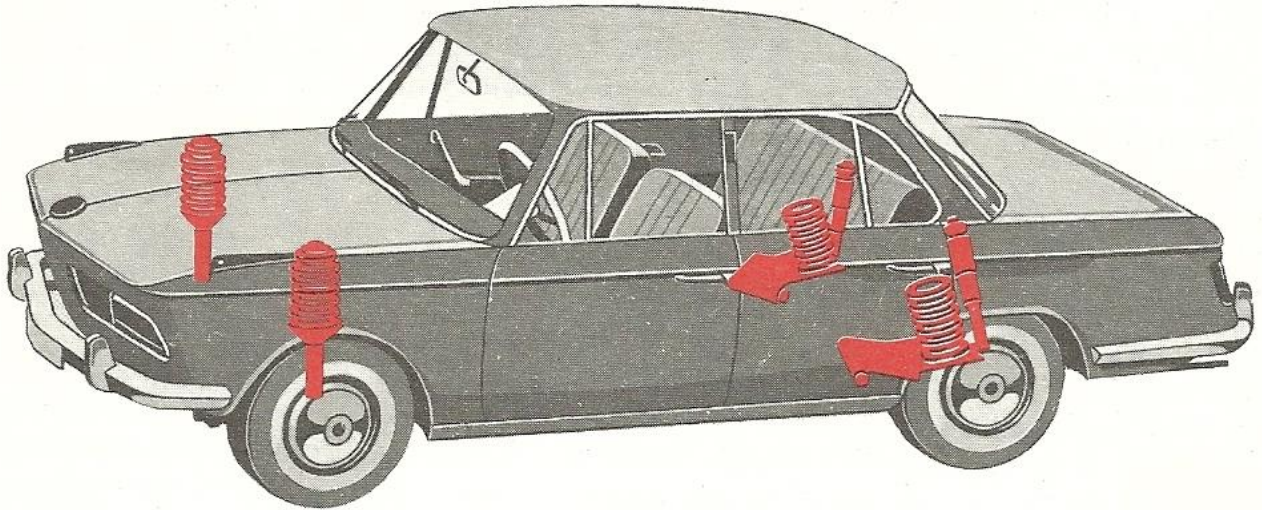


Suspensión



La suspensión elástica atenúa las violentas sacudidas experimentadas por el coche, equilibra los esfuerzos unilaterales y contribuye siempre a la perfección de contacto con la carretera.

Efecto elástico. Al pasar sobre un resalte del terreno se produce un choque que se transmite por mediación de los ejes al chasis del vehículo y que se traduce en oscilaciones del mismo. Tales oscilaciones pueden también deber su origen a conducción defectuosa y a una carga unilateralmente distribuida. Nacen en el centro de gravedad del coche y se propagan en los distintos sentidos de un sistema espacial de coordenadas (**Fig. 261**). Correspondiendo a ello se diferencian las oscilaciones de empuje, cabeceo y bamboleo.

Las oscilaciones de empuje se producen al pasar sobre terreno ondulado, las de cabeceo en los frenajes bruscos y las de bamboleo al tomar las curvas a alta velocidad.

Estas oscilaciones perjudiciales influyen no sólo la seguridad del coche, sino también la comodidad de los viajeros y la posibilidad de transporte de las mercancías delicadas. Por otra parte muchos elementos de la estructura del vehículo experimentan sollicitaciones excesivas y deben por ello ser sustituidas prematuramente. Por esta razón las ruedas disponen de bandajes de aire o neumáticos, y además están unidas al chasis en forma elástica mediante muelles.

El efecto de un muelle depende principalmente de su tipo constructivo y de su elasticidad. Esta última la define la relación entre el esfuerzo del muelle y su recorrido. Existen muelles *duros* y *blandos*.

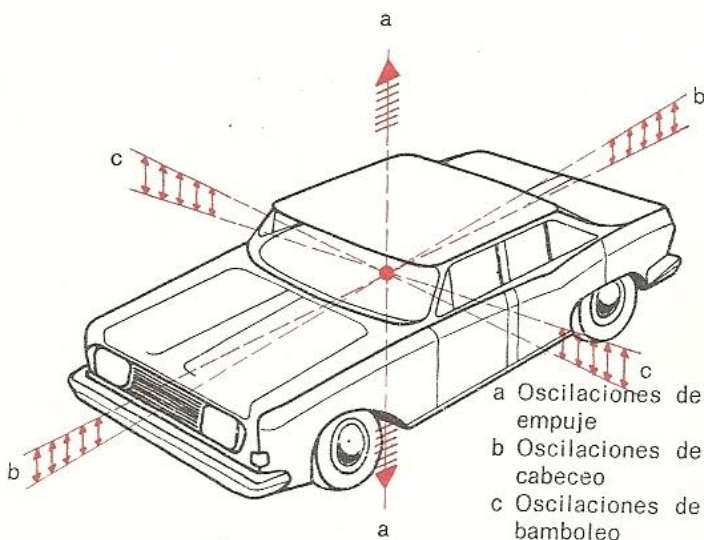


Fig. 261 Oscilaciones del cuerpo del automóvil.

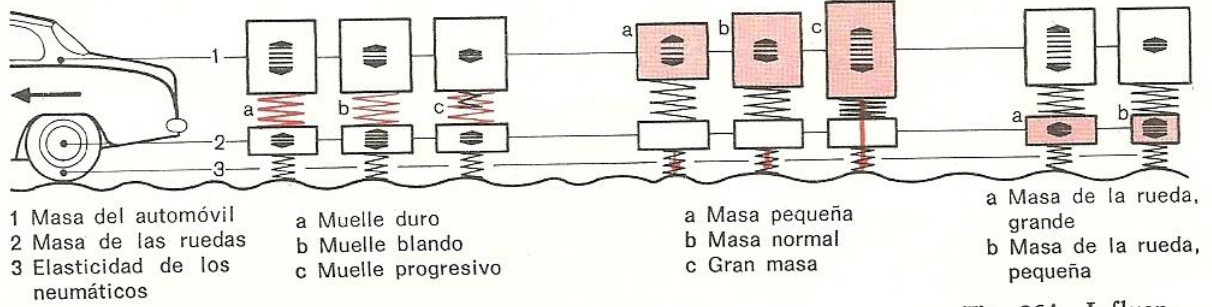


Fig. 262 Influencia de la dureza de los muelles.

Fig. 263 Influencia de la masa del automóvil.

Fig. 264 Influencia de las dimensiones de las ruedas.

Un muelle *duro* es muy resistente y admite una carga elevada. Pero transmite con facilidad al chasis del coche, incluso las pequeñas desigualdades del suelo (**Fig. 262**). Un muelle blando tiene un mayor recorrido y absorbe todas las ondulaciones del terreno. En las grandes sacudidas se acusa sin embargo tan sólo un pequeño efecto del muelle, ya que se encajan las espiras unas en otras constituyendo entonces un cuerpo rígido. Procede por tanto dar la preferencia a un muelle que, soportando tanto las pequeñas como las grandes sacudidas, mantenga a su vez separado el chasis. Estos muelles, denominados *progresivos*, se ajustan a cada carga del vehículo y hacen posible una perfecta marcha.

Los ejes y las ruedas están unidos elásticamente mediante muelles al chasis del coche. Actúan por consiguiente también sobre los resortes elásticos las *fuerzas de inercia* de todo el cuerpo del automóvil (**Fig. 263**). En el caso de un vehículo sin carga, los muelles reciben sollicitaciones muy pequeñas. Ejercen por tanto sobre las ruedas, debido a su pequeña pretensión, una presión insuficiente. Las ruedas al sobrepasar un obstáculo tienen un defectuoso contacto con el suelo y no permiten entonces la correcta conducción del coche. Con un coche cargado se alcanzan tensiones de los muelles más elevadas y por consecuencia más altas presiones sobre las ruedas. Las cubiertas presentan en este caso una mejor adhesión al suelo y tienen sobre él un contacto continuo. Cuando el vehículo se carga excesivamente, se encajan las espiras de los muelles unas en otras y transmiten de modo directo todos los golpes originados por la carretera, al vehículo. Por este motivo no debe sobrepasarse la carga máxima prescrita.

Por otra parte, las ruedas y los ejes deben poder elevarse y descender rápidamente, al vencer una elevación del terreno (**Fig. 264**), lo que sólo es posible cuando su masa no sea demasiado grande. Las ruedas deben por ello tener el menor peso posible y disponer de suspensión elástica independiente. Por esta misma razón en algunos tipos de coches los tambores de freno están dispuestos sobre los ejes fijos.

El efecto de un muelle depende pues, además de su dureza, también de la relación entre las masas con suspensión elástica y las que no la tienen.

Clases de muelles

Los muelles se construyen de acero especial de alta calidad y se les confiere la elasticidad deseada mediante diversos tratamientos.

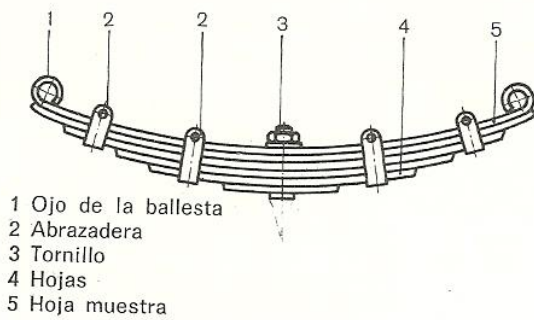


Fig. 265 Piezas principales de una ballesta simple.

El acero especial para muelles contiene además de hierro y carbono, también cromo, silicio y manganeso. Se puede templar al agua y al aceite y subsiguiente revenido. Su dureza está aproximadamente entre 130-150 kp/mm². Depende también del estado superficial. Por esta razón las superficies de los muelles se batan y se pulen.

Los muelles se diferencian en su constitución y en su forma.

Ballestas. Las *ballestas* se continúan empleando siempre (Fig. 265). Pueden soportar, aparte de los esfuerzos de flexión, también esfuerzos cortantes y poseen un determinado amortiguamiento propio. Sus hojas integrantes se desgastan realmente en el servicio, pero son fáciles de construir y de rápido intercambio.

Un muelle múltiple de hojas o ballesta está formado por varias *hojas*, que tienen distinto radio de curvatura y se aprietan unas contra otras mediante el *perno capuchino*. Con ello se obtiene una carga uniforme sobre las distintas hojas de la ballesta. La hoja más larga, denominada también *hoja maestra*, asume la función de guía de los muelles así como de los ejes. En general es algo más gruesa que las otras y en los extremos posee unos *terminales* formando ojo. Las hojas constitutivas de la ballesta se mantienen unidas mediante las correspondientes *abrazaderas*.

Las hojas de las ballestas se extienden al ser sometidas a presión y se desplazan entonces sobre sus apoyos. El *rozamiento de deslizamiento*, por ello originado, amortigua las oscilaciones de la ballesta y limita al propio tiempo su recorrido (Fig. 266). Para obtener valores uniformes de rozamiento, los planos de deslizamiento han sido previamente pulidos y lubricados con pasta de gra-

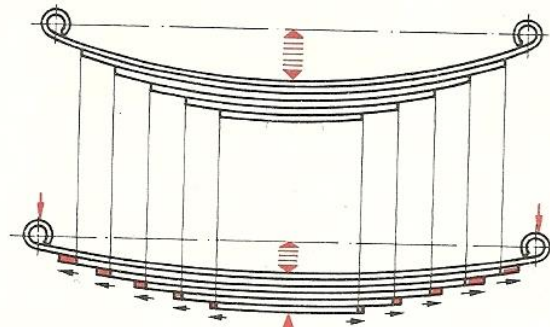


Fig. 266 Representación de la amortiguación de la ballesta.

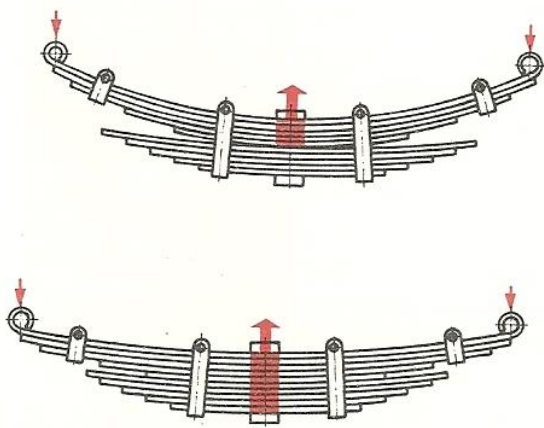


Fig. 267 Efecto progresivo de una ballesta escalonada.

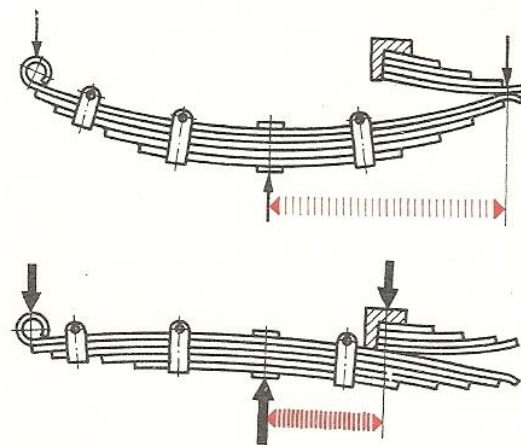


Fig. 268 Efecto progresivo de una ballesta con un muelle acortado.

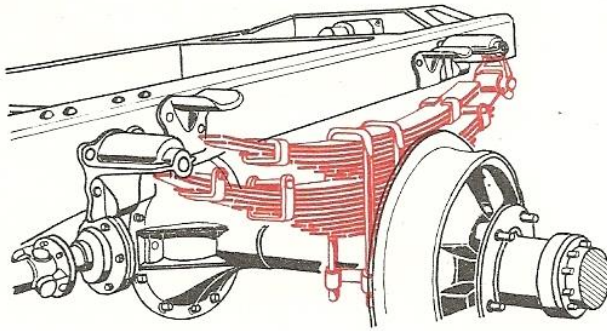


Fig. 269 Disposición de ballestas progresivas.

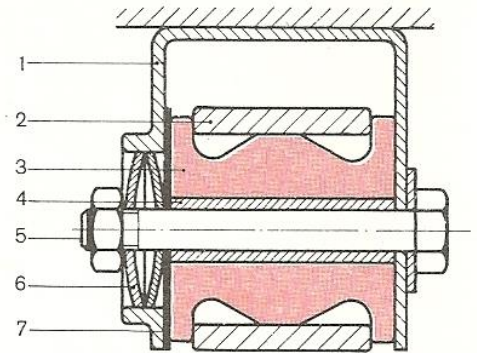


Fig. 270 Fijación de una ballesta

- | | |
|----------------------|----------------------|
| 1 Soporte | 5 Tornillo hexagonal |
| 2 Ojo de la ballesta | 6 Disco elástico |
| 3 Casquillo de goma | 7 Disco adicional |
| 4 Vaina de acero | |

fito. Igual efecto se logra también mediante finos lechos intermedios de material sintético.

Las ballestas simples tienen una línea *elástica característica* uniformemente creciente y para elevadas cargas se curvan en exceso. Este inconveniente se puede compensar mediante una segunda ballesta adaptada a la anterior (Figura 267). Un tal efecto *progresivo* de flexión se obtiene también por acortamiento de las longitudes eficaces de los muelles (Fig. 268).

Las ballestas se disponen preferentemente en el sentido longitudinal del coche (Fig. 269). Deben poder extenderse al flexionar. A tal fin existe además del punto de apoyo fijo, otro *punto de apoyo* móvil. Un *estribo fijo* soporta los esfuerzos de cizallamiento, y una *biela de suspensión* equilibra las diferencias de longitud.

El *perno de la ballesta* establece la unión entre el muelle y el chasis. Está dispuesto en un manguito de bronce o bien en un manguito silent. Un *manguito de bronce* requiere un engrase periódico, en cambio el *manguito silent* no exige cuidado alguno y al propio tiempo amortigua los ruidos de la marcha. Igual objeto satisface también un *bloque silent* (Figs. 270 y 271).

Las ballestas pueden ponerse superior o inferiormente a los ejes (Fig. 272).

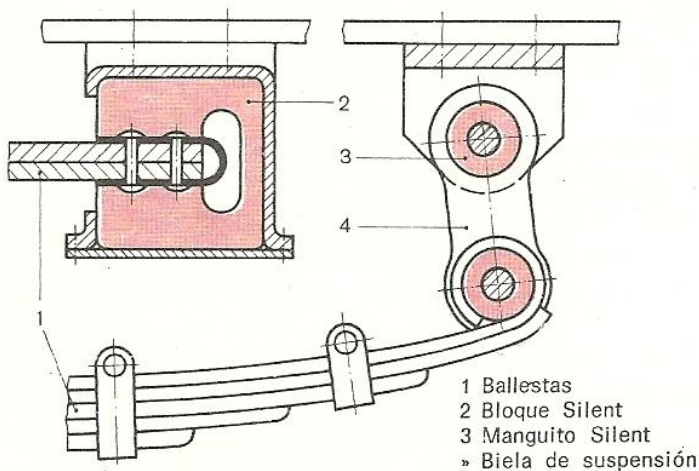
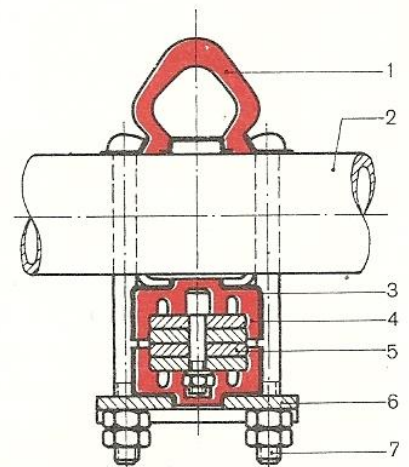


Fig. 271 Apoyo de una ballesta.

- | |
|-----------------------|
| 1 Ballestas |
| 2 Bloque Silent |
| 3 Manguito Silent |
| 4 Biela de suspensión |



- | | |
|--------------------------|------------------|
| 1 Tope | 5 Hojas |
| 2 Tubo del eje | 6 Placa de apoyo |
| 3 Guarnición de chapa | 7 Estribo |
| 4 Placa de amortiguación | |

Fig. 272 Sujeción al eje de una ballesta.

Se afirman a los ejes mediante los oportunos estribos y se amortiguan mediante placas de caucho.

Muelles helicoidales. Los muelles helicoidales se fabrican con hilo de acero, que se devana helicoidalmente sobre una espiga. Sus propiedades elásticas dependen del diámetro de la espiga, de la distancia entre espiras, y del diámetro y las propiedades del hilo de acero utilizado. Un muelle o resorte de esta naturaleza es susceptible tan sólo de sollicitaciones según su dirección longitu-

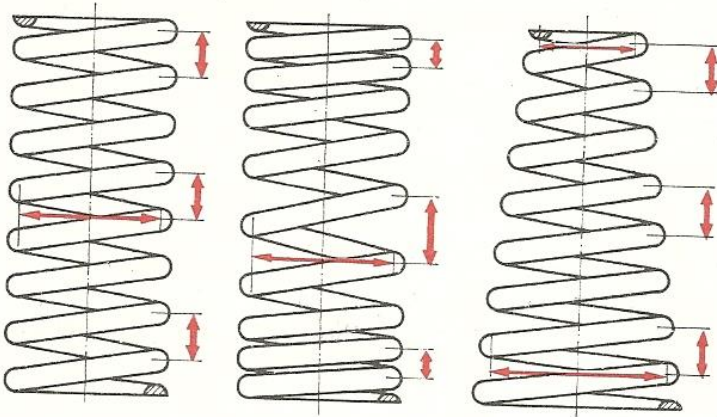


Fig. 273 Efecto progresivo de los muelles helicoidales.

dinal. Por consiguiente para la transmisión de esfuerzos de empuje se requieren *elementos de guía* especiales. Debido a su pequeño amortiguamiento propio, los muelles helicoidales precisan siempre un amortiguador adicional de oscilaciones.

Mediante diferentes alturas y diámetros distintos de arrollamiento, es factible alcanzar un efecto progresivo de flexión (Fig. 273).

Como quiera que los muelles helicoidales requieren relativamente poco espacio, son especialmente adecuados para la suspensión elástica de las ruedas directrices delanteras (Fig. 274). Se montan siempre con una tensión previa y se mantienen en su posición mediante un plato de apoyo. La *tensión previa* se gradúa en general por discos interpuestos (Fig. 275). Un resorte de caucho amortigua las sacudidas por grandes baches.

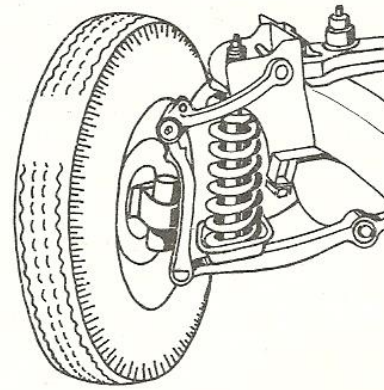
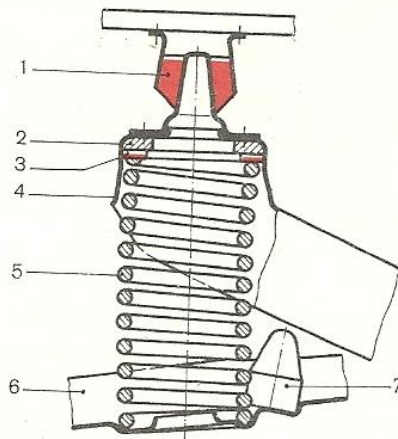


Fig. 274 Suspensión elástica de una rueda delantera.

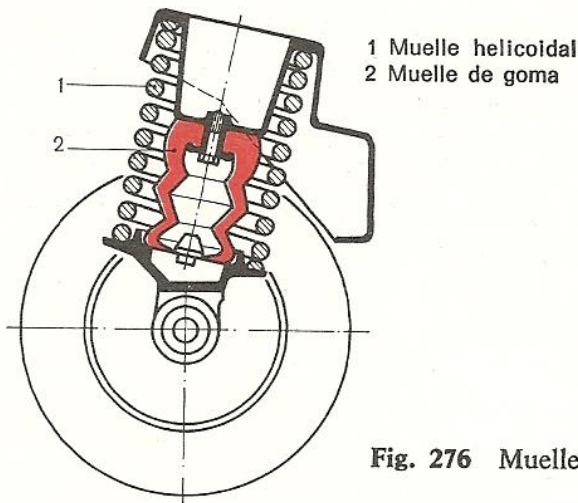


- | | |
|-------------------|---------------------|
| 1 Apoyo de goma | 5 Muelle helicoidal |
| 2 Anillo roscado | 6 Guía transversal |
| 3 Placa de base | 7 Tope de goma |
| 4 Soporte del eje | |

Fig. 275 Asiento de un muelle helicoidal.

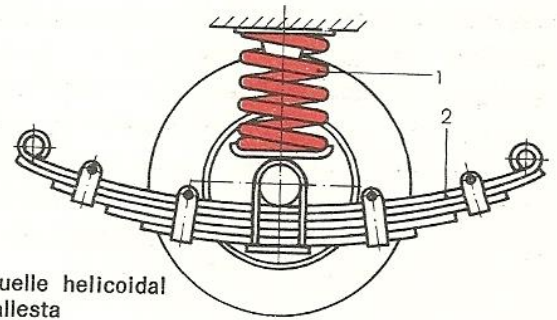
En combinación con otros elementos elásticos se logra igualmente un cierto efecto progresivo de flexión. A tal fin se utiliza la amortiguación peculiar de las ballestas en colaboración con resortes de caucho (Figs. 276 y 277). Tales *combinaciones* son especialmente adecuadas para vehículos industriales.

Un muelle helicoidal no necesita prácticamente cuidado alguno, pero puede averiarse por influencias externas y entonces pierde su elasticidad. Lo mejor en tales circunstancias, es su sustitución. En el montaje procede eliminar toda carga sobre los elementos de conducción. El muelle se puede colocar sólo mediante un *dispositivo tensor*.



1 Muelle helicoidal
2 Muelle de goma

Fig. 276 Muelle mixto en un eje anterior.



1 Muelle helicoidal
2 Ballesta

Fig. 277 Muelle mixto en un eje posterior.

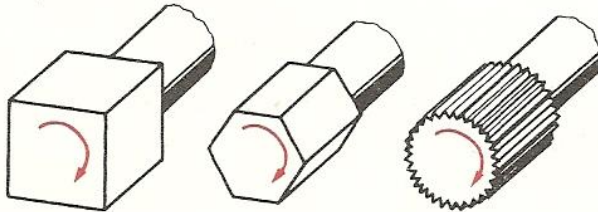


Fig. 278 Cabezas de tensado de las barras de torsión.

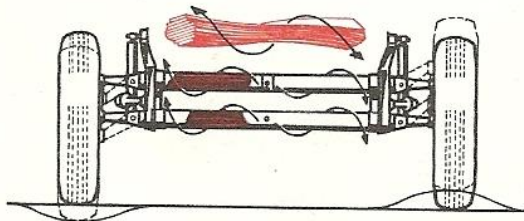
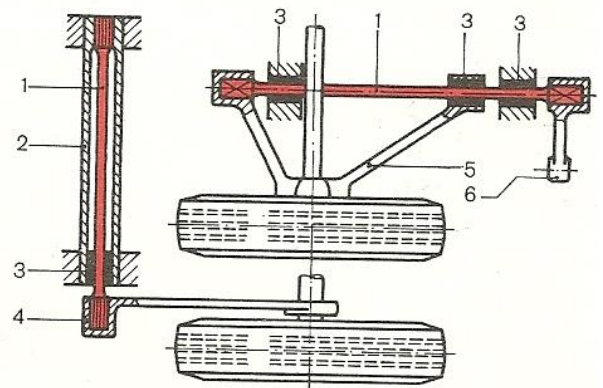


Fig. 279 Disposición de las bojas de torsión.



1 Basura de torsión
2 Tubo de guía
3 Apoyo de goma
4 Tornapuntas
5 Guía transversal
6 Palanca de pre-tensado

Fig. 280 Disposición de las barras de torsión.

Suspensión por barras de torsión. Una barra de acero fija por un extremo y solicitada a torsión, ejerce igualmente un efecto elástico. Pero el recorrido del muelle así constituido, es muy pequeño y debe por ello amplificarse mediante un brazo de palanca, lo que conduce al denominado *eje de manivela*.

Las barras de torsión tienen una sección circular o rectangular y unas *cabezas de tensado* (Fig. 278). Sufren durante su proceso de fabricación una pequeña tensión previa y no deben recibir esfuerzos más que en un solo sentido. Su sentido de torsión aparece indicado en su cara frontal, lo que hay que tener en cuenta al proceder a su montaje. Las barras de torsión no requieren por otra parte, cuidado alguno.

Una barra de torsión debe ser tratada cuidadosamente en su operación de montaje, puesto que la mínima grieta superficial degenera en rotura. Por este motivo disponen de una cubierta protectora que no debe tener lesión ninguna. Las cabezas de tensado deben poder introducirse con facilidad, para lo que previamente son engrasadas.

Pero las suspensiones por barras de torsión no soportan esfuerzo alguno de flexión, y por esta razón su extremo libre debe estar apoyado (Fig. 280). El tensado previo se gradúa bien mediante un *dentado de entalladuras* o estriado

o bien con una *palanca de pretensar*. Los muelles de hojas constituidos en barras de torsión van alojados en tubos que se afirman por su punto medio (Fig. 279).

La tensión previa de una barra de torsión, se reconoce de la mejor forma por el ángulo de inclinación del tornapuntas. Ambos tornapuntas deben presentar iguales desviaciones angulares. Se miden por medio de un calibrador (Figura 281). El índice del mismo, que se gradúa verticalmente con ayuda de un nivel de agua, debe marcar, en posición horizontal del coche, el valor prescrito. Pequeñas diferencias en la tensión previa pueden compensarse por torsión opuesta de los puntos de apoyo.

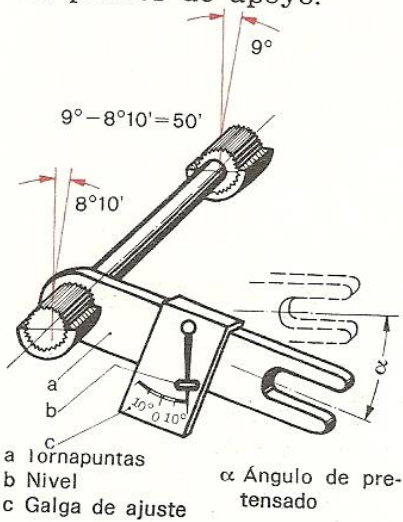


Fig. 281 Ajuste del pretensado.

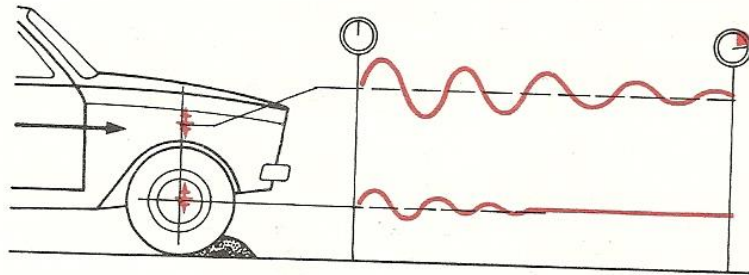


Fig. 282 Representación de la vibración de un muelle no amortiguada.

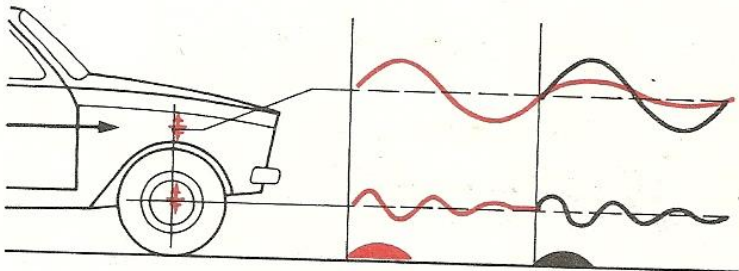
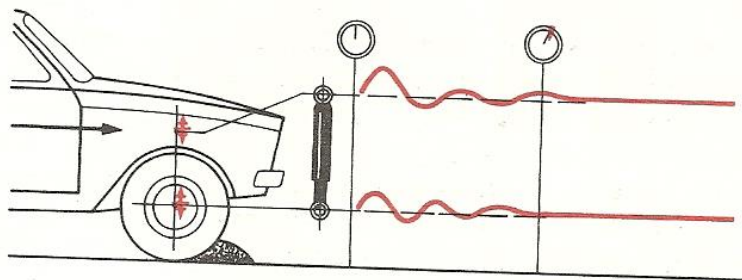


Fig. 283 Representación de la vibración de un muelle sobrepuesta.

Fig. 284 Representación de la vibración de un muelle amortiguada.



Amortiguadores

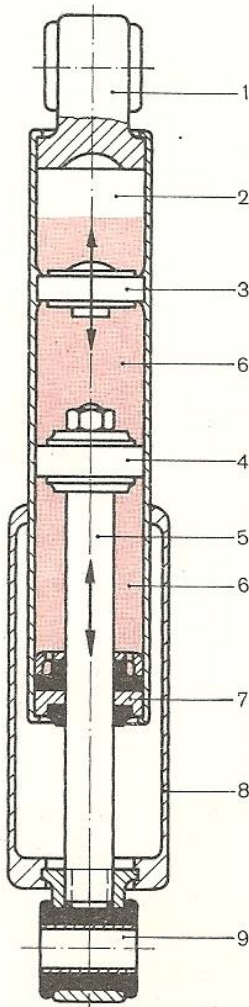
Al sobrepasar un obstáculo entran en oscilación tanto la estructura del vehículo como las ruedas, cediendo gradualmente hasta cesar al cabo de cierto tiempo (Fig. 282). La duración de las oscilaciones depende de la aptitud amortiguadora de los muelles. Las ballestas poseen una elevada eficacia de amortiguación, y llegan pronto a reposo. Los muelles helicoidales y las barras de torsión, por el contrario, requieren largo tiempo para ello.

Cuando las ruedas dentro del intervalo de tiempo de su oscilación experimentan otra nueva sacudida, nacen entonces otras nuevas oscilaciones que superponiéndose a las anteriores, las refuerzan, perturbando así el estado de



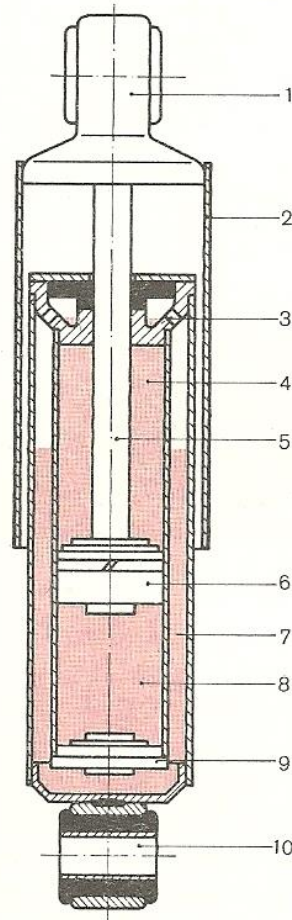
reposo de otros elementos (Fig. 283). Las ruedas saltan entonces sobre el suelo e influyen la seguridad de la marcha. La duración de estas oscilaciones debe por consiguiente ser disminuida mediante *amortiguadores de oscilaciones* o *amortiguadores de choques* (Fig. 284).

Amortiguadores de choques. Un amortiguador de choques consiste en varios manguitos que se llenan con aceite fluido y que presentan una disposición telescópica. El líquido frena el movimiento de un émbolo y amortigua así las oscilaciones de los muelles (Fig. 285). Su efecto depende de la velocidad de circulación del aceite desalojado. Se regula, bien por discos elásticos, bien por válvulas. Todo amortiguador de choques dispone además, debido a la dilatación térmica, de una cámara especial compensadora. En los amortiguadores simples se encuentra sobre el émbolo, y su acceso a la cámara de trabajo se cierra



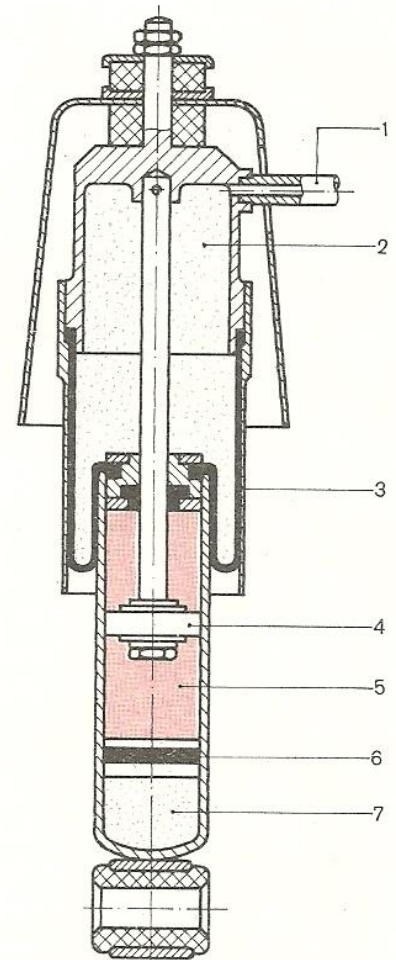
- 1-Suspensión superior
- 2 Cámara de compensación
- 3 Válvula de compensación
- 4 Pistón de trabajo
- 5 Barra del pistón
- 6 Cámara de amortiguación
- 7 Guía
- 8 Tubo de protección
- 9 Suspensión inferior

Fig. 285 Estructura de un amortiguador simple.



- 1 Suspensión superior
- 2 Tubo de protección
- 3 Guía
- 4 Cámara de alta presión
- 5 Barra del pistón
- 6 Pistón de trabajo
- 7 Cámara de reserva
- 8 Cámara de baja presión
- 9 Válvula de fondo
- 10 Suspensión inferior

Fig. 286 Estructura de un amortiguador de dos tubos.



- 1 Entrada de aire
- 2 Cámara de aire
- 3 Fuelle
- 4 Pistón de trabajo
- 5 Cámara de aceite
- 6 Pistón divisorio
- 7 Cámara de gas

Fig. 287 Estructura de un amortiguador hidroneumático.

mediante otra válvula, que al propio tiempo tiene por misión impedir la formación de espuma oleaginosa en el espacio funcional del amortiguador.

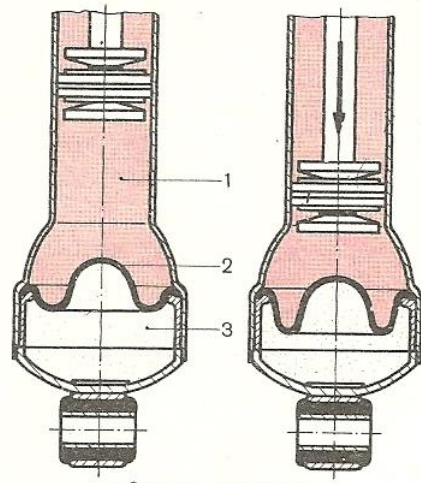


Fig. 288 Funcionamiento de los amortiguadores de gas a presión.

- 1 Cámara de aceite
- 2 Membrana
- 3 Cámara de gas

- 1 Chapa de la carrocería
- 2 Plato elástico
- 3 Tope de goma
- 4 Guía
- 5 Muelle helicoidal
- 6 Plato elástico
- 7 Casquillo
- 8 Pistón
- 9 Brazo del eje
- 10 Válvula de base

Fig. 289 Estructura de un amortiguador mixto.

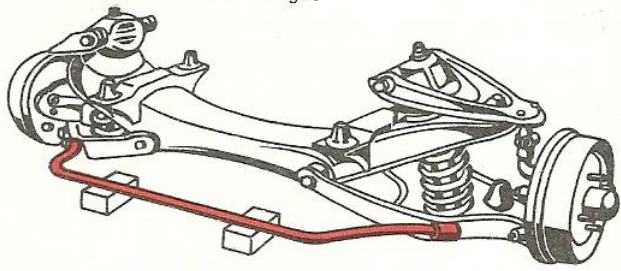
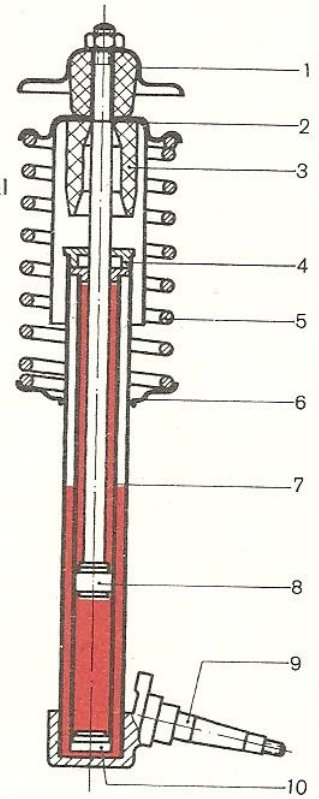


Fig. 290 Disposición de un estabilizador con barra de torsión.

Como quiera que de esta forma se obtiene un amortiguador demasiado largo, se ha previsto un segundo manguito para cámara de compensación (**Fig. 286**). La cantidad de aceite desplazado se regula ahora mediante una válvula doble, que se ajusta automáticamente bajo la presión del émbolo y que sólo permite el paso al volumen de aceite necesario. Este sistema denominado *amortiguador de choques de dos tubos* ejerce una acción progresiva y amortigua las oscilaciones del muelle tanto hacia arriba como hacia abajo.

Algunos amortiguadores de choques poseen aparte de la cámara de aceite otra de gas (**Fig. 288**). Ambas cámaras están separadas entre sí por medio de una *membrana de goma*. La membrana transmite la presión del émbolo al gas encerrado y frena de esta forma el desplazamiento del émbolo.

Muchas veces se encuentra en los amortiguadores de choques un espacio especial de aire, graduable exteriormente a la presión correspondiente según la carga del vehículo (6-25 atm) (**Fig. 290**). La presión de aire necesaria se logra por medio de una bomba de mano o un compresor de aire. Se puede también ajustar durante la marcha, tras su lectura sobre un indicador de presión. El coche está por tanto siempre en perfectas condiciones de circulación.

Los amortiguadores de choques se presentan con frecuencia reunidos en un elemento constructivo con los muelles y el muñón del eje correspondiente, reduciendo así espacio (**Fig. 289**). Un tope de caucho intercepta además los grandes choques de la carretera y ayuda con ello al efecto elástico progresivo.

Los amortiguadores de choques no exigen por lo general atención alguna y

satisfacen su misión con la mínima pérdida de aceite. Procede verificarlos en sus efectos, ocasionalmente. Lo que se verifica en forma preferente efectuando una marcha experimental sobre terreno ondulado. A pequeña escala se puede reconocer su acción por los movimientos basculantes del vehículo. De presentarse ruidos o bien oscilaciones intensas, ello es síntoma de mal funcionamiento del amortiguador y procede su sustitución. En cuya operación de montaje deben atenderse rigurosamente las prescripciones establecidas.

Estabilizador. En las curvas, la carrocería se inclina hacia afuera por virtud de la fuerza centrífuga. Por ello las ruedas soportan cargas diferentes y no ofrecen ya igual adherencia al suelo.

Un *estabilizador* debe compensar estas diferencias y amortiguar simultáneamente las oscilaciones unilaterales de los muelles (**Fig. 290**). Por lo general se utiliza a tal fin una barra de torsión dispuesta transversalmente, afirmada sobre ambas suspensiones de las ruedas y que con carga unilateral ejerce una contrapresión sobre los muelles. En caso de carga uniforme sobre las ruedas, su acción es nula.

Sistemas de suspensión elástica. La elección y disposición de los muelles se rige en función de la carga y velocidad del vehículo. El chasis del mismo debe mantener durante la marcha su posición horizontal y las ruedas deben soportar cargas lo más uniformes posible. Los ejes traseros se cargan por lo general algo más que los delanteros y por consiguiente exigen una suspensión elástica también más efectiva (**Fig. 291**).

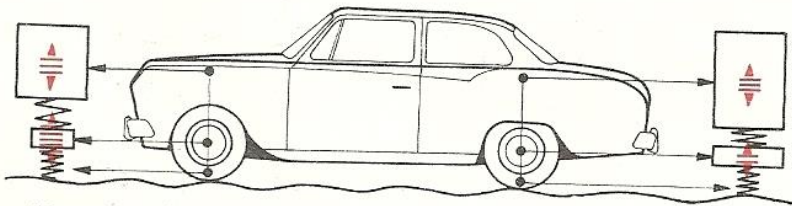


Fig. 291 Reparto de las cargas sobre los muelles.

Pero como los recorridos de los muelles de acero varían con la carga, requieren por ello ajustes distintos de acomodación del cuerpo del vehículo al terreno. Son necesarios por tanto métodos de suspensión elástica que utilicen, en lugar de los muelles de acero, los elementos elásticos de goma. Estos elementos se rellenan con un líquido o un gas y se ajustan a la carga del coche.

Los elementos elásticos de una instalación hidráulica contienen una mezcla de agua y alcohol. Están unidos entre sí por una tubería que cursa a todo lo largo del vehículo. El líquido transmite la presión soportada, de un eje al otro y establece de este modo la compensación y el equilibrio. No tienen lugar ya cabeceos (**Fig. 292**).

Las sacudidas de la carretera son amortiguadas por barras de torsión. Válvulas dobles regulan la presión y la velocidad del líquido. La presión de circulación precisa sin embargo, ser ajustada con exactitud, previamente. Equilibradas las ruedas, se gradúan todos los elementos a un valor medio (**Fig. 293**).

En las instalaciones *neumáticas* se conectan todos los elementos elásticos a un recipiente de aire, que se mantiene a la presión conveniente mediante un compresor. La *presión efectiva* de los elementos depende de la carga sobre las ruedas y se regula por medio de válvulas. Se compensan así las diferencias de presión entre las ruedas y se consigue un contacto más uniforme con el suelo. El coche puede por consiguiente mantenerse siempre a igual separación del terreno (**Fig. 294**).

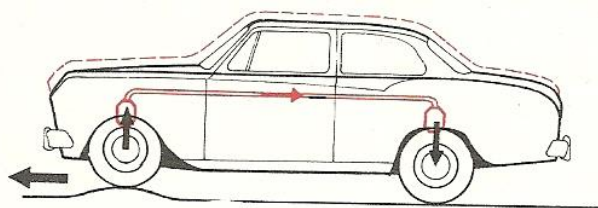
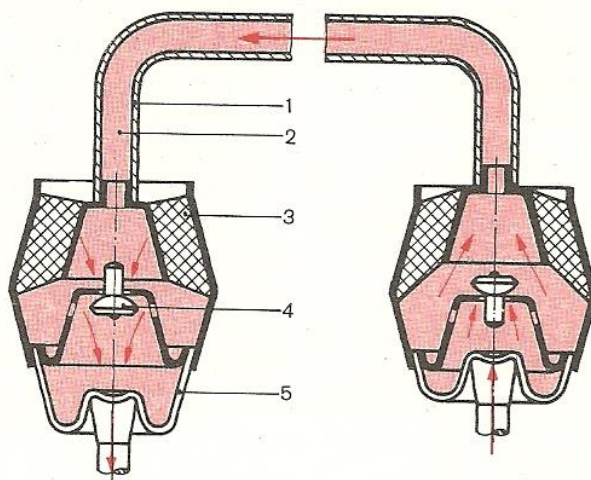
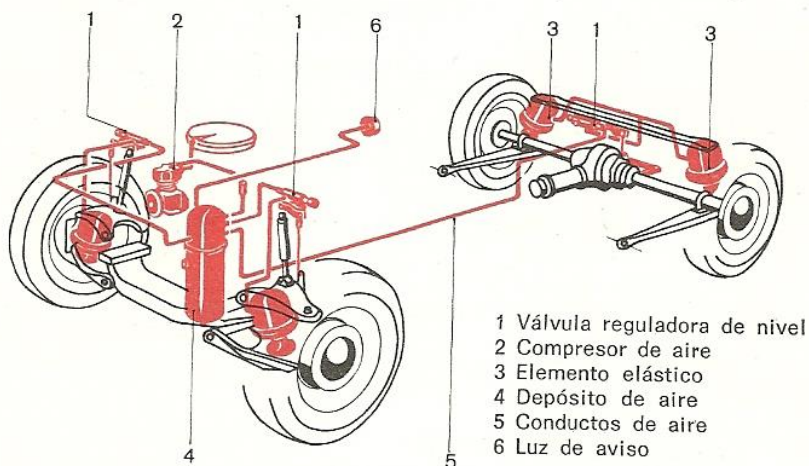


Fig. 292 Efecto de una suspensión hidroestática.



- 1 Tubo de unión
- 2 Relleno de agua
- 3 Muelle de goma
- 4 Válvula doble
- 5 Fuelle de goma

Fig. 293 Funcionamiento de los elementos elásticos.



- 1 Válvula reguladora de nivel
- 2 Compresor de aire
- 3 Elemento elástico
- 4 Depósito de aire
- 5 Conductos de aire
- 6 Luz de aviso

Fig. 294 Representación de una suspensión neumática.

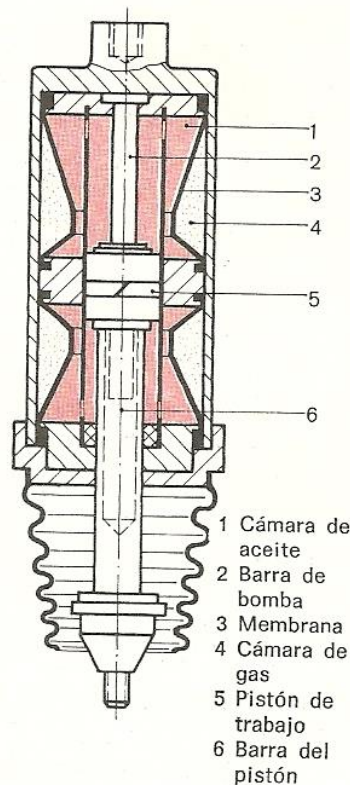
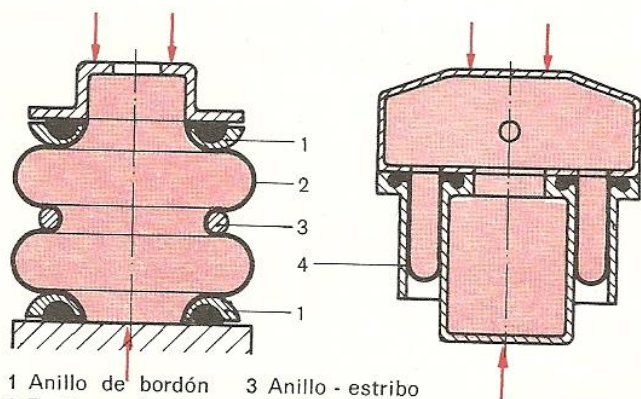


Fig. 296 Estructura de un elemento elástico hidroneumático.



- 1 Anillo de bordón
- 2 Fuelle anular
- 3 Anillo - estribo
- 4 Fuelle cilíndrico

Fig. 295 Estructura de los elementos elásticos.

El aire es susceptible, como todo cuerpo gaseoso, de ser comprimido en un recipiente. Con ello nace una contrapresión progresivamente creciente, que aumenta con la carga, y que suprime rápidamente toda oscilación.

El efecto elástico de los fuelles de goma se regula por la propia presión efectiva. Un muelle de aire amortigua al mismo tiempo los ruidos de la carretera.

Según su tipo constructivo se clasifican en fuelles anulares o cilíndricos (Figura 295). Están contruidos en caucho sintético y las más de las veces tie-

nen un almohadillado interior de tejido de cuerda. La acción de una instalación neumática depende de la temperatura, y por este motivo dispone de *válvulas especiales de compensación*. El agua condensada que se forma en las tuberías por la circulación de aire húmedo, debe extraerse periódicamente.

En las instalaciones *hidroneumáticas* se utiliza el efecto elástico de un líquido y de un gas. Los elementos constitutivos se parecen en su construcción a un amortiguador de choques y se montan análogamente a éstos en los coches. Las cámaras peculiares se llenan con aceite fluido y gas altamente comprimido, separados entre sí por una membrana (**Fig. 296**).

A carga normal la membrana transmite la presión del aceite al almohadillado de gas. Los gases amortiguan el movimiento del émbolo en forma elástica y restablecen rápidamente el estado originario. Los grandes desplazamientos

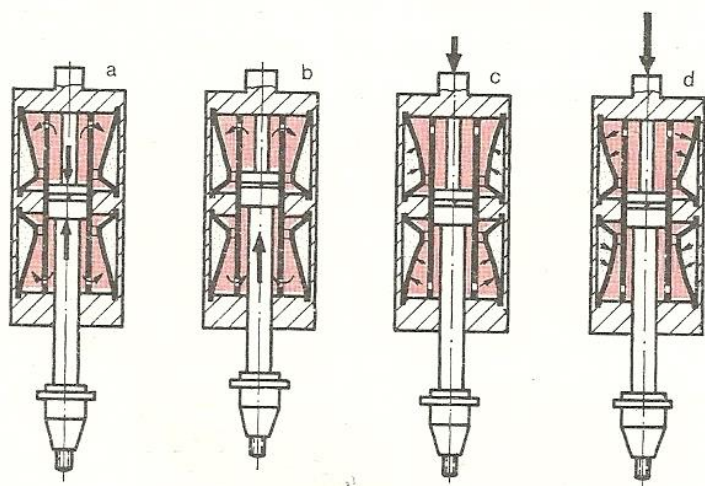


Fig. 297 Funcionamiento de un muelle hidroneumático.

- a Amortiguación elástica
- b Amortiguación de choque
- c Descargado
- d Sobrecargado

del émbolo son amortiguados por la reacción resistente de la circulación. Los gases están bajo presión, y equilibran las diferencias de nivel en el caso de cargas no uniformes del vehículo. El movimiento del émbolo presiona el vástago de la bomba desplazando el aceite en exceso a la cámara superior. Con ello se engendra la contrapresión, y el elemento elástico recupera nuevamente su facultad originaria de amortiguamiento (**Fig. 297**).

Características de los muelles

Todos los muelles poseen, a pesar de sus distintas formas, determinadas propiedades comparativas que influyen en la aptitud para la circulación de un automóvil.

Funcionamiento de los muelles. Un muelle de acero puede absorber esfuerzos elásticamente. Las ballestas se curvan por el influjo de estos esfuerzos y los muelles helicoidales se comprimen sobre sí. El *recorrido del muelle* depende de su *fuerza*. Ambos valores varían siempre en igual relación. Se tienen así unas *líneas rectas representativas* de la acción de los muelles, agudamente ascendentes, y expresivas de su elasticidad o de su dureza (**Fig. 298**). Las líneas características de los muelles progresivos presentan por el contrario, o un *acodamiento* o un *curso curvo* (**Fig. 299**).

La elasticidad de un muelle, o su *característica funcional*, se puede calcular partiendo de su fuerza y del camino recorrido o desplazamiento efectuado.

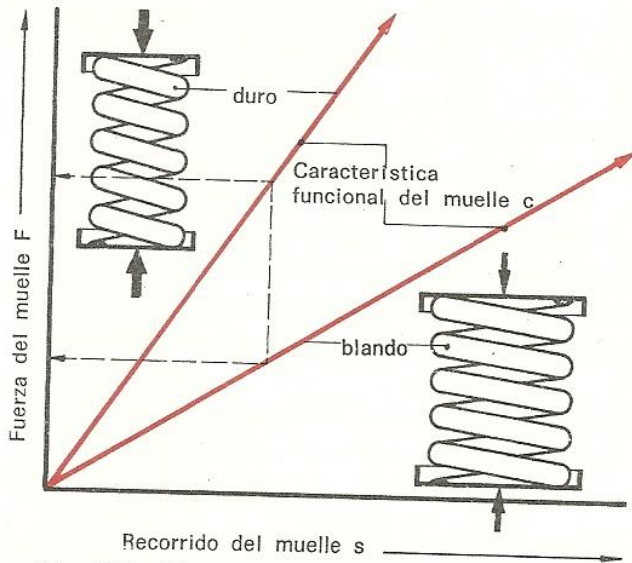


Fig. 298 Líneas características de los muelles normales.

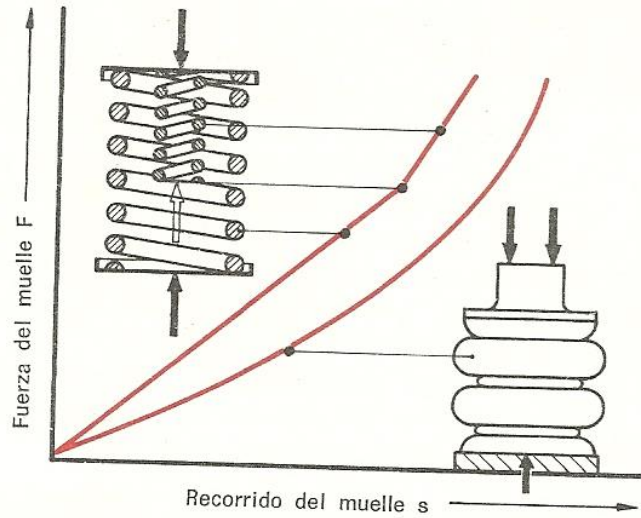
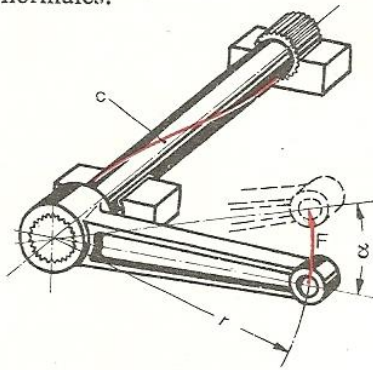
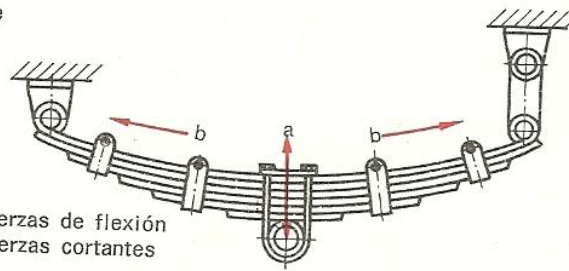


Fig. 299 Líneas características de los muelles progresivos.



c Característica funcional del muelle
r Longitud de la palanca
F Fuerza del muelle
 α Ángulo del muelle

Fig. 300 Característica funcional de las barras de torsión.



a Fuerzas de flexión
b Fuerzas cortantes

Fig. 301 Solicitación de una ballesta.

$$\text{Características del muelle} = \frac{\text{Fuerza del muelle}}{\text{Camino recorrido}}$$

$$\text{o bien } c = \frac{F}{s} \text{ de donde } F = c \cdot s \text{ y } s = \frac{F}{c}$$

Ejemplo: Un muelle helicoidal está sometido a una carga de 200 kp, sufriendo como consecuencia una compresión sobre sí de 20 mm. ¿Qué valor tiene su característica?

$$c = \frac{F}{s} = \frac{200 \text{ kp}}{20 \text{ mm}} = 10 \text{ kp/mm}$$

$$F = 200 \text{ kp}$$

$$s = 20 \text{ mm}$$

Las barras de torsión experimentan sollicitaciones análogas a los muelles helicoidales. Se obtiene su característica en función del momento de torsión y del ángulo de torsión resultante de la barra (Fig. 300).

$$\text{Característica de la barra} = \frac{\text{Momento de torsión}}{\text{Ángulo de torsión}}$$

$$\text{o bien } c = \frac{F \cdot r}{a} \text{ de donde } F = \frac{c \cdot a}{r} \text{ y } a = \frac{F \cdot r}{c}$$

Ejemplo: Una barra de torsión se carga con 600 kp a una longitud de brazo de pa-



lanca de 300 mm. ¿Qué valor tiene el ángulo de torsión para una característica elástica de 9000 kpmm/grad.?

$$\alpha = \frac{F \cdot r}{c} = \frac{600 \text{ kp} \cdot 300 \text{ mm}}{9000 \text{ kpmm/grad}} = 20 \text{ grad}$$

$F = 600 \text{ kp}$
 $r = 300 \text{ mm}$
 $c = 9000 \text{ kpmm/grad}$

Cargas sobre muelles. Las ballestas experimentan predominantemente esfuerzos de flexión (Fig. 301). La resistencia a la flexión permisible ($\sigma = \text{sigma}$) importa aproximadamente 50-80 kp/mm². Para grandes cargas se requieren varias hojas, que se disponen de forma que resulte siempre la ballesta así constituida uniformemente cargada.

La carga permisible en el caso de sus dos extremos apoyados y la carga gravando en su centro, se calcula en función de la sección transversal y la longitud de la ballesta (Fig. 302).

$$\text{Carga de la ballesta} = \frac{\text{N.º de hojas} \cdot \text{anchura} \cdot \text{espesor}^2 \cdot \text{resistencia a la flexión}}{\text{séxtuplo de la longitud}}$$

$$\text{o bien } F_B = \frac{n \cdot b \cdot h^2 \cdot \sigma}{6 \cdot l}$$

n = Núm. de hojas
 b = Ancho de las hojas
 h = Espesor de la hoja
 l = Longitud de la hoja
 F = Carga de la ballesta

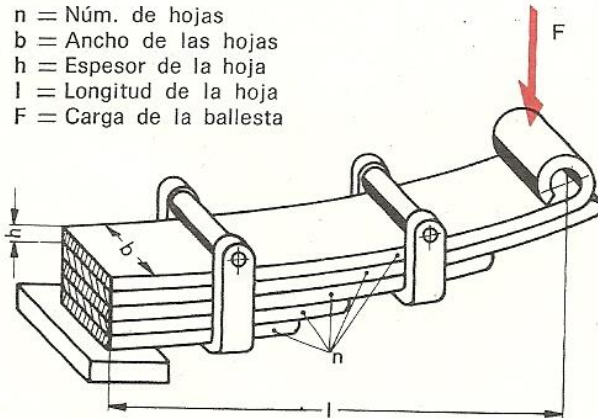


Fig. 302 Valores característicos de las ballestas.

a Fuerza de compresión
 b Fuerza de torsión

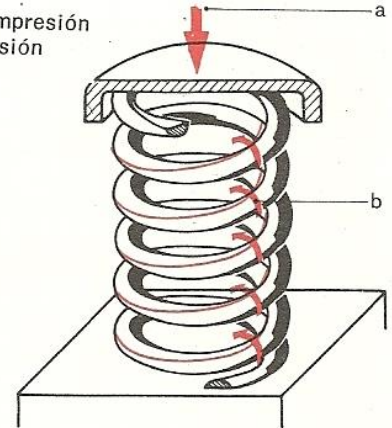


Fig. 303 Sollicitación de un muelle helicoidal.

Ejemplo: Una ballesta está constituida por seis hojas de acero especial de 60·8 mm y una longitud de 1200 mm. ¿Qué carga máxima resulta para $\sigma = 80 \text{ kp/mm}^2$?

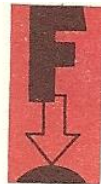
$$F = \frac{n \cdot b \cdot h^2 \cdot \sigma}{6 \cdot l} = \frac{6 \cdot 60 \text{ mm} \cdot 8 \text{ mm} \cdot 8 \text{ mm} \cdot 80 \text{ kp/mm}^2}{6 \cdot 1200 \text{ mm}}$$

$$= 256 \text{ kp}$$

$n = 6$
 $b = 60 \text{ mm}$
 $h = 8 \text{ mm}$
 $l = 1200 \text{ mm}$
 $\sigma = 80 \text{ kp/mm}^2$

La misma capacidad resistente puede lograrse con otro dimensionado, pero con ello se alteran las propiedades elásticas. Muchas hojas finas constituyen un muelle «blando», y pocas gruesas un muelle «duro». Un muelle largo es igualmente más blando que otro corto. Es decir, que aparte de la carga hay que considerar también la característica elástica del muelle.

Los muelles helicoidales no pueden soportar carga alguna transversal, sino

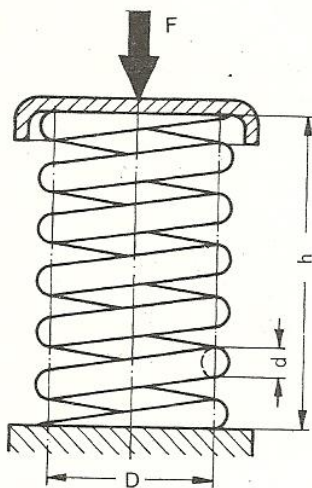


solamente según su dirección longitudinal. El hilo de acero experimenta con ello un movimiento de torsión alrededor de su eje longitudinal (Fig. 303). Pero un muelle de esta naturaleza puede ser también considerado como una barra de torsión arrollada helicoidalmente. La *tensión de torsión* permisible ($\tau = \text{tau}$) se encuentra aproximadamente entre 25 y 35 kp/mm². En la fabricación de automóviles se emplean principalmente muelles helicoidales cilíndricos de redondo de acero. La carga admisible es función del diámetro del redondo y del diámetro medio del arrollamiento del muelle (Fig. 304). Además procede tener en cuenta también la *relación de arrollamiento* D/d . El correspondiente factor de curvatura puede tomarse del oportuno gráfico (Fig. 305).

$$\text{Carga del muelle} = \frac{\pi \cdot \text{Diámetro del hilo}^3 \cdot \text{tensión de torsión}}{8 \cdot \text{factor de curvatura} \cdot \text{diám.}^\circ \text{ del arrollam.}^\circ}$$

$$\text{o bien } F_{hel.} = \frac{\pi \cdot d^3 \cdot \tau}{8 \cdot k \cdot D}$$

Ejemplo: Un muelle helicoidal cilíndrico tiene un diámetro de hilo de 12 mm y un diámetro medio de arrollamiento de 96 mm. ¿Cuál será la carga máxima con una tensión de torsión de 30 kp/mm², siendo el valor del coeficiente de corrección obtenido $k = 1,17$?



d = Diámetro del alambre
 h = Altura del muelle
 D = Diámetro de arrollamiento

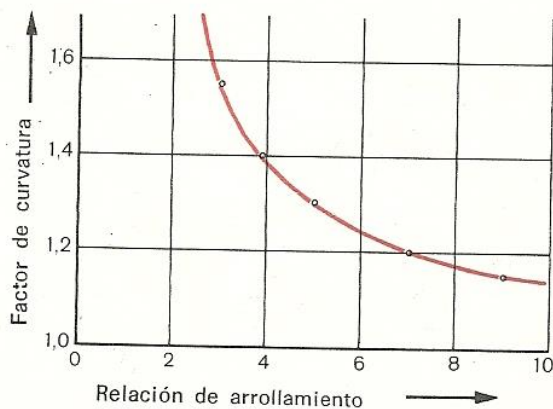


Fig. 305 Factor de curvatura de los muelles helicoidales.

Fig. 304 Valores característicos de los muelles helicoidales.

$$\begin{aligned} F_{hel.} &= \frac{\pi \cdot d^3 \cdot \tau}{8 \cdot k \cdot D} \\ &= \frac{3,14 \cdot 12 \cdot 12 \cdot 12 \cdot 30 \text{ kp/mm}^2}{8 \cdot 1,17 \cdot 96 \text{ mm}} \\ &= 180 \text{ kp} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d &= 12 \text{ mm} \\ D &= 96 \text{ mm} \\ D/d &= \frac{96}{12} = 8 \\ k &= 1,17 \\ \tau &= 30 \text{ kp/mm}^2 \end{aligned}$$

Las espiras de un muelle helicoidal no deben, en su función elástica, entrar en mutuo contacto, ya que de lo contrario cesa el efecto del muelle y entonces las sacudidas de la carretera se transmiten de modo directo al chasis. La altura del muelle debe por tanto calcularse de forma que a carga máxima exista to-



davía una pequeña distancia entre espiras (Fig. 306). La altura mínima es función del diámetro del hilo y del número de espiras. Hay que contar también con los efectos de inercia.

Altura del muelle = espesor del hilo · (1,2 · número de espiras + 1,5)

$$\text{o bien } h_{\min} = d (1,2 \cdot n + 1,5)$$

Longitud del hilo = $\pi \cdot$ Diámetro del arrollamiento (número de espiras + 1,5)

$$\text{o bien } l = \pi \cdot D (n + 1,5)$$

l_1 = Longitud del muelle, sin tensión
 l_2 = Longitud del muelle, montado
 l_3 = Longitud del muelle, bajo carga

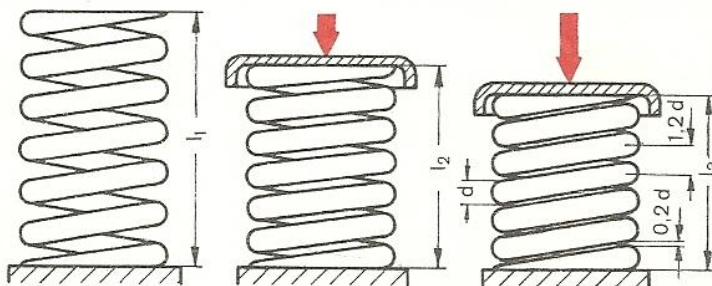


Fig. 306 Representación de los recorridos de un muelle.

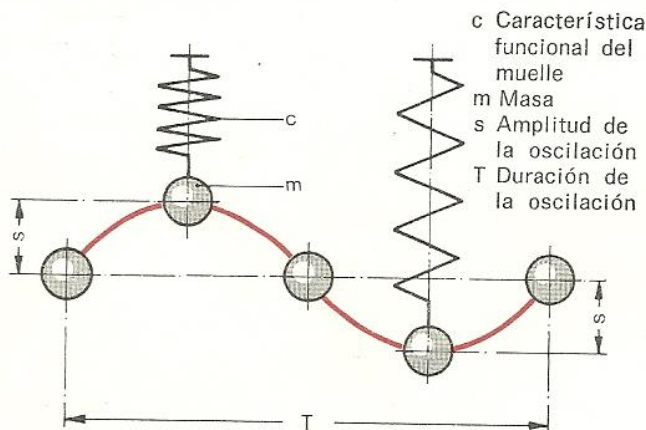


Fig. 307 Valores característicos de una oscilación.

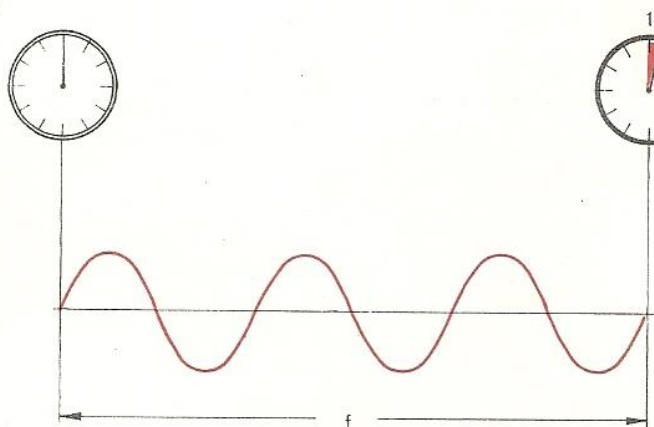


Fig. 308 Representación del número de oscilaciones.

Ejemplo: Un muelle helicoidal de hilo de acero de 10 mm tiene un diámetro medio de arrollamiento de 80 mm y 14 espiras. ¿Cuál será su altura y la longitud del hilo?

$$h_{\min} = d (1,2 \cdot n + 1,5) = 10 \text{ mm } (1,2 \cdot 14 + 1,5) = 183 \text{ mm}$$

$$l = 3,14 \cdot 80 \text{ mm } (14 + 1,5) = \pi \cdot D (n + 1,5) = 3893,6 \text{ mm}$$

$$d = 10 \text{ mm}$$

$$D = 80 \text{ mm}$$

$$n = 14 \text{ Diám. arroll.}$$

Oscilaciones del muelle. Un cuerpo suspendido elásticamente efectúa tras una impulsión un movimiento pendular, que tiene igual amplitud de desviación a uno y otro lado y que disminuye gradualmente. El curso de este movimiento oscilante, en función del tiempo, se puede representar mediante una línea ondulada (Fig. 307). Un movimiento de ida y regreso constituye una oscilación completa. El tiempo en que ello se efectúa es la duración de la oscilación (T) y la desviación máxima, la amplitud de la oscilación. La frecuencia (f) la define el número de oscilaciones por segundo (Fig. 308). Se mide en herz (Hz).



El número de oscilaciones depende de la elasticidad del muelle y de la masa del cuerpo suspendido.

$$\text{Duración de oscilación} = 2\pi \sqrt{\frac{\text{Masa del cuerpo}}{\text{Coeficiente elástico}}} \quad \text{o bien } T = 6,28 \sqrt{\frac{m}{c}}$$

$$\text{Número de oscilaciones} = \frac{1}{\text{Duración de oscilación}} \quad \text{o bien } f = \frac{1}{T}$$

Ejemplo: Un muelle está cargado con 100 kp. ¿Qué número de oscilaciones tendrá si su característica elástica es de 20 kpm/cm?

$$m = \frac{G}{g} = \frac{9,81 \text{ m/s}^2}{100 \text{ kp}} = 10,2 \frac{\text{kps}^2}{\text{m}}$$

$$T = 6,28 \sqrt{\frac{m}{c}} = 6,28 \sqrt{\frac{10,2}{2000}} = 0,44 \text{ s}$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,44} = 2,27/\text{s} = 2,27 \text{ Hz}$$

$$F = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$c = 100 \text{ kp}$$

$$g = 20 \text{ kp/cm} = 2000 \text{ kp/m}$$

Un hombre puede soportar en un automóvil 1-2 oscilaciones por segundo, en perfectas condiciones. Un número mayor de oscilaciones excita el sistema nervioso, y un número bajo de oscilaciones puede determinar el mareo. En su virtud procede adoptar el régimen elástico adecuado.

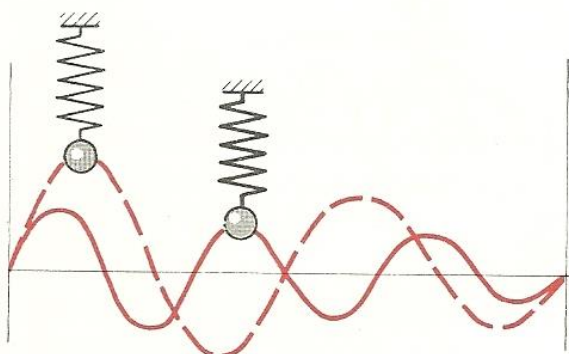


Fig. 309 Influencia de la dureza del muelle.

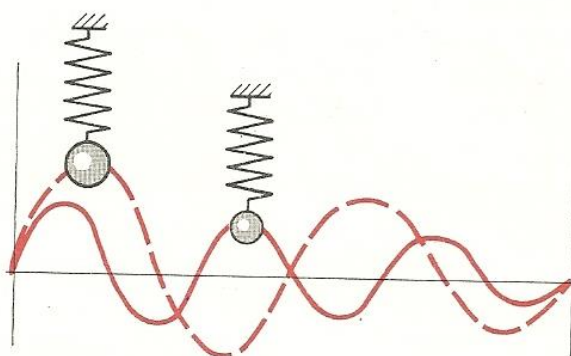
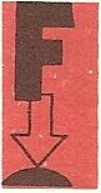


Fig. 310 Influencia de la carga del muelle.

Un muelle blando tiene un gran recorrido y un pequeño número de oscilaciones (Fig. 309). Un muelle duro tiene por el contrario un pequeño recorrido, y a igual tiempo más oscilaciones. Iguales consecuencias determinan las cargas a que son sometidos los muelles (Fig. 310).

Los muelles de un automóvil deben, a pesar de su carga variable, tras toda sacudida recuperar rápidamente su situación de reposo. Esta es la misión de los amortiguadores de choques (Fig. 311).

Las resistencias al rozamiento amortiguan a su vez gradualmente toda oscilación hasta alcanzar también el estado de reposo. Una oscilación inamortiguada se presenta siempre que la pérdida de energía originada por el rozamiento, es aportada nuevamente. Así sucede con el reloj de péndulo mediante la



tensión de un muelle, o en un columpio mediante una nueva impulsión externa poco después de cada cambio de sentido. También las ruedas de un vehículo chocan constantemente contra las ondulaciones del terreno y las desigualdades

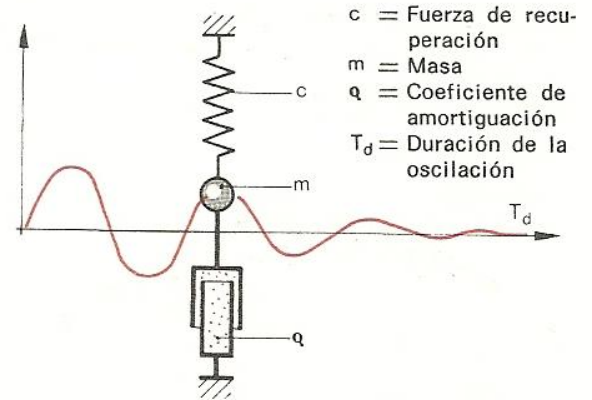


Fig. 311 Representación de una oscilación amortiguada.

de las carreteras. Las oscilaciones de los muelles pueden incluso amplificarse cuando estas sacudidas llegan a ser rítmicas. Por otra parte, a un número determinado de revoluciones del motor, puede entrar en vibración la carrocería. Bajo el influjo de tales vibraciones, puede llegar a romperse el árbol motor.

Estas oscilaciones denominadas de resonancia deben, por estas razones, ser amortiguadas. O se modifica por disminución del número de revoluciones la frecuencia de resonancia, o bien se dispone un adecuado amortiguador de oscilaciones.

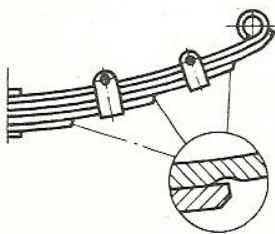


Fig. 312 Puntos de desgaste de las ballestas.

- a Distancia entre ojos
- b Flecha de la ballesta
- c Espesor de la hoja
- d Diámetro de los ojos
- e Ancho de la ballesta

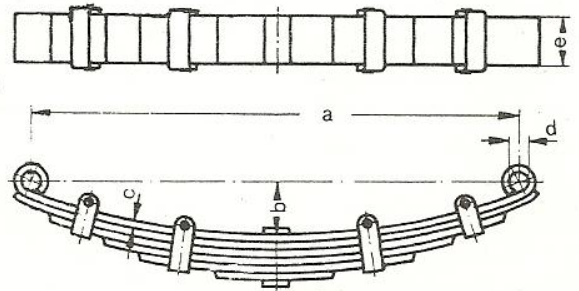


Fig. 313 Dimensiones de montaje de las ballestas.



Entretimiento de las ballestas

Las ballestas, en oposición a los demás, exigen un engrase periódico. Para ello procede su descarga por elevación del chasis del vehículo, y su previa limpieza a fondo. Entonces, mediante una ligera separación sucesiva de sus hojas constitutivas, se introduce entre ellas una *grasa lubricante* a base de grafito. Al propio tiempo se revisan las superficies de deslizamiento buscando posibles localizaciones de desgaste. Cavidades en los finales de hoja impiden el proceso de deslizamiento y debilitan su función (Fig. 312). Cicatrices de oxidaciones determinan igual consecuencia. Las ballestas se protegen muchas veces contra la suciedad del suelo por medio de *fundas* adecuadas.



Las ballestas pierden también con el curso del tiempo su tensión y entonces no es ya prudente su funcionamiento a plena carga. Una ballesta «ineficaz» es susceptible de nuevo curvado. A tal objeto se desmonta y se descompone en sus elementos constitutivos. Para estas operaciones se requieren dispositivos especiales. Primeramente es la hoja maestra la que se adapta al diámetro de curvatura prescrito, que es función de su longitud y de su altura (Fig. 313). Las otras hojas se curvan respectivamente algo más. Todas las hojas distendidas y super-



Fig. 314 Capas de hojas en estado distendido.

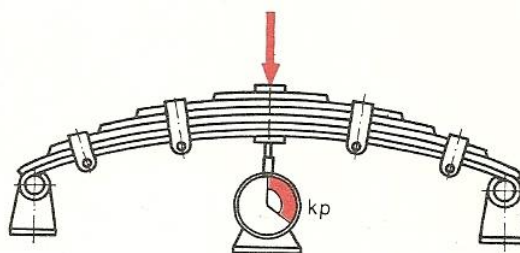


Fig. 315 Verificación de la tensión de la ballesta

puestas deben dejar entre sí en su parte central un pequeño espacio intermedio (Fig. 314).

El curvado se da en frío mediante una máquina de curvar. Luego se requiere un nuevo temple. Para ello se calientan a $740-870^{\circ}\text{C}$ y se sumergen bruscamente en agua o aceite hasta los $420-550^{\circ}\text{C}$.

Las hojas de ballesta dañadas deben sustituirse por otras de material de igual calidad. Se montan constituyendo pares y deben poseer igual elasticidad, que se mide mediante una prensa de enderezar (Fig. 315). La presión a que se las somete es la misma a que están expuestas una vez montadas. Su curvamiento por flexión y su carga definen su característica elástica. Existen a tal efecto máquinas especiales de verificación de muelles.

Puesto que los pernos desgastados y los manguitos descentrados originan una defectuosa conducción de las ruedas, es conveniente antes de su montaje, verificar el estado de las suspensiones. Un manguito de goma *silent* es fácil de cambiar, si se dispone al efecto de otro manguito conductor (Fig. 316). Los manguitos de bronce tras su colocación se ajustan a los pernos de las ballestas mediante la acción de un escariador. Los taladros deben estar alineados y en su caso rectificados, de forma que los pernos se deslicen fácilmente a su través. Se mantienen en su posición por medio de tuercas con sus correspondientes discos elásticos.

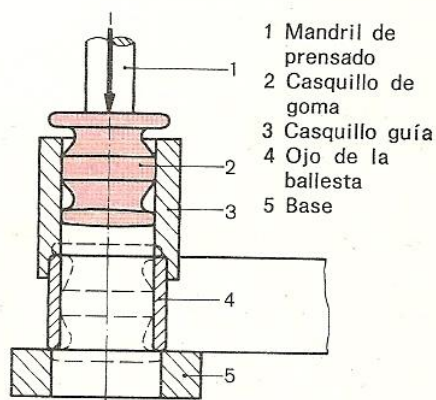


Fig. 316 Prensado de un manguito de goma.

En los manguitos silent hay que atender al desplazamiento del muelle. Su desviación debe ser análoga a ambos lados.



Entretimiento del amortiguador

Todos los amortiguadores se calientan durante el servicio. Especialmente con altas velocidades y malas calzadas se llega a temperaturas muy altas (hasta 200°C). Debido a ello disponen de un aceite hidráulico muy fluido, que puede entonces transferirse al exterior. En su carcasa se acusan entonces trazas de aceite.

Por otra parte durante el enfriamiento, penetra aire en el estuche cuya compresión conjunta amplifica las oscilaciones del muelle. El coche no posee ya el contacto deseado con el suelo y puede por ello salirse en las curvas. El amortiguador de choques debe entonces ser cambiado. Un amortiguador ineficaz se reconoce por el tiempo en que, bajo una carga determinada, alcanza su completa extensión. Así se define la indicación de amortiguador eficiente (Fig. 317).

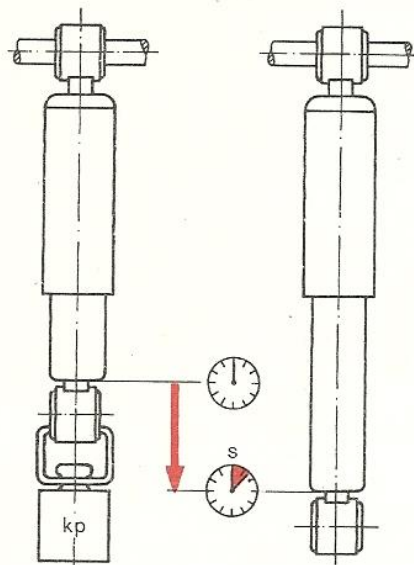


Fig. 317 Verificación del efecto de amortiguación.