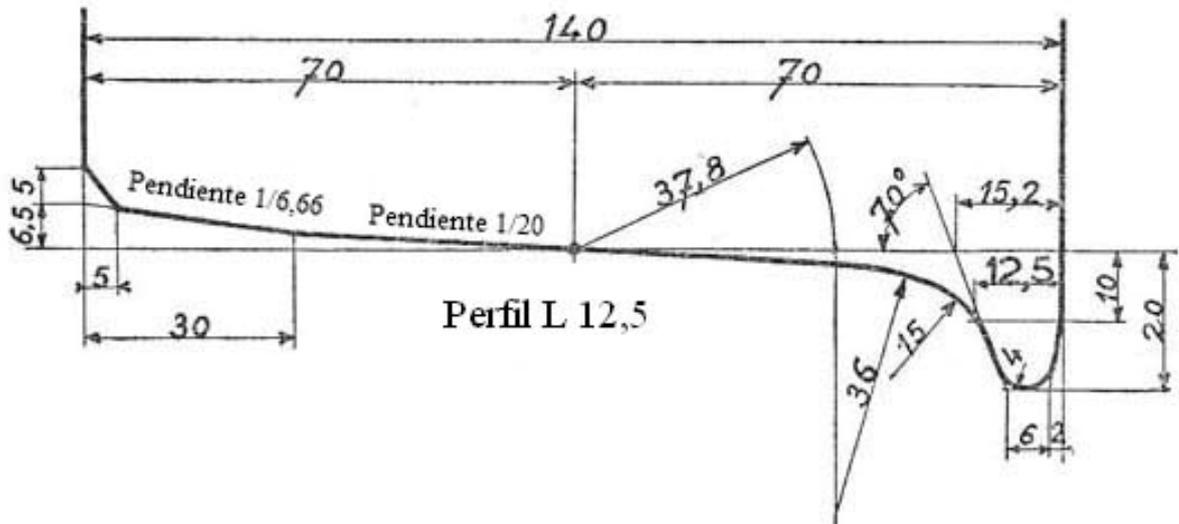


Fig. 560 - 5

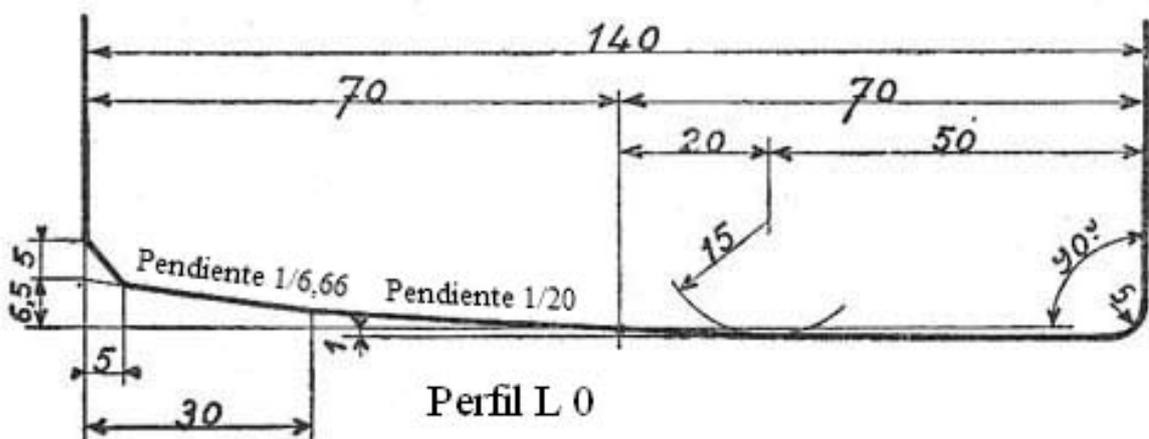


Fig. 560 - 6

118. Ejes. — El peso de la locomotora se transmite a los carriles por cierto número de ejes, pero no todos los ejes desempeñan el mismo papel; unos, accionados por las bielas motrices, provocan por su rotación el movimiento de avance de la locomotora, son los ejes *motores*; los otros son arrastrados, por el contrario, por la máquina, a la que sólo sirven de apoyo, son los ejes *sustentadores* o *portantes*.

Dos ejes bastarían, en rigor, para sostener y mover la locomotora; desgraciadamente, la resistencia de la vía y la de los puentes impone un límite a la carga por eje. Esta carga máxima es actualmente de 24,7 toneladas por eje en las principales líneas belgas; en los Estados Unidos, la carga por eje llega a 36 toneladas. La Compañía General, trocha métrica, se construyó con una carga por eje de 10,5 toneladas, que fue aumentada a 12,5 toneladas, a fines de la década del '20 en su línea principal, con la entrada de las locomotoras serie 600 y los vagones cerrados llamados Hamburgo, cuya capacidad fue aumentada de 30 a 35 toneladas.

El número de ejes será evidentemente tanto mayor cuanto menor sea la carga admitida por eje.

119. Ejes sustentadores o portantes. — Los ejes sustentadores están constituidos por un árbol de acero de forma cilíndrica o bicónica que presenta dos *gorrones* preparados para el montaje de las ruedas y dos *cuellos* en los que se ajustan los cojinetes de las cajas de grasa.

Con objeto de evitar roturas, no se admiten los cambios bruscos de sección, por débiles que sean, y se emplean acuerdos curvos de un radio tan grande como sea posible.

120. Ejes motores. — Los más sencillos son los de las locomotoras que sólo llevan dos cilindros exteriores, porque entonces son ejes rectos, como los ejes sustentadores.

Vehículo

Cuando los dos cilindros de la máquina están dispuestos interiormente a los largueros, el eje debe estar doblemente acodado (*cigüeñal*) entre las ruedas (locomotoras belgas tipos 12, 18, 41, etc.).

En las máquinas de cuatro cilindros, habrá o bien dos ejes motores, uno recto y otro acodado (locomotoras belgas tipos 7, 10, 36), o bien un solo eje motor con cuatro manivelas (locomotora belga tipo 9).

Cuando la locomotora lleva tres cilindros, uno debe evidentemente estar situado entre los largueros, y se impone el empleo de un eje cigüeñal con un solo codo, que generalmente es accionado asimismo por los dos movimientos exteriores. Las tres manivelas se montan a 120° una de la otra.

Los ejes rectos se fabrican generalmente de acero con 0,4 % de carbono, forjado, templado y revenido, con una resistencia de 65 kg/mm² como mínimo y un 20 % aproximadamente de alargamiento. Este metal presenta a la vez una resistencia y una tenacidad bastante elevadas, además es suficientemente duro para que la superficie de los cuellos pueda pulirse fácilmente resistiendo convenientemente al desgaste. Los ensayos de recepción consisten esencialmente en un ensayo al choque; se impone también cierta garantía de duración.

Los ejes rectos deben resistir a la flexión producida por las cargas que apoyan sobre los cuellos, a los esfuerzos horizontales desarrollados por el carril (en el paso por las curvas principalmente) y, si se trata de un eje motor o acoplado, a los esfuerzos debidos al mecanismo.

Los ejes *cigüeñales* están sometidos a fatigas de la misma naturaleza, pero las flexiones debidas al empuje de las bielas motrices adquieren gran importancia. Por esto actualmente se recurre para su fabricación a los aceros especiales extremadamente resistentes y tenaces.

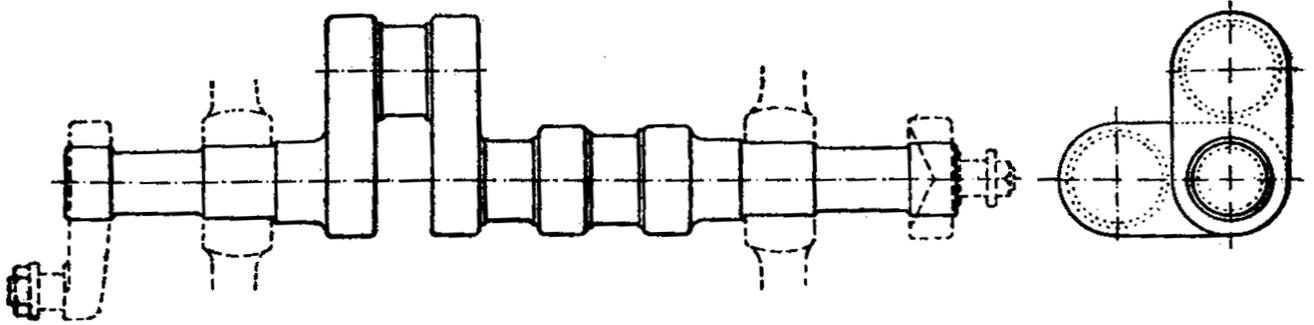
Para los *cigüeñales monoblock*, el material empleado hasta 1945 fue el acero al cromo-níquel con 0,25 % de cromo y 3 % de níquel, una resistencia mínima de 60 kg/mm² y alargamiento del 20 %.

Actualmente, tanto para los ejes *monoblock* como para los *poliblock*, se emplea un acero especial al cromo-níquel, templado y revenido (carbono 0,3 %, níquel 2,2 % y cromo 0,6 %), con una resistencia mínima de 70 kg por mm².

Además del peso que soporta, el eje acodado recibe el empuje y la tracción de las bielas motrices, y la repercusión de los choques de las ruedas contra los carriles. La fatiga de la pieza se manifiesta por la aparición de fisuras, que aparecen en la conexión de los codos con el cuerpo y con los muñones. Estas fisuras aumentan poco a poco, y terminan por llevar al eje a la rotura, si no se lo corrige a tiempo. Son poco aparentes en la superficie del metal; pero si se golpea fuertemente el eje, por ejemplo lanzando el tren de ruedas contra otro, el aceite surge de la fisura y dibuja la afloración exterior. Esta prueba se hace cuando se desmontan los trenes de ruedas para retornar las llantas. En realidad, hoy día existen métodos no destructivos para detectar fisuras, por medio de tintas penetrantes (cubrir la zona de posibles fisuras con la tinta, que se provee en aerosol, y luego de un tiempo determinado, del orden del minuto, aplicar el revelador, también en aerosol. La fisura se ve como una línea roja sobre fondo blanco).

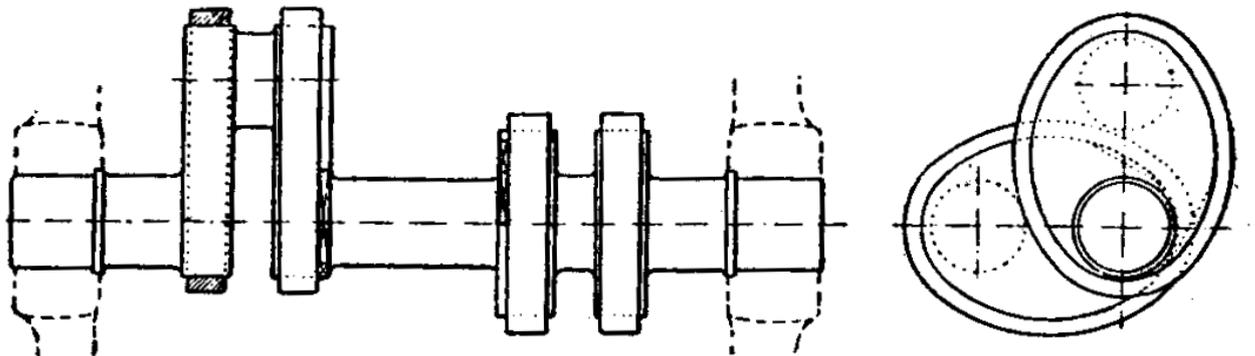
Las grietas no son debidas siempre a falta de resistencia para los esfuerzos originados por el peso soportado y la acción del vapor, sino que son los choques los que en muchos casos llevan la mayor parte de la acción destructora.

La experiencia demuestra, efectivamente, que un órgano de la máquina sometido a frecuentes choques se rompe casi siempre por el sitio en el que hay un cambio brusco de sección, o simplemente al pasar de una región a otra de flexibilidad diferente, o también en el punto correspondiente a un cambio de sección, por tener poco radio el acuerdo entre ambas secciones.



Figs. 561 — Eje cigüeñal con brazos rectangulares.

Una sección estará tanto más fatigada por la acción de los choques cuanto más fuertes y poco flexibles sean las otras. Hay, pues, ventaja en no dar a cada elemento del eje acodado una potencia y una rigidez exageradas.



Figs. 562 — Eje cigüeñal con brazos elípticos zunchados.

La figura 561 representa el tipo de eje acodado en su forma primitiva; los brazos son de sección rectangular. Posteriormente, con objeto de consolidar los brazos y retener unidos los distintos pedazos en caso de rotura de uno de los dos brazos, se han rodeado éstos de anillos (zunchos) de acero entrados en caliente, y para que estos zunchos ajusten de un modo perfecto, se han reemplazado los brazos rectos por otros de perfil elíptico (fig. 562).

Otras consideraciones han conducido a los constructores a dar a los brazos de eje acodado formas diferentes. Se ha ideado principalmente darles una forma completamente circular (tipo Worsdell). La figura 563 representa un eje acodado de esta clase con brazos reforzados con zunchos, instalados en las locomotoras belgas tipos 10 y 41.

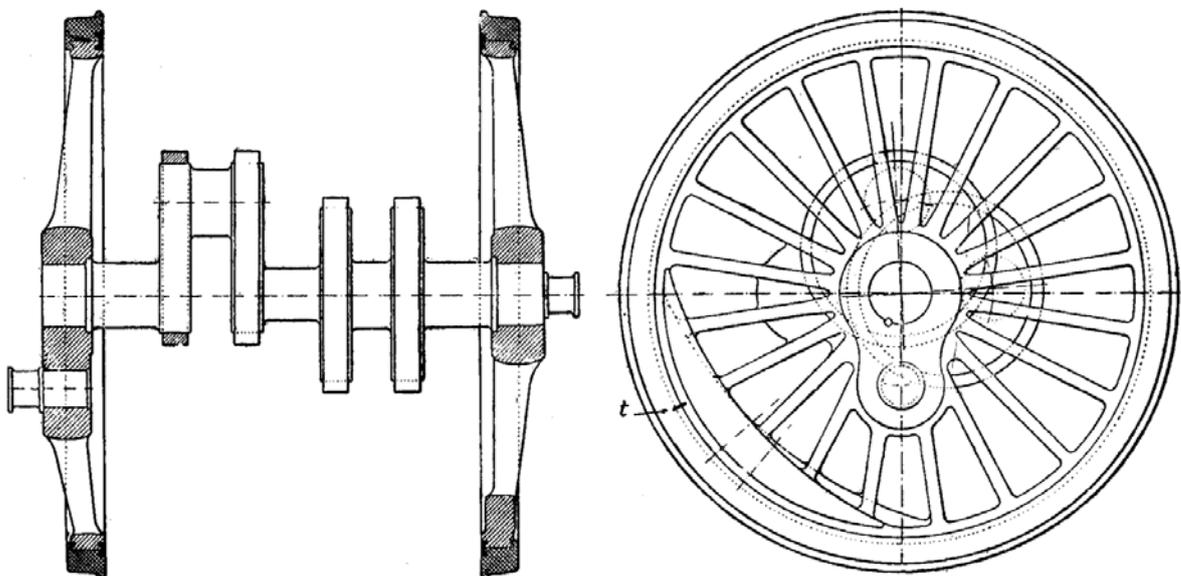
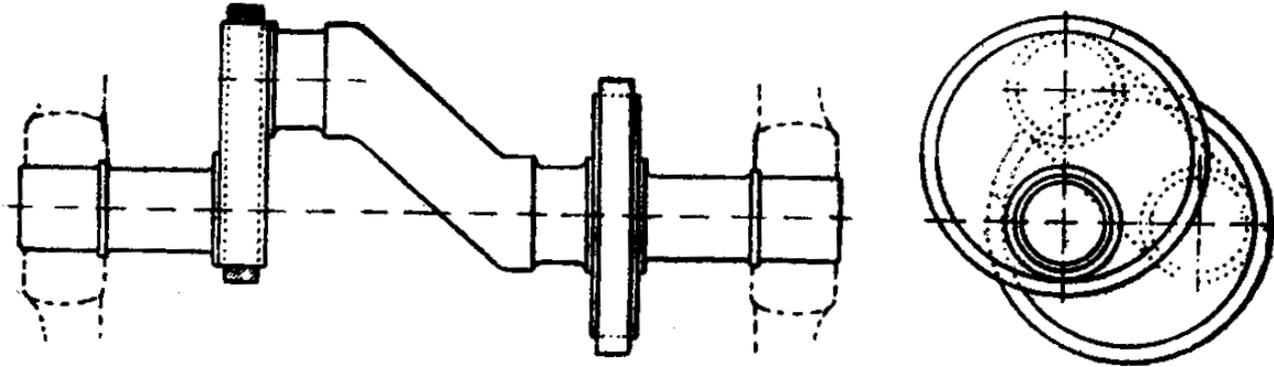


Fig. 563 — Tren de ruedas motrices de la locomotora belga tipo 10 (Eje cigüeñal de brazos circulares sistema Worsdell).

Vehículo

Esta forma permite acabar enteramente el eje en el torno, lo que reduce el coste de fabricación. Presenta aún otra ventaja, que es la de que, siendo los brazos anchos, pueden tener un espesor menor y, por lo tanto, dejar más espacio para la colocación de las excéntricas, en el caso de tratarse de una distribución interior (locomotora belga tipo 41).

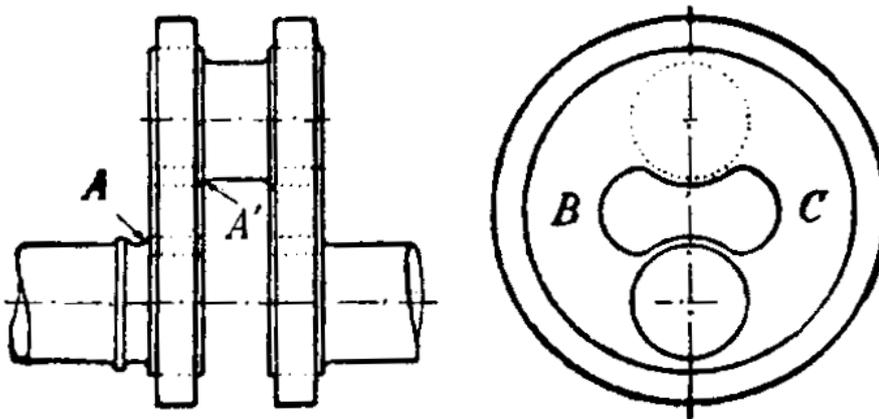
Se ha pensado también en suprimir dos de los cuatro brazos, enlazando los dos codos por una pieza oblicua, como señala la figura 564, que representa el eje motor de la locomotora belga tipo 9.



Figs. 564 — Cigüeñal con enlace oblicuo entre los codos. (Locomotora belga tipo 9.)

El eje con el cuerpo oblicuo es más ligero que el eje acodado corriente, pero se presta menos a una distribución interior, pues no es posible colocar las excéntricas entre los dos codos.

El estudio de Frémont sobre la acción de los choques en los ejes acodados condujo a vaciar los brazos con el trazado indicado en la figura 565. Las tensiones que se desarrollan en el metal por efecto de los choques, en vez de localizarse en *A* o en *A'* se reparten en un espacio mayor en *B* y en *C*. El metal de que está construido el brazo trabaja, así, con mayor uniformidad. Este vaciado tiene, además, la ventaja de trasladar la fatiga hacia la periferia de los brazos, donde el metal está siempre más sano y menos corroído que en el sitio de la parte vaciada. Esta disposición influye ventajosamente en la conservación del eje; tanto es así que, vaciando ejes agrietados ya, se ha prolongado bastante su duración.



Figs. 565 — Eje cigüeñal con brazos vaciados, sistema Frémont.

Estos diversos ejes pueden ser obtenidos por mecanizado de un macizo, lo que no es muy favorable, ya que las fibras del metal son cortadas. Además, la puesta a 90° de dos codos se obtiene por deformación, es decir, por torsión de la pieza sobre sí misma, lo que somete a la parte de metal incluida entre los dos codos a una dura prueba, sobre todo con los aceros duros. En realidad, los ejes así obtenidos, llamados “monoblocks” dan generalmente lugar a fisuras prematuras, en particular, en los ángulos de los codos, lo que exige a veces su reemplazo después de un uso limitado (100 000 km por ejemplo).

Por eso, los metalúrgicos se ingeniaron en estos últimos años, independientemente de la elección y la elaboración del metal, a cambiar el método de fabricación de estos ejes. El método Roederer o “RR” de Saint-Chamond, consiste en obtener los dos codos por forja, con ayuda de una prensa extremadamente potente (6.000 t), conservando así la fibra.

El método Lenormand de Cail tiene por objeto obtener un metal homogéneo, es decir, sufriendo el mismo grado de deformación, lo que se obtiene forjando el eje en todos los sentidos y reduciendo también todos los grosores para que el tratamiento térmico sea homogéneo.

121. Ejes poliblock. — *Webb* ha introducido en las locomotoras los ejes del sistema llamado "built up" o «poliblock» de las máquinas marinas.

Estos ejes están formados por tantas piezas como partes actúan en el eje, a saber: cuatro brazos, dos gorriones y tres secciones de eje. Estas piezas, construidas separadamente, se acoplan a prensa. La dificultad consiste en obtener un montaje suficientemente resistente.

La figura 566 representa el eje acodado, de nueve piezas en equilibrio de giro, de la locomotora belga "Atlantic" tipo 12, de la S.N.C.B. Se aprovechan las ventajas ofrecidas para equilibrar las manivelas dando a los brazos formas convenientes.

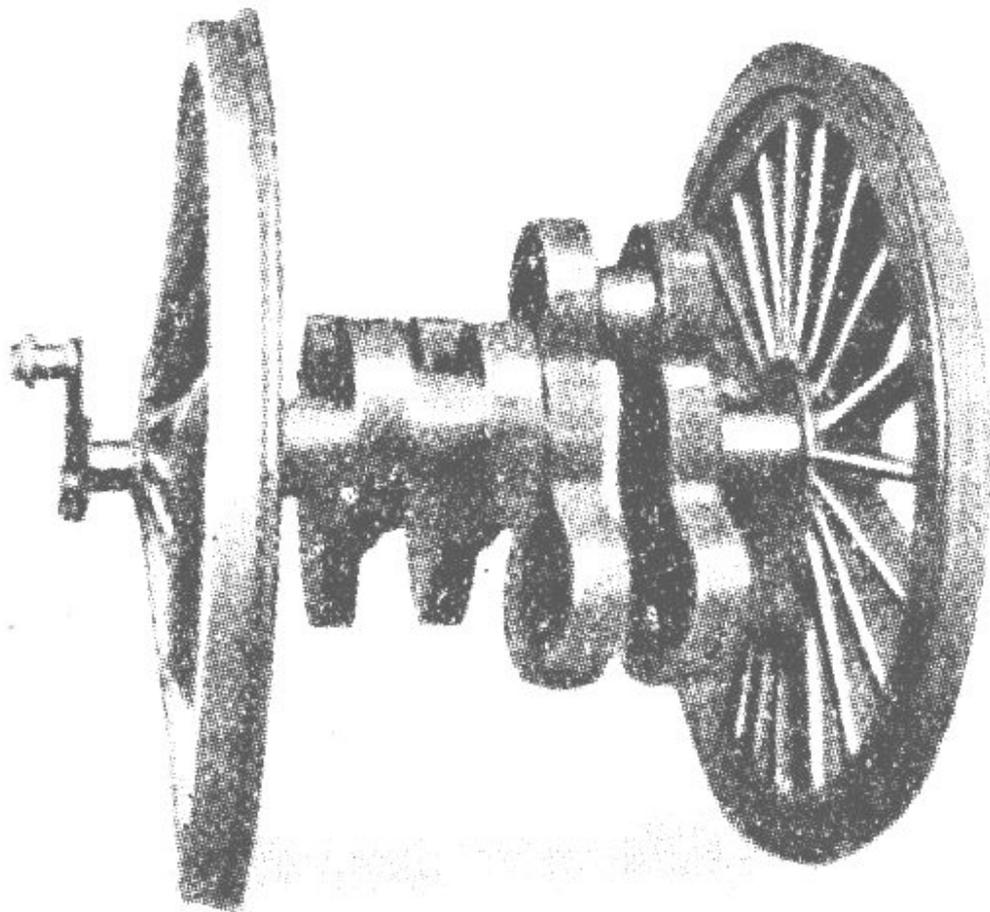


Fig. 566 – Eje cigüeñal "poliblock" equilibrado de la locomotora belga Atlantic tipo 12

Los ejes acodados poliblock tienen la ventaja de no agrietarse ni romperse. En cambio se pueden decalar. Este contratiempo puede evitarse con un montaje cuidadoso.

Para obtener un fuerte ajuste, el montaje se hace en caliente con una reducción de 0,4 mm, aproximadamente, en el tamaño de la pieza en frío.

Estos ejes se construyen de acero al cromoníquel, cuya resistencia ha de ser de 70 kg/mm² como mínimo.

Observación. — Antes, para aligerar el eje cigüeñal en las locomotoras con largueros exteriores, se disminuía su carga poniendo en el centro del bastidor un *tercer larguero*, más corto que los, otros, que servía como tercer punto de apoyo al eje. Esta práctica ha sido abandonada.

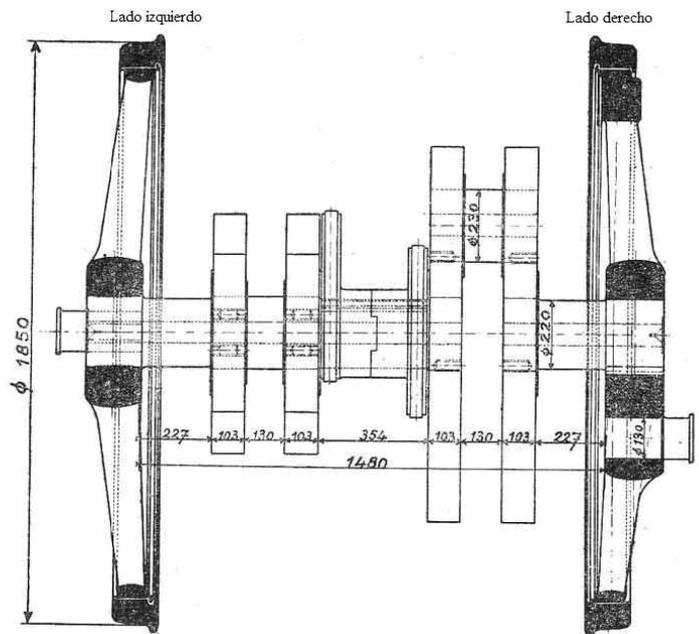
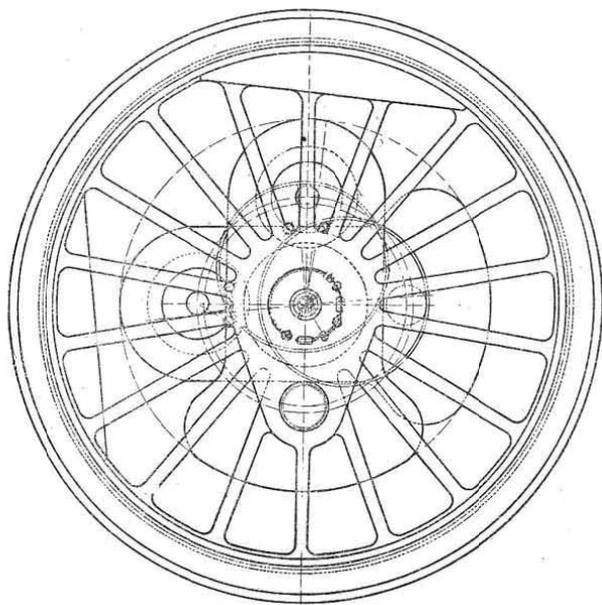


Fig. 567 – Eje acodado auto-equilibrado polybloc en 9 piezas, de las locomotoras 240 P del Sud-Est.

La figura 568 muestra el eje polyblock en siete piezas parcialmente auto-equilibrado, de P.L.M.; este eje se monta en prensa.

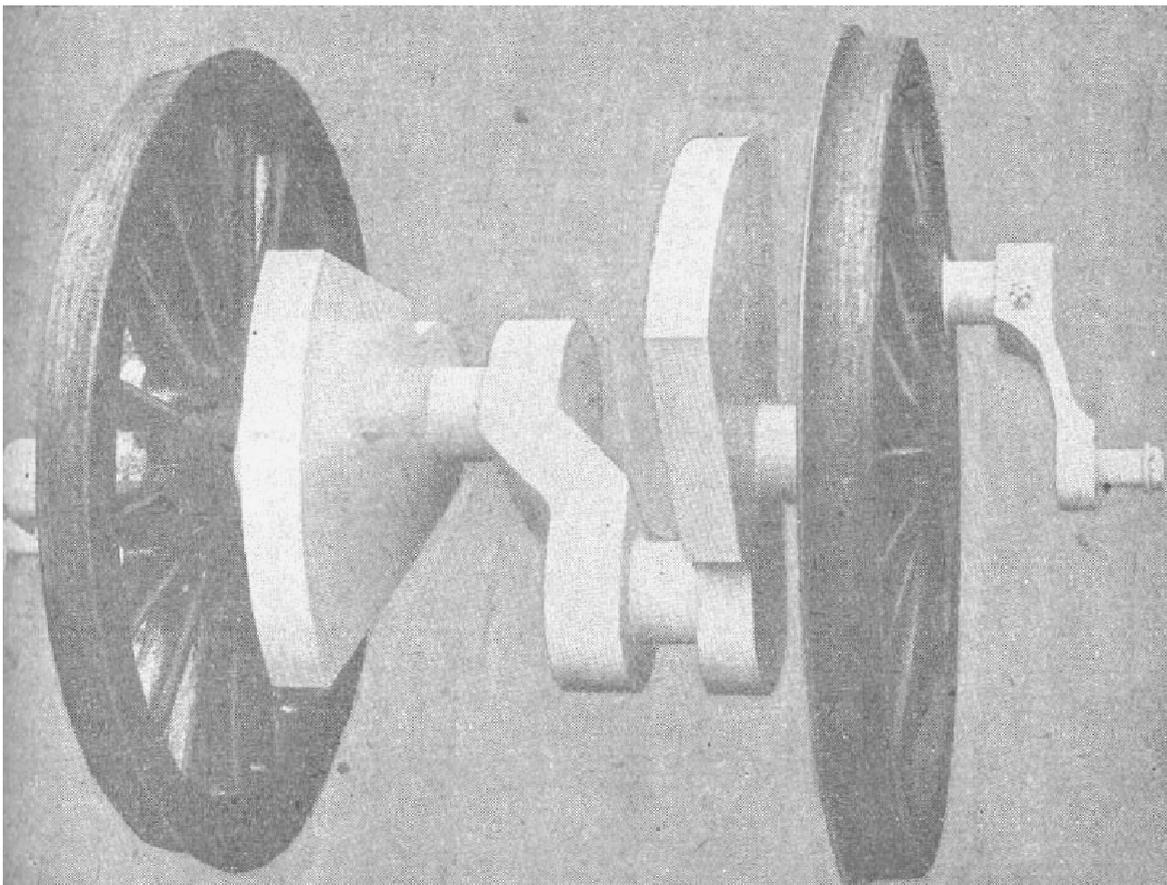


Fig. 568 – Eje acodado polyblock parcialmente auto-equilibrado, en 7 piezas, del P.L.M.

Hoy se tiene tendencia a que debe suprimirse toda chaveta o pasador en el montaje de los muñones con los brazos.

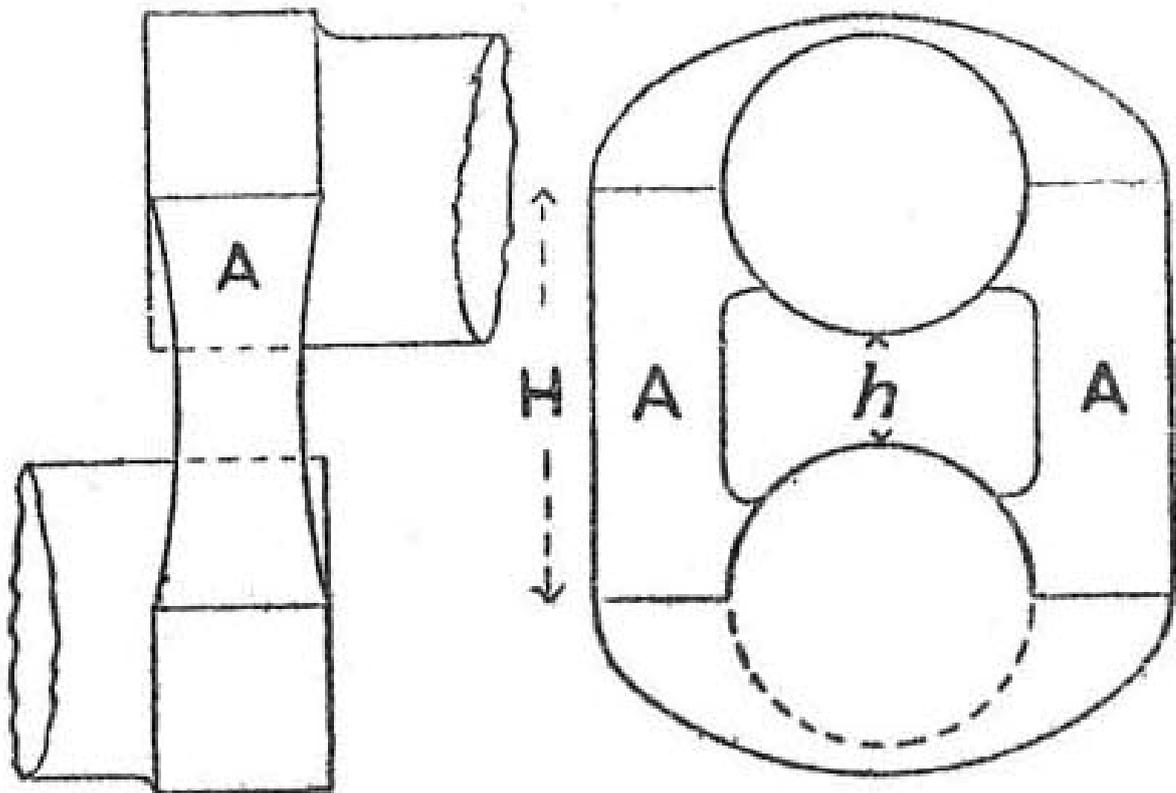


Fig. 569 – Eje acodado Fremont de codos elásticos. Esta disposición da una elasticidad general en que suprime las partes que se agrietan bajo la acción de esfuerzos excesivos.

Una disposición análoga se aplica a los codos circulares Worsdell (fig. 570).

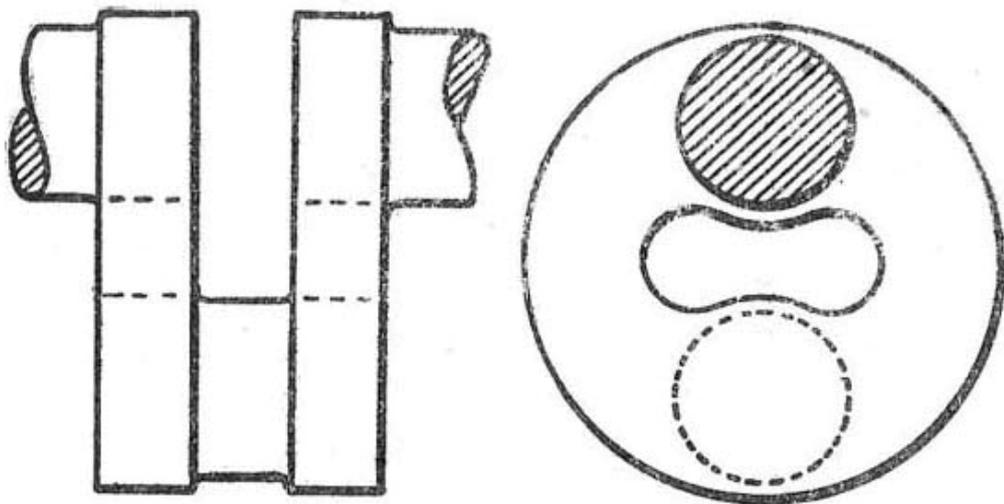


Fig. 570 – Eje Worsdell con codos fundidos del sistema Fremont.

Para prevenirse contra los efectos de la rotura del muñón del eje, se lo proveía antes de un perno que cruzaba un agujero taladrado a través del pivote (fig. 571); la cabeza del perno y su tuerca se alojaban en el espesor de los codos. Las fisuras no se propagaban a través del perno; si una ruptura se producía, el perno mantenía las partes rotas en lugar. Se sabe por otra parte, que al taladrar un agujero en el eje de las partes de máquinas no se los debilita notablemente; el metal que está en el centro apenas trabaja.

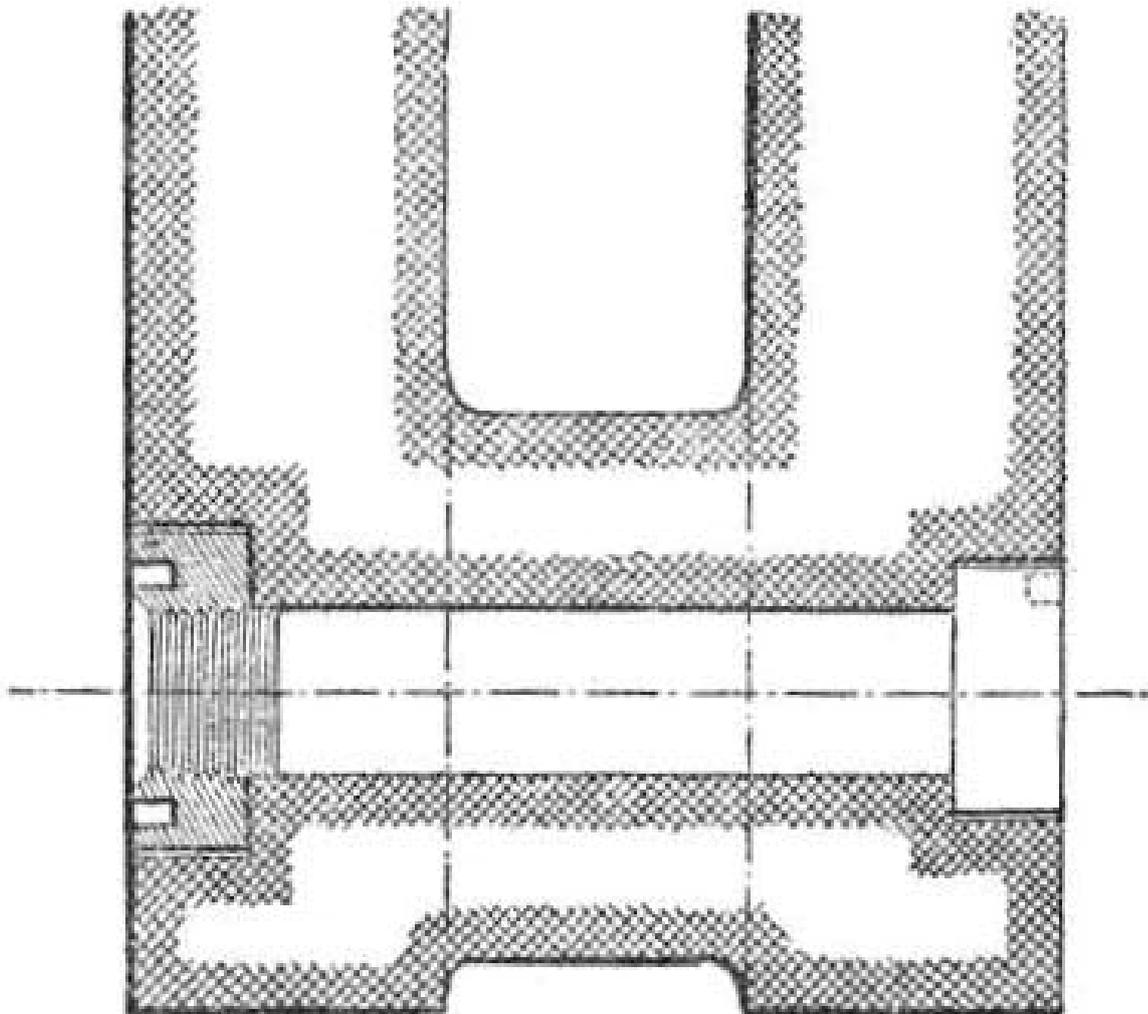


Fig. 571 – Bulón de consolidación del muñón de eje acodado: corte por el eje del pivote (el eje y la tuerca se muestran en corte).

Un aro en hierro, colocado sobre el codo en caliente, rodeaba también al mismo para mantenerlo unido si se rompiera transversalmente, cosa por otra parte bastante rara.

Mientras que los ejes “monoblocks” tienen el inconveniente de agrietarse, los ejes “polyblocks” tienden a decalarse como consecuencia del choque de los muñones en los brazos.

La experiencia muestra, sin embargo, que estos últimos ejes dan lugar a gastos de mantenimiento menos elevados, porque, decalados, pueden ser reparables y sus elementos reutilizados.

Para remediar estas tendencias al decalado, en particular, sobre las máquinas potentes, es necesario utilizar un acero que tenga un alto límite elástico (60 kg/mm^2) con una interferencia de $3/1000$ del diámetro en el clavado.

Los aceros al níquel y los aceros al cromo molibdeno responden a esta condición. No obstante, la experiencia puso de manifiesto que se debía excluir el empleo del acero al níquel para la constitución de los muñones, ya que este acero da lugar a fisuras en caso de recalentamiento.

El equilibrado de los codos es muy importante, ya que se opone a la flexión del eje a altas velocidades bajo el efecto de la fuerza centrífuga.

La falta de paralelismo, que puede, en efecto, resultar de la falta de equilibrado, alcanza, a la velocidad de 120 km/h , para ruedas de $1,95 \text{ m}$ de diámetro, a cifras aproximadas de 25 mm , medidos sobre el círculo de rodadura. El juego en la vía se encuentra así absorbido y los carriles tienden a oscilar a cada vuelta de rueda. Las oscilaciones de las cajas que resultan de esta flexión generan al mismo tiempo reacciones anormales que determinan recalentamientos. Una locomotora destinada a desarrollar grandes velocidades debe pues, con toda necesidad, proveerse de ejes acodados auto-equilibrados.

Los ejes acodados con un codo, de las locomotoras de tres cilindros, generalmente, suelen ser más robustos que los ejes de dos codos de las locomotoras de cuatro cilindros.

Estos ejes pueden forjarse, del tipo "monoblock", o también constituirse con elementos armados, del tipo "polyblock". La figura 572 muestra un eje de este último tipo, previsto para las locomotoras futuras tipos 152, 242, 142 y 232 compound de tres cilindros del S.N.C.F. Este eje es de acero al cromo molibdeno, que tiene un límite elástico de 60 kg/mm^2 y una carga de rotura de 85 kg/mm^2 .

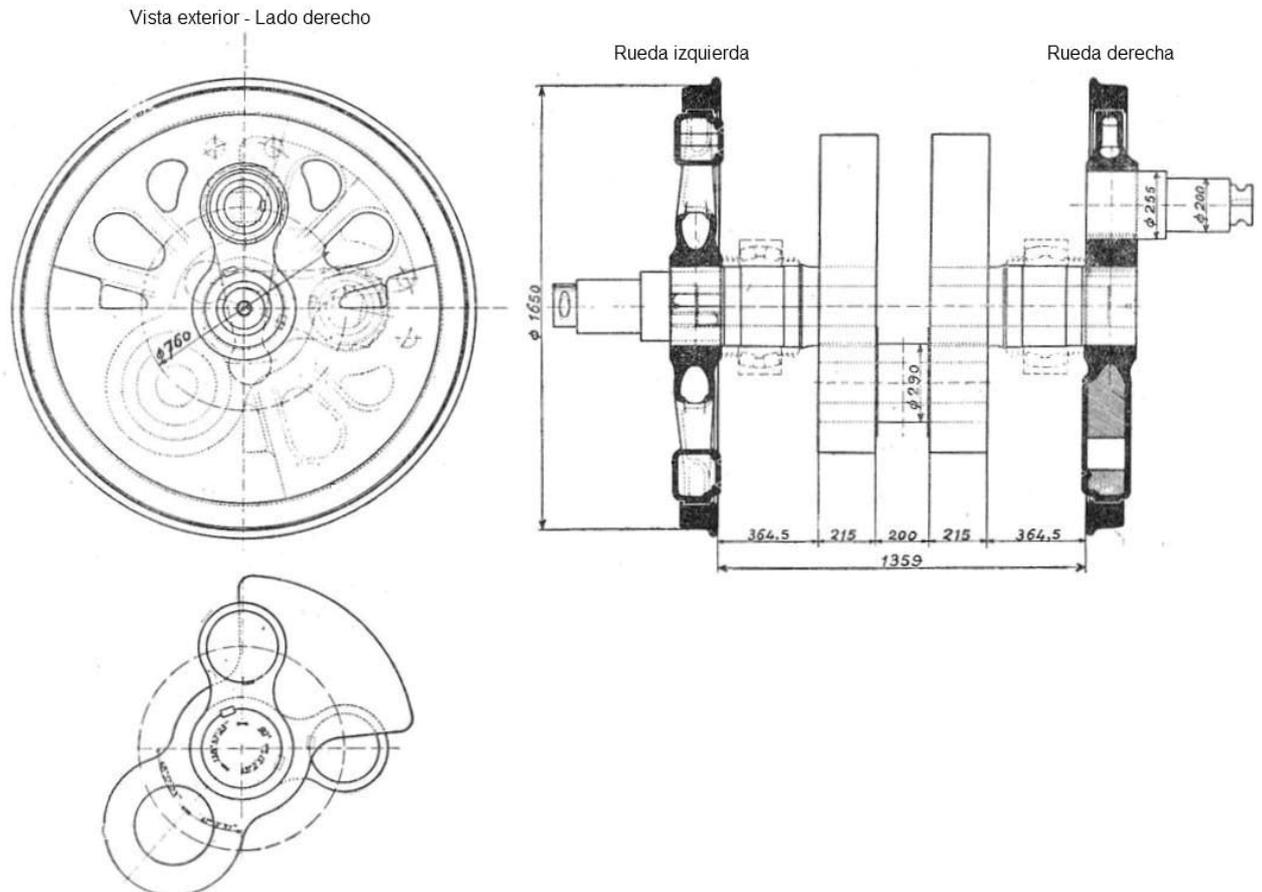


Fig. 572 – Eje acodado polyblock de las locomotoras tipo 152 compound de 3 cilindros, de la S.N.C.F.

122. Cajas. — Los ejes giran en cajas, denominadas a veces de grasa por tradición, aunque, desde hace tiempo, sobre las locomotoras y ténדרes, se emplea el aceite. Esto último es en Europa: en los Estados Unidos, la grasa es, al contrario, de un empleo absoluto, al menos para los ejes motrices cuyos cojinetes son de bronce. La experiencia, en efecto, mostró que, a la gran precisión de fabricación que exige el empleo de cojinetes en metal duro, era necesario superponer la lubricación con grasa, so pena de arriesgarse a recalentamientos sistemáticos.

Algunas pruebas emprendidas en Francia, con cojinetes en bronce al plomo y lubricados con aceite, parecen haber confirmado estas conclusiones.

En los *coches* y *vagones*, los ejes son arrastrados por el vehículo; casi sólo tienen que soportar la carga vertical resultante del peso de la carrocería y de la carga. Lo mismo sucede con los ejes portantes de las locomotoras.

En general, los husillos o manguetas son exteriores a las ruedas, lo que permite construir en una pieza la caja con una tapa por delante, presionando sobre el husillo del eje por medio de un cojinete cuyo engrase se verifica por debajo.

El aceite va encerrado en una contracaja, o pequeño depósito, en el que van sumergidas las mechas del tampón engrasador. Este va oprimido por resortes contra el husillo.

Cuando se emplea el "packing" en lugar de tampón engrasador, aquél va contenido en una contracaja, de la que sobresale abrazando la mitad inferior del husillo o gorrón.

Vehículo

Las cajas contienen un cojinete, que soporta a la mangueta del eje, y una parte inferior postiza: son interiores (fig. 573) o exteriores (fig. 574), según la disposición de los bastidores; las cajas exteriores están abiertas de ambos lados como las cajas interiores, cuando se monta una manivela más allá de la mangueta.

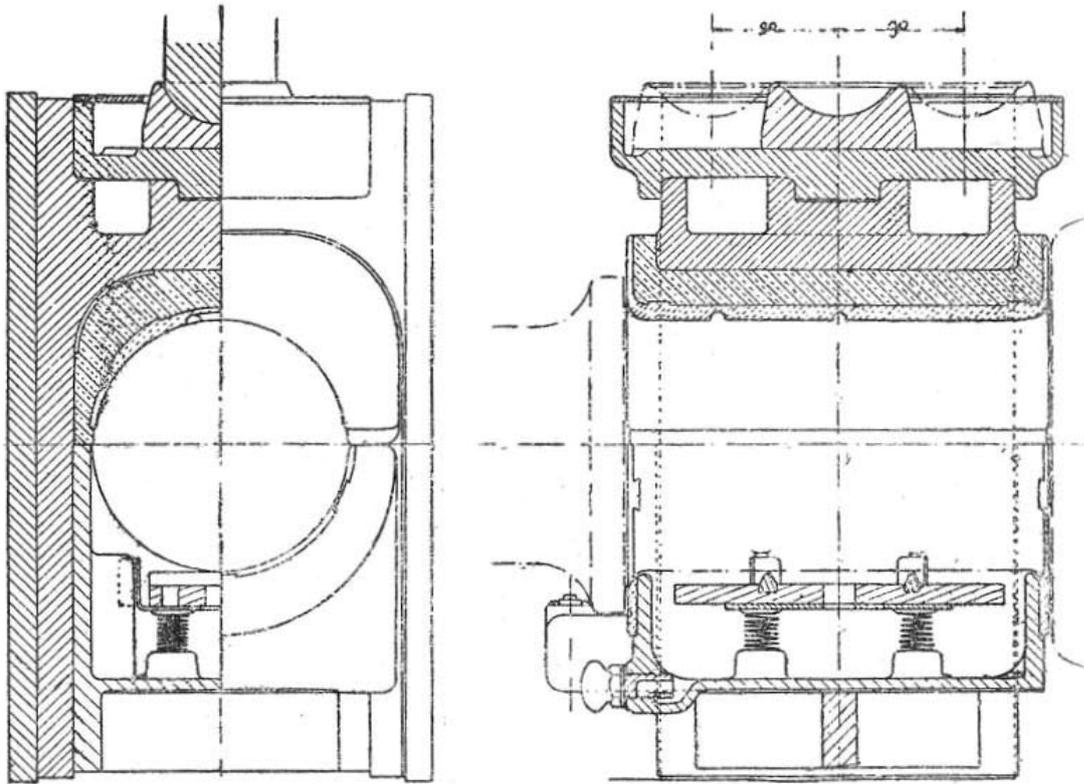


Fig. 573 – Caja de grasa para mangueta interior (eje de bissel Est); engrase por almohadilla en la parte inferior de caja.

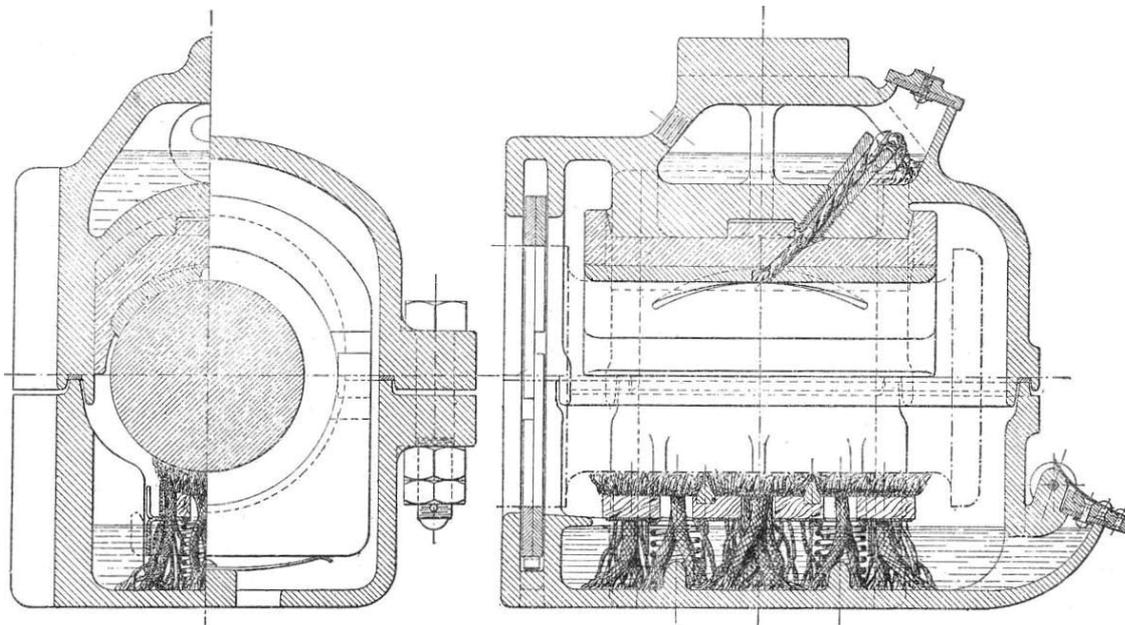


Fig. 574 – Caja exterior de eje portante de locomotora, con doble engrase (por depósito superior a mecha; por depósito a almohadilla); el obturador, que rodea el eje, impide la fuga de aceite hacia el interior.

Para los ejes de las locomotoras se adopta, generalmente, la construcción representada en la figura 575.

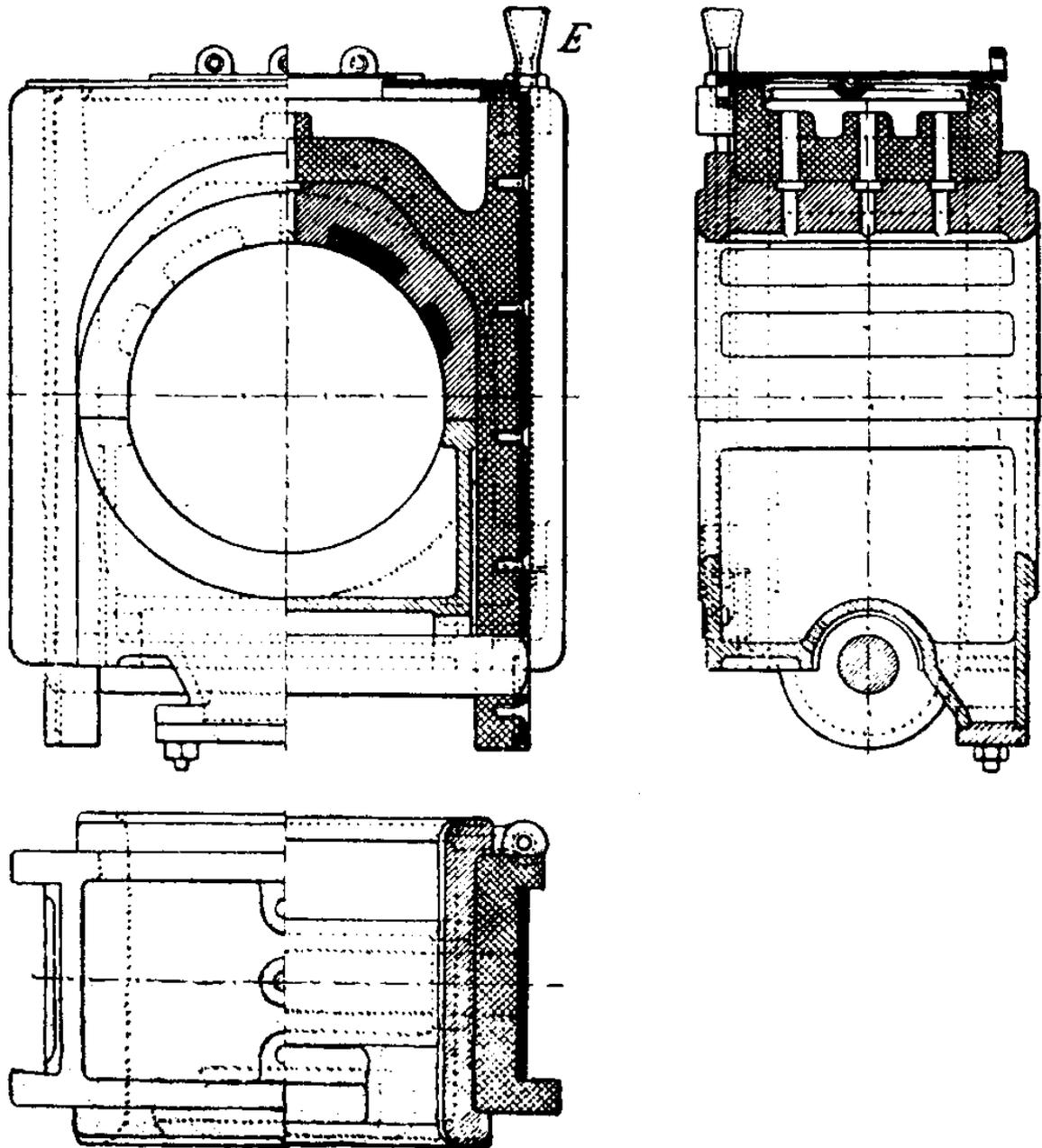


Fig. 575 – Caja de grasa – Locomotora belga tipo 10.

La caja propiamente dicha, llamada cajón, presenta la forma de una U invertida, montando a caballo en el husillo del eje, sobre el que descansa por intermedio de un cojinete. La caja va retenida y guiada por las entallas practicadas al larguero; aquélla presenta a este fin unos rebordes resistentes que apoyan sobre las guías en el caso de un choque transversal. Contrariamente a la práctica seguida en los coches y vagones, es regla general en las locomotoras ajustar las cajas con un huelgo mínimo en sus guías, por lo menos en el sentido *longitudinal*. No obstante, a veces para facilitar el paso de las locomotoras por las curvas nos vemos obligados a dar a la caja bastante juego transversal en sus guías.

Una parte desmontable, llamada contracaja, cierra la caja por su parte inferior; protege al gorrón del polvo y sirve para recoger el aceite de engrase procedente de la parte superior de la caja. Este aceite vuelve a aplicarse por debajo mediante un cepillo de engrase o tampón.

Antes, se construían los cuerpos de las cajas de fundición lo mismo que sus guías; el rozamiento de fundición sobre fundición daba completa satisfacción, pero estas cajas eran frágiles. En la actualidad se emplean principalmente las cajas de acero moldeado; estas cajas deslizan, generalmente, en guías de acero forjado o de fundición; entonces, para evitar que las cajas se agarroten en dichas guías, se colocan en las cajas, en las caras de contacto con la guía, guarniciones de bronce fijadas con tornillos de bronce de cabeza perdida (figs. 575 y 582).

Vehículo

Con objeto de disminuir el esfuerzo cortante a que están sometidos los tornillos, las guarniciones van empotradas y provistas de talones destinados a resistir el cizallamiento procedente del rozamiento de la caja en sus guías. Las guarniciones se reemplazan con poco coste cuando el desgaste ha llegado a ser anormal.

Más raramente se construyen las cajas completamente de bronce. La misma caja desempeña entonces el papel de cojinete.

Estas cajas son muy costosas y además frágiles. Ejemplo: la caja de grasa del eje portante de la locomotora belga tipo 10.

Las guarniciones laterales de bronce son a veces engrasadas por mechas en sifón que embeben el aceite de la parte superior de la caja de grasa y lo llevan a las guarniciones por un conducto horizontal.

Sin embargo, la visita y limpieza de estas mechas son imperfectas por la dificultad de acceso. Se puede concebir un engrase de las guarniciones laterales independientemente de la misma caja, por ejemplo, por engrasadores de mecha colocados a lo largo del cuerpo cilíndrico, que aseguran un engrase regular hasta en invierno a causa de su calentamiento por el contacto con la caldera. Véase la figura 594 en la página 457.

123. Cojinetes. — El cojinete sirve de intermediario entre el husillo, mangueta o cuello del eje y la caja; soporta los mismos esfuerzos que ésta, por lo que conviene asegurarle una posición bien estable en todos sentidos:

En el sentido de la rotación, dándole exteriormente la forma de semioctógono, o bien empotrándolo en la caja, como en el caso del cojinete cilíndrico embutido a la prensa de las locomotoras belgas tipos 1, 12, 29 y 38 (fig. 582).

En el sentido transversal dándole resaltos de fortaleza suficiente para apoyar convenientemente en la caja, o bien clavijas de fijación (locomotora belga tipo 12).

Si se trata de ejes motores o acoplados, las cajas están sometidas, además de la carga vertical, a esfuerzos horizontales considerables. Efectivamente, el eje motor recibe la acción de la biela motriz alternativamente en sentidos contrarios; esta acción se reparte proporcionalmente a los ejes acoplados. Estos esfuerzos, recibidos primeramente por los cojinetes, se transmiten a las cajas y por éstas a las guías, produciendo así el movimiento de avance de la máquina.

Si el cojinete de un eje portante apenas tiene que transmitir a la mangueta una carga vertical, excepto el esfuerzo de los frenos, las manguetas de los ejes motrices ejercen además, bajo la acción de los pistones, un empuje horizontal contra sus cojinetes. Dada la importancia de los esfuerzos horizontales, la longitud del contacto de los cojinetes con los gorriones, a igualdad de condiciones, debe ser mayor que en el caso de los ejes portantes. Los esfuerzos horizontales se componen con la reacción debida a la carga vertical dando lugar a una resultante oblicua alternativamente dirigida hacia delante y hacia atrás; por lo que el cojinete debe abrazar el cuello del eje en un ángulo lo mayor posible. El cojinete semicilíndrico, que tiene el mérito de la simplicidad, y que da buenos resultados en la práctica, puede pues criticarse desde esta opinión teórica.

El desgaste del cojinete se hace sentir de tal modo que su radio interior llega a ser mayor que el del cuello y, como al mismo tiempo la caja toma juego en sus guías, resulta que el eje puede sufrir un pequeño desplazamiento longitudinal, las aristas inferiores de los cojinetes ceden a los choques y el juego aumenta así rápidamente.

Estas consideraciones explican por qué se hace abrazar al cojinete una semicircunferencia prolongada en recta unos 2 cm hacia abajo, a fin de reforzar más el punto en que el choque puede tener lugar.

Se emplearon a veces, sobre la locomotora, algunas disposiciones acercándose a los ejes de las instalaciones fijas, para hacer desaparecer este defecto; pero la complicación estos de sistemas impidió su extensión.

Tal fue la caja Raymond y Henrard de tres cojinetes utilizada sobre las primeras locomotoras compound del P.L.M.

La caja de pequeños cojinetes inferiores se ha extendido, en particular, para los ejes motrices, y responde al mismo objetivo. Las figuras 576 y 577 dan dos ejemplos; en la primera, los cojinetes inferiores son solidarios a la parte inferior de la caja, en el segundo son removibles.

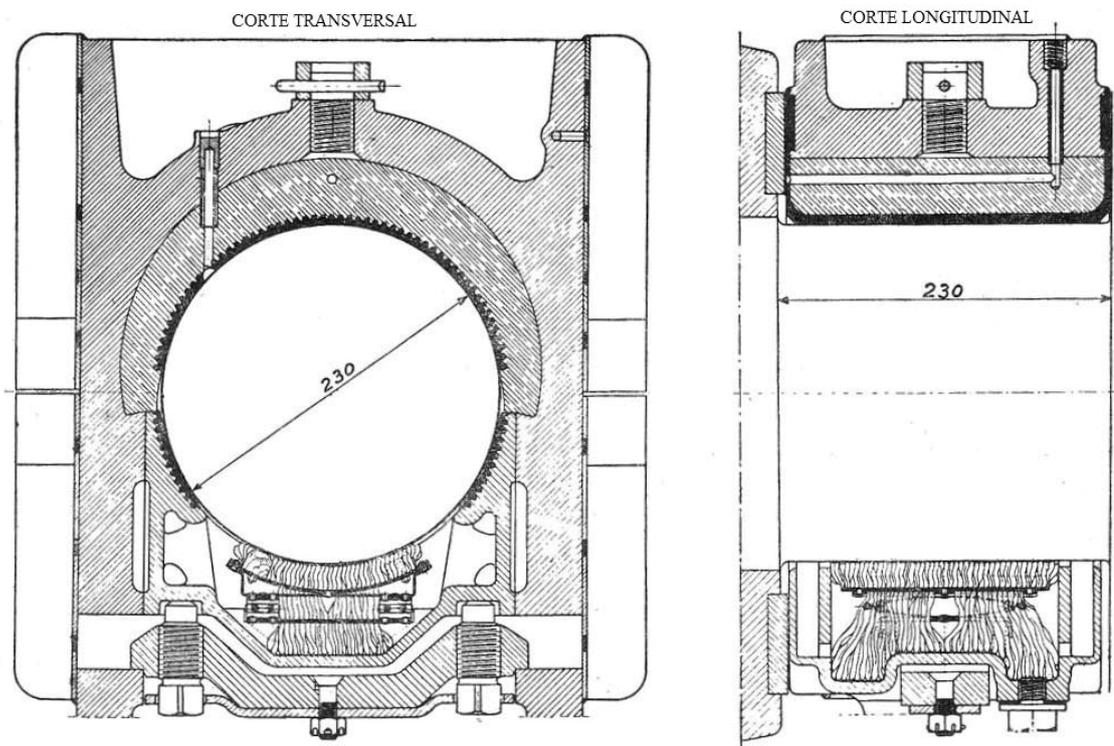


Fig. 576 – Caja de eje motriz, con parte inferior regulada de las locomotoras 141 P. Guarnición en capa relativamente fina (4,74 mm. en el fondo de los dientes), con ranura de enganche, modelo del L.M.S.

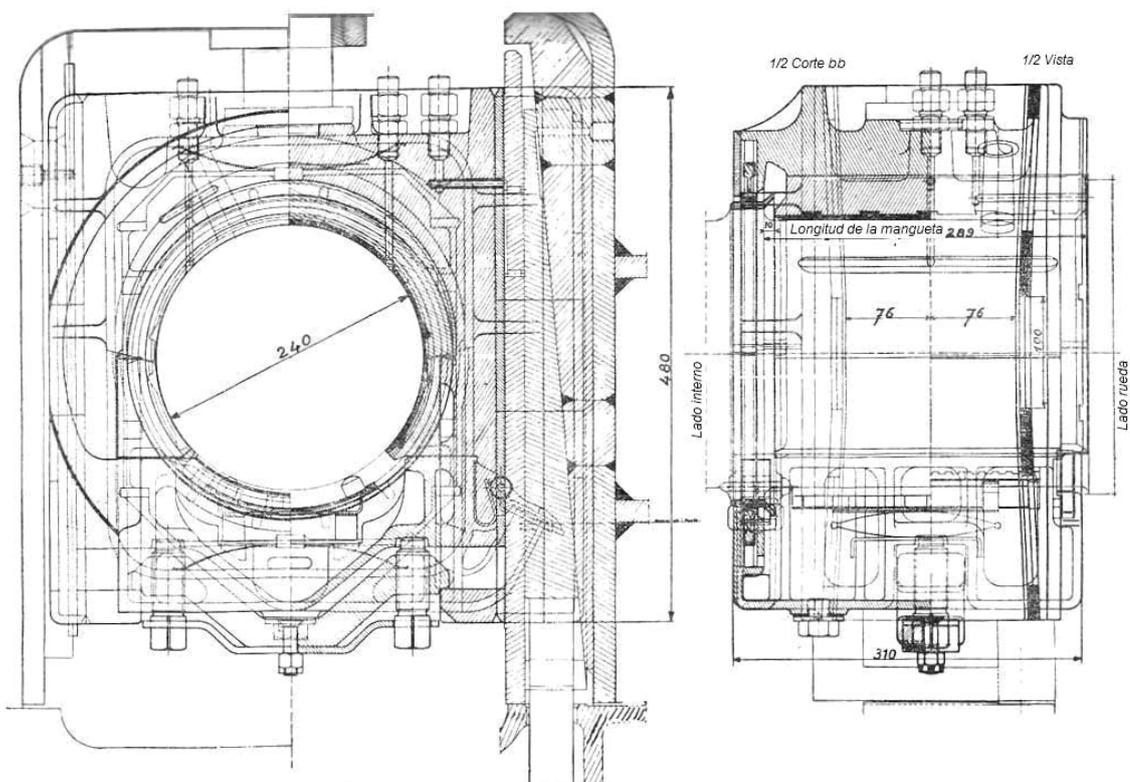


Fig. 577 – Caja de eje motriz con cojinetes inferiores de la locomotora 242 A1 del Ouest. Revestimiento de metal antifricción en capa de 6 mm de grosor en la parte superior y 2 mm sobre la horizontal, con ranuras de sujeción. Obturador centrífugo del lado interior.

Vehículo

Los cojinetes de las cajas de grasa son de bronce con guarnición de metal blanco. La fabricación del cojinete debe hacerse con precisión y sobre buenas máquinas; los retoques manuales deben prohibirse.

El estado de superficie no es indiferente y el pulido brillante obtenido por bruñido, que reduce las desigualdades a no más de 0,003 mm aproximadamente, en vez de 0,02 a 0,04 mm después del torneado y amolado, permite reducir el tiempo de rodaje a un mínimo. Se recomienda, por otro lado, para facilitar el rodaje y ayudar a la formación de la película de aceite, dar al cojinete un ligero sobre dimensionado (juego): este último, no debe superar 0,25 mm sobre el diámetro para los ejes motriz y acoplados.

Para los ejes portantes, que no son sometidos a los mismos esfuerzos horizontales que los ejes motrices, se puede ir más lejos (1 a 3 mm.).

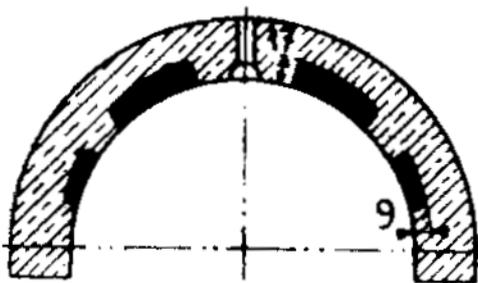


Fig. 578

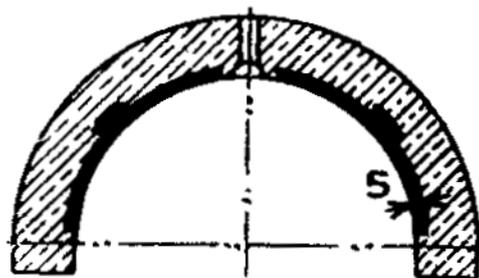


Fig. 579

Es interesante observar las modificaciones introducidas, en estos últimos años, en la construcción de los cojinetes de las cajas de grasa, tanto en la disposición del metal blanco como en el procedimiento de lubricación.

En la construcción representada en las figuras 575 y 578, la superficie de metal blanco en contacto con el husillo ha resultado insuficiente. Entonces se ha generalizado la disposición de la figura 579.

Las cámaras en las que se aloja el metal blanco vienen de fundición con el cojinete. Resulta que el espesor de metal blanco aumenta con el grado de desgaste del husillo del eje.

Nos vemos, pues, obligados a disponer de varios modelos de cojinetes que tengan diferentes diámetros interiores.

En la S.N.C.B. se empleaban, hasta estos últimos tiempos, tres modelos de cojinetes con objeto de evitar espesores excesivos de metal blanco. Pero para reducir el número de modelos y al propio tiempo para disminuir las existencias de cojinetes en bruto en el almacén se ha procurado no tener más que un solo modelo por tipo de caja. Este cojinete se ha fundido con las cavidades reservadas para el metal blanco. Estas cavidades se labran luego según el diámetro del eje a que está destinado el cojinete.

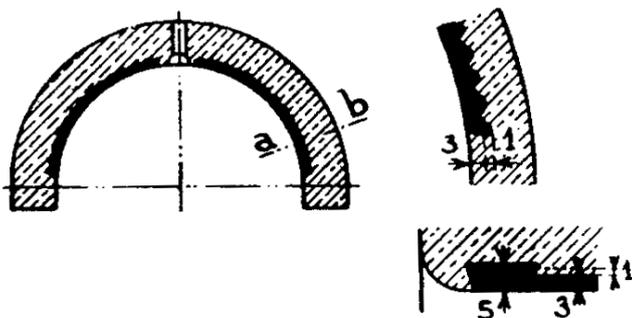


Fig. 580 — Corte a-b.

Este método permite normalizar el espesor de la capa de metal blanco, la cual se ha fijado en 5 mm. Las cavidades reservadas al metal blanco se obtienen por cepillado y pulido previo del cojinete ajustado al diámetro del husillo del eje.

La figura 580 muestra las ranuras de 5 mm de profundidad, practicadas a torno para la salida de las herramientas necesarias para cajear.

Observemos que, en la construcción precedente, las barretas de bronce, que encuadran el metal blanco, apoyan sobre el husillo del eje, con lo cual el cojinete corre más riesgo de calentarse. Por otra parte, la ranura de engrase está en la parte superior, donde la presión es más elevada.

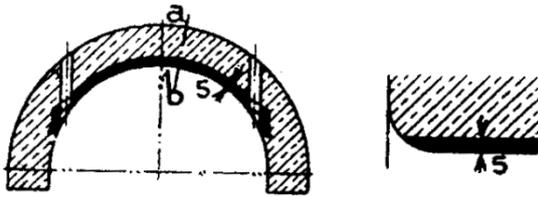


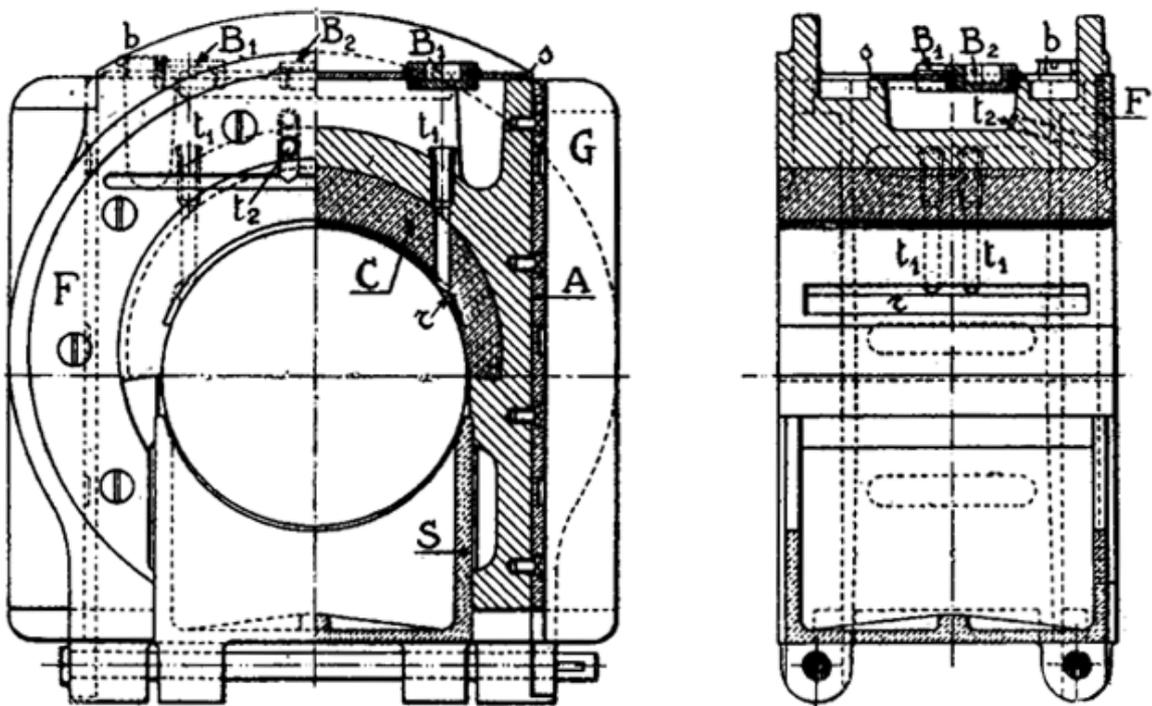
Fig. 581 — Corte a-b.

Por esto, y para tener en cuenta la teoría del engrase, en las locomotoras belgas tipos 31 y 38 se ha aplicado el sistema representado en la figura 581, en el que el apoyo del cojinete sobre el husillo se hace sólo con metal antifricción. Además se han aproximado mucho las ranuras de engrase al eje horizontal del cojinete.

La figura 582 representan la caja de grasa último modelo de la S.N.C.B. La lubricación del cojinete se verifica: o bien por *mechas* colocadas en la parte superior de la caja que forma depósito de aceite, o bien por un *engrasador mecánico* cuyos conductos se unen a las cajas por tubos flexibles, que son, por lo general, de caucho armado.

En el caso de engrase por mechas, hay que vigilar la buena hermeticidad de la tapa del depósito de aceite, para impedir la entrada de agua o polvo. Se preferirán las cajas provistas de tapas herméticas soldadas.

El aceite sobrante cae en la contracaja, de donde vuelve al eje por el tampón engrasador.



Figs. 582 — Caja de grasa último modelo de la S.N.C.B.

124. Metales antifricción para los cojinetes de las cajas de grasa. — La experiencia ha demostrado que los metales antifricción que dan mejores resultados son los compuestos de elementos duros, bien formados, diseminados en una masa plástica de elementos más finos.

La composición del metal antifricción es la misma que se emplea en las bielas y varía según se trate de locomotoras para trenes de viajeros, mixtos, de mercancías o de maniobras. En las primeras se utiliza un metal de la siguiente composición:

| | |
|---------------|--------|
| Estaño..... | 83,5 % |
| Antimonio.... | 11,0 % |
| Cobre..... | 5,5 % |

En el segundo caso, el metal utilizado es el siguiente:

| | |
|---------------|--------|
| Estaño..... | 60 % |
| Antimonio.... | 11 % |
| Cobre..... | 5,5 % |
| Plomo..... | 23,5 % |

Vehículo

En las locomotoras de mercancías, la composición es:

| | |
|---------------|------|
| Estaño..... | 10 % |
| Antimonio.... | 15 % |
| Cobre..... | 1 % |
| Plomo..... | 74 % |

Las locomotoras de maniobras no utilizan metal blanco, sino bronce de la siguiente composición:

| | |
|------------|------|
| Cobre..... | 90 % |
| Plomo..... | 10 % |

125. Contracajas. — Se construyen de fundición y se sujetan con unos pasadores que atraviesan las ramas verticales del cajón.

Hemos dicho que el aceite que cae a la contracaja se aplica al cuello del eje mediante el tampón o cepillo de engrase; este engrase por debajo, si se hace en buenas condiciones, es muy eficaz. A veces también se dispone una alimentación directa de la contracaja.

El agua penetra con relativa facilidad en la contracaja; el aceite, siendo más ligero, acaba por ser expulsado y el engrase por debajo queda entonces anulado. Para evitar tal inconveniente, las contracajas llevan a menudo un tapón especial para poderlas vaciar.

126. Tampón de engrase. — El tampón está formado de lana o de packing, con igual resultado bueno. El packing se compone de 50 % de lana en hilos, 20 % de crin animal y 30 % de hilos de algodón.

La lana absorbe el aceite, la crin animal da elasticidad al conjunto y hace el efecto de muelle y, en cuanto al algodón, substituye en parte a la lana por razones de economía.

El packing se sumerge en aceite durante cuarenta y ocho horas antes de su empleo. Se escurre y comprime a mano o con prensa, hasta que haya soltado los $\frac{3}{5}$ aproximadamente del aceite absorbido. 1 kg de packing absorbe en estas condiciones unos 1.300 gr de aceite.

127. Suplementos de rozamiento. — A consecuencia del desgaste y de las sucesivas rectificaciones de las caras laterales del husillo o mangueta, la longitud del cuello aumenta (fig. 583), lo que requiere un aumento correspondiente de la longitud del cojinete y de la contracaja.

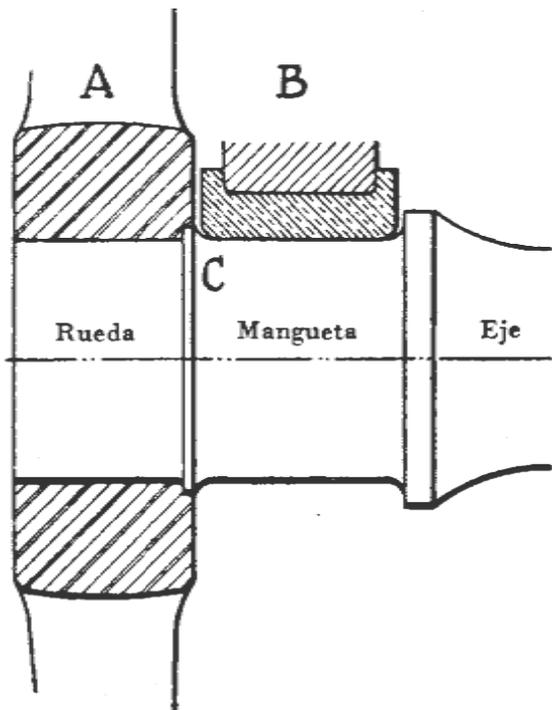


Fig. 583

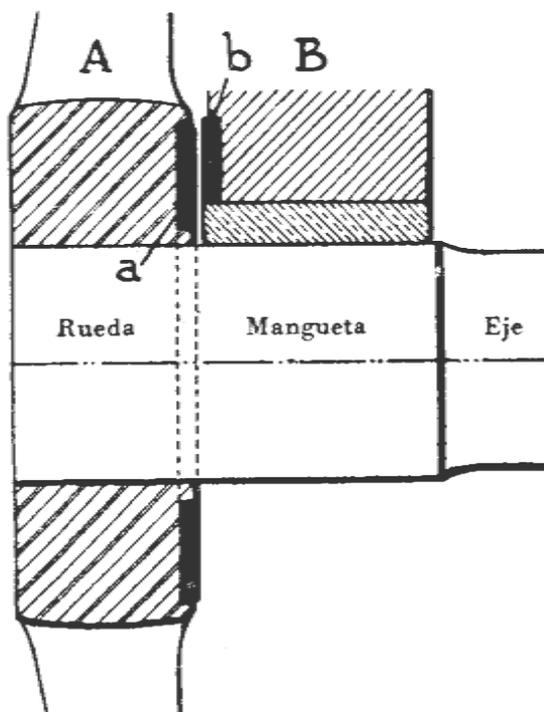


Fig. 584

Este inconveniente se ha suprimido en los ejes rectos de construcción reciente, por haber desaparecido los rebordes que limitan el husillo.

El empuje transversal se contrarresta con una placa de rozamiento *a*, de acero duro, tratado térmicamente, empotrada en el cubo de la rueda (fig. 584). Esta placa soporta el empuje al paso de las curvas (locomotoras belgas tipos 1, 12, 29, 38, 40, 41 y americanas).

En este caso, la caja de grasa va provista a su vez de un *suplemento b* de bronce, de análogas dimensiones que la placa de rozamiento.

El desgaste lo sufre, así, el suplemento de la caja. Este suplemento de bronce *F* (fig. 582) se fija con tornillos o va colocado directamente en un hueco practicado en la caja (locomotora belga tipo 29).

128. Guías o placas de guarda. — El cometido de las guías es retener los ejes bajo el bastidor, permitiendo, sin embargo, a las cajas bajar y subir en las entallas de los largueros para adaptarse a las irregularidades de la vía. Las guías deben construirse racionalmente en forma que refuercen los largueros y presenten a las superficies exteriores de las cajas una superficie de apoyo suficiente para evitar cualquier acunamiento o desgaste anormal.

Cuando los largueros son de plancha, las guías están formadas por una resistente escuadra de fundición, de acero forjado o de acero moldeado, que se fija a los largueros mediante pernos entrados a martillo, debiéndose cuidar particularmente esta sujeción.

Si son de fundición o de acero moldeado, las dos guías de una misma caja se acostumbran a unir formando una sola pieza fundida (figura 604).

Cuando los largueros son vigas, van provistos de forros en forma de U. Se añade un tirante llamado *ataguía o guarda*, que une los dos extremos inferiores de las guías. Este ataguía contribuye oportunamente a mantener el paralelismo de las dos guías, alivia la unión de la guía al larguero y reparte sobre las dos guías cualquier esfuerzo recibido por una de ellas.

Cuando sea posible, es conveniente que el tirante reúna no sólo los dos extremos de ambas guías, sino también los dos extremos de la entalla del larguero.

El movimiento continuado de las cajas en sus guías y la transmisión del esfuerzo de traslación del eje al bastidor producen inevitablemente a la larga un juego que es preciso corregir a tiempo, para evitar recalentamientos o roturas de cajas. El procedimiento del recambio de las guarniciones de bronce y suplementos se ha examinado anteriormente. Pero este sistema no permite corregir el huelgo a medida que se va produciendo.

Para evitar los atascamientos de las cajas en sus guías bajo la influencia de un desnivel entre el riel de la derecha y el de la izquierda, las pestañas se curvan (fig. 577); 90 a 100 mm verticales son suficientes para guiar la caja transversalmente. El juego transversal y el ángulo de las pestañas son definidos para permitir un desnivel máximo de 50 mm de una rueda con relación a la otra.

El engrase tiene una importancia capital; se puede hacer por la parte superior, por la inferior, o por las dos partes combinadas. En el primer caso, el aceite se carga en el depósito ubicado en la parte superior de la caja; se utilizan mechas, colocadas en tubos y por capilaridad, conducen el aceite a las patas de araña del cojinete. El ajuste de las mechas es bastante delicado: demasiado cerradas, no conducen suficiente aceite; demasiado flojas, exageran el consumo. Además tienen el inconveniente de gastar inútilmente el aceite durante las detenciones, si no se tiene la precaución de retirarlas.

Se construyen engrasadores sin mechas, taladrando un pequeño agujero en el extremo superior de un tubo colocado en el depósito de aceite, que debe ser bien cerrado.

El engrasador a punzón, indicado en el § 76 para el engrase de los mecanismos, se puede aplicar también a las cajas (locomotoras del Est) a pesar de su desplazamiento continuo con relación a los largueros. Cuatro tubos lubrican las guías y el cojinete (fig. 585). Los dos tubos del centro, fijados en los largueros, descargan el aceite en tubos de mayor diámetro (telescopícos) fijados a la caja y oscilantes con ella. La cavidad ubicada sobre la parte superior de la caja recibe aceite destinado a lubricar abundantemente la mangueta en caso de recalentamiento.

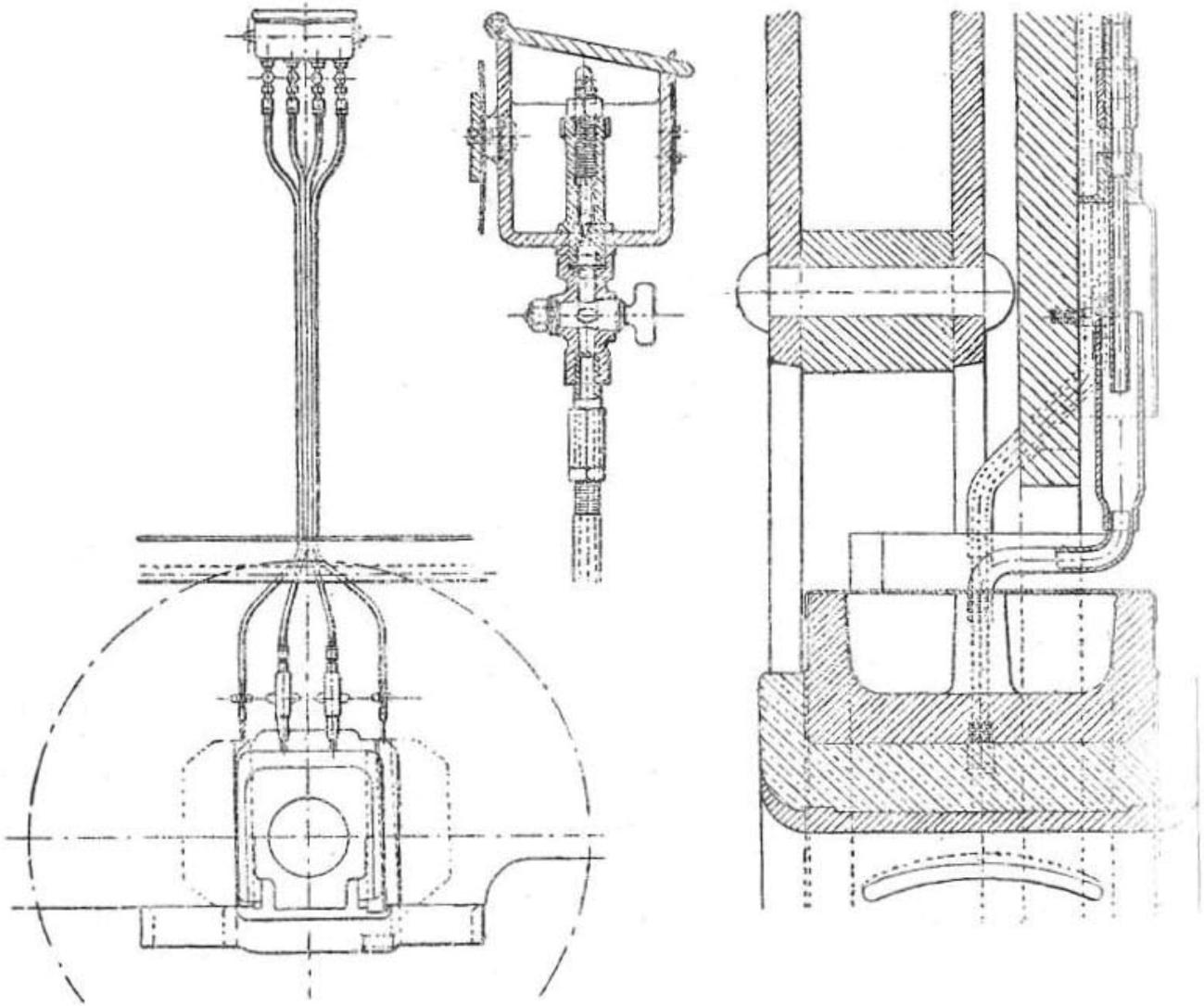


Fig. 585 – Engrasador a punzón para cajas a aceite y guías de placas de guarda.

Grifos permiten parar el gasto de aceite durante las detenciones prolongadas. Las manguetas de los ejes de locomotoras pueden lubricarse, como las de los ejes de vagones, por medio de una almohadilla engrasadora sumergida en el aceite, por debajo del eje (fig. 573 y 574).

En el Midi, el engrase de las manguetas de locomotoras se efectúa con ayuda de estopa empapada en aceite. El depósito de la parte superior de la caja se suprime (fig. 586): los tubos b, que conducen el aceite a las patas de araña del cojinete, se cortan a 5 mm del fondo; los tubos a y c, que conducen el aceite a los placas de guarda de la caja y a sus guías, son de mayor longitud. El depósito se llena completamente, pero sin presión, de estopa (residuos de algodón y lana bien mezclados, en partes iguales). Se colocan algunos hilos de hierro con anillo en los tubos.

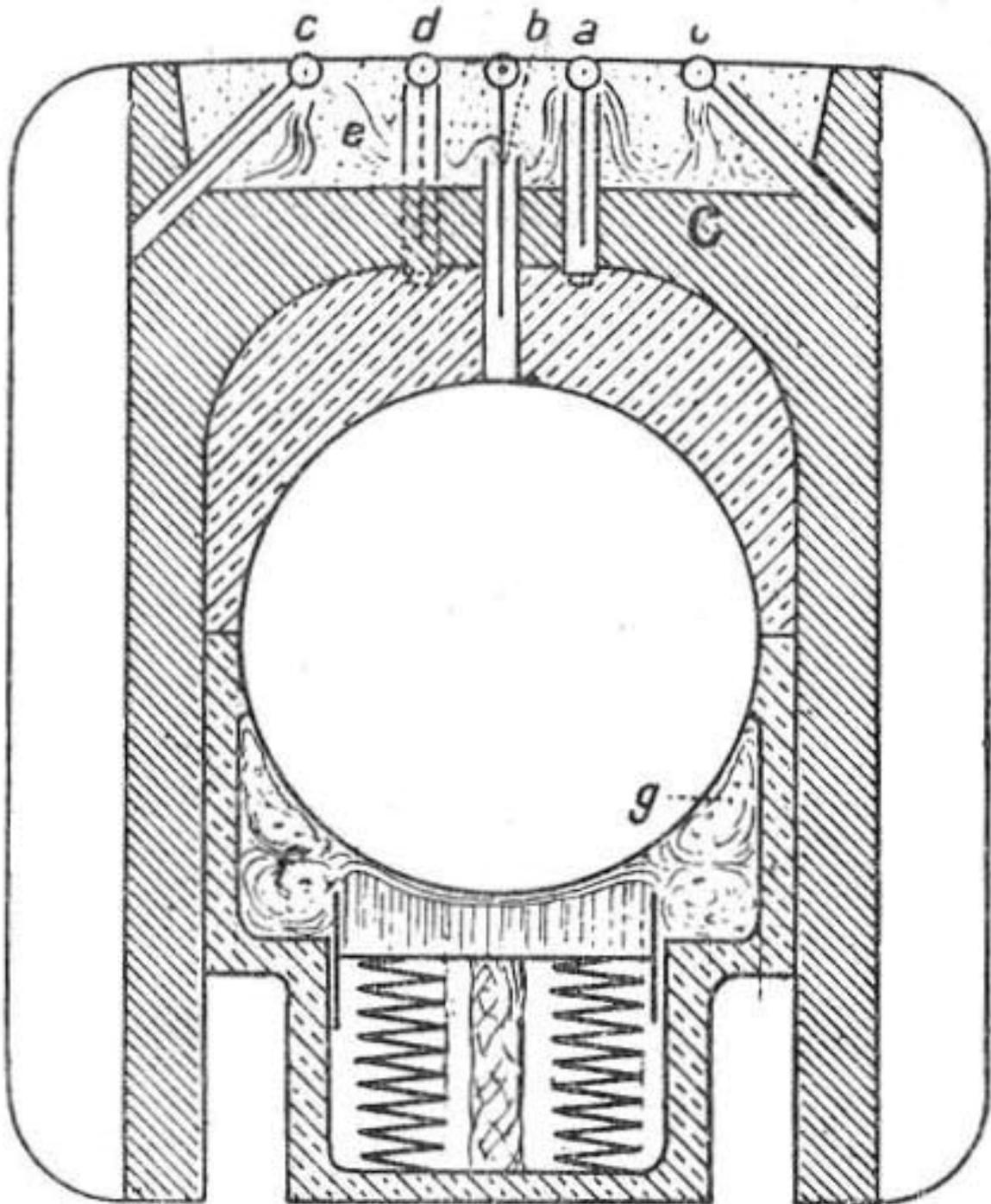


Fig. 586 – Engrase de las manguetas de los ejes de locomotoras del Midi, por medio de estopa empapada de aceite.

La parte inferior de la caja se llena completamente de hilos de lana, colocados en paralelo al eje del eje y dispuestos regularmente; si hay una almohadilla engrasadora, como en la figura 585, estos hilos se colocan a ambos lados de la almohadilla, en g.

Estos hilos, antes de su utilización, son sumergidos durante 24 horas, por lo menos, en un aceite mineral especial, y luego escurridos y torcidos, en el momento de su empleo, para extraer la mayor cantidad de aceite posible.

En la actualidad, se prefieren generalmente las almohadillas engrasadoras (fig. 574 y 576) que no requieren trabajo manual para su colocación. Son, pues, de un uso conveniente y pueden prepararse de antemano, para que den el consumo de aceite más conveniente.

Al emplear estopa compuesta de lana y algodón, se combina la buena capilaridad del algodón con la resistencia mecánica de la lana; al añadir algunos hilos de cáñamo, se impide a la almohadilla deformarse bajo el efecto de la temperatura que toma la mangueta.

Vehículo

Por fin, al reducir la altura de aspiración normal de 55 mm a 25 mm, se reduce notablemente esta temperatura. Se tiene pues interés en ir con los depósitos inferiores de las cajas siempre bien llenos.

No obstante, como los rellenos, las almohadillas soportan mal las elevadas temperaturas y sus fibras son atacadas con principio de carbonización a los 150°.

La experiencia pone de manifiesto que las almohadillas mejor montadas siguen siendo insuficientes para garantizar un engrase perfecto, en particular, a grandes velocidades. Esta es la razón por la que se encuentran numerosas locomotoras que poseen, además de las almohadillas engrasadoras, abastecimiento de aceite suplementario suministrado por un engrasador mecánico. Este abastecimiento adicional llega a un surco longitudinal, que sustituye a las antiguas patas de araña, de formas a veces complicadas, surcos colocados no en la parte superior del cojinete, lo que destruiría la película de aceite en el punto mismo dónde se encuentra normalmente el máximo de presión, sino en una región situada aproximadamente a 45° hacia adelante con relación al sentido habitual del movimiento (fig. 576 y 577). Para los ejes portantes, cuyas manguetas son de menor diámetro, el engrase único por la parte inferior puede bastar, y toda pata de araña debe entonces evitarse cuidadosamente.

En realidad, ni el único engrase por la parte inferior, ni el engrase combinado por las partes inferior y superior, son capaces de garantizar, en cualesquier circunstancia, una película de aceite completa sobre toda la amplitud de la mangueta. Se llega de este modo a no obtener más que una sucesión de películas parciales con interposición de zonas donde subsiste el engrase untuoso. Los mejores coeficientes de fricción que se obtiene así, son del orden de 4/1000, mientras que con una película prácticamente completa, obtenida por ejemplo en la solución "Isothermos" (fig. 587), coeficiente baja a 2/1000 e incluso 1,5/1000, cifras al menos iguales y hasta inferiores a las obtenidas con las cajas a rodillos (2 a 2,5/1000). En ese caso, se obtiene, en efecto, un verdadero colchón de aceite en la zona anterior del cojinete, sobre toda su longitud, condición que parece indispensable para la obtención del resultado buscado.

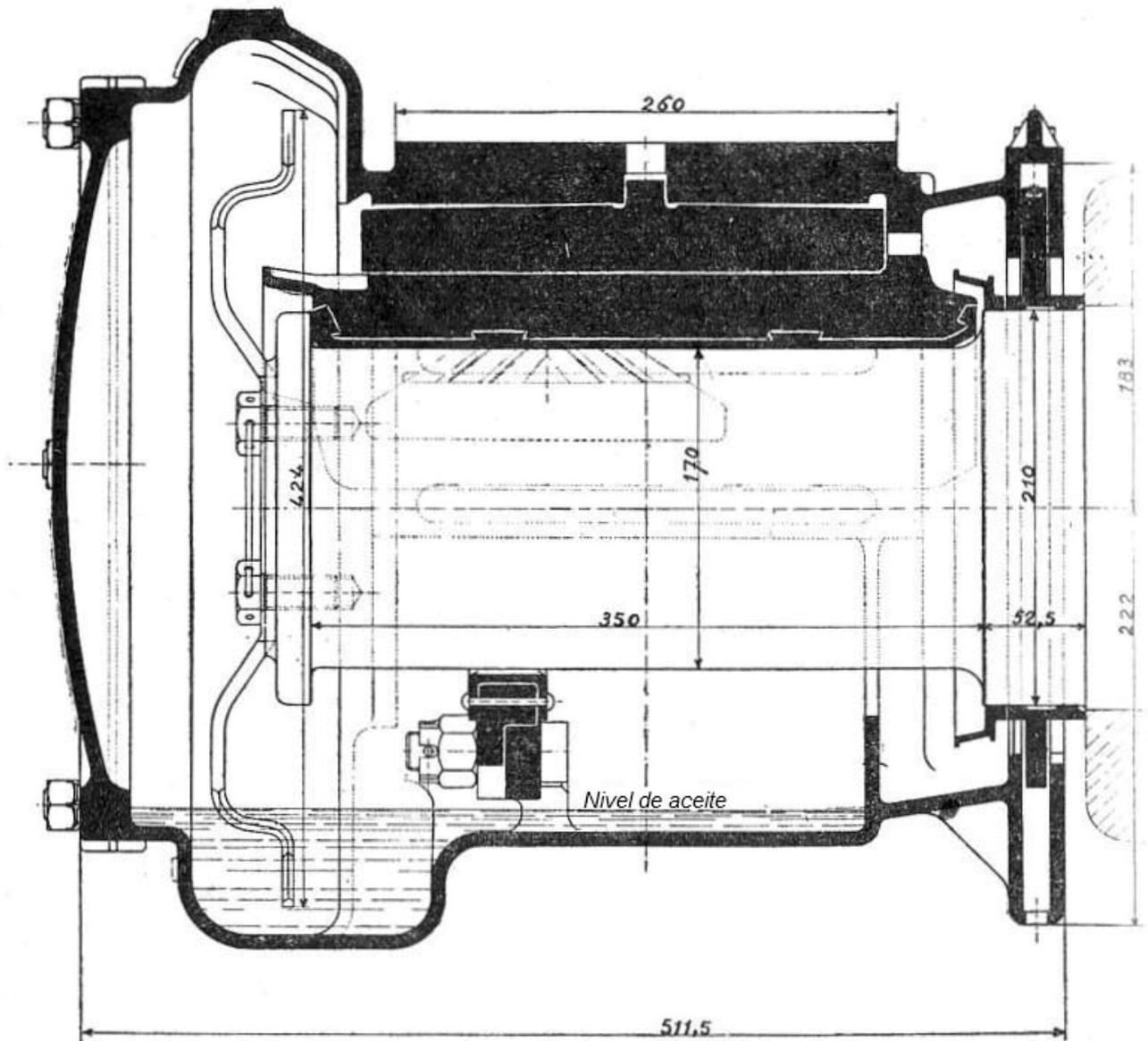


Fig. 587 – Caja “Isothermos” aplicada a los ténderes 34 P y 36 P de la S.N.C.F. Una paleta fijada en el extremo de eje se sumerge en el aceite de la parte inferior de caja, y lo proyecta a la parte superior: de ahí ella fluye abundantemente sobre la mangueta. Un obturador centrífugo colocado del lado interior, impide toda fuga de aceite.

No es, en efecto, un engrase a presión, como se cree demasiado a menudo, lo que se trata de realizar; la presión se desarrolla de sí misma en la película (fig. 588) y mejor de la que se obtendría con ayuda de una bomba, pero es necesario para eso formar la película y, aunque ésta esté finalmente constituida por una película de aceite de grosor insignificante, del orden de $1/100$ mm, exige que se le ofrezca una cantidad masiva, en primer lugar, para que se pueda formar y, a continuación, para que pueda mantenerse a pesar de las fugas que se producen en los dos extremos del cojinete, y que crecen con el cubo del juego diametral del cojinete.

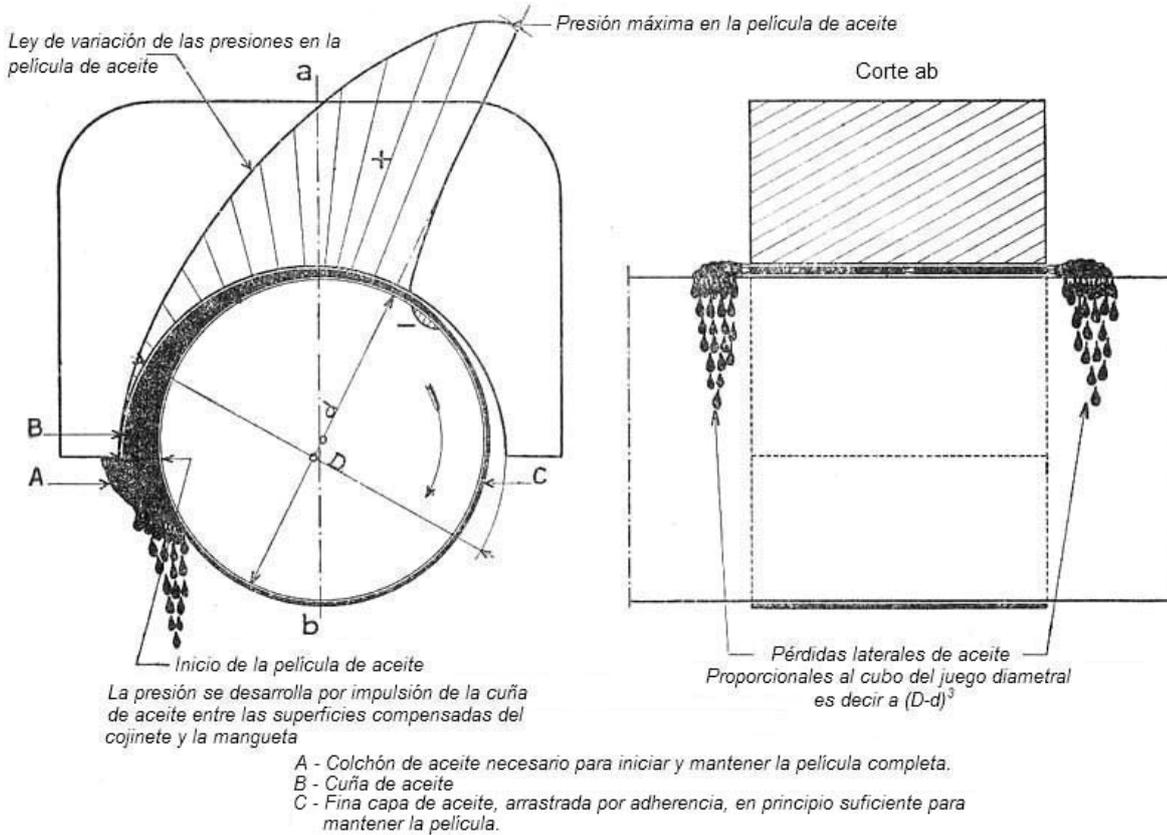


Fig. 588 – Principios de funcionamiento del engrase de un eje.

El problema de la estanqueidad de la caja, se plantea, pues, con una igual agudeza.

Se lo obtiene aplicando obturadores de fieltro o de cuero (hoy tal vez serían de caucho), que frotan sobre la mangueta o sobre un anillo fijado sobre el eje.

El obturador Moreau (fig. 589) está formado por una banda de cuero, cuyo borde, colocado del lado interior a la caja, se fija un soporte ondulado que tiende a rechazar el aceite que se escapa a lo largo de la mangueta. Esta banda de cuero con un soporte en aleación ligera, se provee de resortes que lo aplican sobre el eje. Para tener en cuenta el desgaste de este último, un tipo extensible (Corte CD, fig. 589) ha sido previsto.

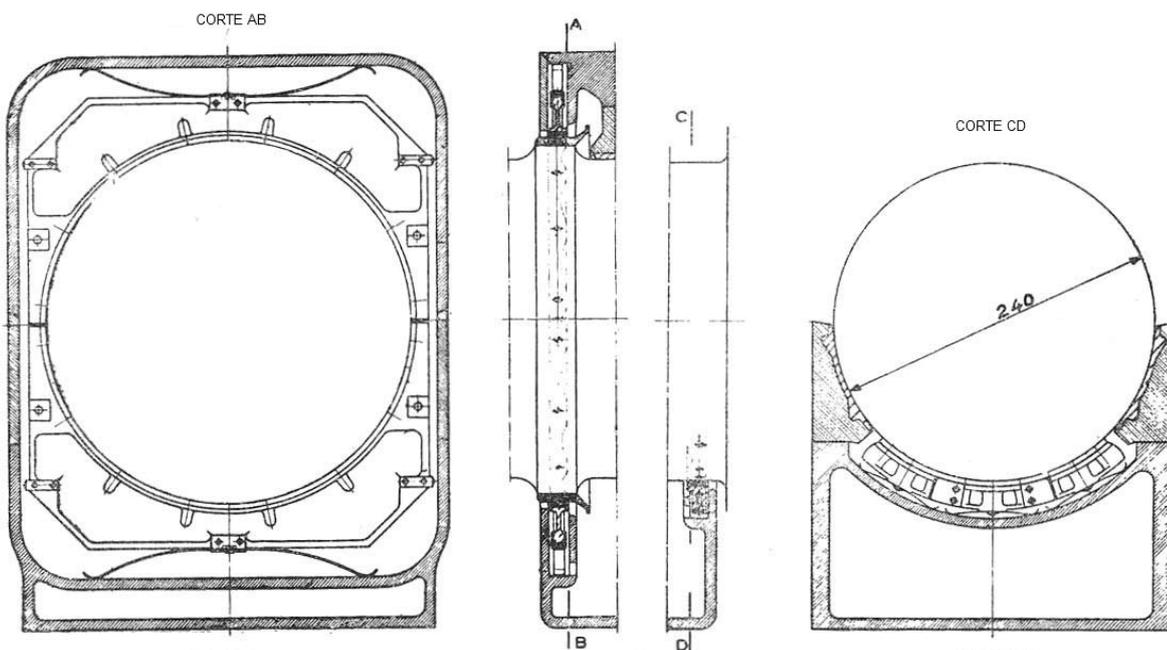


Fig. 589 a) – Obturador Moreau, modelo no extensible, con doble obturador centrífugo de la locomotora 242 A1 del Oeste.

Fig. 589 b) - ½ Obturador Moreau modelo extensible, montado sobre la misma locomotora.

En la solución "Isothermos" se adoptó un obturador centrífugo constituido por un disco, fijado sobre el eje, terminándose su periferia por un borde estampado; el aceite es retenido por el disco y proyectado en todos los sentidos contra las paredes de la caja, cuyo diseño se ha estudiado para garantizar la vuelta de este aceite al tanque inferior.

La figura 577 muestra una disposición similar, completada por un obturador Moreau y adoptada para las cajas motrices de la locomotora 242 A 1 del Ouest.

Otra cuestión que se plantea, es la del engrase de las superficies axiales de los cojinetes. En las locomotoras europeas, los cojinetes (fig. 573) frotan lateralmente contra la superficie del cubo de la rueda y contra la del cuello colocado sobre el eje del lado interior. Las superficies de contacto laterales son, entonces, de una amplitud bastante pequeña, y es necesario velar porque el engrase se esté garantizado perfectamente; muchos recalentamientos nacen así en las superficies axiales.

Desde este punto de vista, la solución americana, que descarga toda la presión lateral sobre la amplia superficie del cubo de la rueda, parece preferible, y se recomienda lubricar directamente esta zona (fig. 576).

Desde hace algún tiempo, cajas a rodillos son de empleo general en los Estados Unidos, y por las ventajas que presentan no tardarán probablemente en imponerse también en Europa. Los recorridos entre mantenimientos ya no son condicionados más que por el retorneado de las llantas, pudiendo funcionar las cajas sin revisión durante 450.000 km ó más, y todo incidente de recalentamiento al mismo tiempo desaparece.

La figura 590 muestra la caja a rodillos S.K.F., prevista para los ejes BP de las locomotoras 240 P del Sud-Est y la figura 591, la caja a rodillos Timken aplicado al bogie de la locomotora 242 A 1 del Ouest.

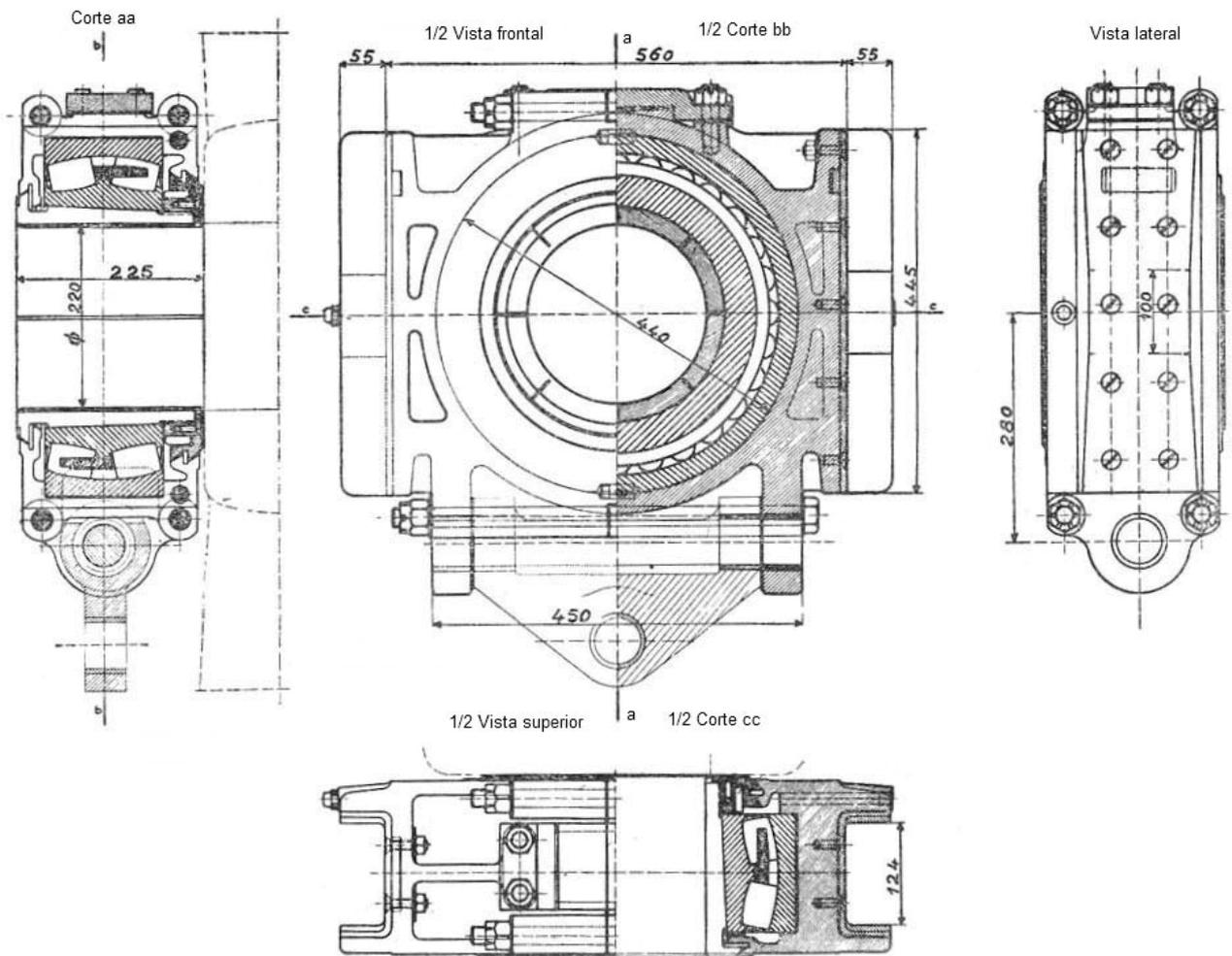


Fig. 590 – Caja a rodillos SKF del eje BP de las locomotoras 241 P del Sureste.

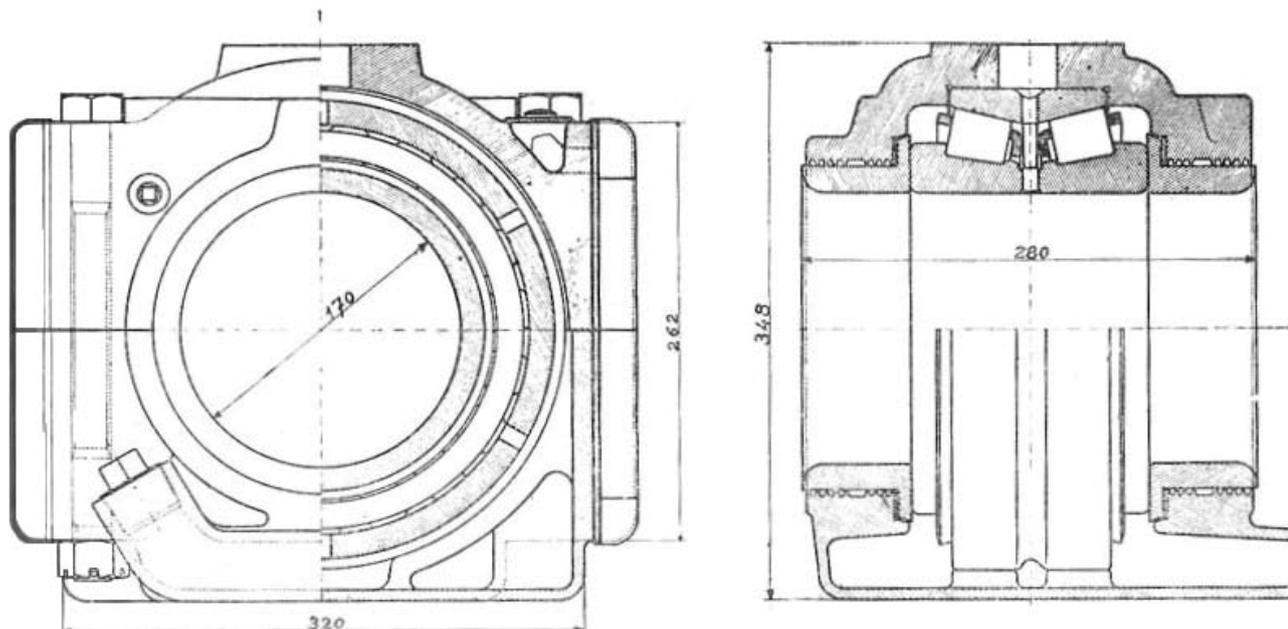


Fig. 591 – Caja a rodillos Timken de los ejes del bogie de la locomotora 242 A 1 del Ouest.

129. Cuñas de regulación del juego. — El movimiento de vaivén longitudinal que toman las cajas motrices entre sus guías, bajo la acción de los esfuerzos combinados del vapor y de la inercia de las piezas del mecanismo, exige que los juegos se reduzcan al mínimo, para evitar la violencia de los choques que podrían tener lugar entre las cajas y sus guías. Se demuestra, en efecto, que las fuerzas que deben amortiguarse son proporcionales a los esfuerzos aplicados y a los juegos de las piezas entre sí.

Es necesario, pues, esforzarse en mantener estos juegos en valores siempre escasos, y para eso se han utilizado un enorme número de disposiciones para las cuñas de regulación de juegos (fig. 595), que permiten al mecánico atento limitar éstos a valores siempre aceptables.

Para llegar a esta corrección del huelgo, es necesario que las cajas tengan un dispositivo de cuña para la corrección del desgaste a medida que se produce (figuras 592 y 593).

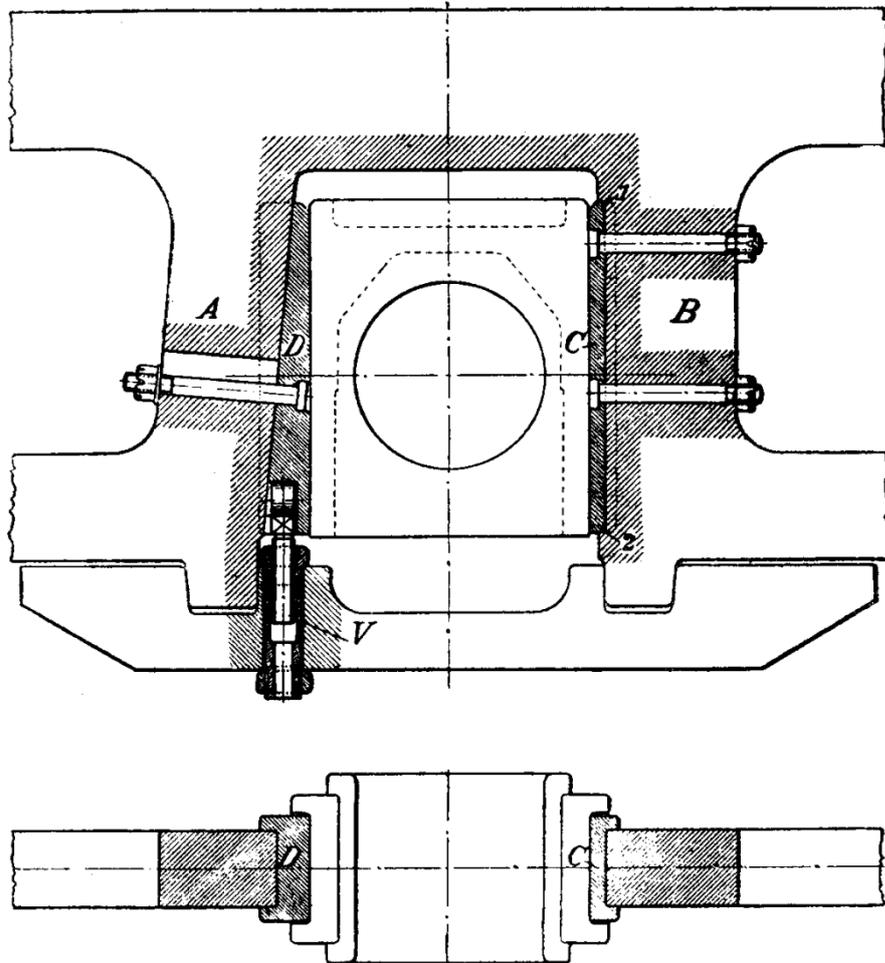


Fig. 592

Una de las guías A ocupa entonces una posición oblicua, la cuña de ajuste D se inserta entre la caja y esta guía, entre las que pueda subir gradualmente movida por un tornillo V apoyado en la riostra de ataguía. En el caso de largueros de barra, la guía opuesta B lleva un patín C de acero, retenido en sus extremos por los toques 1 y 2, y fijado al larguero por pernos. La cuña D se fija, una vez hecho el ajuste, mediante un tornillo que atraviesa la guía A.

Las cuñas de ajuste de todos los ejes acoplados se colocan, naturalmente, todas del mismo lado; así se conserva en lo posible el paralelismo y la misma separación de ejes.

Esta cuestión de la aplicación de cuñas de corrección en las cajas de grasa ha sido muy debatida, porque si bien ofrecen algunas ventajas no están exentas de inconvenientes.

Ventajas. — Si la regulación de las cuñas se hace oportunamente y con cuidado por personal competente de taller, la marcha de la máquina a gran velocidad es mejor, comparada con la de una locomotora sin cuñas de corrección. La diferencia es muy notable al cabo de algunos meses de servicio.

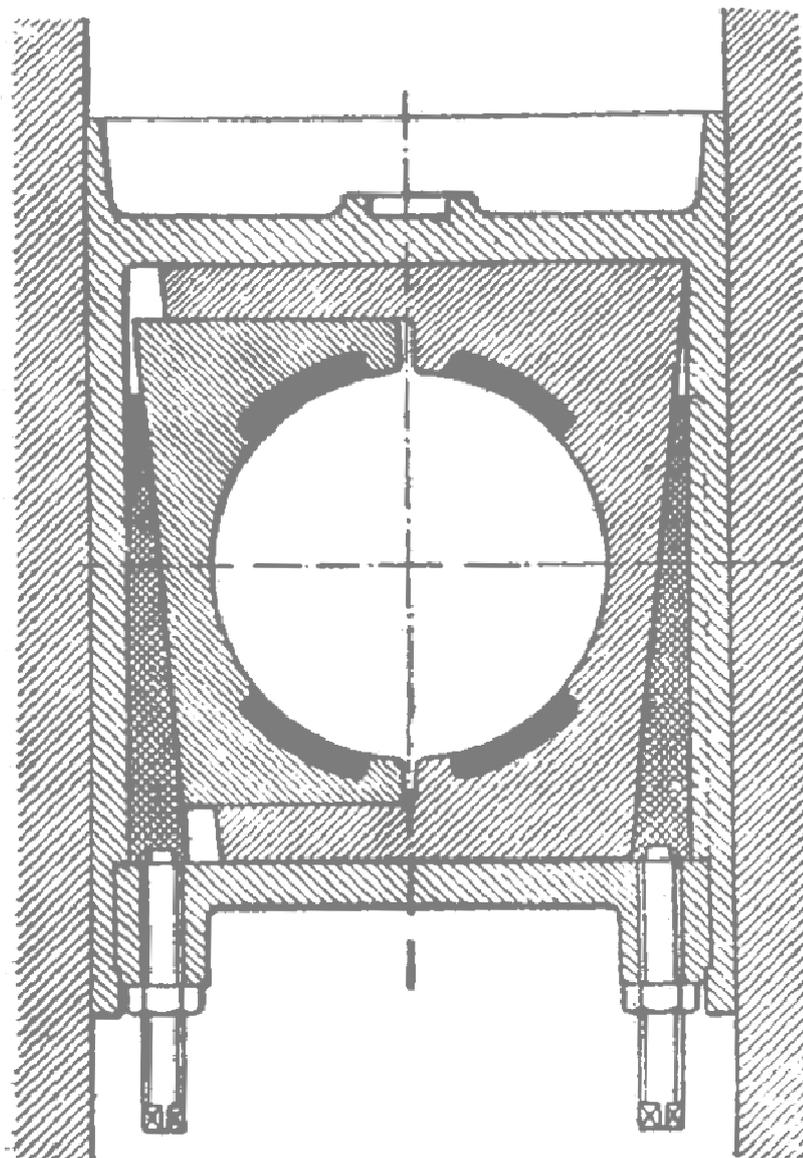


Fig. 593 — Caja de grasa central de eje cigüeñal.

Inconvenientes. — Como la regulación de las cuñas es una operación delicada, larga y difícil, si se la deja al cuidado de los maquinistas, los más capacitados ejecutan el trabajo a conciencia, pero otros dejan huelgos excesivos o agarrotan las cajas.

Algunas redes ferroviarias emplean cuñas de corrección automática.

El engrase de las guías se hace a mano, o bien por un engrasador de mecha o de punzón que asegure el engrase de cada guía en particular.

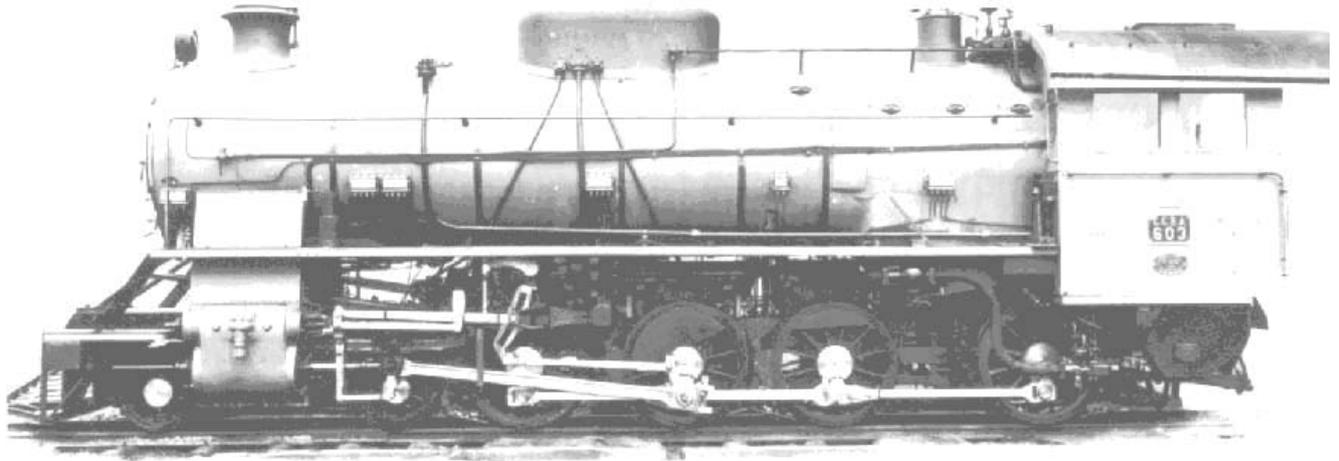


Fig. 594 – Locomotora 600 de la C.G.B.A., con engrasadores de mecha para las guías de las cajas de grasa.

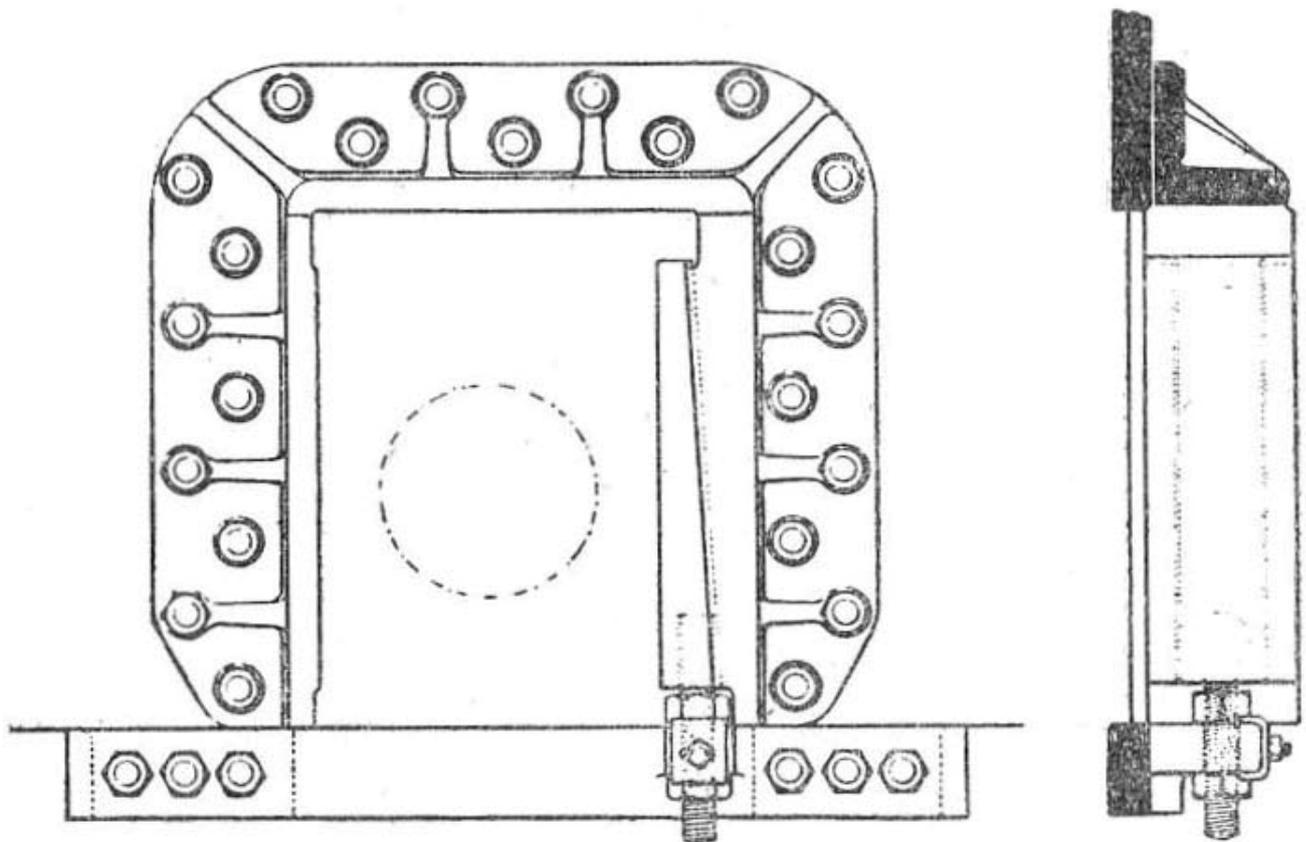


Fig. 595 – Cuñas de regulación de juego (según Herdner).

Se recomienda generalmente, para obtener un buen ajuste, llevar la cuña a tope hacia arriba, y luego inmovilizarla con ayuda de su tuerca y contratuerca, después de haberlo vuelto a bajar 5 mm. Como la pendiente normal de una cuña es de $1/20$ (a veces $1/16$), quiere decir que se deja un juego de $5 \times 1/20 = 0,25$ mm, luego de la regulación.

En los Estados Unidos, las cuñas tienen una pendiente mayor, $1/12$, lo que permite recuperar más rápidamente el desgaste; el desplazamiento de la cuña para obtener un mismo resultado es, con el resto de las piezas idénticas, por otra parte, alrededor dos veces menor.

En los Estados Unidos también, como consecuencia del empleo de la lubricación mediante grasa, la temperatura de régimen de las cajas alcanza un nivel bastante más elevado que con la lubricación con aceite.

Vehículo

Alcanza así, después de un determinado tiempo de marcha, 80 a 100° sobre la temperatura ambiente, en vez 25 a 45° con el engrase con aceite o con las cajas a rodillos. Resulta de estas dilataciones, que las cajas pueden engranarse en sus guías si el juego que tienen en frío no es suficiente. Ahora bien: este juego mínimo necesario se hace incompatible con una marcha suave, es decir, sin choque bajo la acción del esfuerzo motriz. En efecto, el acero de las cajas se dilata 1,1 mm por metro, para una elevación de temperatura de 100°, las cajas americanas, que tienen 700 mm aproximadamente de ancho, podrán dilatarse:

$$1,1 \times 07 = 0,77 \text{ mm}$$

Al añadir un juego mínimo de 0,25 mm, las cajas podrán tener, en frío, un juego de:

$$0,77 + 0,25 = 1,02 \text{ mm}$$

entre sus guías, juego obviamente excesivo.

Para evitar este inconveniente, se tuvo la idea de utilizar cuñas de regulación de juego automáticas. A tal efecto (fig. 596) la cuña se presiona constantemente hacia arriba, gracias a la acción de un resorte de tensión conveniente. Absorbe, pues, automáticamente, el juego que se produce a cada vuelta de rueda, entre la caja y su guía, cuando bajo la acción del esfuerzo motriz esta caja se encuentra presionada contra la guía opuesta. Esta cuña (2) es de acero o de fundición. Se interpone un inserto flotante (1) de bronce, entre la cuña y la caja. Su papel primordial es permitir a la caja oscilar libremente bajo el efecto de la flexión de los resortes de suspensión, sin arrastrar la cuña hacia abajo. Esto es posible, en particular, gracias a que el coeficiente de fricción, que es más bajo entre el bronce del inserto flotante y el acero o la fundición de la cuña que entre ésta y el acero del larguero.

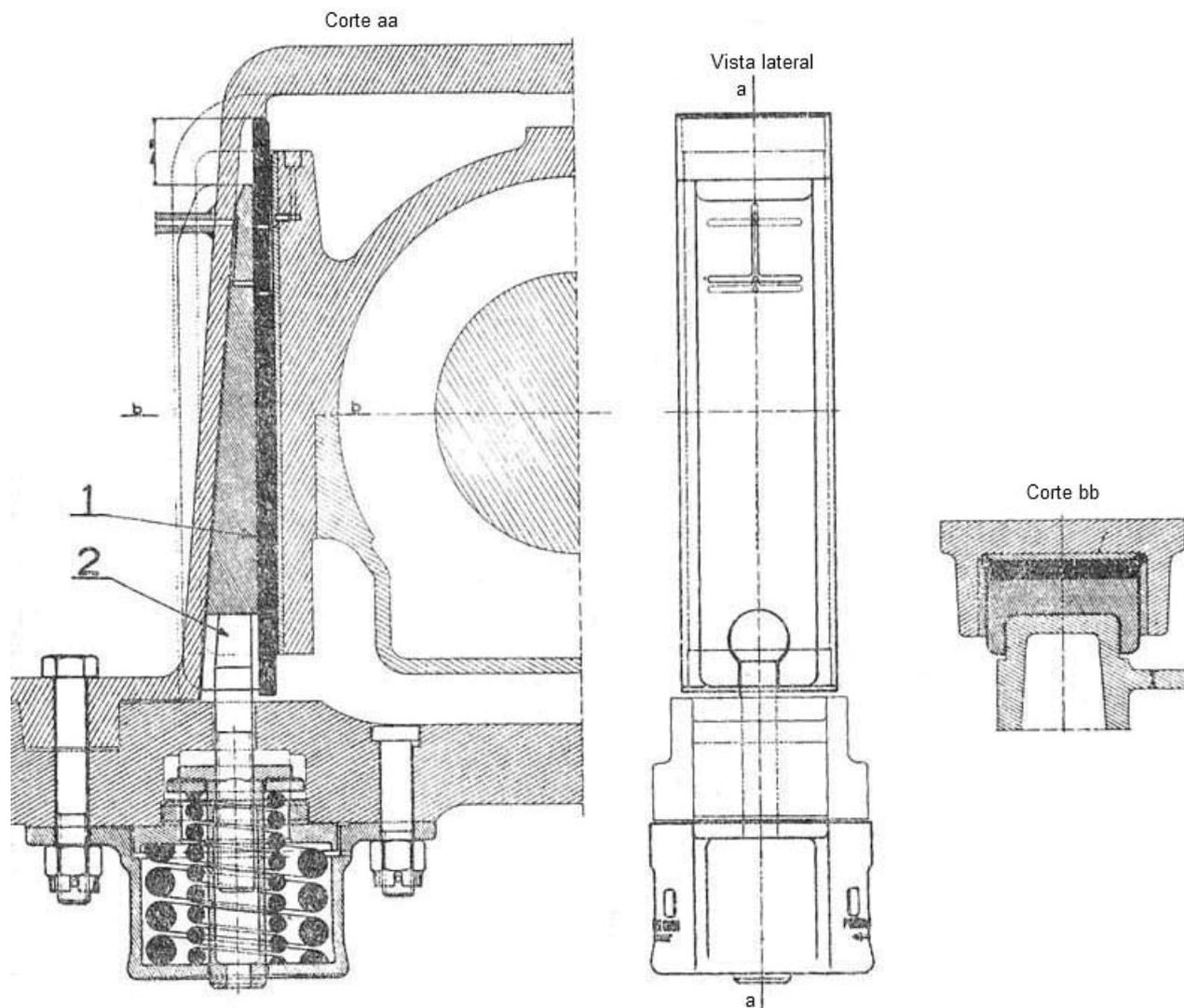


Fig. 596 – Cuña “Franklin” de regulación de juego automática (Montada en las locomotoras 152 de la S.N.C.F.).

Gracias a esta disposición, se obtiene una marcha suave de la locomotora en todos los casos, y la experiencia pone de manifiesto, efectivamente, que la cuña se desplaza progresivamente hacia abajo a medida que las cajas se calienten y que, al contrario, sube durante su enfriamiento en las paradas.

En Francia, se colocan las cuñas del lado delantero de las locomotoras, ya que los esfuerzos medios sobre las guías son un poco más grandes que los opuestos, y los desgastes tienden a acentuarse más.

Para terminar mencionaremos dos construcciones especiales de cajas:

a) La caja *Raymond* para ejes motores, se aplicó por la compañía del «Gran Central Belga» y todavía se emplea en las locomotoras alemanas. Consta de tres cojinetes: un cojinete superior horizontal, destinado a soportar la carga vertical, y dos cojinetes laterales, destinados a recibir los esfuerzos horizontales.

Uno de los cojinetes laterales se apoya directamente contra una de las paredes de la caja, el otro puede aproximarse, en caso de desgaste, por medio de una cuña de ajuste, colocada entre este cojinete y la caja. Los cojinetes de tres piezas han sido substituidos en la S.N.C.B. por cojinetes ordinarios de una pieza.

b) Ciertas locomotoras tienen un larguero central destinado, como hemos dicho, página 477, a descansar el eje acodado. Al atravesar este larguero, el eje lleva una caja de grasa provista de un resorte muy débil, la carga vertical que pesa sobre el eje en este lugar es pequeña al lado de los esfuerzos alternativos transmitidos por las bielas al eje; por esta razón, se han colocado al eje dos cojinetes con junta vertical (fig. 593). Se suprime el juego de estos cojinetes por medio de cuñas de corrección, porque para que el eje esté efectivamente descargado, el ajuste debe ser muy preciso.

130. Quita-piedras – El quita-piedras, situado delante de las ruedas, cuya función es apartar los obstáculos que puedan encontrarse sobre la vía, debe estar lo más próximo al carril para que resulta eficaz, pero hay que tener mucho cuidado para que no pueda tocarlo jamás, si, por causa de una fuerte oscilación o de una rotura de resorte, las cajas delanteras de la locomotora llegaran a caer al fondo de las guías en los largueros que constituyen el bastidor. Debe asimismo tenerse en cuenta la inclinación hacia delante que puede tomar todo el bastidor en semejante caso. Cuando los cojinetes, las manguetas y las llantas se gastan, la distancia del quita-piedras al carril disminuye: este efecto del desgaste puede obligar a recortarlos.

Los quita-piedras deben colocarse tan próximos como sea posible a las ruedas delanteras, para que no sufran desviación del eje del carril al paso por las curvas. La sujeción al bastidor debe ser muy sólida.

Las locomotoras americanas están provistas en su parte delantera de un apéndice destinado a rechazar hacia un lado los obstáculos, y sobre todo animales, que puedan encontrarse sobre la vía. Este apéndice, llamado *cow-catcher*, literalmente aparta-vacas, y en Argentina miriñaque, por analogía con la prenda femenina de igual nombre, está constituido por un enrejado de barras de madera o hierro. Era normal, en locomotoras equipadas con enganches tipo europeo, que los topes laterales se pudieran levantar hacia atrás, de modo que, en caso de embestir animales, especialmente vacunos, no se engancharan en dichos topes, y terminaran debajo de la locomotora, por los peligros de descarrilamiento que significaban.

131. Disposiciones para facilitar la circulación en curvas – Toda línea ferroviaria tiene curvas, raras o frecuentes, cerradas o de gran radio. Del mismo modo, si el camino es poco sinuoso, los cambios de vía y los empalmes en las estaciones presentan radios pequeños.

En el capítulo anterior hemos hecho observar que, en casi todos los vehículos de los ferrocarriles, las ruedas van acuñadas en los ejes, lo que las hace solidarias. Hemos dicho también que en las locomotoras, por lo general, los ejes se mantienen en su posición relativa, quedando paralelos entre sí sin tener ningún juego transversal.

En línea recta, esta construcción, lejos de presentar inconvenientes, es ventajosa porque asegura una guía regular y segura de la locomotora sobre la vía.

Vehículo

No obstante, con objeto de dar cierto acomodo al movimiento de la máquina, se deja un juego total de 6 a 25 mm entre los trenes de ruedas y los dos carriles.

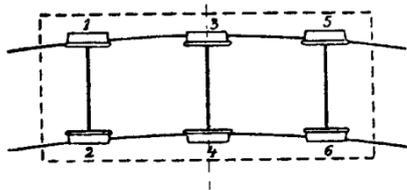


Fig. 597

En curva, por el contrario, no pudiendo variar con relación al bastidor la posición de los ejes, la máquina se desplaza entre los dos carriles como un rectángulo indeformable (figura 597). Si el radio de la curva es muy pequeño, las ruedas 1 y 5 serán empujadas contra el carril exterior y la 4 contra el interior. La distancia entre los ejes extremos se llama la *base rígida* de la locomotora.

Si la curva es de pequeño radio (100 metros, por ejemplo) y si la base rígida es algo importante (3 a 4 metros), el juego normal de 6 a 25 mm que se da en línea recta no será suficiente; las pestañas de las llantas rozarán contra los carriles al mismo tiempo que las cajas de grasa apretarán contra los largueros, dando por resultado fatiga y destrucción, lo mismo de la vía que de la locomotora; también se producirá una resistencia suplementaria de rodamiento, éste será penoso y los riesgos de descarrilamiento serán grandes.

El examen de la figura 597 demuestra que, para un radio dado, la dificultad de la circulación por la curva se debe:

- 1° A la rigidez del bastidor que mantiene los ejes paralelos entre sí.
- 2° A la longitud de la base rígida, tanto más importante cuanto mayor sea el número de ejes.
- 3° A la solidaridad de las ruedas, que obliga una de ellas a resbalar, puesto que la rueda sobre el carril exterior recorre forzosamente un camino más largo que el de la otra.

Si todos los ejes pudieran desplazarse debajo del bastidor como indica la figura 598, de modo que se colocaran en dirección del radio de la curva, el problema del paso por la curva estaría resuelto, salvo la tercera condición. Pero deseando ante todo conservar en la máquina la máxima rigidez, se recurre a uno u otro de los medios que expondremos, apropiados al radio de la curva y a la base rígida de la locomotora, unos convenientes para reducidas velocidades, otros más indicados para las grandes velocidades. Examinaremos a continuación los medios empleados para hacer posible el paso de las locomotoras por las curvas de pequeño radio.

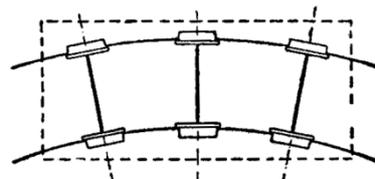


Fig. 598

132. Sobreancho de la vía. — Del examen de la figura 597 se desprende que puede, por lo pronto, actuarse sobre la vía. Claro está que si el juego de 6 mm entre los ejes y los carriles se aumenta a 60 mm, por ejemplo, la inscripción en la curva se hará más fácilmente; es lo que se hace en la práctica. El suplemento de ancho que se da a la vía se llama *sobreancho*. Es evidente que no puede exagerarse este sobreancho, porque si es útil para el paso de las locomotoras con base rígida grande, es perjudicial y puede presentar peligro, especialmente, para la circulación de los vehículos con ejes poco separados. Por lo general, este sobreancho no pasa de los 20 mm.

Si el sobreancho reglamentario no basta es preciso actuar sobre la máquina.

133. Reducción de la base rígida. — El primer procedimiento que se ocurre es reducir la base rígida aproximando los ejes tanto como sea posible, pero esto puede conducir a una máquina inestable a causa de las voladas que resultan adelante y atrás.

La reducción de base se emplea en las locomotoras-ténder destinadas al servicio de maniobras, pues circulan a poca velocidad y sus ruedas tienen un diámetro bastante pequeño para poderles dar sin inconveniente una base también pequeña.

134. Adelgazamiento de las pestañas. — Evidentemente no puede pensarse en separarse del perfil normal reglamentario de las llantas para asegurar la posición de la máquina en la vía y su cambio de dirección al circular en curva.

Por el contrario, la pestaña puede adelgazarse sin inconveniente en los ejes intermedios.

En los ferrocarriles belgas, la separación de las llantas de los ejes comprendidos entre dos ejes de posición rígida se ha elevado a 1 365 mm y el espesor de la pestaña se ha reducido como indica el trazado en trazos interrumpidos de la figura 627. (pág. 480).

El adelgazamiento interior de 2,5 mm facilita el paso en curva por los aparatos de la vía; la rueda, cuya llanta es retenida por su cara interior, se apoya sobre el contracarril, separándose así del carril una cantidad suplementaria de 2,5 mm. El papel del adelgazamiento exterior se reconoce fácilmente, el contacto de la pestaña con el carril interior es igualmente retardado.

En las locomotoras alemanas sólo se practica el adelgazamiento exterior; es de 5, 10 ó 15 mm según los casos (perfiles 2, 3 y 4; figura 599).

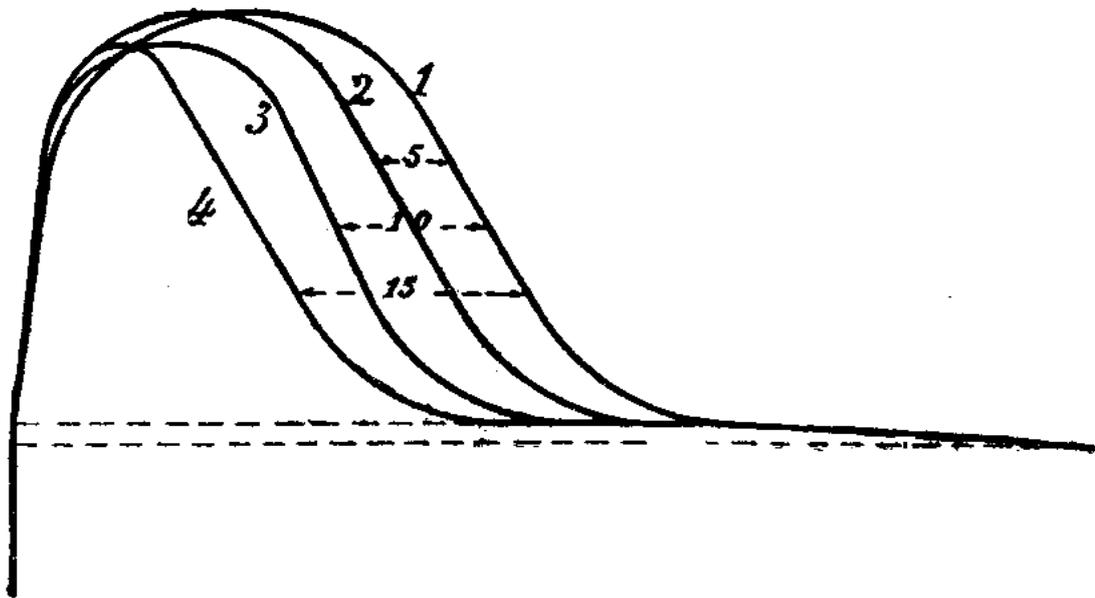


Fig. 599 — Adelgazamiento exterior de las pestañas de las llantas.

135. Supresión de las pestañas. — Se ha ido aún más lejos por este camino, llegándose a suprimir por completo la pestaña de las llantas en las ruedas intermedias. Actualmente este criterio apenas se emplea, excepto en América; por otra parte, sólo es admisible en el caso de tener la certeza de que las ruedas no pueden salirse de los carriles por el radio de curvatura.

Los tres últimos medios conservan a los ejes su rigidez completa. Son suficientes para la mayoría de las locomotoras con tres ejes cuya base rígida no sea superior a 4,50 m. aproximadamente (ejemplo: locomotora belga tipo 41).

Si la base rígida aumenta, y forzosamente debe ser así cuando crece la potencia de las máquinas, se sacrifica parcialmente la rigidez de los ejes dando una movilidad relativa a algunos de ellos; así se conserva de ordinario, en la base total, una base rígida reducida, compatible con el radio de la curva.

136. Juego transversal de los ejes. — El juego transversal suele darse al primer eje acoplado, y a veces al eje trasero, en ausencia de bissel o bogie. En cuanto este juego supera algunos milímetros, se lo controla para evitar un movimiento demasiado fácil del eje. Sobre las locomotoras más recientes construidas en los Estados Unidos, el juego transversal de los ejes sustituye sistemáticamente al adelgazamiento de las pestañas. Se constató, en efecto, que la superficie de rodamiento de las llantas provistas de tales pestañas se desgastaban más rápidamente que las de las provistas de pestañas normales; de ahí las desigualdades de diámetro, a veces acentuadas, existentes entre las ruedas de un mismo tren acoplado al cabo de un determinado tiempo de servicio. La misma técnica será aplicada a las locomotoras futuras de la S.N.C.F.

Se puede permitir que uno o varios ejes se desplacen en su propia dirección (figura 600) dando juego:

- a) A los cojinetes sobre los cuellos.
- b) A las cajas de grasa en sus guías.

Es lo que se ha hecho en la locomotora belga de maniobras de cuatro ejes acoplados tipo 53, destinada a circular constantemente en vías con curvas de 100 metros de radio; los tres primeros ejes tienen un desplazamiento normal de 4 mm, el eje posterior un desplazamiento de 14 mm.

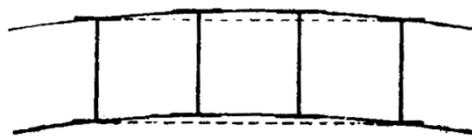


Fig. 600

Claro está que nunca se da juego transversal a los ejes motores atacados por las bielas motrices: lo exige el buen funcionamiento del mecanismo. Se dispone en forma que la locomotora tenga dos ejes con llanta normal y con desplazamiento transversal normal, suficientemente separados para asegurar una buena inserción en la vía.

Para poder proporcionar un desplazamiento transversal a algunos ejes acoplados debe darse un juego correspondiente a los cojinetes de las bielas de acoplamiento en sus gorriones, o se dispone de una articulación con eje de giro vertical.

Si el desplazamiento transversal del eje es importante, es preciso que a la salida de la curva el eje esté solicitado enérgicamente para volver a ocupar su posición normal; en otras palabras, debe emplearse un dispositivo antagonista que vuelva el eje a su posición en recta.

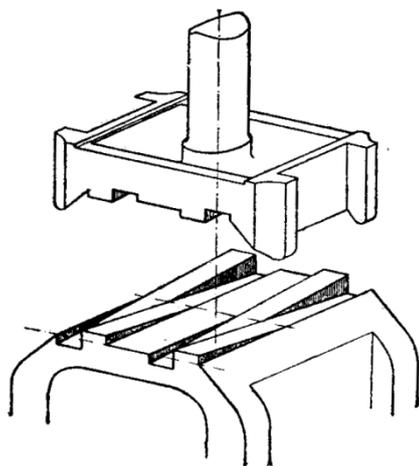


Fig. 601 – Dispositivo antagonista de planos inclinados (eje trasero de la locomotora belga tipo 10)

Esta corrección de la posición del eje se puede realizar de diferentes maneras. El procedimiento ordinario consiste en el empleo de planos inclinados, situados en la parte superior de las cajas (fig. 601); es el sistema aplicado en el eje libre colocado debajo del hogar de la locomotora belga tipo 10, para el cual el juego entre las guías y la caja de grasa es de 75 milímetros.

Cuando la pestaña de la llanta aprieta contra el carril, el eje se desliza debajo del bastidor arrastrando su caja, el plano inclinado de la caja levanta la columna del resorte retenida al bastidor por una guía vertical, el resorte se tensa y, así que la locomotora sale de la curva, el exceso de tensión hace bajar la columna haciendo volver la caja a su lugar. Estos planos inclinados deben lubricarse correctamente para deslizarse libremente.

Si no existe este dispositivo antagonista, el empuje del carril sobre la rueda no actúa útilmente para hacer girar la máquina en el sentido de la curva hasta que el desplazamiento del eje es completo; esta acción llega tarde y es brutal; gracias al dispositivo antagonista, el empuje se ejerce desde el principio del desplazamiento y es progresivo.

El desplazamiento de los ejes en su propia dirección basta en muchos casos para evitar la deformación de la vía y del bastidor, así como para evitar los descarrilamientos; pero sólo resuelve el problema de la circulación por las curvas de un modo imperfecto. Quedando los ejes paralelos entre sí, las ruedas atacan siempre el carril exterior bajo un ángulo bastante grande, lo que ocasiona un gran rozamiento, de donde resulta una resistencia considerable al rodamiento.

A veces se prefieren los resortes de retorno, como lo muestra la figura 602, relativa al primer eje acoplado de las locomotoras con tender 050 del Midi y 050 de maniobra de la S.N.C.F. La figura 603 muestra otra disposición seleccionada para las cajas a rodillos de las locomotoras futuras del S.N.C.F.

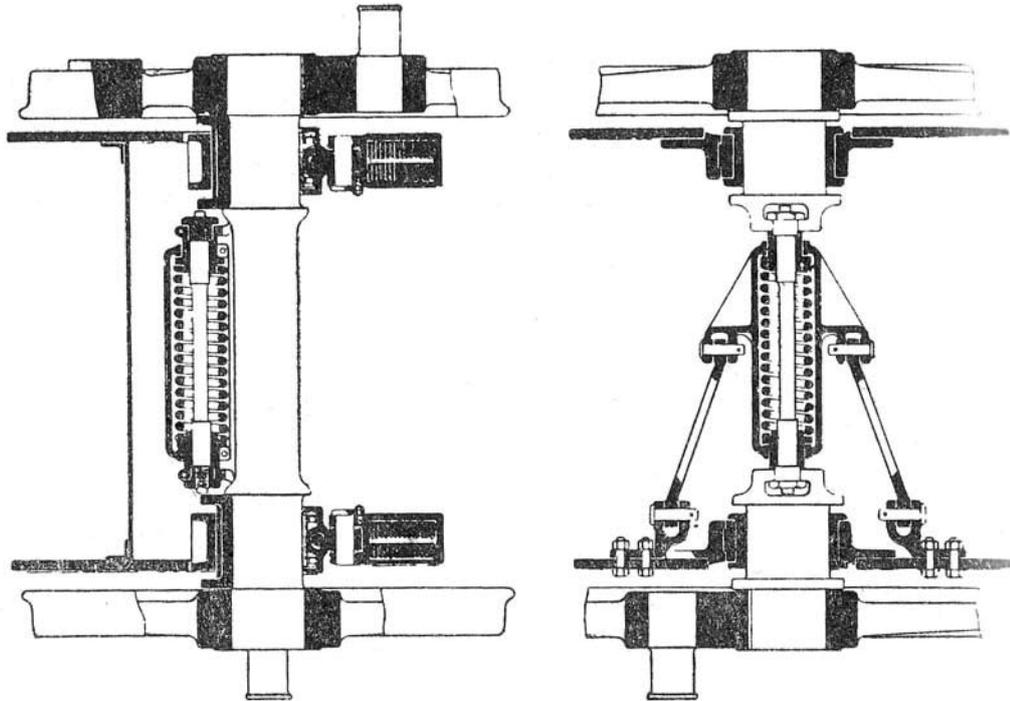


Fig. 602 – Retorno a resorte del primer eje acoplado de las locomotoras-tender 050 del Midi (según Herdner).

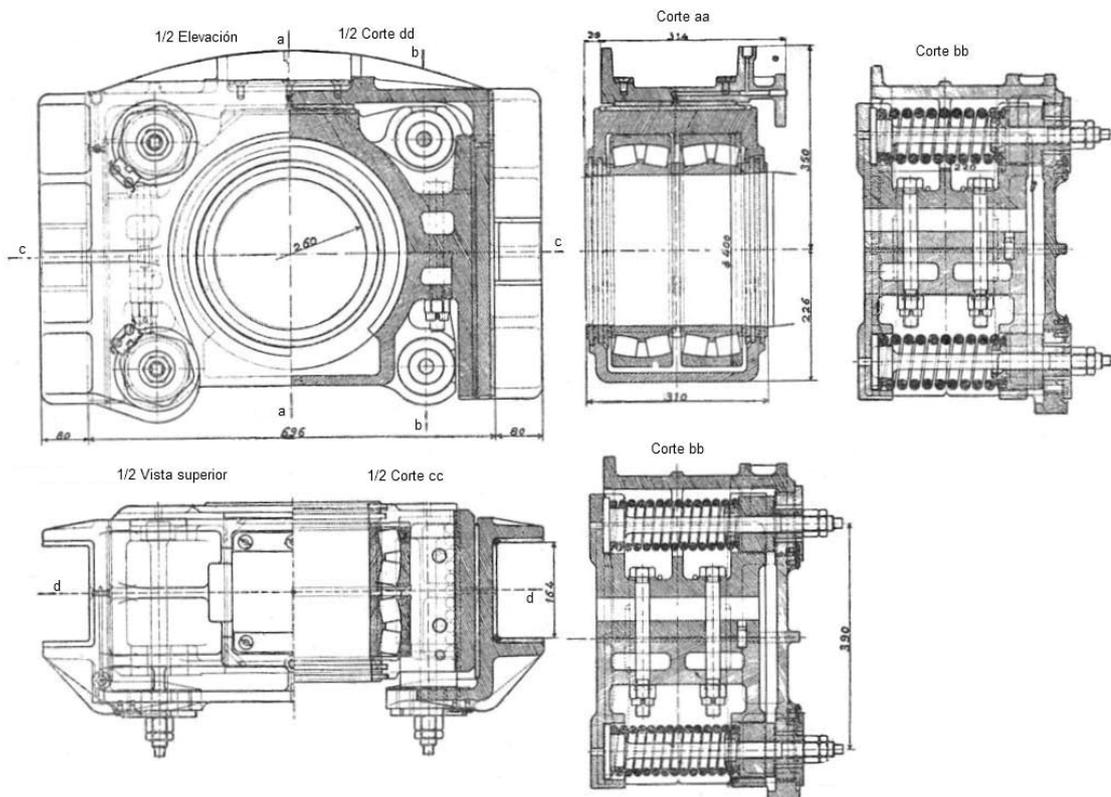


Fig. 603 – Caja a rodillos SKF con antagonismo por resortes, de los ejes acoplados de las locomotoras 152 de la SNCF.

Vehículo

Por fin, en la disposición de la figura 604, instalada con éxito sobre las locomotoras 150 (6001 a 6070) del P.O., y adoptada en las locomotoras 160 A1 de la misma red, el antagonismo se opera con ayuda de dos bielas dobles tt colocadas una y otra por una y otra parte la caja.

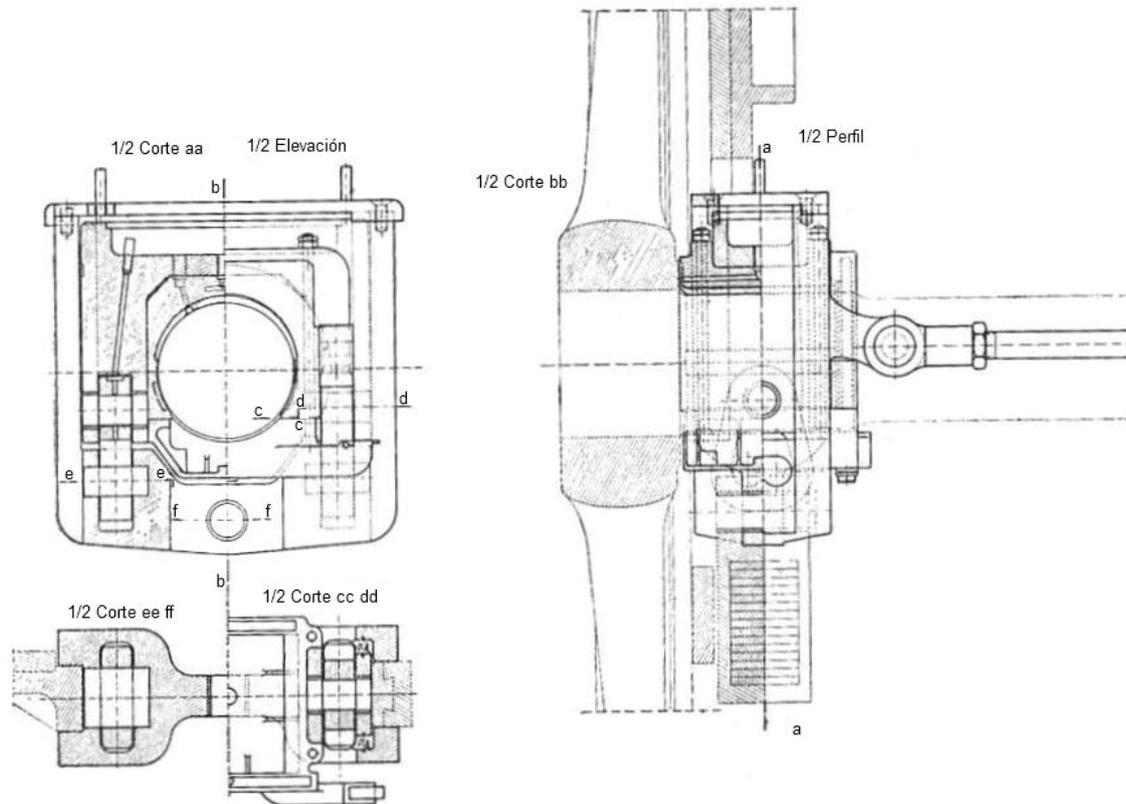


Fig. 604 – Antagonismo por bieletas de las cajas de las locomotoras 150 A y 160 A1 del P.O.

En las disposiciones que vamos a describir, el eje viene a situarse en la dirección del radio de la curva.

137. Bogies. — Un procedimiento superior a los otros, para facilitar la inscripción de la máquina en las curvas, consiste en el empleo de un *bogie*, como se le designa corrientemente aceptando la palabra francesa.

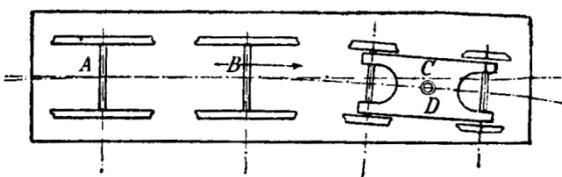


Fig. 605 — Esquema de una locomotora con bogie.

El bogie es un pequeño vehículo de dos ejes⁽¹⁾ próximos, que, en algunas aplicaciones antiguas de las locomotoras, se articulaba simplemente sobre un pivote central o rangua, actuando el peso de la locomotora sobre el centro, o sobre los dos lados.

Esta articulación no deja al bogie de la locomotora toda la libertad deseable para que se inscriba bien en las curvas y se adapte a desigualdades de la vía; además no amortigua los choques de las pestañas contra los carriles que resultan de la lanzadera. Por eso da al bogie un desplazamiento transversal con relación al bastidor de la locomotora, dotándolo de un mecanismo antagonista que tienda a volverlo constantemente hacia la posición central, y que puede ser producido por medio de resortes especiales, de bielas de suspensión, de rótulas, o de planos inclinados.

Resumiendo, el bogie se mueve de dos maneras:

- 1º Girando sobre sí mismo un cierto ángulo.
- 2º Moviéndose en sentido lateral, es decir, paralelamente a sus ejes.

1. Los bogies empleados en los coches tienen a veces tres ejes. Lo mismo ocurre sobre dos recientes locomotoras del Pennsylvania, una del tipo 6-4-4-6 de cuatro cilindros, todos exteriores, con bastidor rígido, y otra del tipo 6-8-6 a turbina, sin condensador

Examinemos cómo se realizan prácticamente estas dos condiciones, limitando nuestro examen al estudio de algunos tipos de bogies.

a) *Bogie de apoyo central plano con resortes de suspensión combinados mediante balancines y antagonismo por bielas verticales* (figs. 606). — En la suspensión por bielas verticales, la parte intermedia, que gira alrededor del pivote fijado en el bastidor de la locomotora, y que recibe su peso, está vinculada al bogie por cuatro bielas verticales que le transmiten la carga, permitiendo al mismo tiempo su desplazamiento lateral.

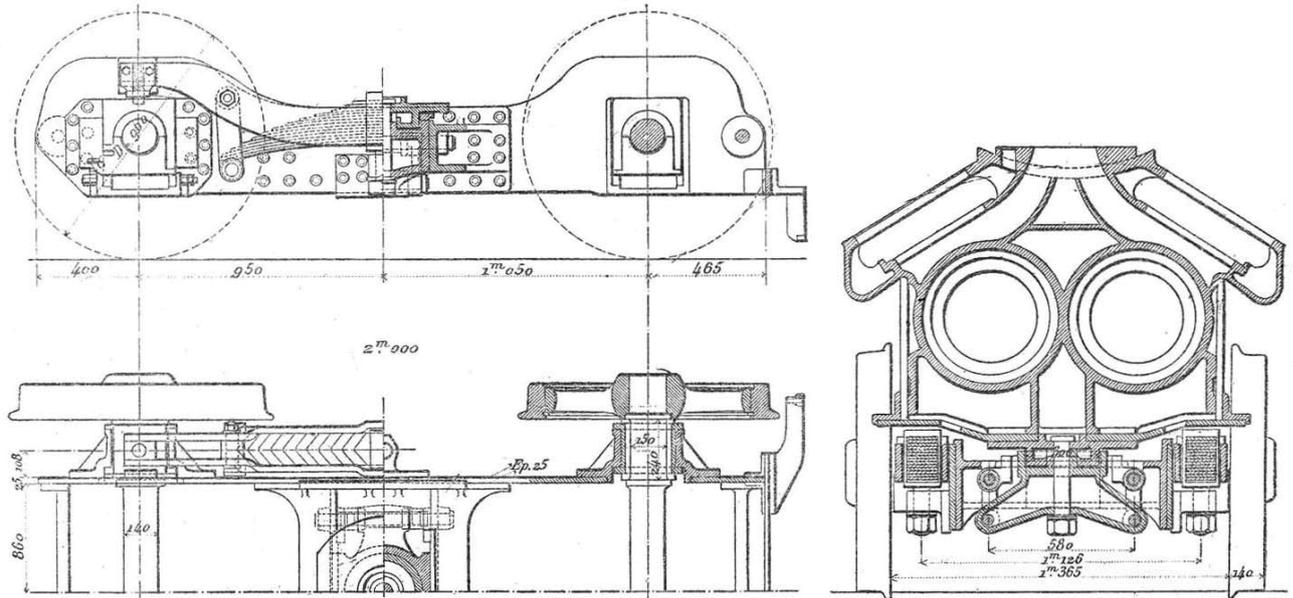


Fig. 606 – Bogie con bielas verticales de l'Ouest.

En su posición media, estas bielas son verticales, como en la figura 606. En un desplazamiento, el eje transversal que une los centros de las articulaciones superiores de las bielas, sobre el bogie, sigue siendo paralelo al eje que une los centros de sus articulaciones inferiores, sobre la pieza intermedia, ya que las bielas se inclinan en el mismo sentido. La oblicuidad que toman las bielas acerca a estos dos ejes, es decir, levanta, con relación al bogie, la pieza intermedia y, por lo tanto, el bastidor de la locomotora, cuyo peso tiende a retornar al sistema a su posición normal.

Se puede pensar también que este desplazamiento relativo podría consistir en un descenso del bastidor del bogie, no levantándose el de la locomotora: en ese caso, la flexión de los resortes sobre las cajas de los ejes del bogie aumenta, y es la tensión suplementaria de estos resortes la que retorna al sistema a su posición media. En la realidad, los dos efectos se combinan.

Con las bielas verticales, el desplazamiento vertical es nulo al principio del desplazamiento transversal, y la resistencia a este desplazamiento se debe a que a las fricciones aumentan más rápidamente que el desplazamiento.

El antagonismo mediante bielas paralelas se ha abandonado generalmente sobre las locomotoras modernas, ya que la ausencia de esfuerzo inicial es incompatible con las condiciones de seguridad sobre las locomotoras largas y pesadas.

b) *Bogie de apoyo central esférico con resortes de suspensión independientes y antagonismo por bielas inclinadas* (fig. 607). — Un pivote *P* fijo al bastidor de la locomotora apoya por una superficie esférica sobre una rangua de igual forma, colocada en el centro del bogie.

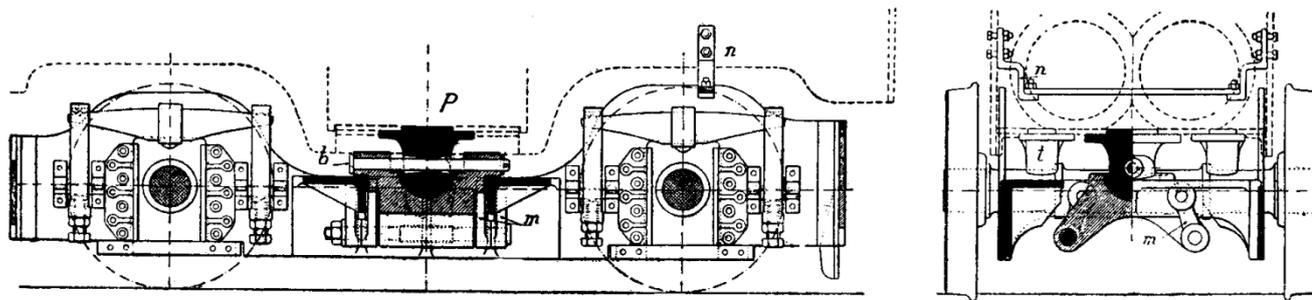


Fig. 607 – Bogie de la locomotora belga tipo 9, con apoyo central esférico.

Esta rangua o quicionera va suspendida, por cuatro pequeñas bielas *m* inclinadas, sobre la pieza de acero moldeado que arriestra los largueros del bogie, en forma tal que flota en cierto modo en sentido transversal en el centro del bogie; pero cuando se desplaza, dos de las bielas se inclinan más, mientras que las otras tienden a levantarse, lo que produce la elevación de la rangua.

Los largueros del bogie apoyan sobre las cajas de grasa por medio de cuatro elásticos de ballesta independientes. Cualquiera que sea la inclinación que el bastidor de la locomotora tome con relación al del bogie, la transmisión de la carga del pivote a la rangua se hace siempre en buenas condiciones gracias a la forma esférica del pivote; de lo que se deduce que, a pesar de la independencia de los cuatro resortes de suspensión, el reparto de la carga se realiza en condiciones favorables.

Como ha podido verse, las dos condiciones exigidas a un bogie quedan satisfechas: en curva, primeramente gira; después, gracias al modo de suspensión de la rangua, puede desplazarse transversalmente para poder seguir la curvatura de la vía, quedando el pivote fijo en el eje de la máquina.

Un pasador horizontal *b*, fijado a dos orejas fundidas con la rangua, impide que el bogie abandone la locomotora, cuando ésta se levanta, al descarrilar, por ejemplo. Unos topes *n* limitan el desplazamiento transversal a 65 mm en cada sentido. Finalmente, unos topes *t* limitan los movimientos de oscilación de la locomotora respecto al bogie.

Si estos topes no existiesen, el bastidor del bogie podría inclinarse exageradamente respecto al bastidor principal, a la entrada de una curva, por ejemplo, en el sitio donde empieza el peralte; el larguero del bogie podría tropezar con el larguero de la locomotora y quedar en la imposibilidad de desplazarse, estando materialmente enclavado por el bastidor de la máquina, y el descarrilamiento sería inevitable.

Este tipo de bogie se aplica a las locomotoras belgas tipos 9 y 10.

En el desplazamiento transversal del bogie, el eje que une las articulaciones superiores de las bielas no sigue siendo ya paralelo al eje que une las articulaciones inferiores, puesto que una de las bielas se inclina aún más, mientras que la otra se acerca a la vertical y el eje transversal del bastidor del bogie se inclina con relación al eje transversal del de la locomotora: los resortes de suspensión del bogie se comprimen aún más del lado interior de la curva recorrida, mientras que se descargan del lado exterior. Una acción análoga se produce, en sentido opuesto, sobre el bastidor de la locomotora, cuyos resortes se comprimen del lado exterior de la curva y se descargan del otro. Pero este movimiento tiene una menor amplitud que sobre el bogie, debido a la mayor carga de los resortes de la locomotora.

Al mismo tiempo se produce una determinada elevación del bastidor de la locomotora con relación al del bogie, que se debe a que la elevación de la articulación superior de las bielas colocadas del lado exterior de la curva es menor que el descenso de esta articulación para las bielas opuestas.

La acción de los resortes de suspensión, combinada con la elevación del bastidor de la locomotora, tiende a retornar al bogie a su posición media.

c) *Bogie de apoyo central plano con resortes de suspensión combinados con balancines y antagonismo por resortes laterales.* – En este caso, el sistema incluye: un pivote fijado al bastidor de la locomotora, dos guías transversales fijadas al bogie, y una pieza intermedia, montada entre el pivote y las guías.

La figura 608 da un ejemplo de la disposición del mecanismo antagonista, producido por dos resortes de ballesta, combinados. La brida de cada resorte es solidaria con un travesaño que, en la posición normal (la de la figura), la lleva a su vez contra la pieza intermedia y contra el borde dentado mecanizado en las guías transversales del bogie. Los extremos de los resortes son unidos por tensores regulables a tornillo, que permiten darles una carga inicial (1 500 kg para el bogie de la figura 604).

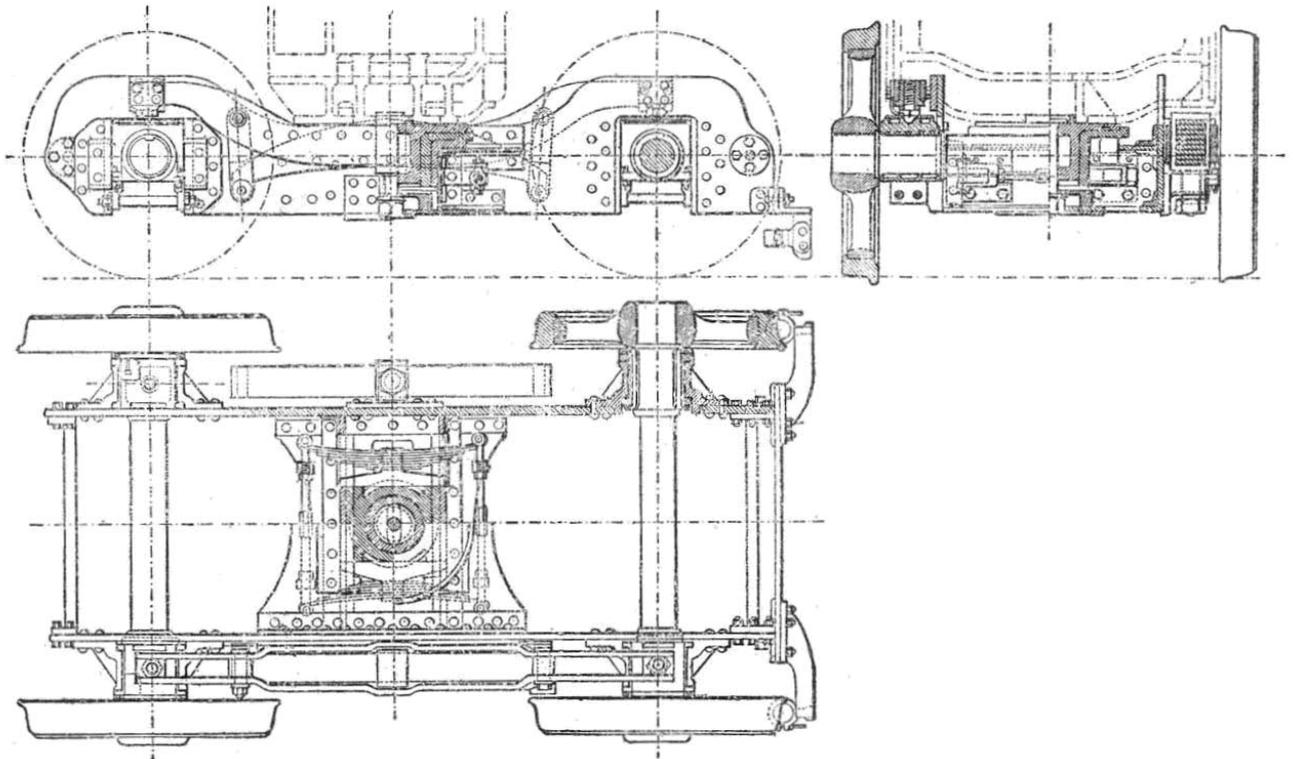


Fig. 608 – Bogie de desplazamiento transversal de las locomotoras del Ouest; semi-elevación longitudinal; semi-corte longitudinal; semi-planta; semi-corte horizontal; semi-cortes transversales.

Cuando el bogie se desplaza transversalmente, uno de los resortes sigue presionando contra la pieza intermedia que rodea el pivote, pero el otro, arrastrado por las guías, se aleja: los centros de los resortes se flexionan, y su tensión aumenta a partir de 1.500 kg.

El peso de la locomotora se transmite al bogie por medio del pivote y la pieza intermedia: con dos ejes cuyos resortes de suspensión se combinan con balancines, la carga se basa en tres puntos solamente y la distribución es invariable, cualquiera que sean los desniveles de los rieles.

d) *Bogie de apoyo central plano, con suspensión conjugada y antagonismo por resortes helicoidales laterales* (fig. 609). — Se pueden emplear resortes helicoidales en vez de elásticos: la figura 535 muestra la aplicación a un bissel de eje único. Al bloque de los cilindros va unido un pivote cilíndrico *P*, que descansa por una superficie circular plana sobre la rangua representada en negro en la figura.

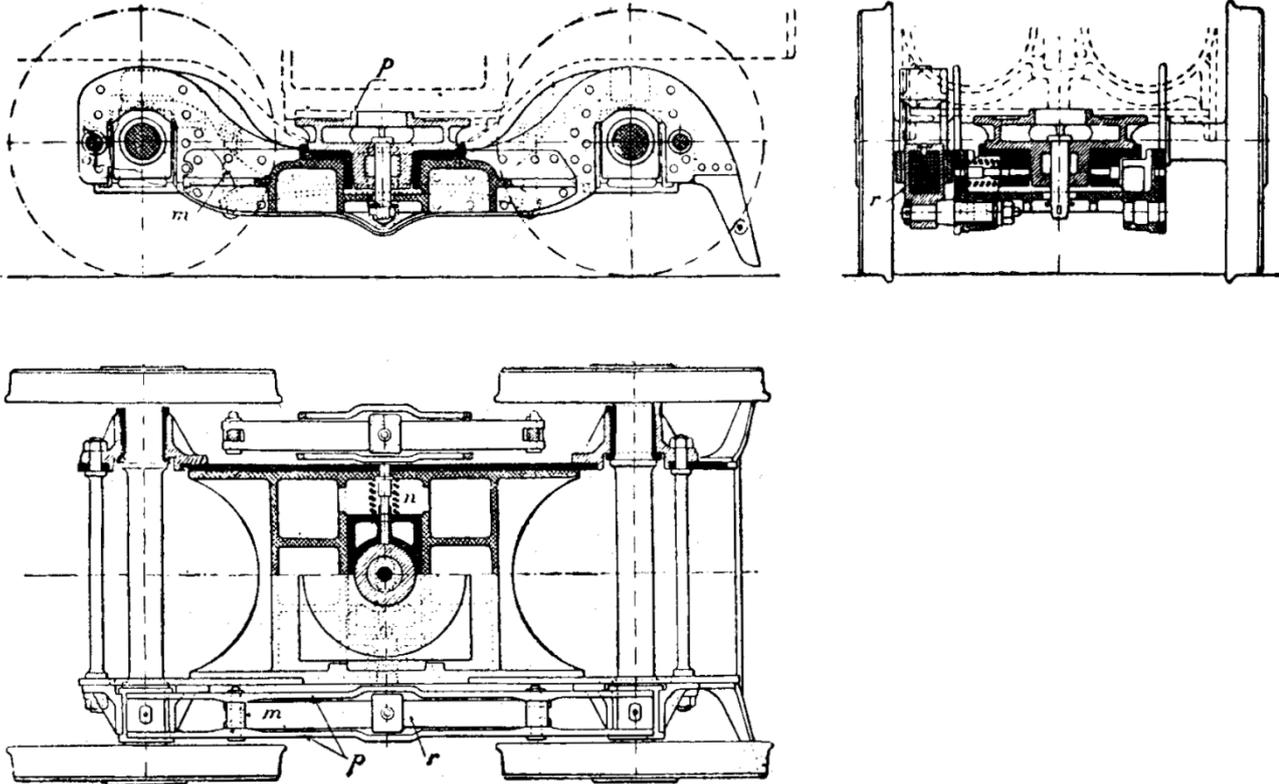


Fig. 609 – Bogie de la locomotora belga tipo 38, con apoyo central plano/

La rangua descansa sobre la riostra de acero moldeado que reúne los largueros del bogie, pudiéndose desplazar transversalmente una cierta cantidad sobre esta pieza que forma patín, pero el deslizamiento es contrarrestado por unos resortes helicoidales *n*, dispuestos horizontalmente.

Por ambos lados, el bastidor apoya sobre las cajas por el intermedio de un solo resorte de láminas *r* colocado en posición invertida, cargado en su mitad y suspendido por dos bielas *m* de un balancín. Éste está formado por dos chapas, entre las cuales pasan las bielas, y apoya por sus dos extremos sobre las cajas, como se representa en la figura 529, página 460.

Este resorte de láminas desempeña el papel de un balancín, pues asegura la invariabilidad en el reparto de pesos sobre las dos ruedas de un mismo lado. Las cuatro ruedas de este bogie tienen, pues, aproximadamente una carga constante.

El empleo de una gran superficie de apoyo está justificado, pues así se asegura una suficiente estabilidad al mismo bastidor del bogie, que, es conveniente hacerlo observar, sólo apoya sobre los dos pivotes de los resortes *r*, alrededor de los cuales podría girar.

Un pasador atraviesa el pivote y permite el levantamiento simultáneo del bogie y de la locomotora.

El sistema de antagonismo por resortes da lugar a una observación: hasta admitiendo que los dos resortes se hayan colocado con la misma presión inicial, ésta se conserva difícilmente igual, para los dos, de modo que, si el resorte de la derecha, por ejemplo, es más fuerte que el otro o se rompe, el bogie constantemente estará aplicado sobre la fila de carriles de la izquierda, y viceversa. El sistema de llamada por bieletas es, pues, superior; el peso, fuerza invariable, es lo único que interviene para asegurar el antagonismo.

Este bogie es el de las locomotoras belgas tipo 18.

e) *Bogie con pivote descargado, simplemente director, con suspensión conjugada y antagonismo por resortes laterales.* — Describiremos, a título de ejemplo (fig. 610), el bogie de la locomotora belga tipo 64, cuya disposición es corriente en las locomotoras alemanas.

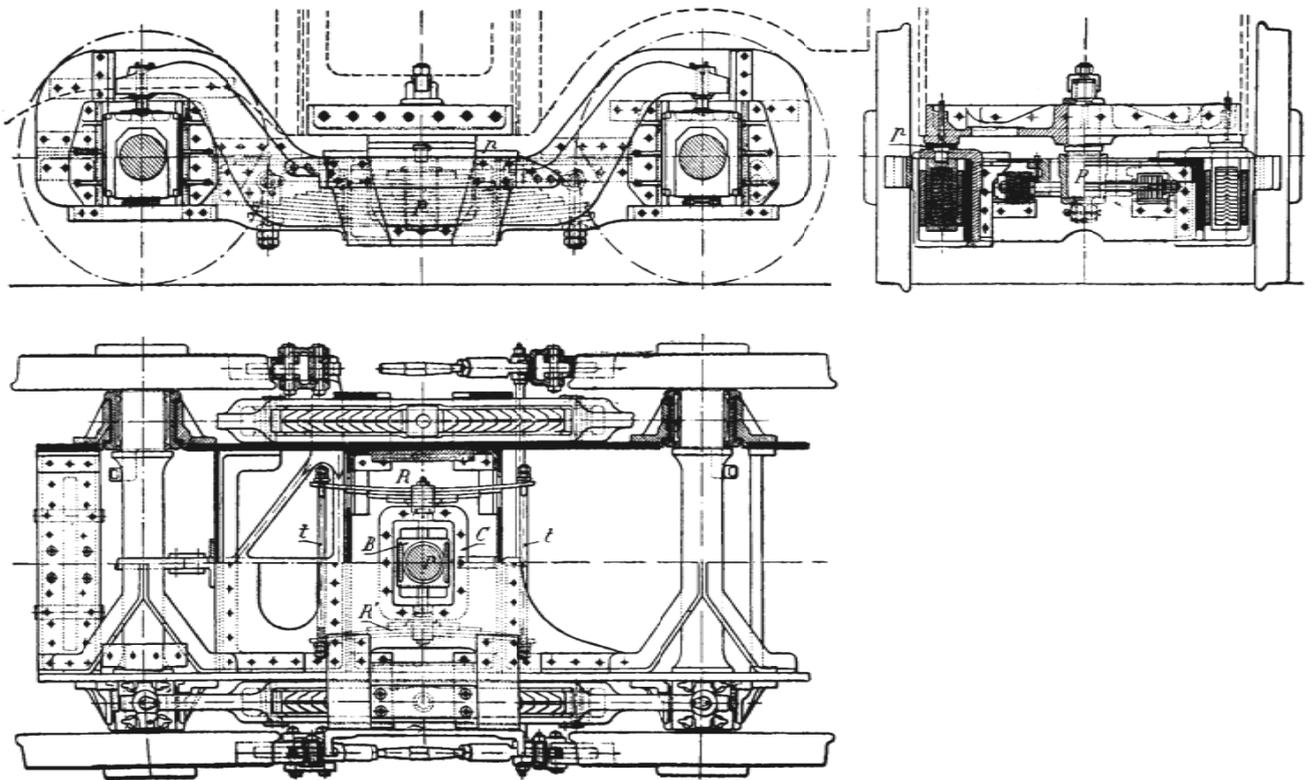


Fig. 610 – Bogie de las locomotoras belgas tipo 64, con pivote director.

La carga se transmite al bogie por la parte anterior del bastidor principal de la máquina, por el intermedio de dos patines p que pueden experimentar cierto deslizamiento en el sentido transversal, según el juego que se dé al bogie. Esta carga se transmite a cada eje del bogie por dos fuertes resortes laterales formando balancines. En esto, la disposición se asemeja bastante a la del bogie del tipo 18 (fig. 609). Aquí, sin embargo, el pivote P sólo asegura la dirección de la máquina, no sostiene ninguna carga. En su parte superior está sólidamente introducido en una riostra del bastidor principal de la máquina; inferiormente desliza a rozamiento suave en una caja B , la que a su vez puede deslizar transversalmente por el interior de un marco C rectangular, que forma cuerpo con el bastidor del bogie. La fuerza antagonista se obtiene por dos resortes conjugados R y R' , cuyos extremos se unen dos a dos mediante unos tirantes t que llevan tuercas de ajuste y regulación.

Como demostraremos más adelante, este antagonismo por resortes se distingue del bogie de la figura 609 por el hecho de que en este último sistema el esfuerzo inicial es nulo, mientras que aquí este esfuerzo tiene un valor bastante grande ya al principiar el desplazamiento.

f) *Bogie de apoyos laterales y guía central plana, con suspensión conjugada y antagonismo por resortes helicoidales laterales.* — En el bogie alsaciano, muy extendido en Francia (P.O., Nord, Est, Midi) y con ligeras diferencias en Alemania, el pivote no soporta la carga, dado que se transmite ésta al bastidor del bogie por dos espigas hemisféricas (fig. 611) descansando sobre dos tazas simplemente apoyadas sobre el travesaño del bastidor del bogie y libres de moverse horizontalmente en todos los sentidos.

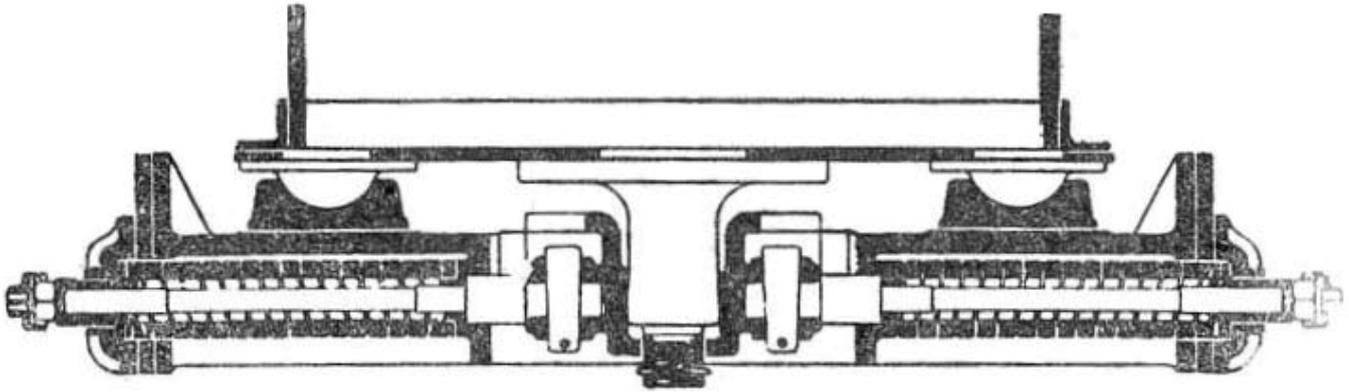


Fig. 611 – Bogie Alsaciano. Corte por el pivote (según Herdner).

El antagonismo se produce con ayuda de dos resortes, helicoidales o ballestas, cuyos extremos también se combinan, con el fin de hacerlos trabajar simultáneamente.

g) *Bogie de apoyo central plano con resortes de suspensión combinados mediante balancines y antagonismo por planos inclinados* (figs. 612). — El mecanismo de antagonismo de los bogies de las locomotoras P.L.M. funciona mediante planos inclinados. Este bogie (fig. 612) se carga en su centro por intermedio de un pivote hemisférico, fijado en el bastidor principal de la locomotora, y apoyado sobre el asiento correspondiente; A su vez, este asiento se apoya en una pieza intermedia, que se desplaza entre dos guías transversales, que forman parte del bastidor del bogie (fig. 613). La parte intermedia se apoya sobre planos inclinados y se eleva sobre el plano central, o sobre los dos planos laterales, según el sentido del desplazamiento. La inclinación de estos planos es del 22% sobre las Pacific y Mountain, del 15% sobre las Ten-Wheel y del 10% sobre las 242 ténderes.

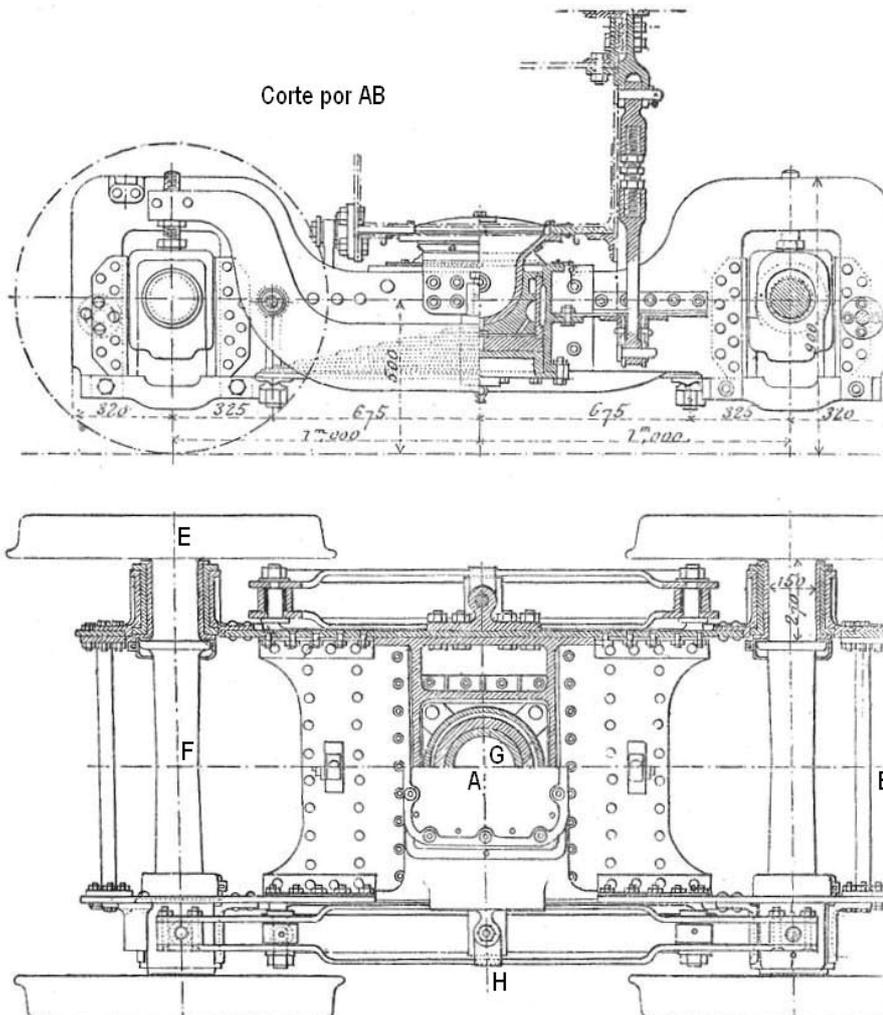


Fig. 612 – Bogie de las locomotoras P.L.M.

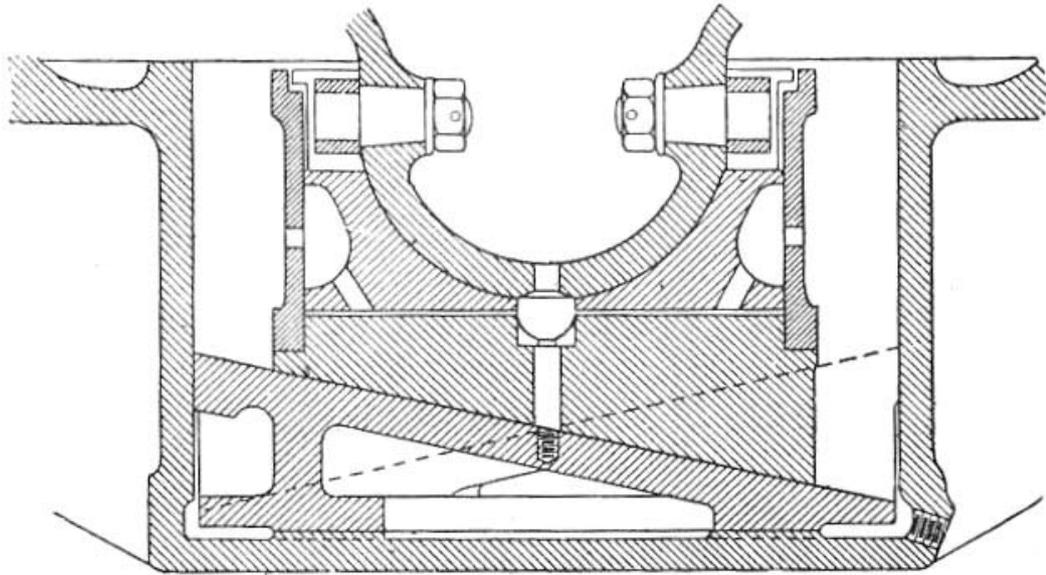


Fig. 613 – Montaje del pivote del bogie P.L.M. De arriba hacia abajo: pivote hemisférico fijado en el marco bastidor principal, con rodillos laterales; asiento adaptado sobre el pivote; pieza intermedia, pudiendo girar en torno al eje del pivote; planos inclinados fijados en el bastidor del bogie, con desplazamiento transversal. Una cubierta, rodeando el asiento y la pieza intermedia, se opone al deslizamiento transversal de una de estas partes sobre otro.

Además, el contacto del asiento y la pieza intermedia tiene lugar siguiente dos superficies helicoides (fig. 614), elevándose una a la derecha otra a la izquierda, y funcionando, en la rotación del bogie en torno al eje vertical, de manera análoga a los planos inclinados: el bastidor principal se levanta así con relación al bogie, por la rotación y por el desplazamiento transversal. El paso sobre las caras helicoidales es de 80 mm, por lo que la elevación debida a la rotación sería de 80 mm, para una vuelta completa, si pudiera producirse: como el ángulo de rotación es siempre pequeño, esta elevación es escasa.

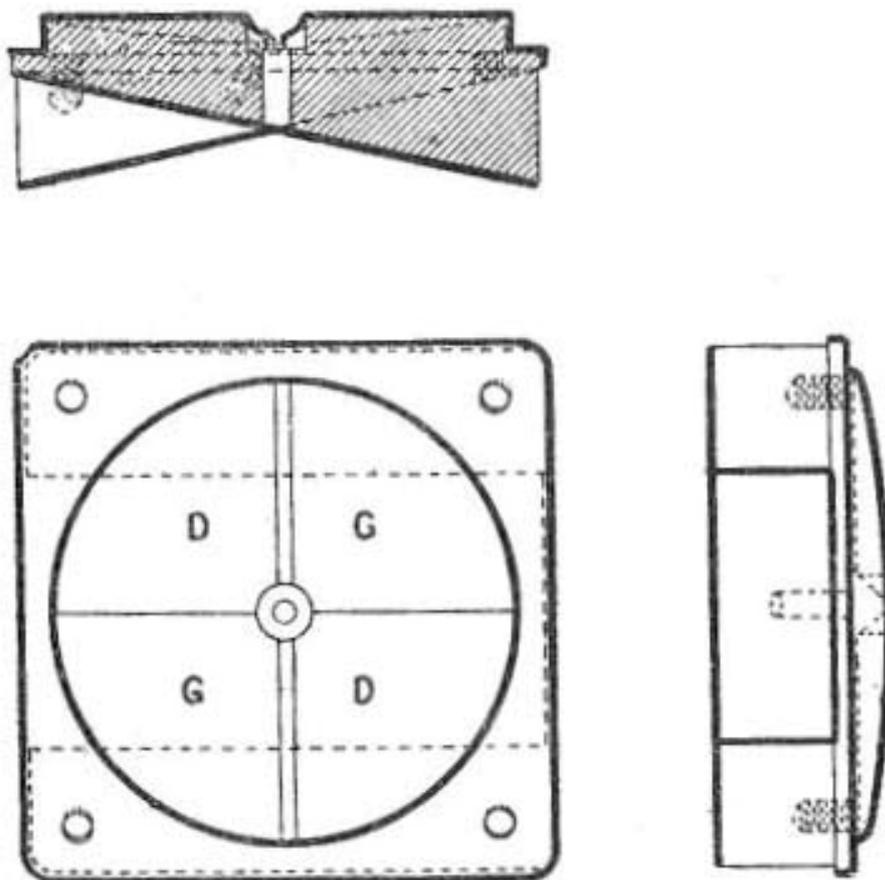


Fig. 614 – Bogie P.L.M.; pieza intermedia entre el bastidor principal y el bogie; D, D, superficies helicoides con paso a la derecha; G, G, con paso a la izquierda.

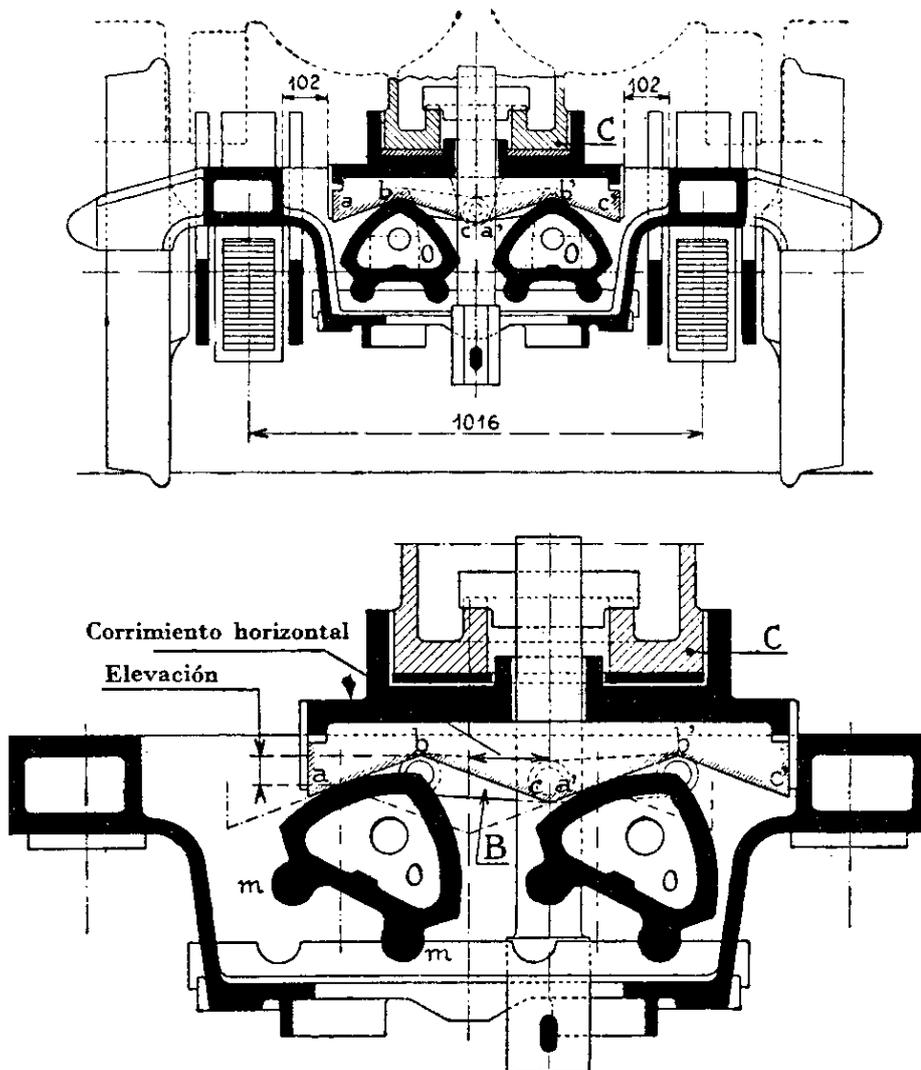
Vehículo

Se ve que el apoyo no debe girar alrededor del pivote, que lo mantiene en posición mediante dos rodillos laterales. Realmente, la articulación del pivote sobre el apoyo no juega de papel importante sobre los desplazamientos principales del bogie; pero no es menos útil, permitiéndole inclinarse transversalmente sobre los enlaces con las curvas y alineaciones, y en caso de desigualdades de las vías. Permitiría también otro movimiento, que es importante evitar, la elevación o el descenso de la parte delantera del bogie, al cual el método de suspensión, sobre resortes cargados en su parte media (en H, fig. 612), no se opone. Para impedir este movimiento, una biela vertical, visible sobre la figura entre el pivote y el eje delantero, vincula el bogie al bastidor de la locomotora; es lo bastante larga como para no obstruir los desplazamientos útiles. Otra biela, más corta, pero cuyas articulaciones tienen mucho juego, vinculan así mismo el bogie al bastidor, en la zona del pivote, para el caso accidental en que el pivote se levanta sobre su asiento.

La figura muestra cómo un único resorte de suspensión está cargando las dos cajas vecinas por medio de un balancín de dos brazos.

El bogie P.L.M. es del tipo a antagonismo constante, condición favorable a una buena guía de la locomotora. El esfuerzo inicial puede a veces encontrarse muy aumentado como consecuencia de fricciones importantes, que pueden tener origen entre las superficies en contacto.

h) *Bogie de antagonismo constante sistema Woodard de las locomotoras belgas tipos 1 y 12.* — La figura 615 enseña cómo se aplica la carga por medio de una rangua C que descansa por los planos abc, a'b'c' inclinados a 40 % sobre dos rótulas O, de forma ojival.



Figs. 615 – Bogie anterior de antagonismo constante de la locomotora belga tipo 1

En curva, las rótulas ruedan sobre estos planos inclinados basculando alrededor de una u otra de las patas esféricas *m* que llevan los extremos de su base. Estas patitas se apoyan en las concavidades correspondientes que lleva el travesaño del bastidor del bogie.

La carga de la locomotora se aplica, pues, sobre las rótulas constantemente con el mismo brazo de palanca, lo que da lugar a un esfuerzo antagonista constante.

Las bielas B siguen el movimiento solidario de las rótulas. Las rótulas levantan la delantera de la locomotora hasta un máximo de 42 mm.

La fuerza antagonista que ejercen es de

$$26 \text{ ton} \times 0,40 = 10,4 \text{ ton}$$

El bastidor del bogie es monoblock, de acero moldeado. Pesa 1 770 kg, incluyendo rangua y rótulas. Insiste sobre la parte superior de las cajas de grasa con rodillos por intermedio de resortes de láminas, alojados entre las planchas de los balancines longitudinales de suspensión.

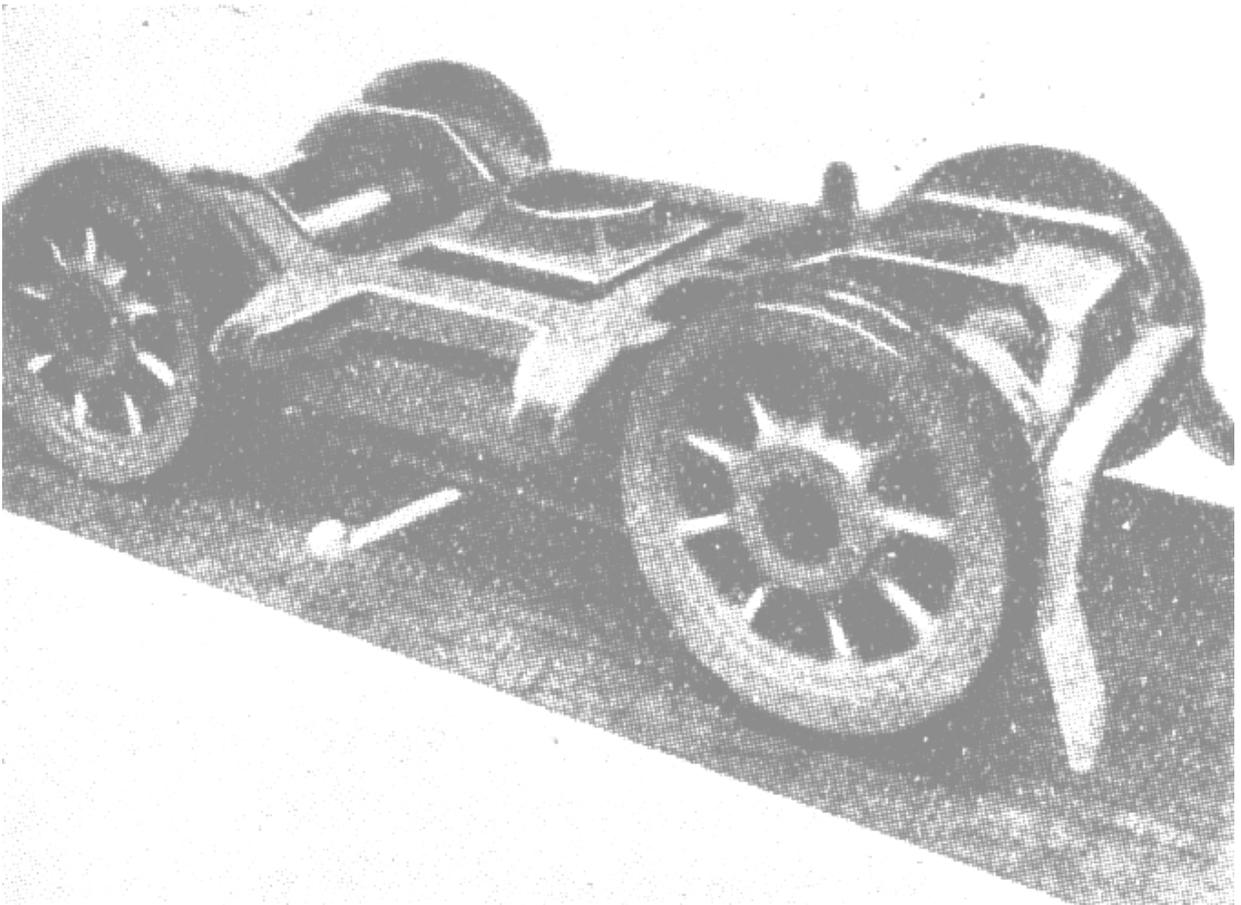


Fig. 616 — Bogie anterior de las locomotoras belgas tipos 1 y 12.

Recordemos que las rótulas fueron empleadas por primera vez por Polonceau en el P.O. en 1856, si bien eran utilizadas de una forma un poco diferente, como lo muestra la figura 617, y no producían un antagonismo constante.

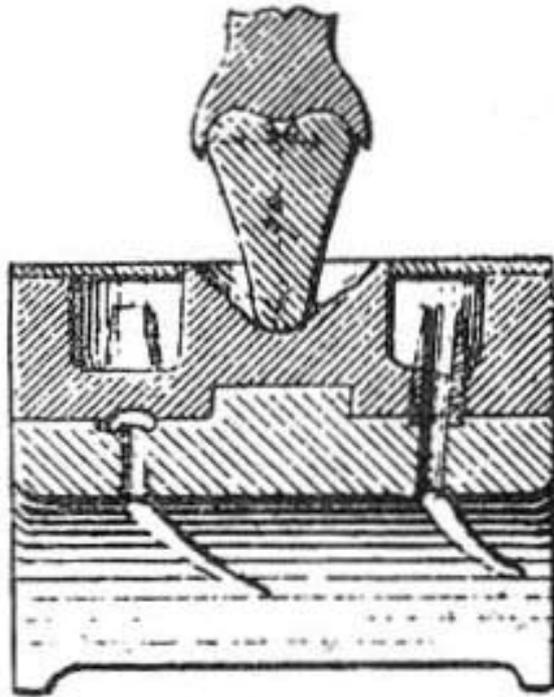


Fig. 617 – Rótula de C. Polonceau (d'après le « Guide du Mécanicien » 1859).

i) En otra disposición adoptada por American Locomotive Co, las rótulas del sistema anterior son sustituidas por rodillos cilíndricos, lo que da, por otra parte, la posibilidad, trazando convenientemente las superficies inclinadas sobre las cuales ruedan dichos rodillos, de obtener una ley de antagonismo no simplemente constante sino, si es necesario, variable. Se puede, en particular, obtener un esfuerzo de antagonismo inicialmente constante, luego decreciente, lo que puede ser útil con locomotoras muy largas, para negociar más fácilmente, a velocidad reducida, en curvas de muy pequeño radio. La figura 618 da una visión global de este bogie provisto de tal dispositivo de antagonismo, y destinado a las locomotoras futuras de la S.N.C.F. Los piñones y cremalleras que se observa sobre la figura tienen por objeto evitar todo deslizamiento de los rodillos sobre las superficies inclinadas.

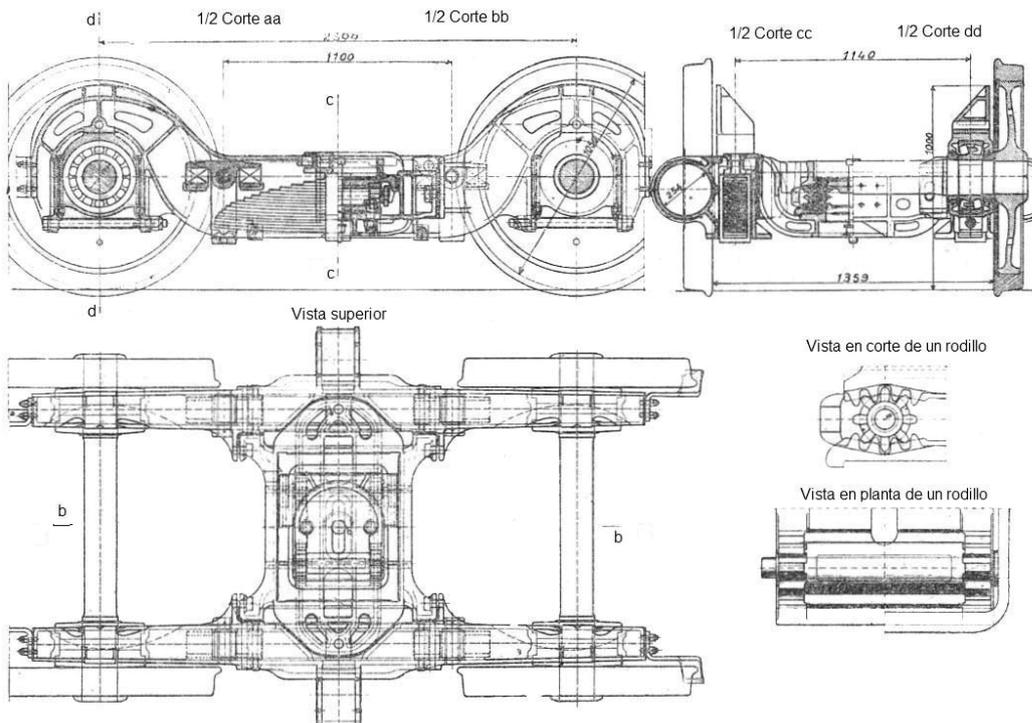


Fig. 618 – Bogie con cajas SKF y antagonismo por rodillos de la S.N.C.F.

En una curva, la acción del riel exterior contra las dos ruedas de un bogie lo desplazan con relación al bastidor de la locomotora; los resortes, las bielas, las rótulas o los planos inclinados lo presionan hacia su posición media. El bastidor de la locomotora soporta una acción igual y de sentido contrario, que presiona al pivote hacia el centro del bogie, descargando del riel exterior al primer eje rígido. Cuanto mayor sea esta fuerza de antagonismo, más aumenta la fricción de las pestañas de las ruedas del bogie contra el riel, y más disminuye esta fricción sobre la de la rueda del primer eje rígido.

Los bogies deben limpiarse a menudo y librarlos de arena y carbonillas; deben lubricarse perfectamente las superficies de fricción y todos los ejes de articulación. En caso contrario, las distintas partes móviles no se desplazan libremente y las superficies de fricción se exponen al engrane.

138. Trenes articulados de un único eje. — En vez de bogie, se emplea frecuentemente un tren articulado de un único eje. Los ejes acoplados son inevitablemente paralelos, por lo que deben ser lo bastante próximos para negociar las curvas, gracias al juego que existe entre las pestañas y los rieles, juego a menudo aumentado para las ruedas del medio. El eje radial, tal como lo realizó el ingeniero norteamericano Levi Bissell, cuyo nombre (con una sola l) se ha dado a este modo de construcción, está formado por un carretón, *pony* o *truck*, en general con un solo eje, articulado en la parte anterior o posterior de la locomotora (fig. 619).

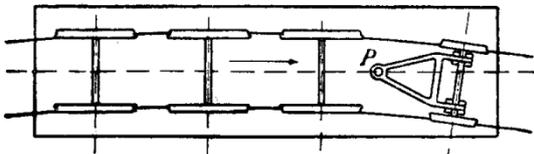


Fig. 619 – Esquema de una locomotora con bissel

Un pequeño bastidor triangular, completamente independiente del de la locomotora, gira por su vértice *P* alrededor de un punto fijo en el eje de la máquina; el lado opuesto del triángulo abraza las cajas del eje anterior de la locomotora, que así queda obligado a girar alrededor del pivote *P*.

Si el punto *P* se elige convenientemente, el eje móvil se colocará siempre radialmente, cualquiera que sea el radio de la curva.

Mientras que el bogie está cargado generalmente por medio de su pivote, el pivote del bissel, colocado lejos de su único eje, no puede recibir carga.

Pero el bissel no puede limitarse a lo que antecede: es necesario que exista cierta resistencia a su desplazamiento; en efecto, es preciso que cuando la llanta del bissel tope con el carril exterior de la curva, el bastidor de la máquina reciba ya cierta impulsión que tienda a hacerlo girar en el sentido de la curva. Si el primer eje fuese excesivamente móvil, casi no actuaría sobre la máquina para hacerla girar y sería el eje siguiente el que debería hacerlo. Ahora bien, éste, más próximo al centro de gravedad de la máquina, obraría con menos eficacia, pues el brazo de palanca es mucho más corto.

En el caso en que el segundo eje sea un cigüeñal, la necesidad de un antagonismo enérgico para el eje libre móvil del bissel aún es más imperiosa, pues es preciso evitar demasiada fatiga al eje acodado.

Por esto debe emplearse un mecanismo antagonista que tienda a volver el bissel hacia la alineación de la máquina (pág. 494 y siguientes). Los mecanismos de antagonismo son por otra parte muy similares a los de los bogies; como para los bogies, tienen la triple ventaja de impedir los desplazamientos inútiles del bissel, de suavizar los choques de las pestañas de sus ruedas contra el riel, y, en las curvas, de tender a despegar del riel exterior a los ejes rígidos de la locomotora.

La figura 620 da un ejemplo de antagonismo por resortes. Se fija un pivote suplementario en el bastidor de la locomotora, sobre el eje del bissel: una pieza intermedia es fijada por una parte sobre este pivote y, por la otra, entre dos guías transversales solidarias al bastidor del bissel. Se montan dos resortes helicoidales entre dos travesaños que, en la posición normal, apoyan a la vez sobre la pieza intermedia y en el bastidor del bissel. Estos travesaños se apartan uno del otro en los desplazamientos transversales. Como los resortes helicoidales que los conectan trabajan por compresión y no por tracción, son retenidos cada uno de ellos entre dos discos de apoyo, adjuntos, el disco de la derecha al travesaño de la izquierda (por un vástago) y el disco de la izquierda al travesaño de la derecha (por dos vástagos).

Cuando el bissel se desplaza, los discos de apoyo se acercan cada vez más y comprimen los resortes.

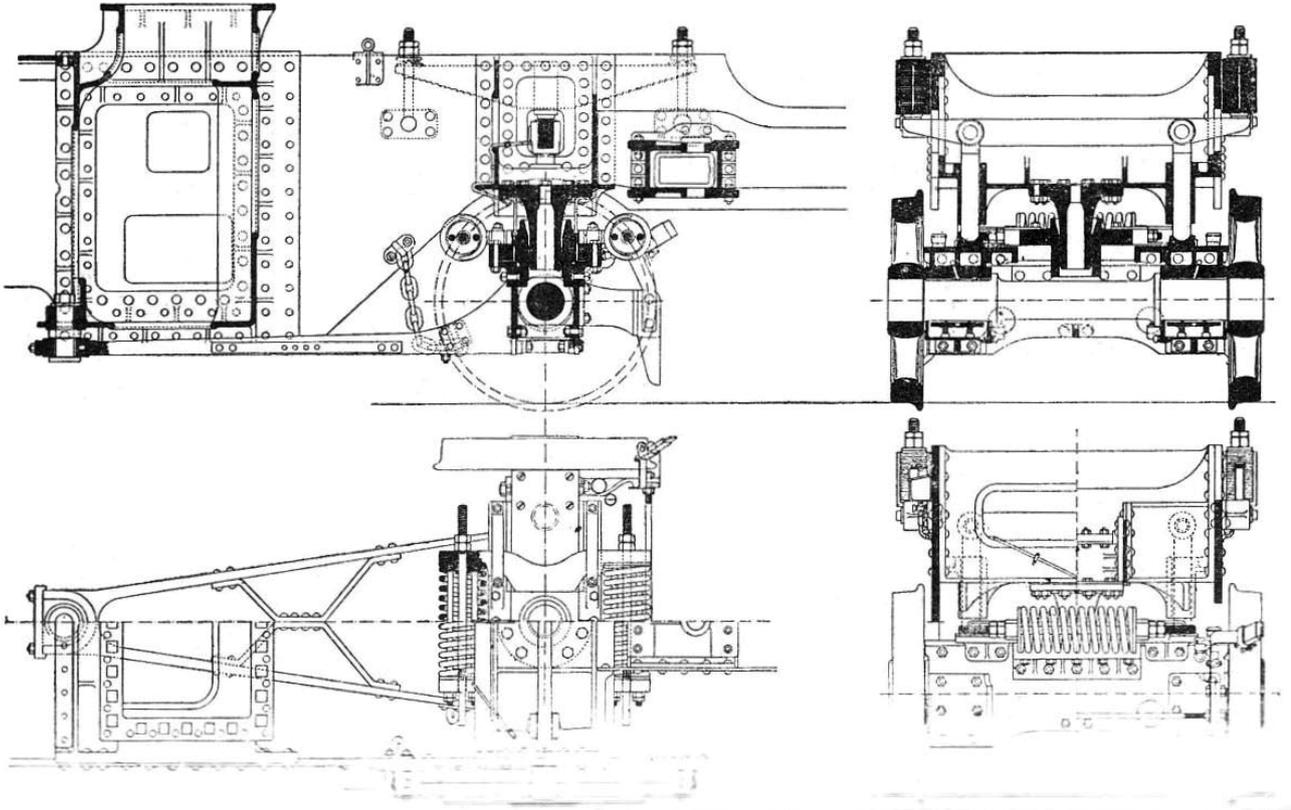


Fig. 620 – Bissel con antagonismo por resortes helicoidales

Los resortes de la suspensión se montan sobre el bastidor de la locomotora; apoyan (fig. 620) sobre un yugo transversal, que transmite la carga al bissel por medio de vástagos que apoyan sobre crapodinas, que deslizan sobre placas de fricción sobre las cajas.

La figura 621 representa una disposición, frecuentemente aplicada, de antagonismo por bielas (con adición de un resorte helicoidal). Un balancín longitudinal, montado siguiendo el eje de la locomotora, recibe el peso por pivotes fijados hacia la mitad de su longitud. El extremo posterior de este balancín se apoya en el centro de un balancín transversal, que combina los dos resortes del primer eje acoplado; la extremidad anterior del balancín carga sobre un pivote suplementario, colocado sobre el eje del bissel. Este pivote se apoya en una pieza intermedia, suspendida por bielas del bastidor del bissel. El funcionamiento de estas bielas es similar al descrito para bogies.

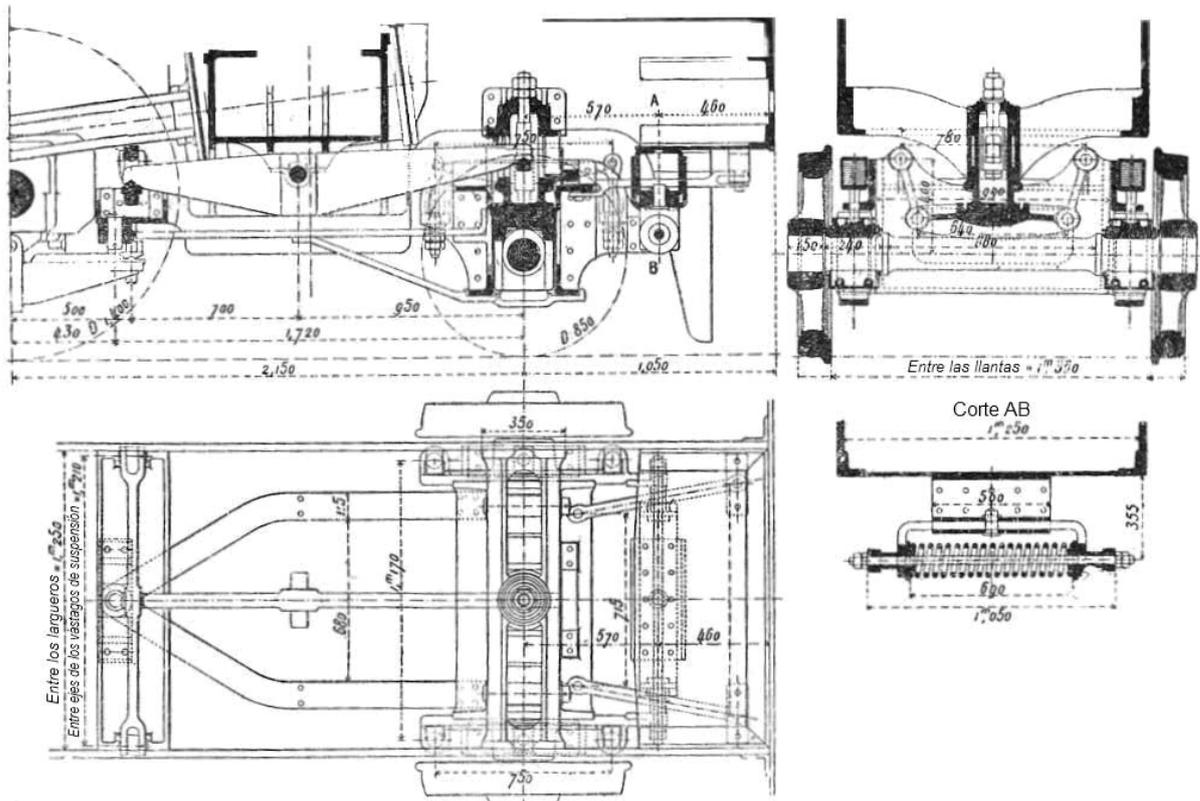


Fig. 621 – Bissel modelo americano de las locomotoras compound de cuatro ejes acoplados del Midi. Este bissel difiere de los anteriormente empleados por la adición de un resorte de antagonismo. El modelo de un bissel de este tipo (sin resorte de recordatorio), otorgado por el Cía. del Est, existe en las colecciones del Conservatorio de Artes y Oficios.

Se halla el desplazamiento del bissel con relación al bastidor de la locomotora, llevando las piezas a sus ejes geométricos; el eje longitudinal DE del bissel (fig. 622) es obligado a pasar por el centro A del pivote trasero; el eje del eje, FG, perpendicular a DE, por el centro B del pivote suplementario. En el desplazamiento, el ángulo recto formado por estos dos ejes se convierte en ACB; según un teorema de geometría elemental, el punto C está sobre una circunferencia trazada con AB como diámetro. CA es un poco más pequeño que AB: con $AB = 2,140$ m, y un desplazamiento lateral $BC = 150$ mm, la diferencia entre AB y CA es inferior a 2 mm. El deslizamiento del eje FG sobre la articulación B es realizado por la combinación de la pieza intermedia adaptada sobre el pivote y entre guías, o guiado por bielas, construcciones mecánicas que dan una solución enteramente satisfactoria. Se podría imaginar en A una solución equivalente, pero como el deslizamiento es muy escaso, la simple ovalización del ojal adaptado sobre el pivote basta.

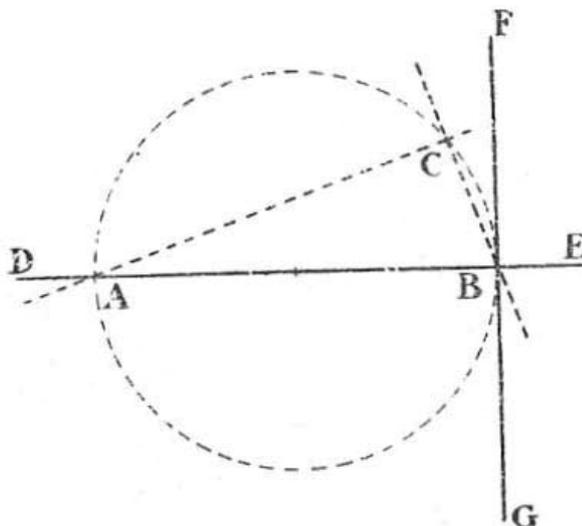


Fig. 622 – Dibujo del desplazamiento relativo del bissel.

Capítulo IV - Vehículo

Las figuras 623 y 624 muestran dos bisseles delanteros, el primero con antagonismo por bielas triangulares y el segundo con antagonismo por rótulas.

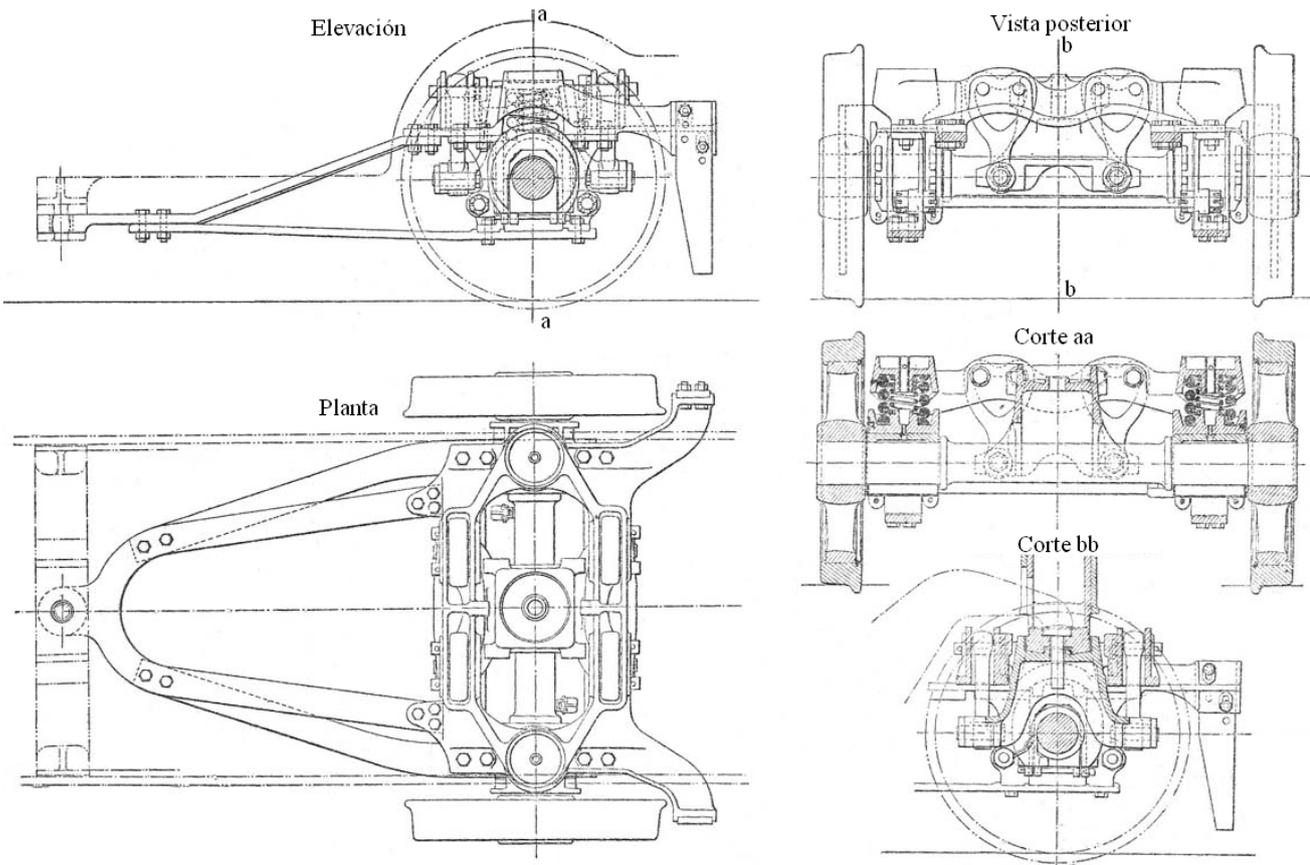


Fig. 623 – Bissel delantero con antagonismo por bielas triangulares.

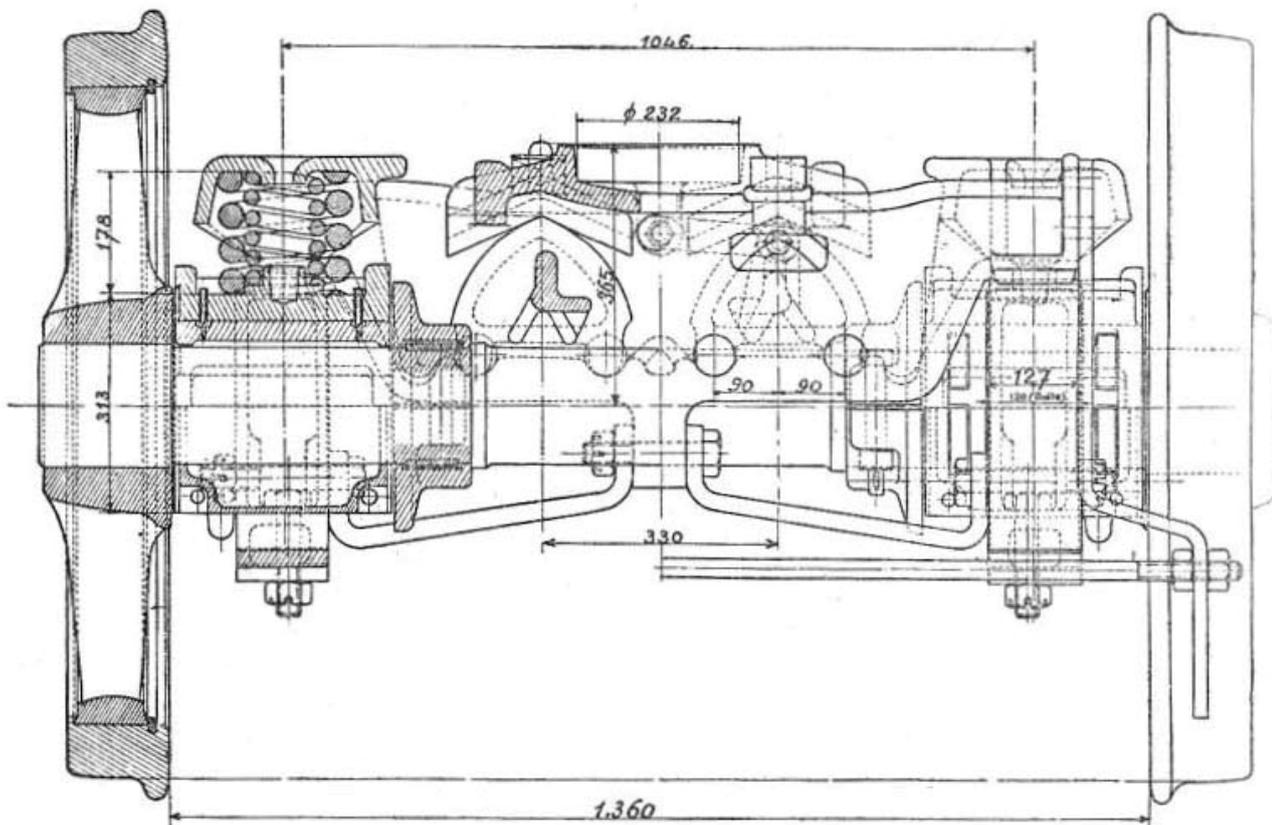


Fig. 624 – Bissel delantero con antagonismo a rótulas, sistema Woodard (Loc. 5 811 – 5 960 del P.O.)

En el bissel americano, aplicado a las locomotoras belgas tipo 38 (figura 625), la carga sobre el eje anterior se aplica al centro de una quicionera *C*, que no debe confundirse con el pivote *P* del bissel. Esta quicionera está suspendida por cuatro bieletas triangulares *m* de la traviesa *S* que carga sobre las cajas de grasa del eje. Cuando el eje se desplaza, hacia la derecha o hacia la izquierda, la cantidad necesaria para inscribirse en la curva, las bieletas se inclinan, lo que hace levantar la quicionera, pero ésta se conserva en el eje de la vía. Así que la locomotora deja la curva, el peso que carga sobre la quicionera coloca las bieletas en su posición normal.

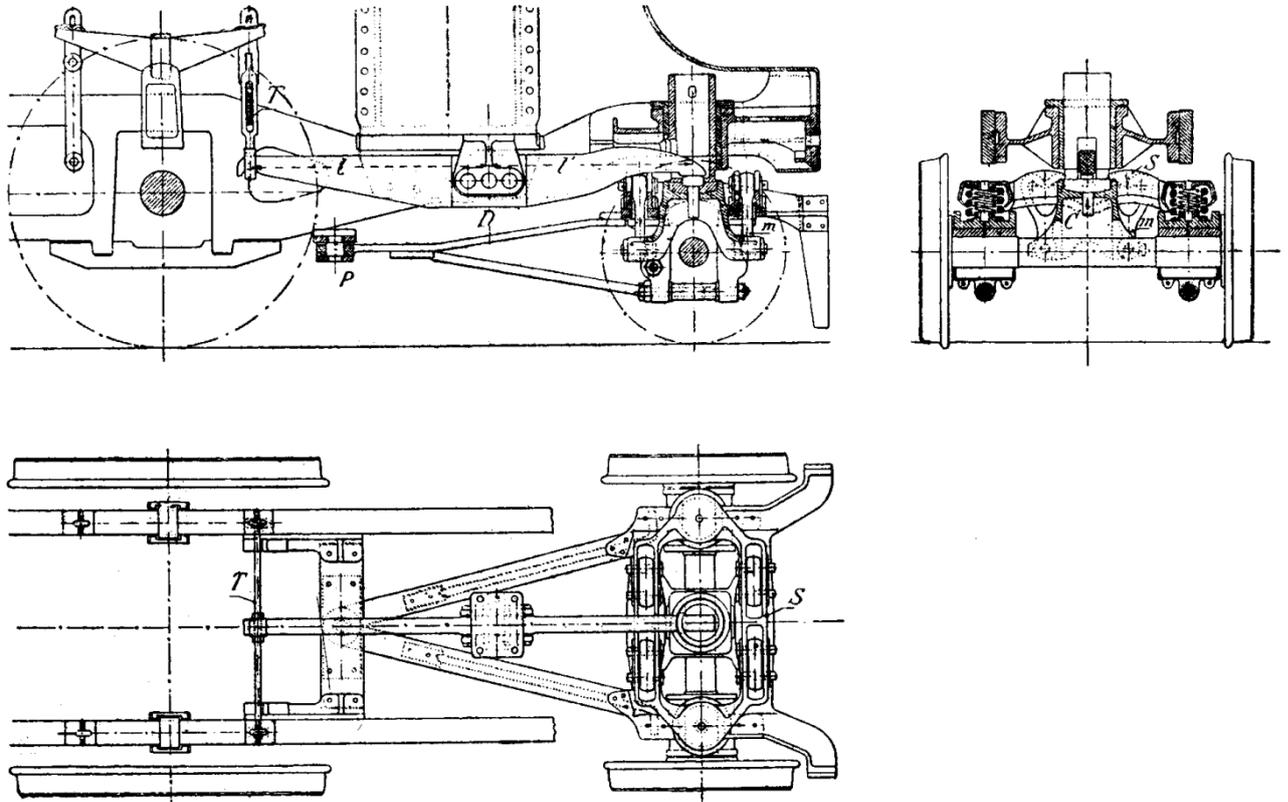


Fig. 625 – Bissel de la locomotora belga tipo 38

En la forma de construcción descrita, la máquina apoya anteriormente sobre el eje *D* de un balancín longitudinal *II'*.

Este balancín se apoya por su parte posterior en el centro del balancín transversal *T* que une los resortes del primer eje acoplado, mientras que en su parte anterior se apoya sobre un granete de acero, colocado en el eje de una columna cilíndrica de fundición, que insiste sobre la quicionera por un asiento esférico.

En estas condiciones, la carga transmitida al gorrón *D* se reparte entre la quicionera y el grupo de las dos columnas de los resortes de delante del primer eje acoplado, en relación inversa a los brazos de palanca *l* y *l'*.

Bissel trasero de la locomotora belga "Pacific", tipo 1. — El bastidor triangular del bissel (figs. 654 a 628) es de una pieza, de acero moldeado. Está enlazado al bastidor de la máquina por el pivote *P*. Pesa 2 230 kg. Los brazos son tubulares y van atravesados por los balancines de suspensión *B B'*. El extremo del balancín se enlaza, por la derecha, a la suspensión de los ejes acoplados (figura 550, pág. 428). El eje es de cuellos exteriores, y sus cajas son cojinetes de rodillos (fig. 627), enclavados en una cavidad en forma de *U* invertida, dispuesta en cada uno de los brazos del bissel. Un resorte de hojas escalonadas corona cada caja.

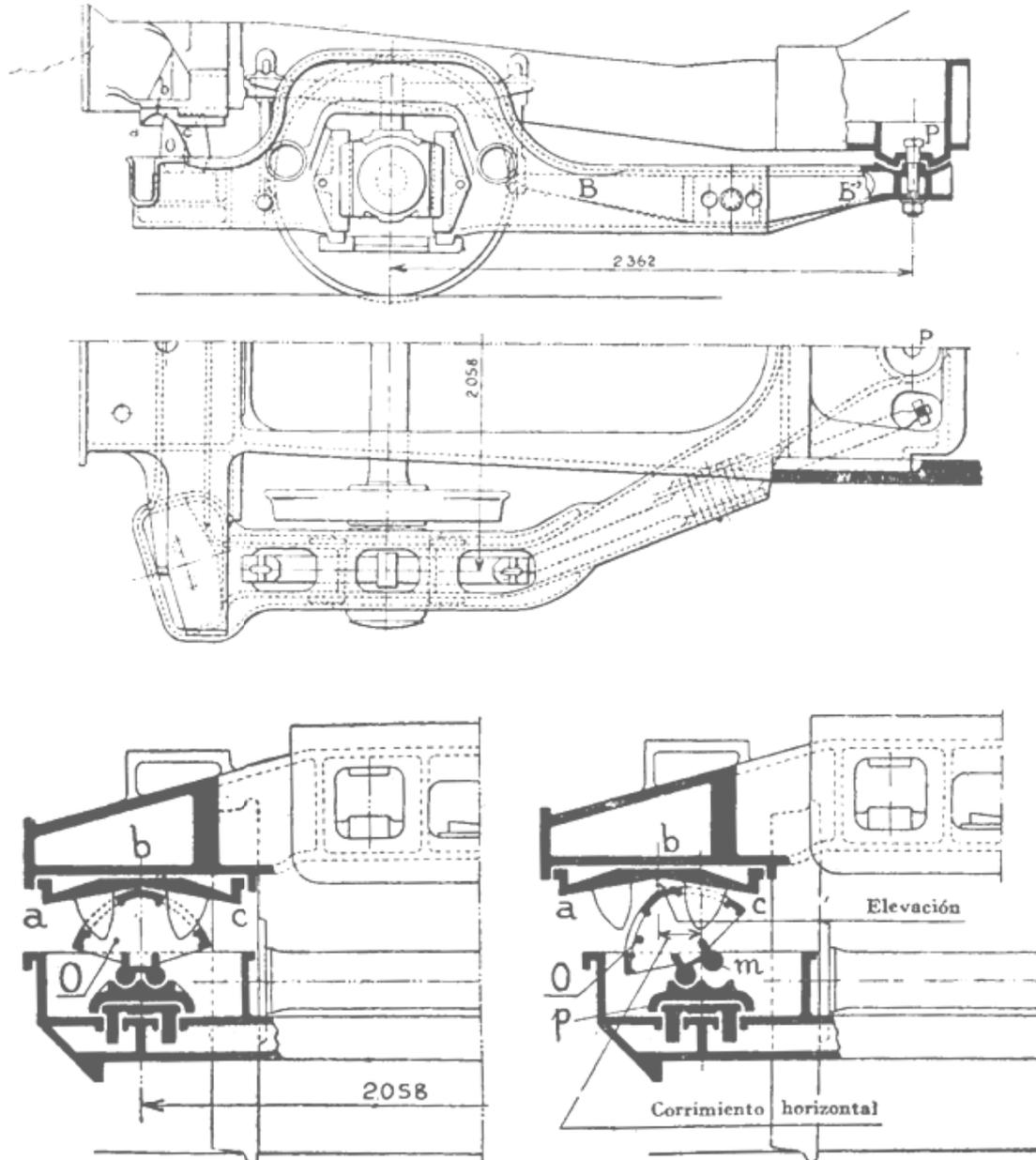


Fig. 626 – Bissel trasero, situado bajo el hogar, de la locomotora belga «Pacific», tipo 1.

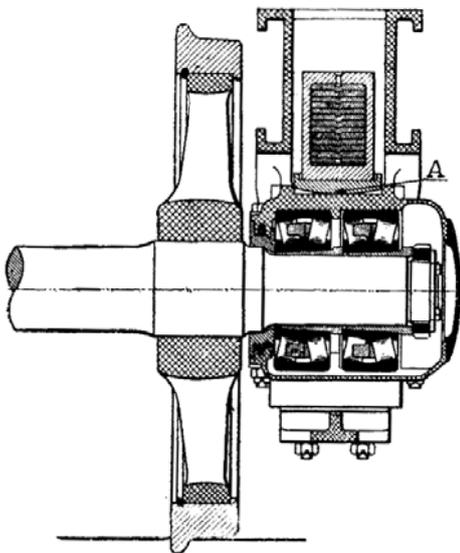


Fig. 627 – Caja de grasa con rodillos del bissel posterior de la locomotora belga Pacific tipo 1

Cada rótula O del balancín comunica una carga de 4.300 kg al bastidor del bissel. Insistiremos más adelante en este estudio al tratar de los mecanismos antagonistas (páginas 494 y siguientes). Las rótulas O, de forma ojival, ruedan contra los planos *a b c*, inclinados a 40 %, que basculan alternativamente sobre una u otra de las esferitas *m*. Éstas se apoyan en correspondientes concavidades de las placas fijas al bastidor. El esfuerzo antagonista es de 2 460 kg. La elevación máxima de la parte trasera de la máquina es de 25 mm.



Fig. 628 — Bissel trasero, situado bajo el hogar, de la locomotora belga «Pacific», tipo 1.

Los bisseles a menudo se colocan en la parte posterior de las locomotoras, en particular, para los tipos Pacific y Mikado. El bissel posterior P.L.M. (fig. 535) se carga sobre su eje mediante un pivote semiesférico, similar al de los bogies; no obstante la crapodina apoya sobre la pieza intermedia, y ésta se guía, en lugar de moverse entre dos guías rectilíneas transversales, entre dos sectores de superficies cilíndricas, cuyo centro se encuentra sobre el pivote delantero. Los planos inclinados propiamente dichos se substituyen por superficies helicoides, similares por otra parte a estos planos y funcionando del mismo modo.

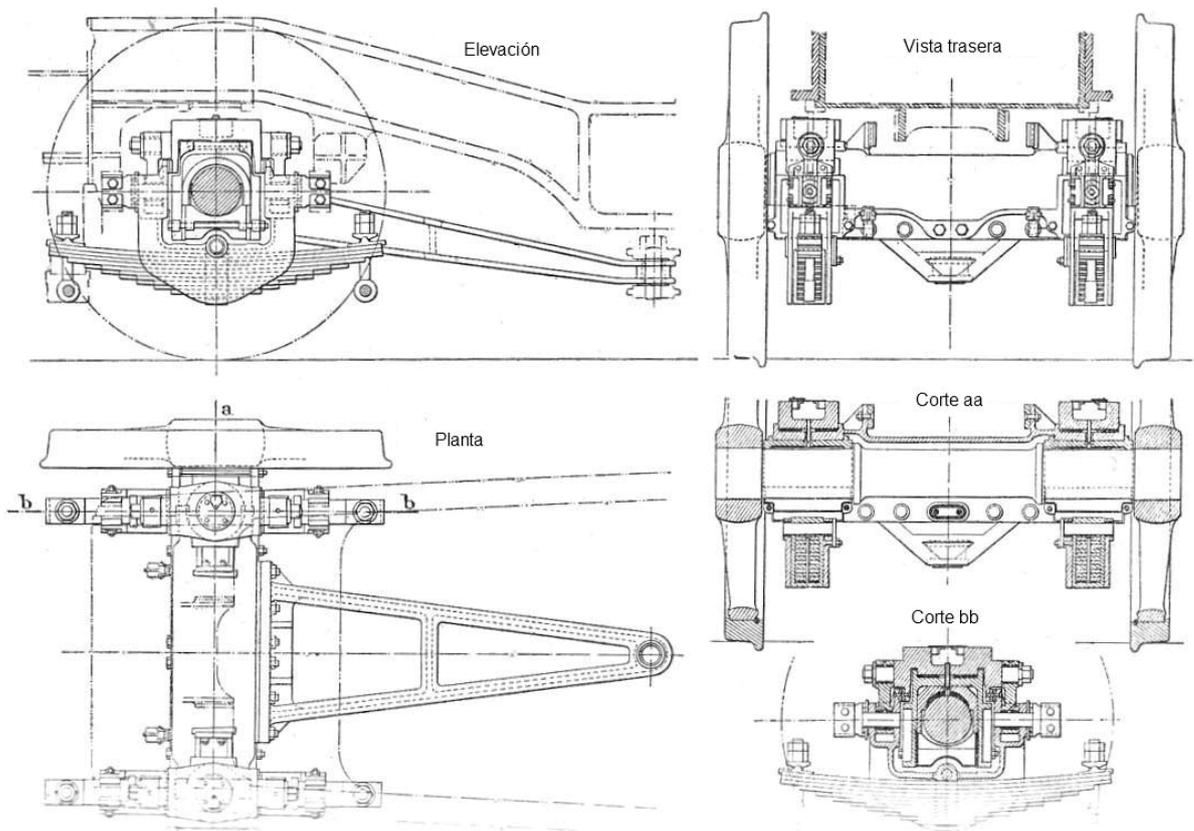


Fig. 629 - Bissel posterior del Ouest con antagonismo por bielas verticales

La figura 629 representa el bissel posterior del Ouest con antagonismo por bielas verticales (en su posición media). Este bissel posterior comprende resortes de ballesta cuyas extremidades reciben, por medio de tirantes, la carga del bastidor de la locomotora. Esta carga es transmitida al bissel por una pieza apoyada sobre el centro de cada resorte (corte bb) y por tirantes verticales.

En reemplazo del bissel, algunas locomotoras poseen un bogie en su parte posterior, pero el bissel es de instalación más fácil y, en ensayos comparativos, en particular sobre las potentes locomotoras tipo 142 de los Ferrocarriles austríacos, se prefirió finalmente el bissel. La disposición de dos ejes portantes en la parte posterior se vuelve, por otra parte, cada vez más frecuente, y es casi normal actualmente en los Estados Unidos, ya que permite instalar con más comodidad hogares desbordantes de grandes dimensiones.

Tiende a imponerse también en Europa, incluso con hogares de dimensiones medias (5 m² de superficie de grilla) porque cuando el peso máximo admitido sobre los ejes motrices es insuficiente, se vuelve necesario cargar una parte de este peso sobre los ejes portantes.

Esta es la solución que se eligió para la locomotora Mountain 241.101 de la Red de l'État, que se transformó a compound de tres cilindros y que recibió con este motivo los refuerzos del bastidor necesarios para resistir toda la potencia prevista. Es por una razón similar que las locomotoras futuras del S.N.C.F. se han previsto también con un bissel de dos ejes en su parte posterior (locomotoras modelo 152-242-142-232).

Estos bisseles son del tipo americano "Delta", con antagonismo por rótulas Woodard; la carga es transmitida en tres puntos, por el pivote anterior y por las dos rótulas de la parte posterior.

La figura 630 muestra el bissel aplicado a la locomotora 242 A1, transformada de l'Ouest, en sustitución del bissel P.L.M. de la figura 535, que se había instalado originalmente.

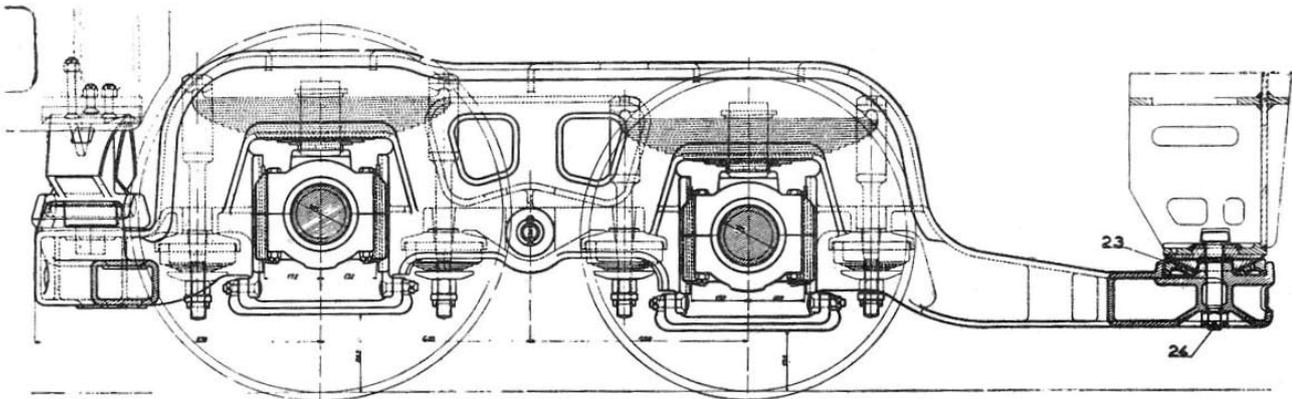


Fig. 630 – Bissel trasero de dos ejes, tipo "Delta", de la locomotora 242 A1 transformada de l'Ouest.

139. Cajas radiales. — Independientemente de los bisseles con centro de rotación real, se emplean aún, a veces, y, en particular, en Alemania, cajas radiales similares a las antiguas cajas E. Roy, aplicadas hacia 1880 en el Norte y en algunas redes francesas. Puede evitarse el giro del eje alrededor de un pivote real, como sucede en el bissel, obligándolo sencillamente a desplazarse como si girase alrededor de un pivote ficticio. Basta para ello hacer las guías de las cajas de forma curva (fig. 631).

Si P es el centro de la superficie curva de las guías, el eje podrá desplazarse en sus guías como si estuviera realmente articulado en el punto P. Las cajas construidas así se llaman cajas radiales.

Todo lo que hemos dicho respecto a la necesidad de un dispositivo antagonista en el bissel se aplica igualmente a las cajas radiales.

En estas cajas radiales, la tendencia del eje a volver a su posición normal se logra mediante planos inclinados colocados sobre las cajas. Tal es el caso de las cajas radiales de la locomotora belga tipo 97.

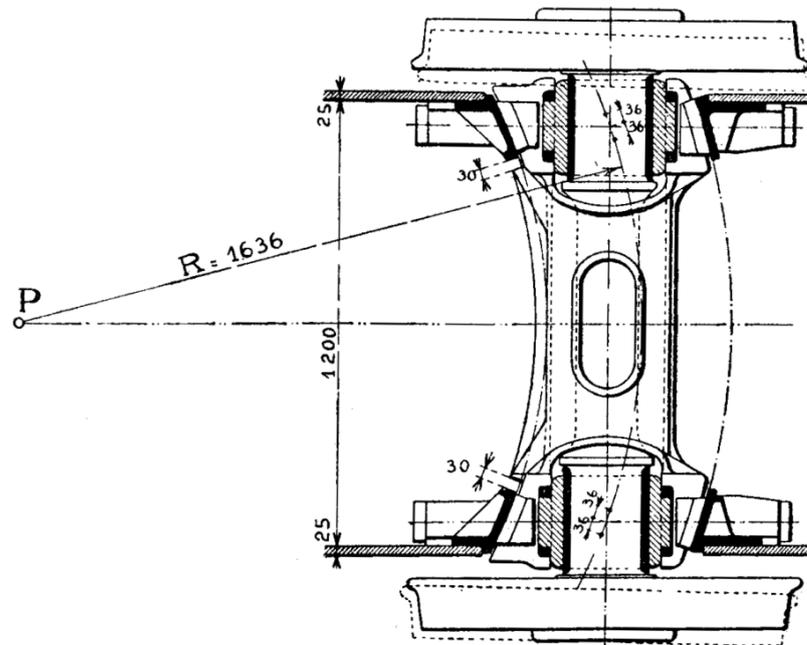


Fig. 631 – Caja radial de la locomotora belga tipo 97

En las curvas, el carril exterior está peraltado, por lo que el eje se inclinará hacia el centro de la curva, mientras que la parte suspendida de la máquina sufrirá movimientos diversos y más bien una tendencia a inclinarse en sentido contrario por la acción de la fuerza centrífuga. Para evitar que las cajas queden agarrotadas en sus guías, ciertas cajas radiales se apoyan sobre sus cojinetes mediante una articulación esférica. Esta disposición permite a las cajas inclinarse siguiendo el bastidor.

El mismo resultado puede obtenerse mediante una articulación esférica en la parte superior del patín de resbalamiento. La columna cilíndrica, que transmite la carga, va en ambos casos guiada con relación al larguero.

140. Bogie motoportante. — En las locomotoras para trenes de viajeros, que exigen ante todo una caldera potente, y por lo tanto muy pesada, pronto se llega a la necesidad de tener un número de ejes superior a los que hacen falta para la adherencia; para estas locomotoras, por consiguiente, el empleo de un bogie con sus dos ejes portantes no ofrece ningún inconveniente. No sucede lo mismo en las locomotoras para trenes de mercancías, en las que se busca disponer del mayor peso adherente posible. Si se pudiera, se acoplarían todos los ejes para hacerlos participar en la adherencia.

Para conferir a los bisseles la ventaja apreciable que presentan los bogies de transmitir no en un único punto sino en dos, el esfuerzo de dirección impuesto por la locomotora a la vía, se pretendió combinar los desplazamientos radiales del eje portante con un desplazamiento lateral del primer eje acoplado. A tal efecto, la cola del bissel se prolongó hacia atrás hasta la altura del primer eje acoplado, y conectada por una articulación esférica en medio de una pieza que rodeaba este eje y que llevaba sus dos cajas. Además, como en un bogie, se ha dado al pivote un desplazamiento lateral con antagonismo por bielas o por resortes.

Así se llega a dar a la locomotora una flexibilidad comparable a la de las locomotoras con bogie, disponiendo, a igualdad de carga, de un peso adherente mayor.

Es el sistema que se llama bogie motoportante, del que se han fabricado varios tipos. Describiremos, a título de ejemplo, el bogie motoportante aplicado a las locomotoras belgas de mercancías con cinco ejes acoplados, tipo 36.

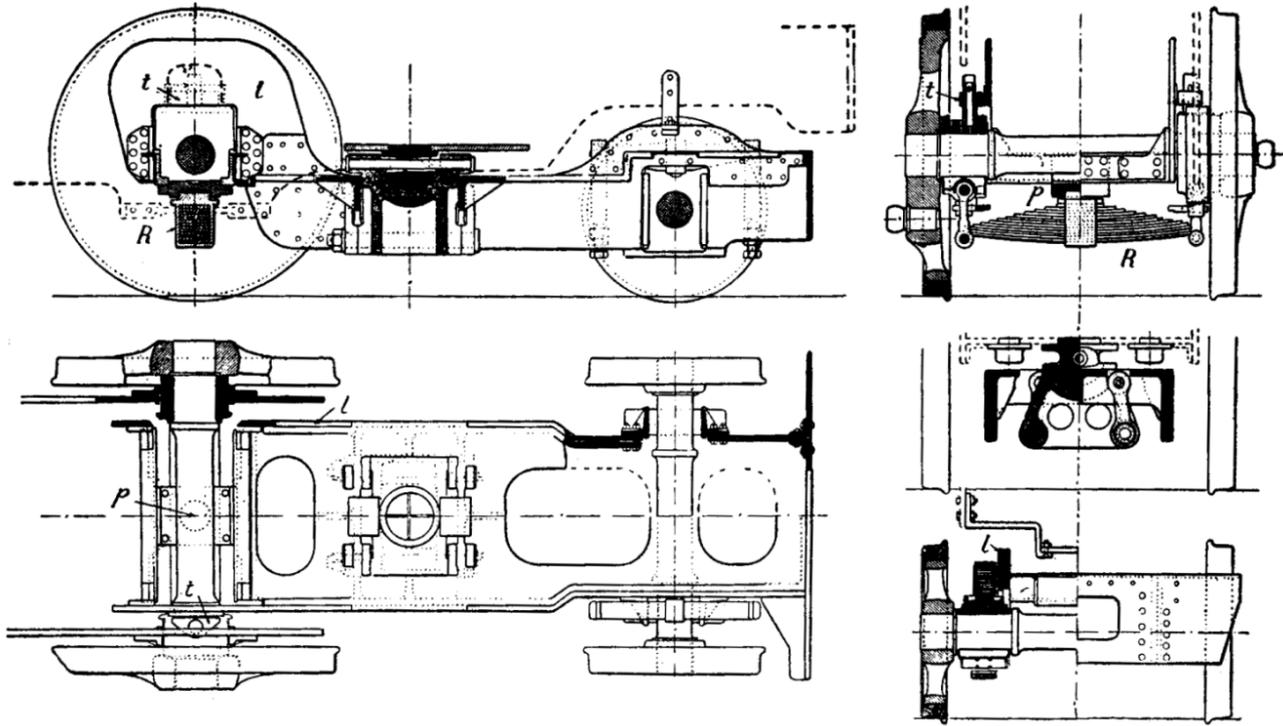


Fig. 632 – Bogie motoportante de la locomotora belga tipo 36.

Este bogie (fig. 632) está formado por dos largueros *l* interiores a las ruedas, arriostros por una pieza de acero moldeado. En el centro de esta pieza se suspende por bielas oblicuas una rangua de pivote esférico. La rangua puede así desplazarse a derecha y a izquierda, y por la acción de la gravedad vuelve a su posición central.

La parte anterior del bogie apoya sobre el eje portante por intermedio de dos resortes de láminas colocados encima de las cajas.

Las cajas del eje acoplado van guiadas en el bastidor de la locomotora, pero con un huelgo transversal de 46 mm. Estas cajas reciben la carga por debajo, mediante las bielas de un largo resorte transversal *R*, sobre el que apoya la parte posterior del bogie por un pivote *p*.

La parte posterior del bogie envuelve el cuerpo del eje acoplado, pero sin tener contacto directo con él.

Sobre cada caja del eje acoplado se fija una columna vertical en la que encasquilla un bloque triangular *t*, verdadera zapata que apoya constantemente sobre el larguero del bogie.

En curva, el eje portante anterior gira alrededor de la rangua, la que a la vez sufre un desplazamiento transversal sobre las bielas de suspensión. Desde el principio de esta rotación, la cola del bogie empuja contra una de las zapatas triangulares obligando a la caja correspondiente del eje acoplado a desplazarse transversalmente (la zapata, al girar en su columna, conserva el contacto con el larguero del bogie). En el mismo instante, la parte posterior del bogie arrastra el pivote *p* así como el resorte *R*, contribuyendo con ello al desplazamiento transversal por tirar de las bielas de las cajas.

Se ve, pues, que el bogie puede girar alrededor de su eje sin que el eje acoplado deje de continuar paralelo a los otros ejes de la locomotora; este eje sólo sufre un simple desplazamiento transversal, que obliga a emplear botones esféricos para las manivelas de acoplamiento.

El eje portante delantero se orienta según el radio de la curva.

La rangua está más cerca del eje acoplado que del eje portante y, por lo tanto, distribuye la carga mayor sobre el primero.

De este modo, el esfuerzo de dirección en curva se distribuye bien entre los dos primeros ejes de la máquina. Otro tipo es el bissel-bogie Krauss-Heilmoltz, empleado desde hace mucho tiempo en Austria y en Alemania (véase la fig. 635).

El bissel-bogie italiano, aplicado a las locomotoras 141 P (fig. 633), deriva del precedente. Difieren en que la carga se aplica entera al bastidor del bissel, que forma balancín exactamente como en un bogie normal, mientras que en el bissel-bogie Krauss, la carga se transmite a las cajas del eje portador y a las del eje acoplado, de la manera habitual; los resortes, combinados por balancines, se fijan en el bastidor principal, así como sus vástagos de suspensión, que se apoyan en las cajas con ayuda de pequeños asientos, que pueden deslizarse sobre sus caras superiores.

El bissel-bogie Zara (fig. 634), utilizado más tarde, como simplificación del dispositivo anterior, reproduce sensiblemente al bogie Krauss-Helmoltz.

La experiencia puso de manifiesto que el bissel-bogie italiano, y, en particular, el Zara, podían dar lugar a desgastes sistemáticos y no simétricos de las pestañas del eje delantero. Se puede pretender poner remedio añadiendo un resorte antagónico en proximidad del eje delantero, para estabilizar la posición del bastidor del bissel. Tal resorte existe en el bissel-bogie Krauss de las locomotoras alemanas modernas (fig. 635).

La experiencia, no obstante, también puso de manifiesto que los inconvenientes que acabamos de indicar desaparecen enteramente cuando se toman los cuidados necesarios en el diseño del bastidor del bissel. Es, en particular, indispensable verificar que la articulación esférica, sobre el primer eje acoplado, y el eje del pivote, se encuentren exactamente sobre el eje del chasis del bissel, y los resortes antagónicos estén en su lugar. *Es indispensable, al mismo tiempo, garantizar que no existe juego entre la pieza en la cual se articula el pivote y los vástagos de prolongación de los resortes de antagonismo*, lo que permitiría al bastidor del bissel tomar una orientación no controlada bajo la máquina.

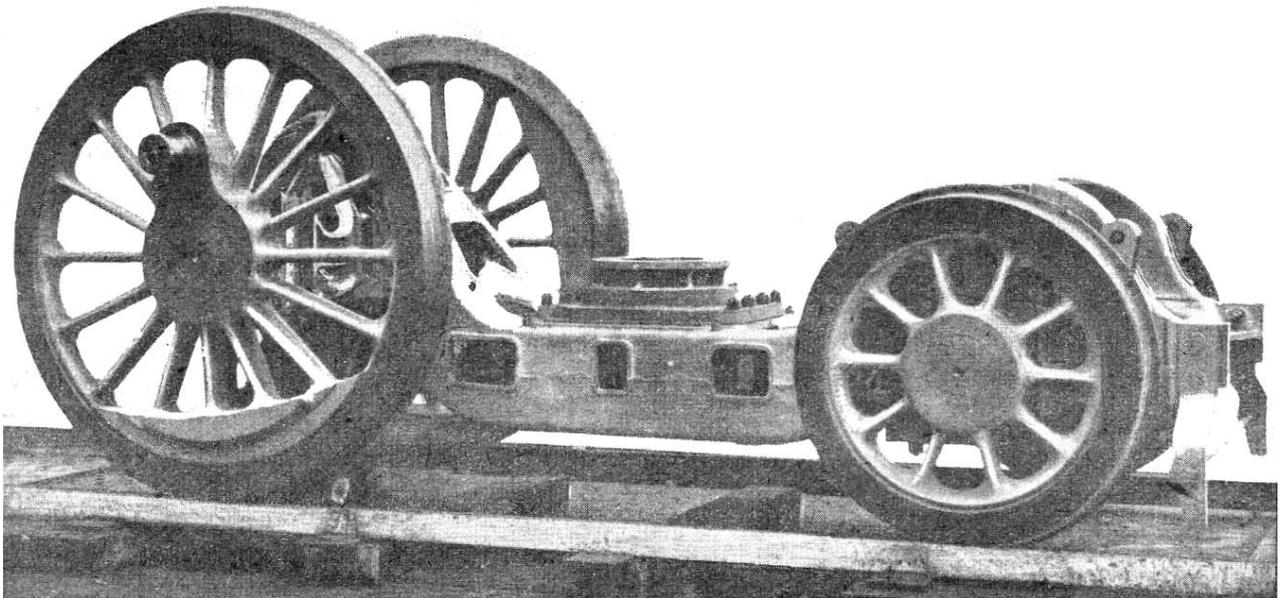


Fig. 633 – Bissel-bogie italiano con antagonismo por elásticos de ballesta, de las locomotoras 141 P de la SNCF.

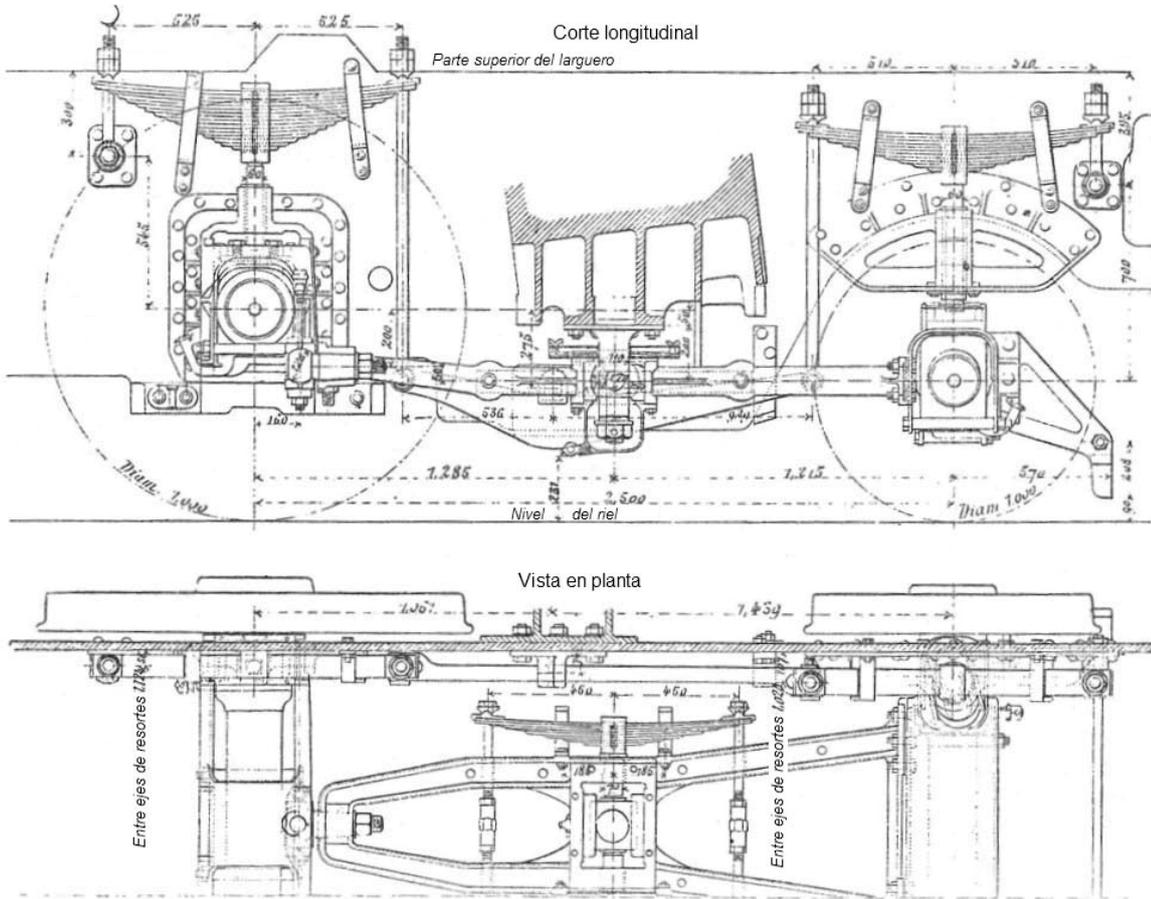


Fig. 634 – Bissel-bogie Zara.

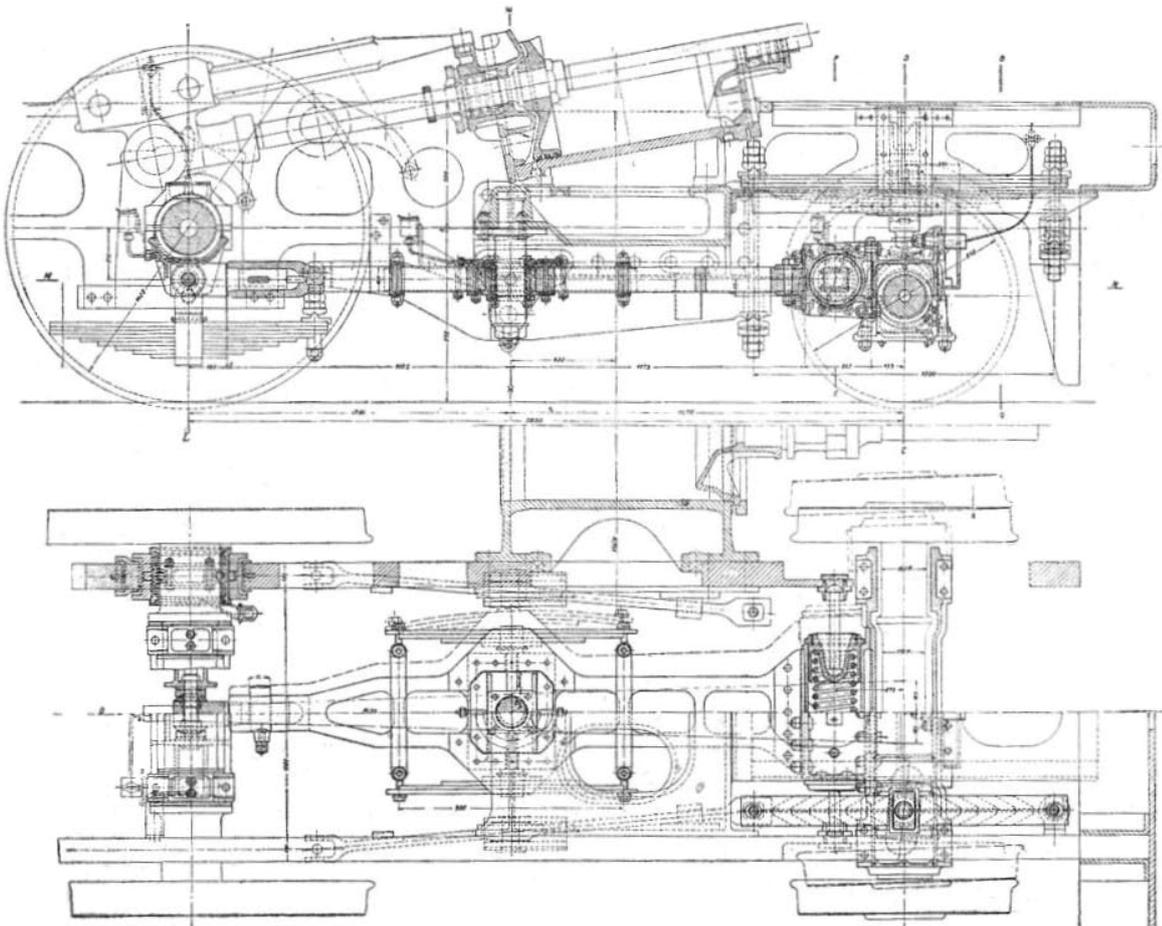


Fig. 635 – Bissel-bogie Krauss-Helmoltz de las locomotoras serie 44 del Reichsbahn.

141. Ventajas de los bogies. — Los ejes del bogie, como el del bissel, por inscribirse radialmente o casi radialmente en las curvas, presentan sus ruedas atacando el carril bajo un ángulo muy pequeño, de modo que el rozamiento queda reducido; a pesar de esto, la acción directriz del bogie es grande.

Permite, sin aumentar la base rígida de la locomotora, aumentar su base total y, por lo tanto, su peso, o lo que es lo mismo, su potencia. El bissel proporciona la misma ventaja, pero en menor escala, ya que sólo puede soportar la carga correspondiente a un eje.

Conclusión. — Todas las locomotoras cuya velocidad pase de 100 Km por hora van provistas de un bogie delantero. Las máquinas que no lleven más que un bissel delante no pueden, por lo general, pasar de la velocidad de 100 km/h. La velocidad máxima de las locomotoras sin eje portante delantero, es todavía menor, y la fijan los reglamentos; queda muy a menudo por debajo de los 65 km/h.

Observación I. — En todo lo que antecede hemos considerado el paso de la locomotora por curvas pronunciadas. El movimiento en tales curvas sólo tiene lugar a velocidades reducidas, porque las resistencias son reducidas y los descarrilamientos fáciles.

Si el radio de la curva aumenta, la máquina se acomoda mejor en la vía.

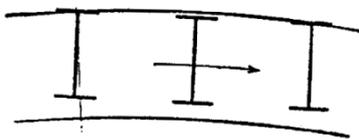


Fig. 636

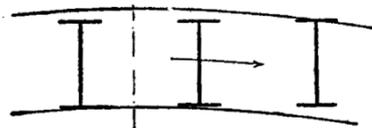


Fig. 637

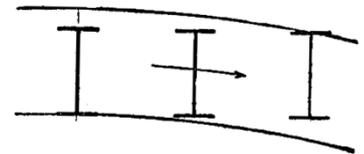


Fig. 638

Podría creerse que entonces las ruedas exteriores de los ejes tenderán a aplicarse contra el carril exterior y que, por lo menos, la primera y la última ruedas exteriores tendrán su pestaña en contacto con el carril (fig. 636). No obstante, no sucede así: la rueda exterior del eje anterior ataca siempre al carril exterior, pero la rueda interior del eje posterior intenta penetrar en el carril interior (fig. 637).

Actualmente se admite que para que el movimiento de una locomotora en curva tenga lugar en las condiciones convenientes, es de desear que el rodamiento se efectúe con el eje posterior dirigido según el radio de la curva (fig. 638).

El rodamiento de una locomotora belga tipo 41, cuya base rígida es de 4,572 m, se hace en las condiciones de la figura 638 en una curva de 315 m de radio; el juego total de los ejes en la vía es de 35 mm.

Observación II. — Podemos ahora definir con precisión lo que hemos llamado antes *base rígida* (págs. 460 y 461).

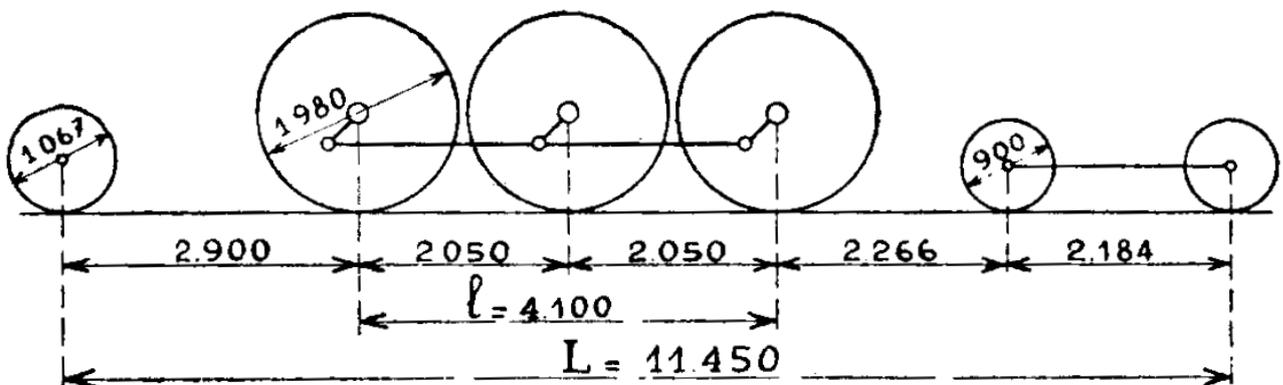


Fig. 639

L , base total; l , base rígida. Locomotora belga «Pacific», tipo 1.

En la figura 639 se ve:

La base total L , distancia que separa los ejes extremos. La base rígida l se refiere al conjunto de los ejes que conservan su rigidez completa en el bastidor. Esta base rígida es la que da estabilidad transversal a la locomotora en la vía.

142. Consideraciones teóricas sobre los mecanismos antagonistas

Los mecanismos antagonistas pueden ser de dos clases:

- 1° Aquellos en los que la fuerza que produce el retorno es debida a la acción de unos *resortes*.
- 2° Aquellos en los que la *gravedad* es la que produce la fuerza antagonista.

143. Antagonismo por resortes. — Obtener la fuerza antagonista por resortes parece ser lo más natural. Si el pivote o el tren de ruedas, según los casos, se separa de su posición normal, se comprime un resorte que tiende a volver el pivote (o el eje) a su primitiva posición central. Se encuentra esta disposición en el bogie de las locomotoras belgas tipo 18 (fig. 609).

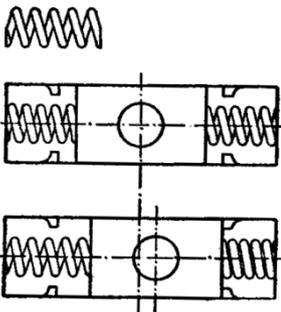


Fig. 640

La disposición de la figura 609 se reproduce esquemáticamente en la figura 640; los resortes se colocan con cierta tensión inicial, es decir que, aun estando el pivote en el eje, los resortes ejercen una presión sobre él. El resorte libre se representa en la figura 640 a. Cuando el pivote se separa de su posición normal (fig. 640 c), comprime un resorte y descarga el otro. Según esto, se ve que, aunque los resortes se hayan colocado en tensión, el esfuerzo es nulo al principio, pero crece regularmente hasta un valor máximo, correspondiente a la mayor separación que alcance el pivote (fig. 640 c).

En las locomotoras belgas tipo 18, la separación máxima del pivote por ambos lados del eje del bogie es igual a 19 mm. La tensión previa de los resortes es de 3.160 kg. El esfuerzo antagonista parte de un valor nulo para llegar a un valor de 4.220 kg para la máxima separación.

II. El juego antagonista con resortes puede fácilmente combinarse en forma que dé un esfuerzo inicial que tenga ya cierto valor.

Describiremos, a título de ejemplo, la disposición adoptada en la mayoría de locomotoras alemanas, por ejemplo en las del tipo 64 (figuras 610 a 669 y 641 a 641).

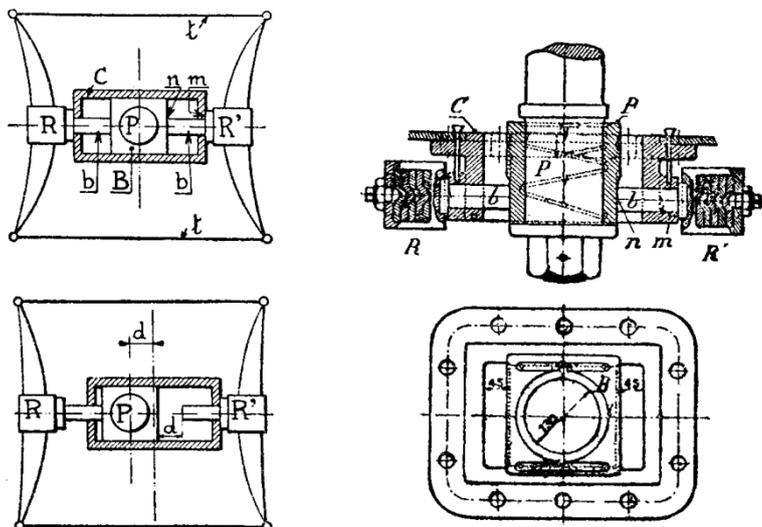


Fig. 641

El esfuerzo antagonista se obtiene mediante dos resortes conjugados R y R' , cuyos extremos dos a dos se unen por unos tirantes t provistos de tuercas de ajuste (figs. 610 y 641). Las bridas de estos resortes R y R' transmiten la tensión de los mismos a dos barras b (fig. 641), que se deslizan en los correspondientes agujeros del marco C y apoyan contra la caja B .

Cuando el pivote está exactamente en su posición media (figura 641 a), las varillas apoyan a la vez en m sobre el marco C y en n sobre la caja B .

Así que se desplaza el pivote en uno u otro sentido, una de las varillas b deja el contacto de la caja B , mientras que la otra es arrastrada por ésta y comprime el resorte correspondiente R , así como el opuesto R' , conjugado con él.

Es fácil ver que desde el comienzo del desplazamiento del pivote, el esfuerzo antagonista tiene un valor determinado, regulado por la tensión que posean los resortes (tuercas de ajuste); por otra parte, el esfuerzo antagonista aumenta en una cantidad proporcional al desplazamiento del pivote.

En la locomotora belga tipo 64, el esfuerzo inicial es de 3 600 kg y su máximo valor de 5 270 kg para una separación del pivote de 45 mm.

144. Antagonismo por gravedad. — Se emplean diferentes sistemas:

145. Disposición de bielas paralelas. — Se emplea desde hace mucho tiempo en las locomotoras americanas. La figura 642 representa el bissel de una locomotora belga antigua, de construcción americana, que lleva este juego antagonista.

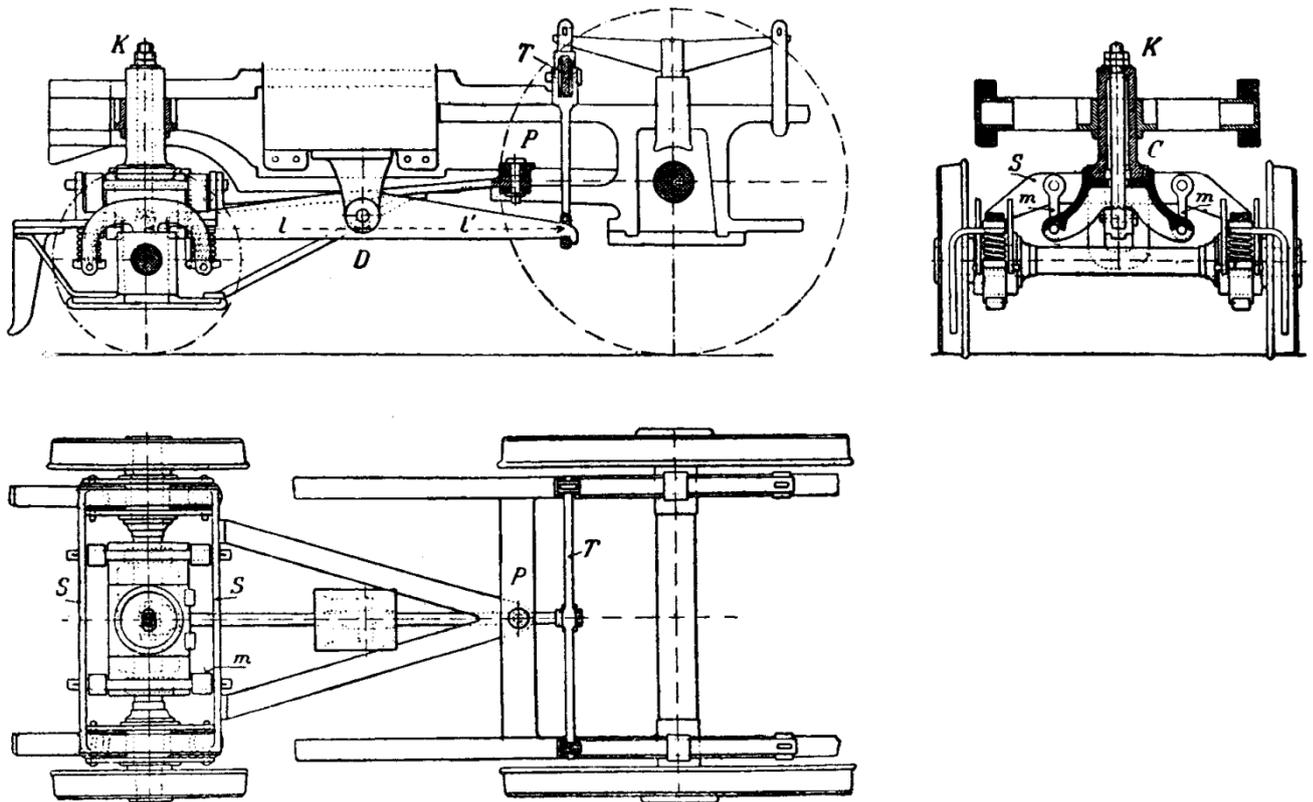


Fig. 642 – Bissel de una locomotora belga de origen americano.

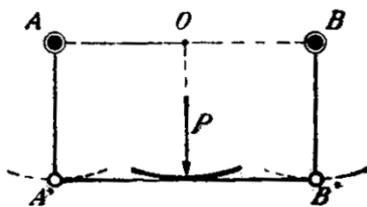


Fig. 643

El juego de que se trata está representado esquemáticamente en la figura 643. La carga P que soporta el bissel se transmite a una placa (asiento del pivote) $A'B'$ suspendida de los gorriones A y B por las bielas paralelas $A'A'$, BB' . Los gorriones se fijan al bastidor del bissel, o del bogie, según se trate.

Cuando el pivote de apoyo se separa del eje del bogie, los puntos A' y B' giran respectivamente alrededor de A y de B describiendo arcos de círculo. Es fácil ver que un punto cualquiera de $A'B'$ describe igualmente un arco de círculo cuyo centro se halla sobre AB .

El centro C de la superficie del pivote se levanta describiendo un arco de círculo cuyo centro O se encuentra a la mitad de AB . Este arco de círculo se representa con un trazo fuerte en la figura. Las cosas pasan, pues, visiblemente como si el punto de apoyo C de la carga P deslizara sin rozamiento. Los rozamientos en los gorriones A , B , A' , B' tienen poca influencia sobre el arco de círculo figurado en trazo fuerte.

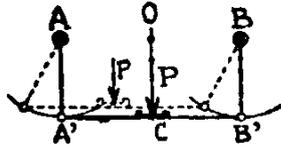


Fig. 644

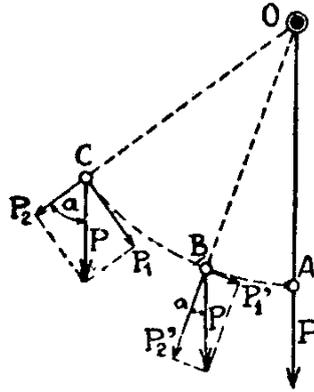


Fig. 645
Bielas paralelas

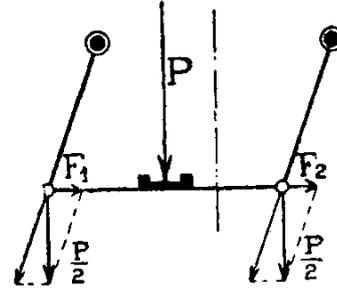


Fig. 646

Así puede verse que la fuerza que tiende a colocar el pivote en el eje es nula al principio y va creciendo a medida que la separación del pivote aumenta.

El conjunto funciona como un péndulo (fig. 644).

Consideremos una masa A de peso P (fig. 645), unida a un centro de rotación O por una biela O A.

Si la separamos de su posición de equilibrio O A llevándola hasta OC y la soltamos, volverá hacia su posición primitiva O A por efecto de la componente P_1 del peso P. Vemos que el valor de esta componente disminuye a medida que la masa se acerca al punto A, en el cual, por ser el ángulo α nulo, la fuerza P_1 es igual a cero.

En el movimiento inverso, o sea de A hacia C, observamos que en el preciso momento en que la masa A comienza a separarse de su posición de equilibrio O A, la fuerza antagonista P_1 es nula, pero luego va aumentando a medida que la masa se aproxima al punto C.

Si referimos a la figura 646 la descomposición de las fuerzas vemos que la fuerza antagonista es igual a $F_1 + F_2$.

Es de observar que, en esta posición, la placa que sirve de asiento al pivote *permanece horizontal*, lo que permite el empleo de un pivote de asiento plano.

146. Disposición de bielas inclinadas. — En una disposición que se deriva de la anterior, las *bielas de suspensión AA', BB'* se colocan *inclinadas* (fig. 647).

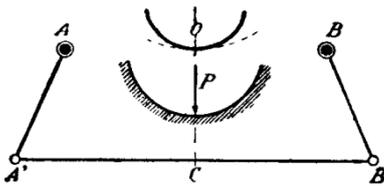


Fig. 647

Aquí la base del pivote es esférica, porque cuando el pivote se separa del eje del bogie, la base A'B' de la rangua toma una posición oblicua (fig. 648b). El centro del bogie está en O (fig. 647). Haciendo un trazado exacto, se comprobará que, si el pivote se separa de su posición normal, su centro O describe una curva que está representada en trazo fuerte, presentando una curvatura mayor que un arco de círculo (trazo punteado) cuyo radio fuese igual al de las bielas.

El esfuerzo antagonista aumenta, pues, con mayor rapidez que en el sistema de bielas paralelas, pero es conveniente observar que el esfuerzo es nulo al principio, en ambos sistemas. Por esta razón han sido casi abandonados por completo.

Lo mismo si se trata de bielas paralelas como de bielas inclinadas, para un mismo desplazamiento, la fuerza de llamada es tanto mayor, cuanto más cortas son las bielas.

Observemos, por último, que el desplazamiento de la rangua, respecto al bastidor del bogie, produce la elevación de la delantera de la máquina.

En la posición media o posición de equilibrio (fig. 648a), la descomposición de fuerzas enseña que el peso P de la delantera de la máquina se divide en dos componentes iguales a $\frac{P}{2}$, de modo que la fuerza antagonista es nula: $F_1 - F_2 = 0$.

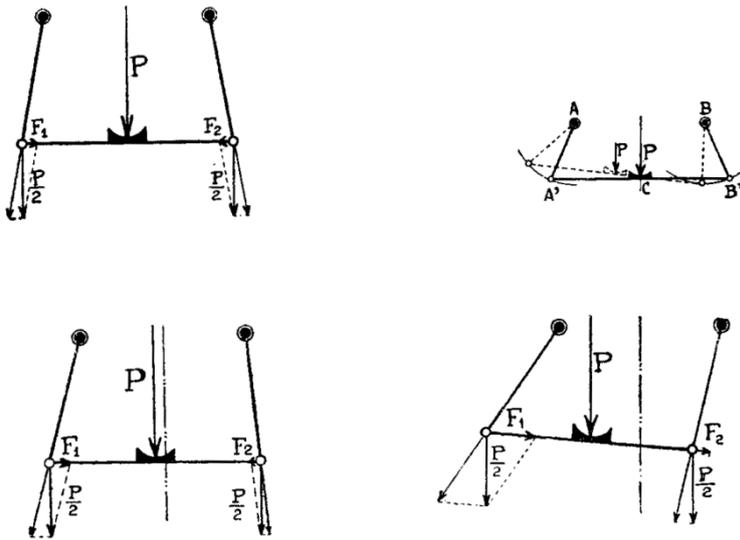


Fig. 648
Bielas inclinadas

2° Que el espesor de la rangua, o sea la altura que separa la superficie de apoyo de los gornones de las articulaciones inferiores es nula. Pero esto no es cierto. La carga P se transmite por una superficie esférica de cierta extensión, y la rangua tiene cierto espesor; por lo tanto, en la posición inclinada de la rangua, su eje toma una posición oblicua cuando el pivote es vertical; además, las distancias de las dos articulaciones inferiores a la vertical, que pasa por el pivote, no son iguales, y las dos fuerzas $P/2$, deberán substituirse por otras desiguales P' y P'' . Las componentes F_1 y F_2 tomarán otros valores, pero el razonamiento referente a la determinación de la fuerza antagonista permanece el mismo. En fin, puesto que la base de la rangua es inclinada, para ser exactos será mejor no considerar las fuerzas F_1 y F_2 por sí mismas, sino por sus componentes horizontales, que son las que realmente producen la fuerza transversal.

147. Disposición de bielas triangulares. — El juego antagonista con bielas triangulares (fig. 649), por el contrario, tiene esfuerzo inicial. Los gornones de suspensión del bastidor del bogie se han duplicado: A_1, A_2, B_1, B_2 . Las bielas presentan la forma de un triángulo $A'A_1A_2, B'B_1B_2$.

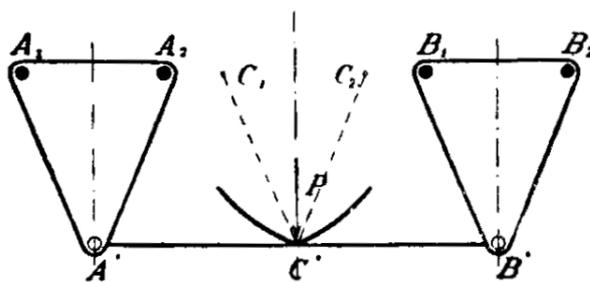


Fig. 649

Bielas triangulares

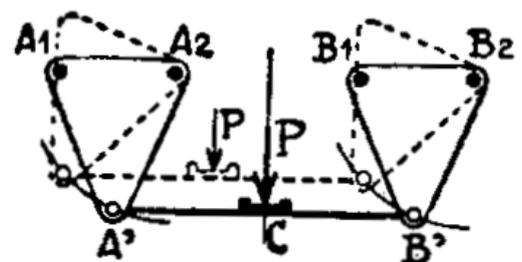


Fig. 650

Así que el pivote se separa del eje, el sistema funciona como si los pares de bielas paralelas $A'A_1-B'B_1$ (o $A'A_2-B'B_2$) funcionaran solos, según el sentido de la separación. Están, pues, inclinadas desde el principio del movimiento.

La placa $A'B'$ que forma el asiento del pivote queda siempre horizontal, como en el caso de bielas paralelas (fig. 643), con la única diferencia de que las bielas están ya inclinadas y que el punto de apoyo C' describe dos arcos de círculo; el uno tiene su centro en C_1 , el otro en C_2 . Estos arcos se representan en trazo fuerte.

Después de esto, se ve claramente que el esfuerzo antagonista tiene ya cierto valor desde el principio y que su magnitud aumenta con la separación entre el pivote y el eje del bastidor del bogie.

Este sistema se aplica en las locomotoras belgas tipos 7, 38 y 40 y en muchas locomotoras extranjeras de reciente construcción.

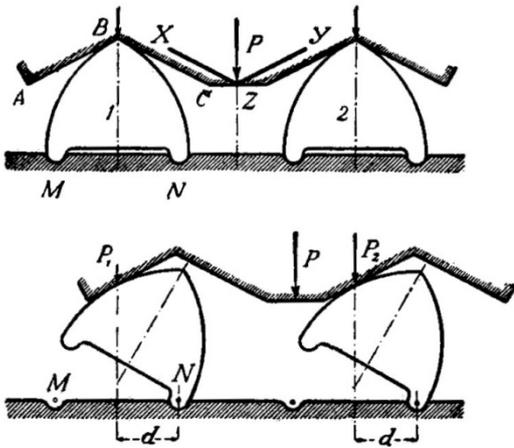
Cuando, en una curva, el bastidor del bogie se desplaza debajo de la delantera de la máquina (fig. 648c), las bielas se inclinan y el eje del bastidor del bogie se separa del pivote de la máquina.

Aquí, según el grado de inclinación de las bielas (figs. 648c y 648d), la fuerza antagonista es igual a $F_1 - F_2$ (fig. 648c), o a $F_1 + F_2$ (fig. 648d).

Observación. — En lo expuesto se supone:

1° Que la carga P se transmite a la rangua por una superficie reducida teóricamente a un punto.

148. Juego de antagonismo constante de Woodard. (*figura 651*) – Este sistema goza de gran favor en los Estados Unidos, y se ha aplicado al bogie de las locomotoras belgas tipos 1 y 12 (pág. 478), así como al bissel trasero de la locomotora belga tipo 1 (página 485). Aquí el pivote transmite su carga P por el intermedio de las rótulas 1 y 2 que oscilan en M y N sobre la traviesa del bogie. Las superficies curvas de estas rótulas tienen respectivamente por centros M y N . Las superficies de apoyo ABC del pivote presentan forma de V invertida, cuyos planos son tangentes a los arcos de las rótulas.



Figs. 651

reducido al punto Z , subiera por un plano inclinado ZY (o ZX , según el sentido de la separación), sin otro rozamiento que el que resulta de la rotación del gorrón N (o M). La trayectoria del centro del pivote es, pues, la línea XZY , representada de trazo fuerte en la figura 651a.

El juego de antagonismo constante de Woodard puede, pues, asimilarse, como principio, al sistema de *planos inclinados* aplicado a ciertas locomotoras (véase página 468), pero éste es ciertamente inferior al juego Woodard, porque al rozamiento desarrollado en las superficies de deslizamiento se añade el esfuerzo que se opone al movimiento del pivote, mientras que debe deducirse del esfuerzo antagonista que vuelve el pivote a su posición normal.

Los sistemas con esfuerzo inicial nulo se han abandonado hoy casi por completo, como hemos dicho. Debe observarse, en efecto, que hasta en las curvas de radio muy grande, la fuerza antagonista debe ser suficiente para hacer girar la locomotora en el sentido de la curva.

Así que el pivote se separa de su posición, el plano inclinado AB (o BC , según el sentido de la separación) rueda sobre la rótula, pero manteniéndose siempre paralelo a sí mismo, pues la rótula gira alrededor del centro correspondiente N (o M , según los casos).

Es fácil ver (fig. 651b) que no sólo el esfuerzo antagonista tiene cierto valor al principio, sino que además es constante. La carga P se transmite por P_1 y P_2 a las rótulas y el brazo de palanca de estas fuerzas es constantemente igual a $d = \frac{MN}{2}$.

Por otra parte conviene observar que, cuando el pivote del bogie se separa de su posición normal, las cosas ocurren exactamente como si este pivote, suponiéndolo

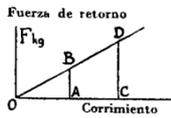


Fig. 652

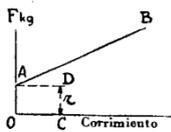


Fig. 653

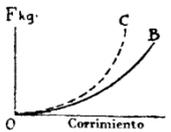


Fig. 654

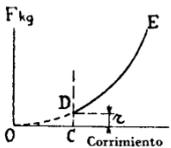


Fig. 655

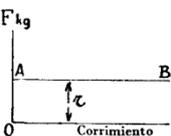


Fig. 656

149. Resumen. — Representemos gráficamente la variación de las fuerzas antagonistas en las figuras 652 a 656:

Tomemos sobre un eje horizontal OC (fig. 652) los sucesivos corrimientos transversales de los ejes y , verticalmente, las fuerzas antagonistas F, AB, CD , etc., correspondientes a dichos corrimientos.

En el caso de *resortes independientes*, para un corrimiento transversal de OA mm, la fuerza antagonista correspondiente será de AB kg, y todos los puntos, tales como B y D , se encontrarán sobre una recta oblicua OB , que pasa por el origen O . En el caso de *resortes conjugados* (fig. 653), las fuerzas antagonistas crecientes estarán también limitadas por una recta AB , pero como hay una fuerza inicial de OA kg = r , la recta AB no pasa por el origen O .

En el caso de antagonismo por *bielas* (fig. 654), la fuerza, que es nula en el origen, va creciendo rápidamente según una curva tal como OB para bielas paralelas, y según una curva OC para las bielas inclinadas, porque, para éstas, la fuerza antagonista es más enérgica.

Si examinamos el caso de *bielas triangulares* (fig. 655), las cosas suceden como con las bielas paralelas; la curva de fuerzas antagonistas es OE , por ejemplo.

Si examinamos el caso de *bielas triangulares* (fig. 655), las cosas suceden como con las bielas paralelas; la curva de fuerzas antagonistas es OE , por ejemplo.

Pero como existe un esfuerzo inicial igual a CD kg = r no se emplea, de hecho, más que la parte DE de la curva de bielas paralelas y los corrimientos comienzan a partir de C .

Por último (fig. 656), en el caso del *sistema Woodard*, en que la fuerza antagonista es constante, la fuerza inicial de OA kg = r se mantiene igual siguiendo la recta AB .

150. Conclusiones prácticas. — De la experiencia adquirida en los ferrocarriles belgas, resulta que los bogies con antagonismo por rótulas han demostrado ser muy superiores a los de resortes o de bielas, desde el punto de vista de las averías, del entretenimiento y de la buena marcha de la máquina.

a) Averías en los bogies con antagonismo por resortes laterales: roturas de resortes de hojas; roturas de tirantes de unión de los resortes; dislocación de la unión del pivote director.

b) Averías en los bogies con antagonismo por bielas: rotura del pivote central de cabeza esférica; dislocación de la unión del pivote central; rotura de bielas.

Estas averías no se han delatado siempre inmediatamente, porque estas piezas son poco visibles y de difícil acceso.

En cuanto a la marcha, ha sido buena hasta a velocidades de 110 a 120 Km por hora.

Los bogies de rótulas no han dado lugar a ninguna avería, y la marcha ha sido buena hasta a 150 Km por hora.

151. Booster. — Los bisseles y los bogies, cuya gran utilidad los hizo adoptar rápidamente, tienen no obstante el inconveniente de reducir el peso adherente de las locomotoras, inconveniente sensible sobre todo en los arranques. En los Estados Unidos, se corrige este inconveniente mediante el empleo de un motor auxiliar, se llamado booster, que actúa, a pequeñas velocidades, sobre las ruedas de un bissel. Se aumentan así el esfuerzo de tracción y la adherencia.

El booster o motor auxiliar de arranque, que existía sobre más de 4.000 locomotoras en los Estados Unidos en 1933, incluidas las Mallets de 325 t de peso, con 250 t de peso adherente, apenas se aplica en Europa.

Capítulo IV - Vehículo

Se encuentra, no obstante, sobre las locomotoras S 16 y G 16 del A.L., y está previsto en principio sobre las locomotoras futuras tipo 232, 242, 142 y 152 del S.N.C.F.

El propulsor actúa generalmente sobre el bissel que presentan en su parte posterior numerosas locomotoras; pero se puede aplicar a otros ejes, en particular, a un bogie del tender, provisto de bielas de acoplamiento. Excepto raras excepciones, estos motores no tienen marcha atrás. Están compuestos por dos cilindros, con manivelas caladas en ángulo recto y distribución por correderas planas con admisión fija, sólo sirviendo para la marcha adelante (fig. 657).

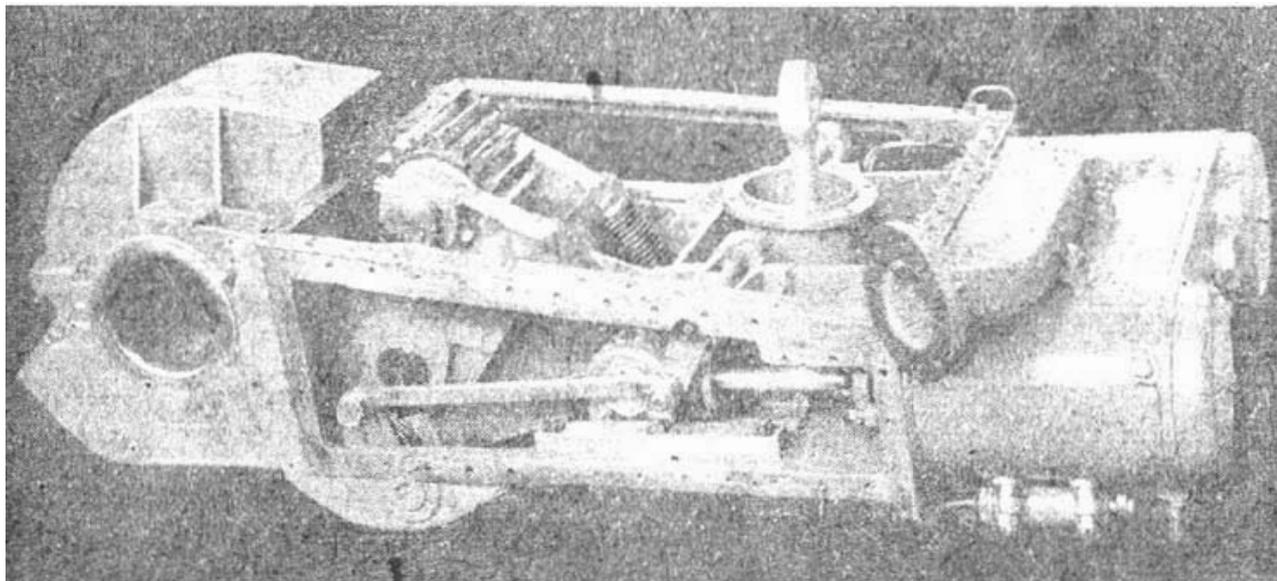


Fig. 657 –Booster de la Sociedad Alsaciana de Construcciones Mecánicas, aplicado a modo de ensayo a una locomotora Pacific modelo S. 16, de 2 cilindros de simple expansión y recalentamiento, con distribución Caprotti, de la red de Alsacia y Lorena, y a una locomotora 151 modelo G.16 de 3 cilindros de simple expansión, también con distribución Caprotti, de la misma red.

La conexión con el eje se establece con ayuda de tres ruedas dentadas, la primera fijada en medio del árbol del motor, el tercero sobre el eje; la rueda intermedia, desplazable, transmite la rotación. Esta rueda móvil es accionada por un cilindro de aire comprimido; no puede abrirse el grifo distribuidor de aire, a disposición del maquinista, hasta que la tuerca del mecanismo de cambio de marcha esté a fondo de carrera hacia adelante, y el engranaje central del eje se desconecta automáticamente en cuanto el cambio de marcha disminuya la admisión en los cilindros de la locomotora.

Dispositivos auxiliares retrasan la admisión de vapor a los cilindros del booster, para evitar choques durante la puesta en marcha, y actúan los purgadores; permitiendo la parada momentánea del booster, si el patinaje se produce.

152. Engrase de la pestaña de las ruedas y de la cabeza de los carriles en las curvas. – En las líneas muy sinuosas se observan casos típicos de desgaste lateral rápido de los carriles, por una parte, y de la pestaña de las ruedas del primer eje acoplado, por otra.

En Bélgica se observa, sobre todo en las líneas de Athus al Mosa vía Dinant, de Charleroi a Vireux y de Herbesthal a Saint-Vith, que son recorridas por locomotoras belgas del tipo 41, con tres ejes acoplados, y del tipo 81, de cuatro ejes acoplados.

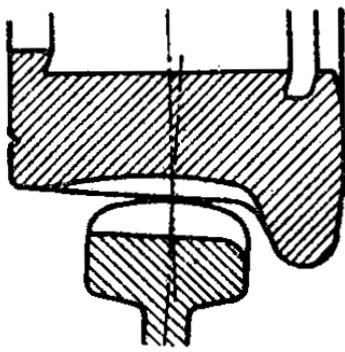


Fig. 658

Desgaste en recta

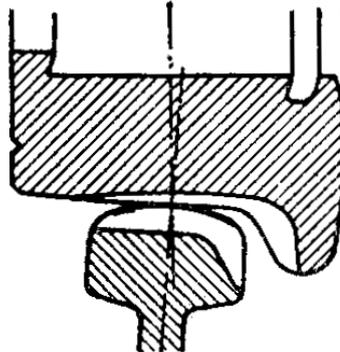


Fig. 659

Desgaste en curva

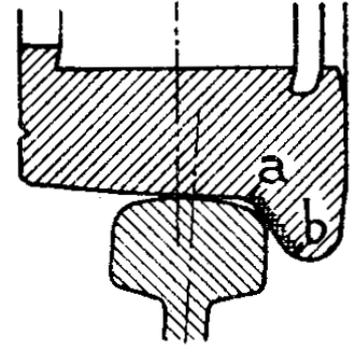


Fig. 660

Estos desgastes se manifiestan tanto más intensamente cuanto más grande es la base rígida de la máquina.

La figura 658 representa el desgaste de la cabeza del carril, tal como se produce en las rectas; la figura 659, el desgaste en líneas sinuosas. En las rectas se gastan las superficies de rodadura del carril y de las llantas. En las curvas se desgastan las pestañas de las ruedas y la cara vertical de la cabeza de los carriles. El desgaste se presenta principalmente en la parte ab de la llanta (fig. 660).

El desgaste de la pestaña de las ruedas es mucho más rápido que el del carril. En efecto, todo punto de la rueda toca al carril en cada vuelta. Para una rueda de 1 m de diámetro y una velocidad de 60 Km por hora, por ejemplo, el contacto se producirá en una hora tantas veces como quepa la circunferencia de la rueda en los 60 Km de la vía, o sea:

$$60.000 \text{ m} / (\pi \text{ diámetro}) = 60.000 \text{ m} / (3,14 \times 1 \text{ m}) = 19.200 \text{ veces}$$

¿Qué ocurre con el carril?

Dependerá del tráfico. Supongamos que pasa cada 5 minutos un tren de 150 ejes, o sea 12 trenes por hora.

Un punto dado del carril no será tocado en cada hora más que:

$$150 \text{ ruedas} \times 12 \text{ trenes} = 1800 \text{ veces.}$$

En las curvas, sólo las ruedas exteriores toman contacto con el carril exterior.

El número de veces que pasan las ruedas en una hora por un punto determinado del carril es, pues, mucho menor que el número de contactos con el carril de un punto determinado de una rueda.

Para disminuir el desgaste de las ruedas y los carriles se ha pensado en engrasar las pestañas de las ruedas o las cabezas de los carriles.

153. Engrase de las pestañas de las ruedas. — *Aparato Buclon.* — Este aparato fue puesto a prueba en 1930 en las líneas de la S.N.C.F. (antiguas redes de la P.L.M., del Estado y del Midi).

La P.L.M., de donde procede, lo había aplicado a las locomotoras de cinco ejes acoplados que circulaban en líneas de terrenos muy quebrados, con curvas de pequeño radio.

El desgaste de las pestañas del primer eje era tal que había que cambiarlo permutándolo con el quinto después de recorrer 25 000 Km.

Después de aplicar el aparato Buclon, el desgaste se redujo de tal modo que no fue necesario cambiar los ejes, por lo menos en el intervalo de dos repasos normales de la locomotora.

Descripción. — La figura 661 representan el engrasador Buclon. La pestaña de las ruedas delanteras se engrasa por un disco compuesto de láminas de cuero C. El aceite se introduce en la cavidad interior del aparato destornillando el tapón B. Penetra por las lumbreras LL y las aberturas 00 entre las láminas del disco que impregna.

La parte exterior del engrasador gira sobre el eje por intermedio de dos cojinetes de bolas.

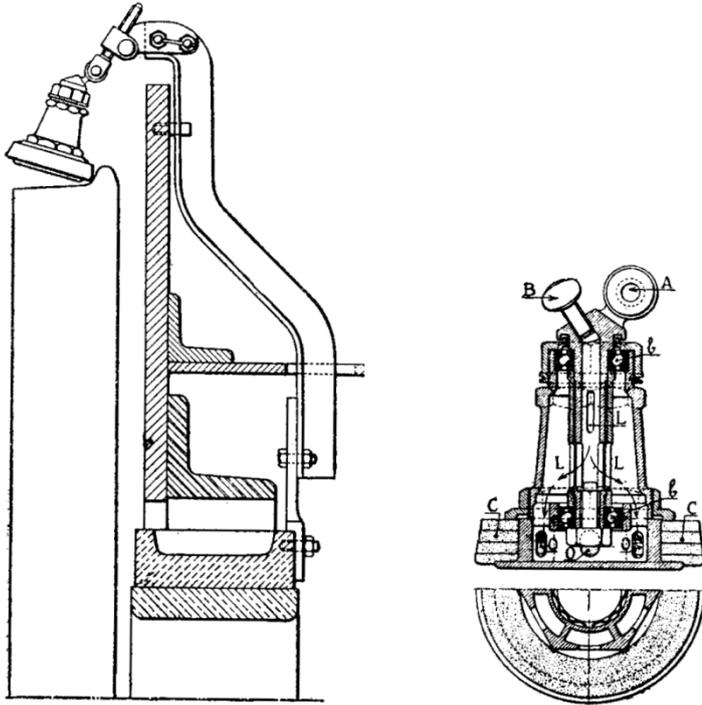


Fig. 661

Engrasador Buclon de las pestañas de las ruedas de las locomotoras

El ojal A sirve para la sujeción del aparato a la caja, como indica la figura 661a.

Dispuesto de este modo, el engrasador gasta lo mismo marchando en recta como en curva.

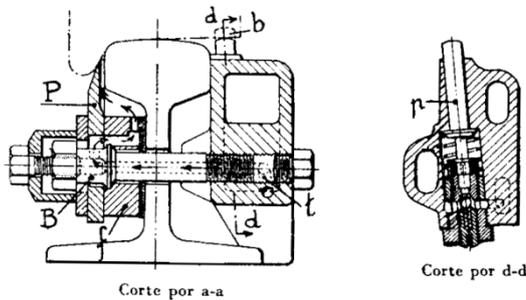
La S.N.C.B. ha aplicado el engrasador Buclon a 124 locomotoras, obteniendo una reducción del 50 % en el desgaste de las pestañas de sus ruedas.

Los ferrocarriles federales suizos, después de ensayar cincuenta y cinco sistemas de engrase de las pestañas, emplean (en 1946) nueve sistemas de engrase en las locomotoras y autovías eléctricos

Tratan de emplear un solo modelo de aparato, tanto en las locomotoras como en los autovías.

Por lo general, los aparatos funcionan bien mucho tiempo, si se los vigila y atiende regularmente.

154. Engrasadores de la cara vertical interior de la cabeza del carril. — Estos aparatos se colocan a la entrada de las curvas rápidas.



Aparatos «P y M». — En el sistema representado en la figura 662, que emplea la S.N.C.B., el dispositivo de engrase se fija al lado interior de la vía, mientras que el depósito que contiene la grasa se instala al otro lado del carril, o sea al exterior de la vía.

La grasa va comprimida fuertemente en el depósito por el resorte R.

En el depósito se halla un émbolo de resorte *p*, que funciona como una bomba. El extremo superior *b* del émbolo sobresale ligeramente del plano de rodadura del carril, de manera que a cada paso de rueda se hunde el émbolo, pero se levanta en seguida. Cuando el émbolo ocupa su posición inferior, pone en comunicación el depósito de grasa, por el agujero *t*, con el interior de un perno hueco *B*, que atraviesa el carril y termina en el aparato de engrase. Al subir el émbolo se cierra el agujero *i*.

Con la presión del resorte, la grasa es impelida a una guarnición, apretada por una placa *P* contra el carril por el lado interior de la vía.

La guarnición o estopada de engrase *f* se encuentra en el mismo plano que la cara vertical de la cabeza del carril (véanse las flechitas).

La pestaña de la rueda al pasar toca ligeramente el chaflán de la placa *P*.

155. Articulación de dos grupos de ejes. — Para lograr una gran adherencia, total o casi total, con una flexibilidad suficiente, se dividen los ejes en dos grupos, que se inscriben cada uno, separadamente, en las curvas. Si la locomotora sólo tiene dos cilindros, son necesarios mecanismos bastante complicados para transmitir el movimiento de un grupo al otro: los distintos sistemas de este tipo apenas se mantuvieron en la práctica. Es preferible montar, en cada uno de los dos grupos de ejes, un mecanismo completo de dos cilindros, y esta disposición se presta a la aplicación del sistema compound.

En el Item 8, páginas 65 y siguientes, del primer capítulo, **Generalidades**, se describen las locomotoras articuladas, con sus disposiciones, características principales, diagramas, fotos, etc.

156. Accesorios. — Entre los accesorios que puede llevar una locomotora, ya hemos mencionado los areneros, los deshollinadores y los quita-piedras. Antes de pasar al capítulo siguiente, describiremos algunos más:

157. Silbato. — Tiene un doble objeto: advertir al público el peligro y establecer un modo de comunicación entre el maquinista y el personal del tren o el de la vía. Se componen de una campana de bronce o latón, que vibra, junto con el aire que contiene, por acción de un chorro de vapor dirigido a sus bordes. El sonido que producen puede ser más o menos grave o agudo, y muchas veces eran distintivos de las diferentes empresas. En los Estados Unidos se acostumbraba a utilizar silbatos de varias campanas, que daban una combinación particular de sonidos. En Argentina este tipo de silbato fue utilizado por el Ferrocarril Provincial de Buenos Aires,

158. Pasarelas y guardarruedas. — Es común que las locomotoras estén dotadas de pasarelas que permiten llegar desde la cabina hasta el extremo delantero de la locomotora, aún estando en marcha. Están soportadas desde escuadras sujetas al bastidor, y cuentan con pasamanos adosados a la caldera, a una altura adecuada. Están construidas con chapa estriada.

Cuando llevan ruedas de gran diámetro, se colocan guardarruedas para protección del personal, en la parte que sobresale de la pasarela. En la figura 497 de la página 388 del capítulo III – Motor, se pueden apreciar tanto la pasarela como los cubrerruedas.

159. Marquesina o cabina. — En sus orígenes, las locomotoras no tuvieron ningún tipo de protección para el personal de conducción (ver dibujos de época en el Capítulo I, parte Historia). Posiblemente esta situación se debió a que, en los vehículos tirados por animales, sus cocheros tampoco la tenían. Es notable ver en esos dibujos a maquinista y foguista luciendo altos sombreros. A medida que las velocidades se hicieron mayores, surgió la necesidad de proteger al personal de conducción, y se comenzaron a usar protecciones delanteras, que los cubrían de viento y lluvia, provistas de ventanas delanteras y luego de un techo precario (véase la figura 435 en la página 339 del Capítulo III- Motor, locomotora construida en Francia en 1888). Las ventanas delanteras, que a veces incluían una pequeña puerta que permitía pasar a la pasarela, podían mantenerse abiertas. Los laterales fueron evolucionando, desde simples barandas a paredes de una altura intermedia, cerradas por un tubo vertical que estaba sujeto al techo, y cuya abertura solía presentar un radio bastante grande. El cierre, para casos de lluvia intensa, o frío extremo, eran una cortinas de lona o cuero, que se mantenían sujetas al borde del techo, mediante correas de cuero con hebillas, que se sujetaban al alfeizar del hueco que hacía las veces de ventana. En Argentina, especialmente en todos los ferrocarriles que se dirigían al norte, dado que el terreno no tenía alturas significativas, este tipo de protecciones laterales fueron la norma. Hay también un detalle digno de mencionar: las locomotoras en general tenían dos asientos redondos, sin respaldo, que permitían conducir manteniendo dentro de la cabina sólo un pie y una mano, de forma que el cuerpo quedaba casi en su totalidad fuera, en una posición que haría horrorizar a los actuales expertos en seguridad. En la figura 663, se puede ver al maquinista de la locomotora en esta posición, tomada en diciembre de 1976, en Pergamino, locomotora 8268.



Fig. 663 – Locomotora 8268 de la Compañía General

La Compañía General, cuyas locomotoras originales fueron todas equipadas con este tipo de protecciones laterales, a fines de la década del '20 compró 8 locomotoras para trenes de mercancías, tipo 4-8-0, numerándolas serie 600, y modificó cuatro locomotoras serie 200, convirtiéndolas de 4-6-0 con tender separado, a 4-6-4T, serie 30. Ambas locomotoras tenían cabinas cerradas, las 600 con protecciones laterales provistas de ventanas cerradas por pantallas corredizas de madera y protecciones traseras que cubrían la parte correspondiente a los asientos. En el caso de las serie 30, las protecciones laterales tenían asimismo ventanas laterales cerradas por pantallas corredizas de madera y una puerta posterior. También hicieron la prueba de modificar una locomotora serie 200. El personal de conducción no estuvo de acuerdo: si bien la protección invernal mejoraba, en época estival permanecer en una cabina cerrada, con temperaturas exteriores superiores a 35°C, era insoportable.

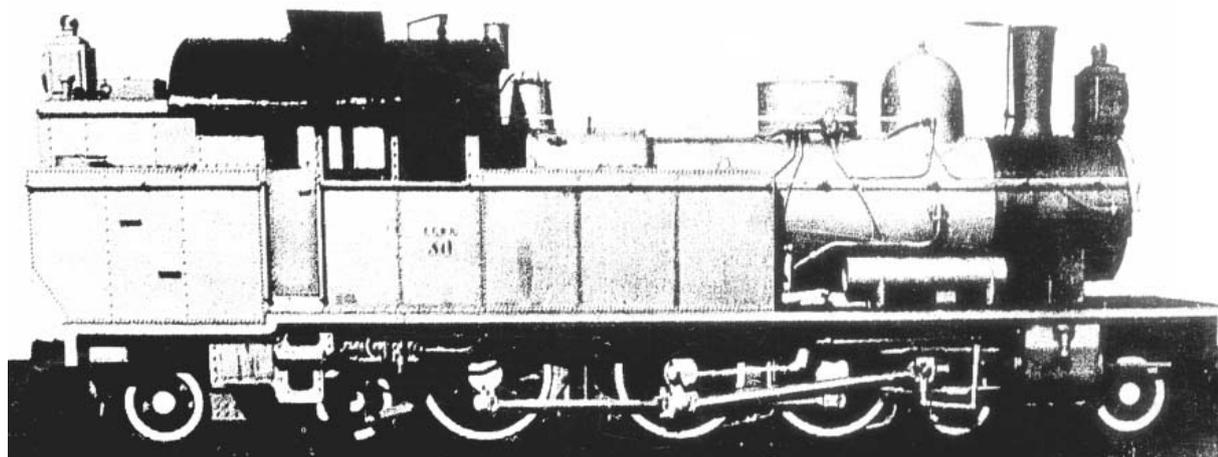


Fig. 664 – Locomotora 31 de la Compañía General, con cabina totalmente cerrada.

Los techos se prolongaban sobre el tender, y estaban provistos de una o dos trampas que se podían levantar para permitir la entrada de aire y la ventilación de la cabina.

En los Estados Unidos desde las primeras locomotoras, y debido posiblemente a la rigurosidad de su clima, se buscó cerrar lo mejor posible las cabinas. En normal que las locomotoras de países fríos, tal como Canadá, Rusia, Finlandia, etc., hayan tenido cabinas totalmente cerradas, contando en su parte posterior con un diafragma similar a los de los coches de pasajeros, que cierra el espacio entre la locomotora y el tender. En la foto siguiente, se muestra una locomotora Royal Hudson, canadiense, que cuenta con una cabina totalmente cerrada, incluso su comunicación con el tender.



Fig. 665 – Locomotora canadiense Royal Hudson, con cabina totalmente cerrada.