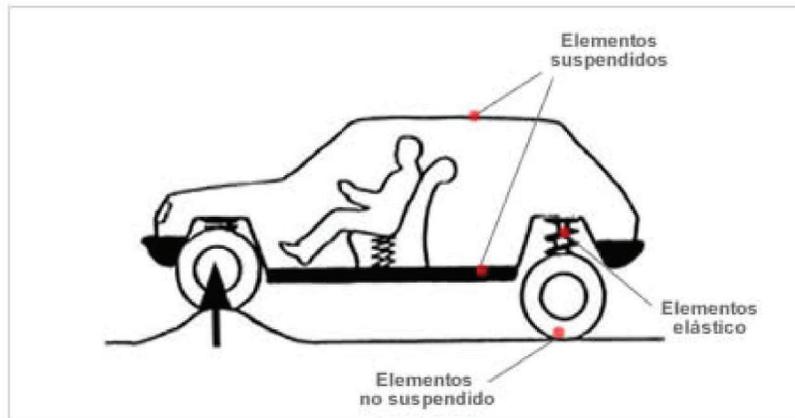


Sistema de suspensión del automóvil.

Introducción

Se llama suspensión al conjunto de elementos elásticos que se interponen entre los órganos suspendidos (bastidor, carrocería, pasajeros y carga) y los órganos no suspendidos (ruedas y ejes).

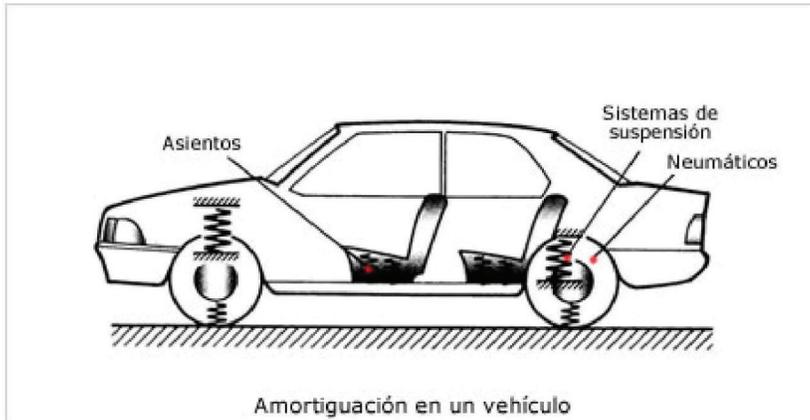


Su misión es absorber las reacciones producidas en las ruedas por las desigualdades del terreno, asegurando así la comodidad del conductor y pasajeros del vehículo y, al mismo tiempo, mantener la estabilidad y direccionalidad de éste, para que mantenga la trayectoria deseada por el conductor. Además también es necesario que cumplan con otras funciones complementarias:

- Transmitir las fuerzas de aceleración y de frenada entre los ejes y bastidor.
- Resistir el par motor y de frenada
- Resistir los efectos de las curvas
- Conservar el ángulo de dirección en todo el recorrido
- Conservar el paralelismo entre los ejes y la perpendicularidad del bastidor
- Proporcionar una estabilidad adecuada al eje de balanceo
- Aguantar la carga del vehículo

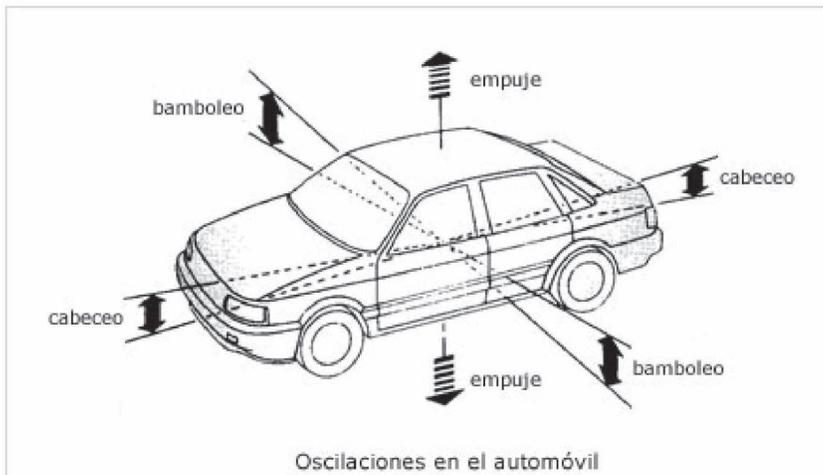
Cuando el vehículo circula por un terreno irregular, las ruedas están sometidas a una serie de impactos que se transmiten a la carrocería a través de los elementos de unión. Si el terreno es llano, las pequeñas irregularidades del mismo son absorbidas por la elasticidad de los neumáticos. Cuando las irregularidades son grandes, los impactos producidos serían acusados por los ocupantes del vehículo, de no mediar la suspensión; la unión elástica que ésta supone es capaz de absorber dichas reacciones.

La absorción de estas reacciones se consigue por la acción combinada de los neumáticos, la elasticidad de los asientos y el sistema de suspensión.



Cuando un automóvil pasa sobre un resalte o sobre un hoyo, se produce un golpe sobre la rueda que se transmite por medio de los ejes al chasis y que se traduce en oscilaciones. Una mala conducción o un reparto desequilibrado de las cargas pueden también originar "oscilaciones". Estos movimientos se generan en el centro de gravedad del coche y se propagan en distintos sentidos. Los tres tipos de oscilaciones existentes serían:

- Empuje: se produce al pasar por terreno ondulado
- Cabeceo: debido a las frenada bruscas
- Bamboleo: se genera al tomar curvas a alta velocidad.



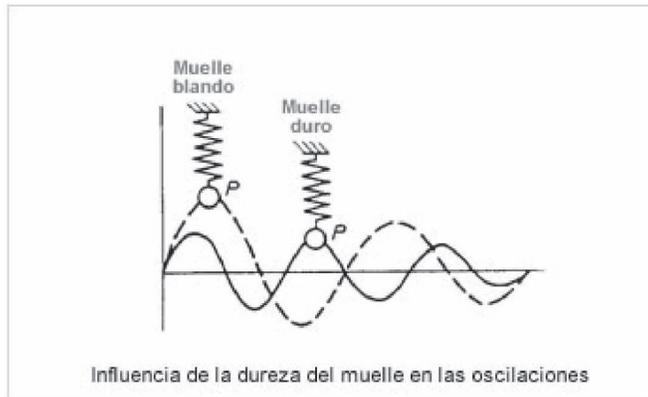
Características que debe reunir la suspensión

Como los elementos de suspensión han de soportar todo el peso del vehículo, deben ser lo suficientemente fuertes para que las cargas que actúan sobre ellos no produzcan deformaciones permanentes.

A su vez, deben ser muy elásticos, para permitir que las ruedas se adapten continuamente al terreno sin separarse de él. Esta elasticidad en los elementos de unión produce una serie de oscilaciones de intensidad decreciente que no cesan hasta que se ha devuelto la energía absorbida, lo que coincide con la posición de equilibrio de los elementos en cuestión; dichas oscilaciones deben ser amortiguadas hasta un nivel razonable que no ocasione molestias a los usuarios del vehículo. La experiencia demuestra que el margen de comodidad para una persona es de 1 a 2

oscilaciones por segundo; una cifra superior excita el sistema nervioso, aunque tampoco conviene bajar el valor mínimo porque se favorece el mareo.

Un muelle blando tiene gran recorrido y pequeño número de oscilaciones bajo la carga, mientras que un muelle duro tiene menor recorrido y mayor número de oscilaciones. Este mismo efecto se manifiesta al variar la carga que gravita sobre el muelle.



Influencia de la carga en la suspensión

Si en los vehículos las cargas fueran constantes resultaría fácil adaptar una suspensión ideal, pero como esto no se da en ningún caso (al ser la carga variable, especialmente en vehículos de transporte) los elementos elásticos deben calcularse para que aguanten el peso máximo sin pérdida de elasticidad. En estas condiciones es imposible obtener una suspensión ideal ya que, si se calcula para un peso mínimo, la suspensión resulta blanda en exceso cuando aquel aumenta; si se calcula para el peso máximo, entonces resulta dura cuando el vehículo marcha en vacío o con poca carga.

Efectos de un elemento de flexibilidad variable

Se ha visto que las oscilaciones de la suspensión aumentan y disminuyen en función de la carga y el grado de dureza de los muelles. Por tanto, si se mantiene la oscilación constante, conseguiríamos una suspensión que se acerca a la ideal. Para ello se tiene que colocar un elemento de unión cuya flexibilidad sea variable, de modo que, al aumentar la carga, aumente asimismo su rigidez para mantener constante la deformación.

Esto es muy difícil de conseguir con resortes metálicos; por tanto, las suspensiones basadas en este tipo de elementos (ballestas, muelles, barras de torsión, etcétera.) necesitan llevar acoplado un sistema amortiguador de oscilaciones que recoja la energía mecánica producida y evite su transmisión a la carrocería. En las suspensiones neumáticas o hidroneumáticas se consigue la flexibilidad variable aumentando o disminuyendo la presión interna en sus elementos, como se verá al estudiar estos sistemas.

El sistema de suspensión está compuesto por un elemento flexible (muelle de ballesta o helicoidal, barra de torsión, muelle de goma, gas o aire) y un elemento amortiguación (amortiguador), cuya misión es neutralizar las oscilaciones de la masa suspendida originadas por el elemento flexible al adaptarse a las irregularidades del terreno.

Componentes de la suspensión

El sistema de suspensión esta compuesto por un elemento flexible o elástico (muelle de ballesta o helicoidal, barra de torsión, muelle de goma, gas o aire) y un elemento amortiguación (amortiguador), cuya misión es neutralizar las oscilaciones de la masa suspendida originadas por el elemento flexible al adaptarse a las irregularidades del terreno.

Elementos de suspensión simples

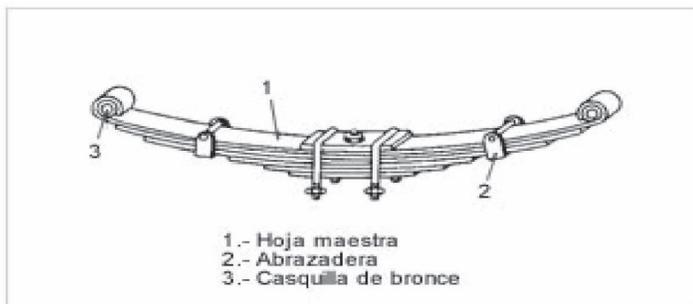
En las suspensiones simples se utilizan como elementos de unión, unos resortes de acero elástico en forma de:

- ballesta,
- muelle helicoidal
- barras de torsión

Estos elementos, como todos los muelles, tienen excelentes propiedades elásticas pero poca capacidad de absorción de energía mecánica, por lo que no pueden ser montados solos en la suspensión; necesitan el montaje de un elemento que frene las oscilaciones producidas en su deformación. Debido a esto, los resortes se montan siempre con un amortiguador de doble efecto que frene tanto su compresión como expansión..

Ballestas

Las ballestas están constituidas (fig. inferior) por un conjunto de hojas o láminas de acero especial para muelles, unidas mediante unas abrazaderas (2) que permiten el deslizamiento entre las hojas cuando éstas se deforman por el peso que soportan. La hoja superior (1), llamada hoja maestra, va curvada en sus extremos formando unos ojos en los que se montan unos casquillos de bronce (3) para su acoplamiento al soporte del bastidor por medio de unos pernos o bulones.



El número de hojas y el espesor de las mismas está en función de la carga que han de soportar. Funcionan como los muelles de suspensión, haciendo de enlace entre el eje de las ruedas y el bastidor. En algunos vehículos, sobre todo en camiones, además de servir de elementos de empuje, absorben con su deformación longitudinal la reacción en la propulsión. Existe una abundante normalización sobre ballestas en las normas UNE 26 224-5-6-7 y 26 063.

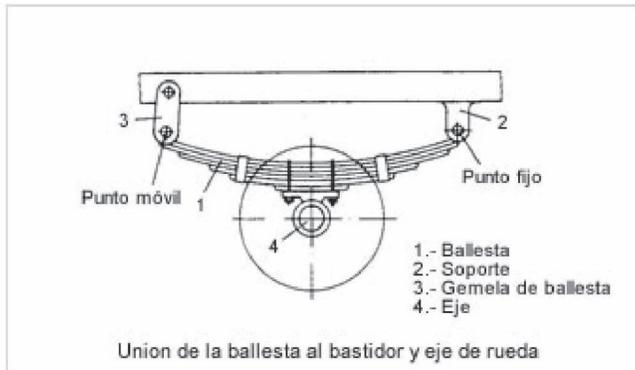
Montaje de las ballestas

El montaje de las ballestas puede realizarse longitudinal o transversalmente al sentido de desplazamiento del vehículo.

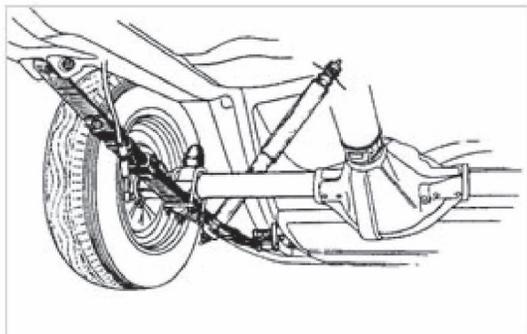
Montaje longitudinal: montaje utilizado generalmente en camiones y autocares, se realiza montando la ballesta con un punto "fijo" en la parte delantera de la misma (según el

desplazamiento del vehículo) y otro "móvil", para permitir los movimientos oscilantes de la misma cuando se deforma con la reacción del bastidor. El enlace fijo se realiza uniendo directamente la ballesta (1) al soporte (2) y, la unión móvil, interponiendo entre la ballesta (1) y el bastidor un elemento móvil (3), llamado gemela de ballesta.

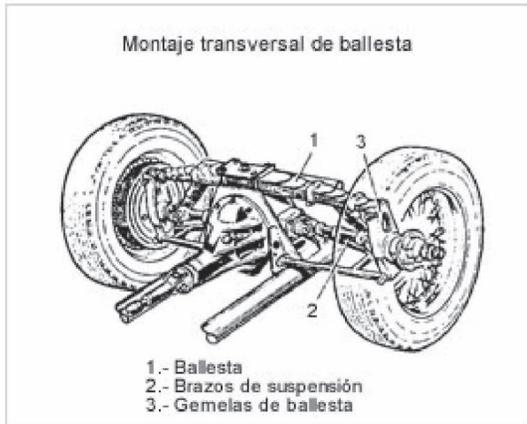
El número de hojas y el espesor de las mismas está en función de la carga que han de soportar. Funcionan como los muelles de suspensión, haciendo de enlace entre el eje de las ruedas y el bastidor. En algunos vehículos, sobre todo en camiones, además de servir de elementos de empuje, absorben con su deformación longitudinal la reacción en la propulsión. Existe una abundante normalización sobre ballestas en las normas UNE 26 224-5-6-7 y 26 063.



El montaje de la ballesta sobre el eje (4), puede realizarse con apoyo de la ballesta sobre el eje (figura superior) o con el eje sobre la ballesta (figura inferior); este último montaje permite que la carrocería baje, ganando en estabilidad. La misión se realiza por medio de unas abrazaderas que enlazan la ballesta al eje.



Montaje transversal: utilizado generalmente en turismos, se realiza uniendo los extremos de la ballesta (1) al puente (2) o brazos de suspensión, con interposición de elementos móviles (3) (gemelas) y la base de la ballesta a una travesa del bastidor o carrocería.



Muelles

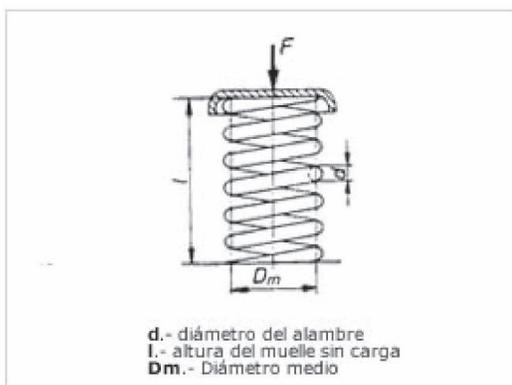
helicoidales

Estos elementos mecánicos se utilizan modernamente en casi todos los turismos en sustitución de las ballestas, pues tienen la ventaja de conseguir una elasticidad blanda debido al gran recorrido del resorte sin apenas ocupar espacio ni sumar peso.



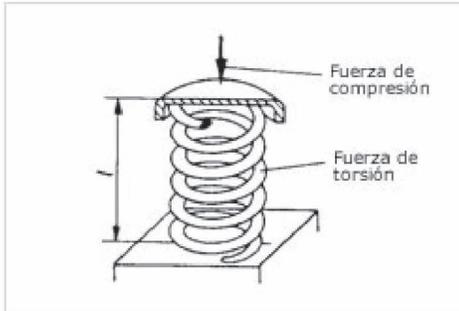
Constitución

Consisten en un arrollamiento helicoidal de acero elástico formado con hilo de diámetro variable (de 10 a 15 mm); este diámetro varía en función de la carga que tienen que soportar; las últimas espiras son planas para facilitar el asiento del muelle sobre sus bases de apoyo (fig. inferior).

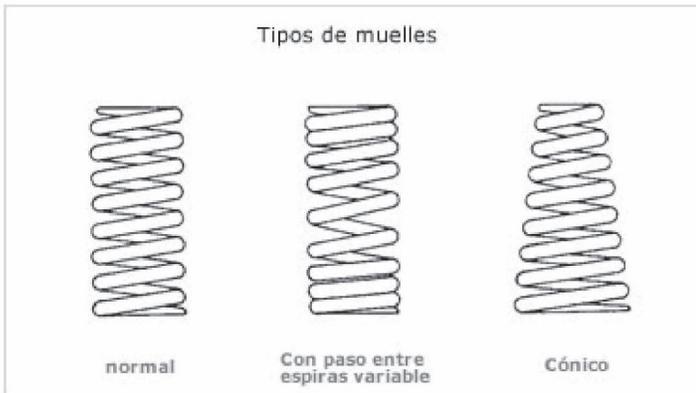


Características

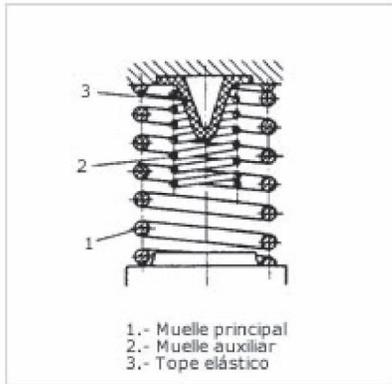
No pueden transmitir esfuerzos laterales, y requieren, por tanto, en su montaje bielas de empuje lateral y transversal para la absorción de las reacciones de la rueda. Trabajan a torsión, retorciéndose proporcionalmente al esfuerzo que tienen que soportar (fig. inferior), acortando su longitud y volviendo a su posición de reposo cuando cesa el efecto que produce la deformación.



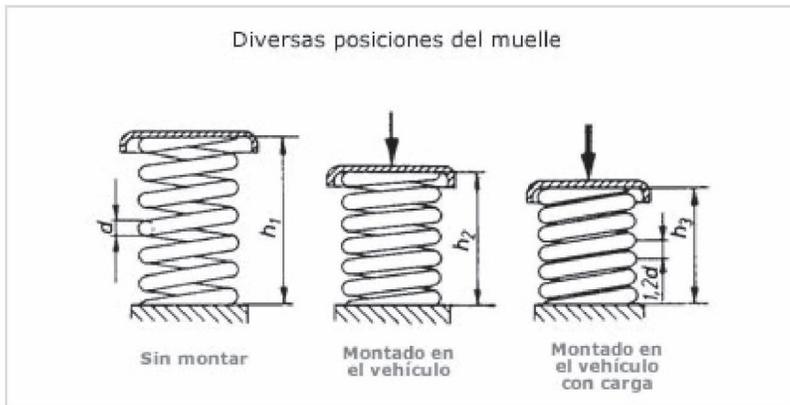
La flexibilidad de los muelles está en función del número de espiras, del diámetro del resorte, del paso entre espiras, del espesor o diámetro del hilo, y de las características del material. Se puede conseguir muelles con una flexibilidad progresiva, utilizando diferentes diámetros de enrollado por medio de muelles helicoidales cónicos (figura inferior), por medio de muelles con paso entre espiras variable o disponiendo de muelles adicionales.



Usando muelles adicionales se puede obtener una suspensión de flexibilidad variable en el vehículo. En efecto, cuando éste circule en vacío, sólo trabaja el muelle principal (1) (fig. inferior) y cuando la carga es capaz de comprimir el muelle hasta hacer tope con el auxiliar (2) se tiene un doble resorte, que, trabajando conjuntamente, soporta la carga sin aumentar la deformación, dando mayor rigidez al conjunto.



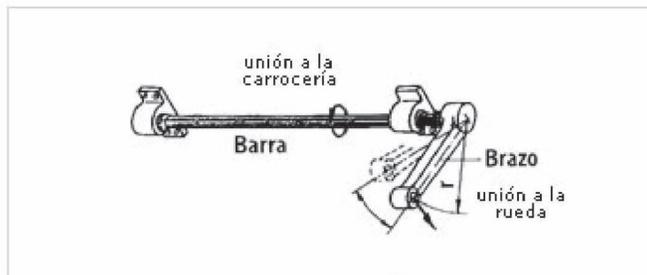
En la figura inferior puede apreciarse de forma gráfica las tres posiciones del muelle: sin montar, montado en el vehículo y el muelle bajo la acción de la carga.



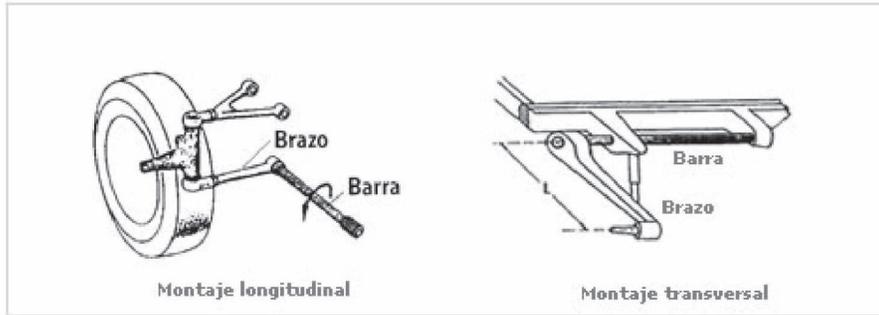
Las espiras de un muelle helicoidal no deben, en su función elástica, hacer contacto entre sus espiras; es decir, que la deformación tiene que ser menor que el paso del muelle por el número de espiras. De ocurrir lo contrario, cesa el efecto del muelle y entonces las sacudidas por la marcha del vehículo se transmiten de forma directa al chasis.

Barra de torsión

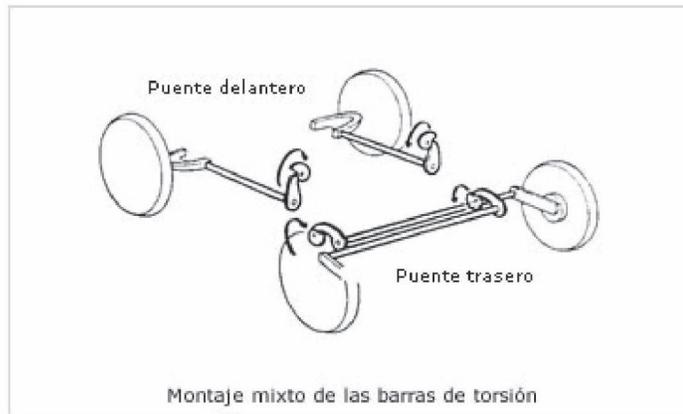
Este tipo de resorte utilizado en algunos turismos con suspensión independiente, está basado en el principio de que si a una varilla de acero elástico sujeta por uno de sus extremos se le aplica por el otro un esfuerzo de torsión, esta varilla tenderá a retorcerse, volviendo a su forma primitiva por su elasticidad cuando cesa el esfuerzo de torsión (fig. inferior).



Disposición y montaje de las barras de torsión. El montaje de estas barras sobre el vehículo se realiza (fig. inferior) fijando uno de sus extremos al chasis o carrocería, de forma que no pueda girar en su soporte, y en el otro extremo se coloca una palanca solidaria a la barra unida en su extremo libre al eje de la rueda. Cuando ésta suba o baje por efecto de las desigualdades del terreno, se producirá en la barra un esfuerzo de torsión cuya deformación elástica permite el movimiento de la rueda. Las barras de torsión se pueden disponer paralelamente al eje longitudinal del bastidor o también transversalmente a lo largo del bastidor



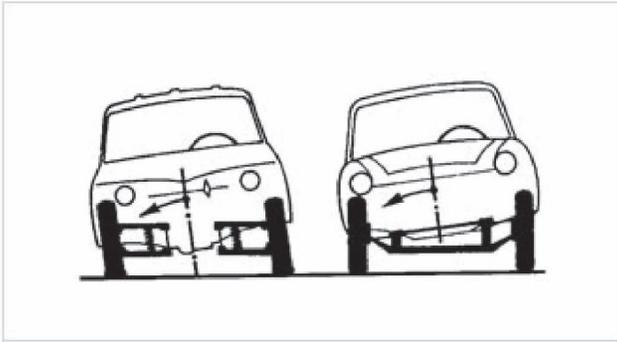
En vehículos con motor y tracción delanteros se montan una disposición mixta con las barras de torsión situadas longitudinalmente para la suspensión delantera y transversalmente para la suspensión trasera.



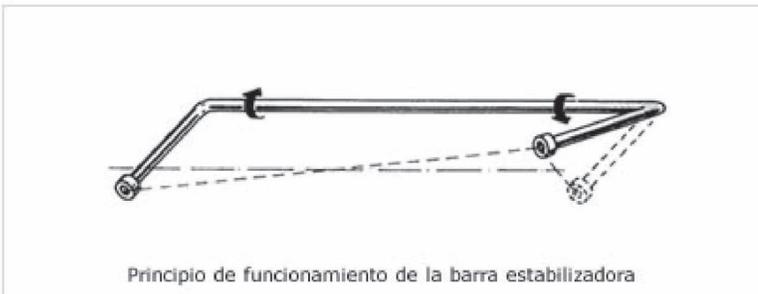
Barras

estabilizadoras

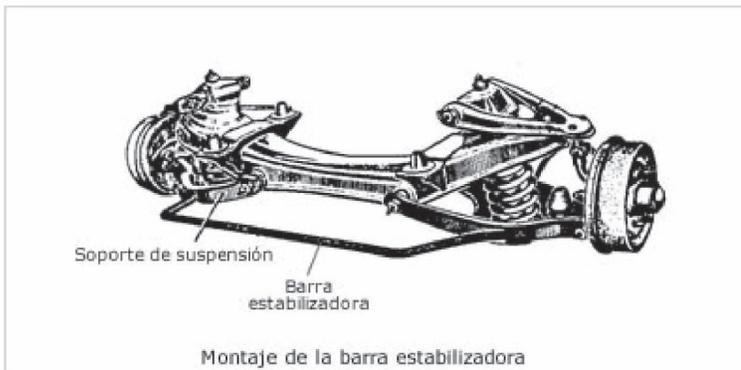
Cuando un vehículo toma una curva, por la acción de la fuerza centrífuga se carga el peso del coche sobre las ruedas exteriores, con lo cual la carrocería tiende a inclinarse hacia ese lado con peligro de vuelco y la correspondiente molestia para sus ocupantes.



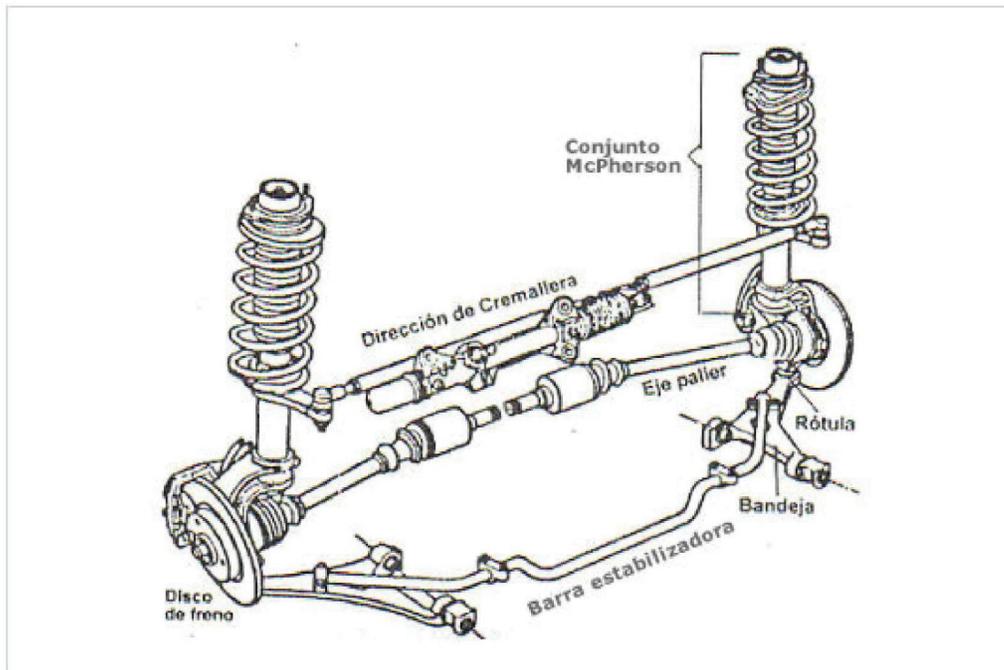
Para evitar estos inconvenientes se montan sobre los ejes delantero y trasero las barras estabilizadoras, que consisten esencialmente en una barra de acero elástico cuyos extremos se fijan a los soportes de suspensión de las ruedas; de esta forma, al tomar una curva, como una de las ruedas tiende a bajar y la otra a subir, se crea un par de torsión en la barra que absorbe el esfuerzo y se opone a que esto ocurra, e impide, por tanto, que la carrocería se incline a un lado, manteniendola estable. El mismo efecto se produce cuando una de las ruedas encuentra un bache u obstáculo, creando, al bajar o subir la rueda, un par de torsión en la barra que hace que la carrocería se mantenga en posición horizontal. En caso de circular en línea recta y en condiciones normales la acción de la barra es nula.



Principio de funcionamiento de la barra estabilizadora

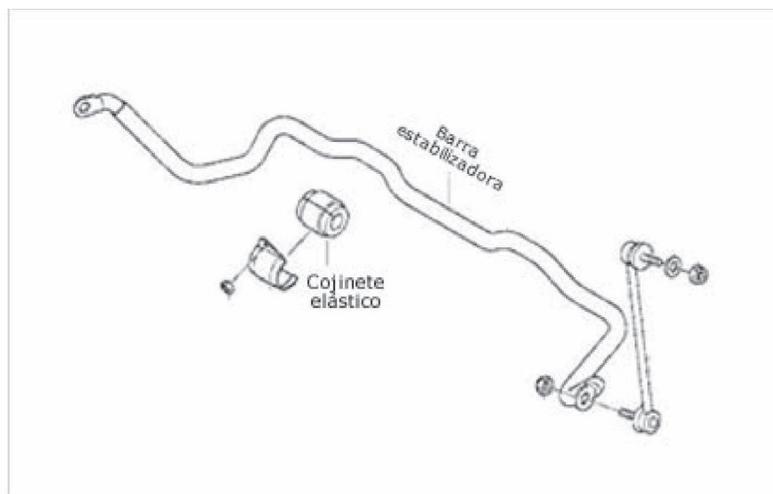


Montaje de la barra estabilizadora



Silentblocks y cojinetes elásticos

Son aislantes de caucho u otro material elastómero que se encargan de amortiguar las reacciones en los apoyos de la suspensión. Su misión es amortiguar los golpes existentes entre dos elementos en los que existe movimiento. Suelen montarse a presión o atornillados. Su sustitución debe realizarse cuando el caucho esté deteriorado o exista holgura en la unión. Los cojinetes elásticos son elemento de caucho que permiten la unión de los componentes de la suspensión facilitando un pequeño desplazamiento. Su montaje suele realizarse mediante bridas o casquillos elásticos. Estos cojinetes son muy utilizados para el montaje de las barras estabilizadoras.

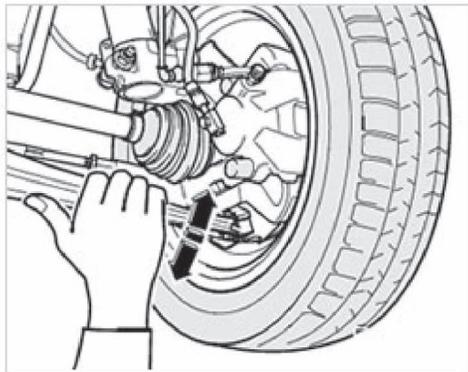


Rótulas

Las rótulas constituyen un elemento de unión y fijación de la suspensión y de la dirección, que permite su pivotamiento y giro manteniendo la geometría de las ruedas. La fijación de las rótulas se realiza mediante tornillos o roscados exteriores o interiores.



Su sustitución debe realizarse si existe en estas algún daño como por ejemplo, si esta deformada a causa de algún golpe, o cuando existen holguras (figura inferior).

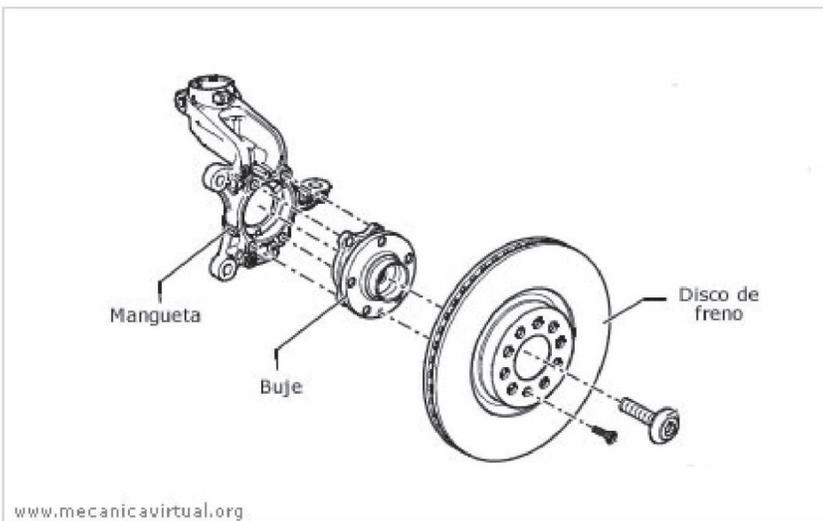
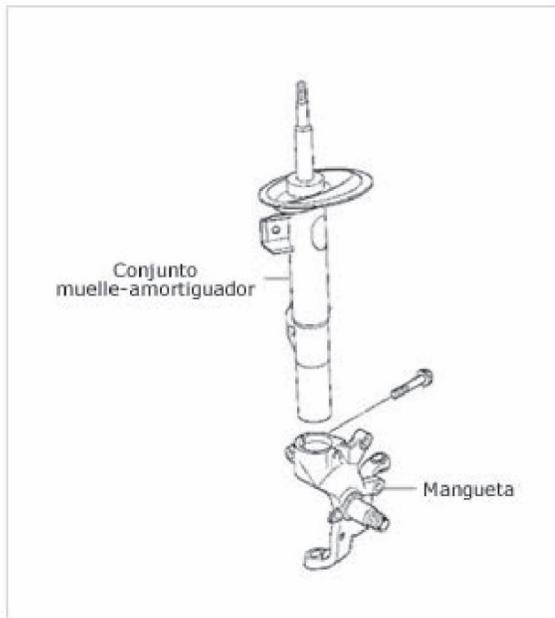


Mangueta

y

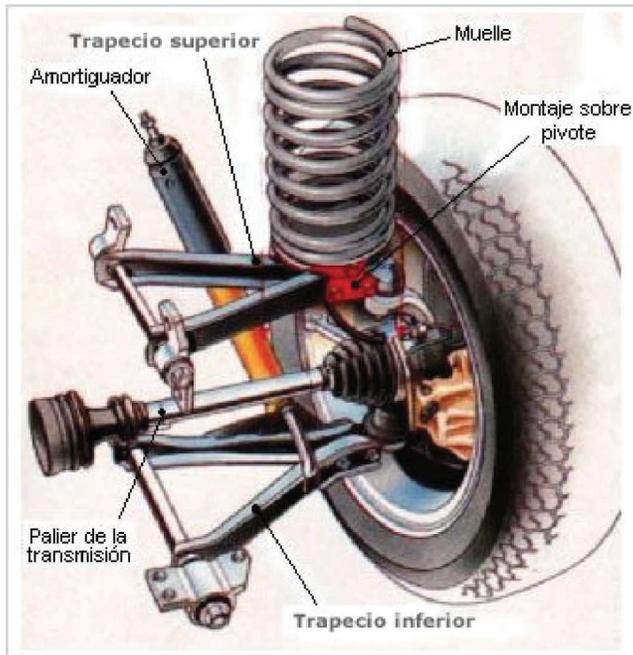
buje

La mangueta de la suspensión es una pieza fabricada con acero o aleaciones que une el buje de la rueda y la rueda a los elementos de la suspensión, tirantes, trapecios, amortiguador, etc. La mangueta se diseña teniendo en cuenta las características geométricas del vehículo. En el interior del buje se montan los rodamientos o cojinetes que garantizan el giro de la rueda.



Trapecios o brazos de suspensión

Son brazos articulados fabricados en fundición o en chapa de acero embutida que soportan al vehículo a través de la suspensión. Unen la mangueta y su buje mediante elementos elásticos (silentblocks) y elementos de guiado (rótulas) al vehículo soportando los esfuerzos generados por este en su funcionamiento.



Tirantes de suspensión

Son brazos de acero longitudinales o transversales situados entre la carrocería y la mangueta o trapezoido que sirven como sujeción de estos y facilitan su guiado. Absorben los desplazamiento y esfuerzos de los elementos de la suspensión a través de los silentblocks o cojinetes elásticos montados en sus extremos.

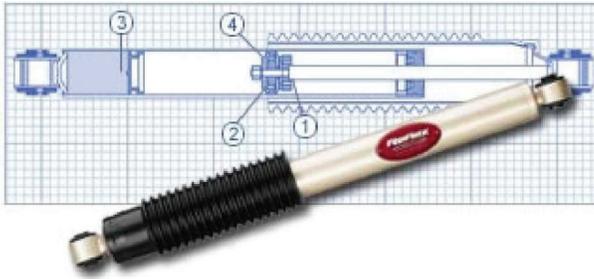
Topes de suspensión

Estos topes pueden ser elásticos o semirígidos en forma de taco o en forma de casquillo. Su función es servir de tope para el conjunto de la suspensión, de manera que en una compresión excesiva esta no se detiene. El montaje de este elemento es muy diverso dependiendo de la forma del taco. Por ejemplo, en las suspensiones McPherson se monta en el interior del vástago del amortiguador, mientras que en las suspensiones por ballesta se suele montar anclado en la carrocería.

Amortiguadores

Estos elementos son los encargados de absorber las vibraciones de los elementos elásticos (muelles, ballestas, barras de torsión), convirtiendo en calor la energía generada por las oscilaciones.

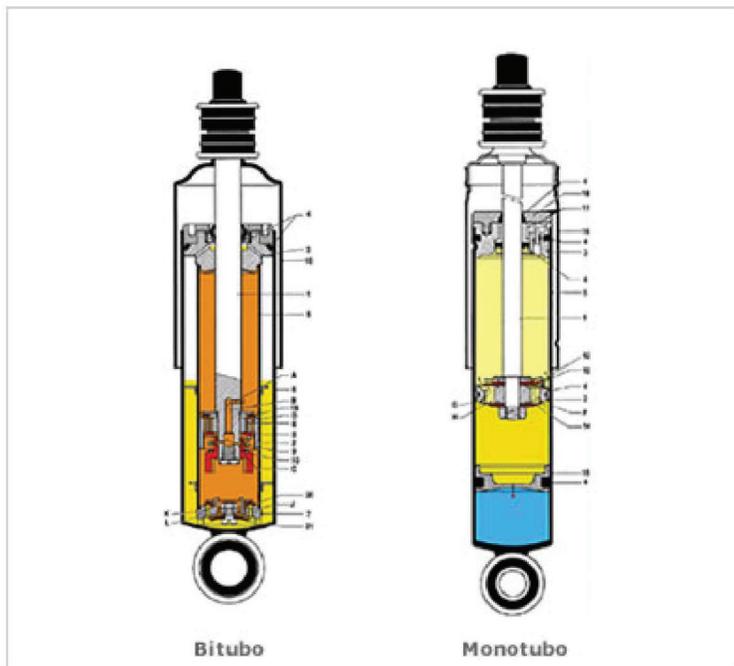
Cuando la rueda encuentra un obstáculo o bache, el muelle se comprime o se estira, recogiendo la energía mecánica producida por el choque, energía que devuelve a continuación, por efecto de su elasticidad, rebotando sobre la carrocería. Este rebote en forma de vibración es el que tiene que frenar el amortiguador, recogiendo, en primer lugar, el efecto de compresión y luego el de reacción del muelle, actuando de freno en ambos sentidos; por esta razón reciben el nombre de los amortiguadores de doble efecto. Los amortiguadores pueden ser "fijos" y "regulables", los primeros tienen siempre la misma dureza y los segundo pueden variarla dentro de unos márgenes. En los más modernos modelos este reglaje se puede hacer incluso desde el interior del vehículo. Marcas conocidas de fabricantes de amortiguadores serían: Monroe, Koni, Bilstein, Kayaba, De Carbon, etc



Tipos de amortiguadores

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

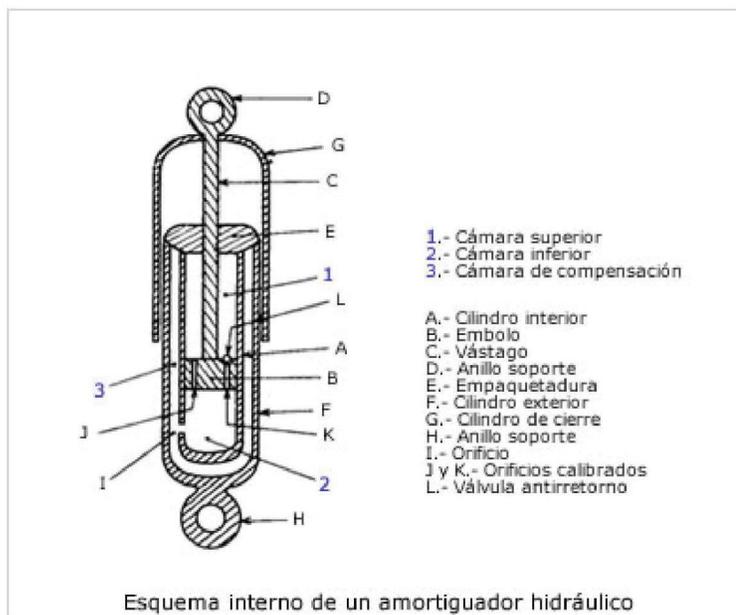
- Los amortiguadores hidráulicos convencionales (monotubo y bitubo). Dentro de esta categoría podemos encontrar los fijos y los regulables.
- Los amortiguadores a gas (monotubo o bitubo). No regulables
- Los amortiguadores a gas (monotubo). Regulables



Amortiguadores hidráulicos convencionales

Son aquellos en los que la fuerza de amortiguación, para controlar los movimientos de las masas suspendidas y no suspendidas, se obtiene forzando el paso de un fluido a través de unos pasos calibrados de apertura diferenciada, con el fin de obtener la flexibilidad necesaria para el control del vehículo en diferentes estados. Son los mas usuales, de tarados pre-establecidos (se montan habitualmente como equipo de origen). Son baratos pero su duración es limitada y presentan pérdidas de eficacia con trabajo excesivo, debido al aumento de temperatura. No se suelen utilizar en conducción deportiva ni en competición.

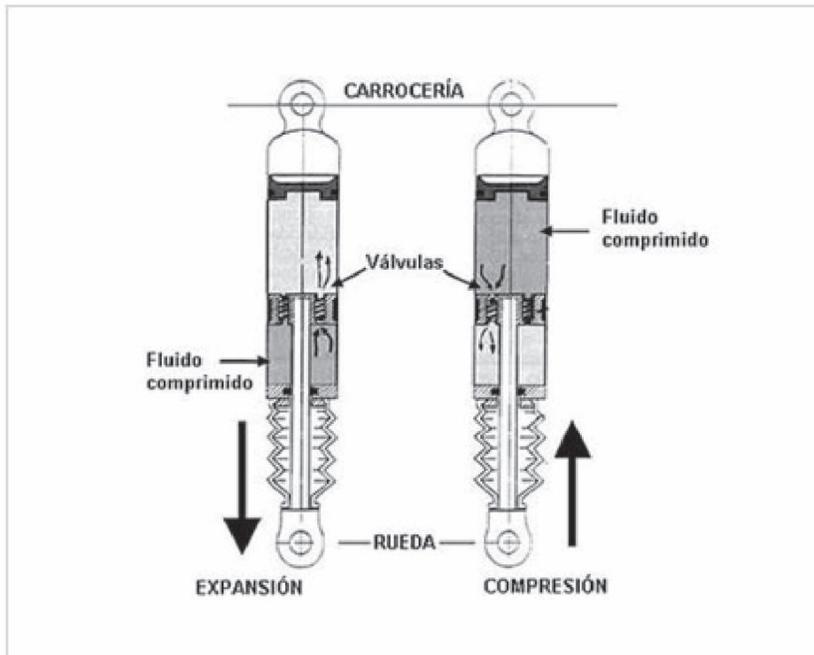
Estos amortiguadores de tipo telescópico y de funcionamiento hidráulico están constituidos (fig. inferior) por un cilindro (A) dentro del cual puede deslizarse el émbolo (B) unido al vástago (C), que termina en el anillo soporte (D), unido al bastidor. Rodeando el cilindro (A) va otro concéntrico, (F), y los dos terminan sellados en la parte superior por la empaquetadura (E), por la que pasa el vástago (C), al que también se une la campana (G), que preserva de polvo al amortiguador. El cilindro (F) termina en el anillo (H), que se une al eje de la rueda y se comunica con el cilindro (A) por medio del orificio (I). El cilindro (A) queda dividido en dos cámaras por el pistón (B); éstas se comunican por los orificios calibrados (J y K), este último tapado por la válvula de bola (L). Así constituido el amortiguador, quedan formadas las cámaras (1, 2 y 3), que están llenas de aceite. Cuando la rueda sube con relación al chasis, lo hace con ella el anillo (H) y, a la vez que él, los cilindros (A y F), con lo cual, el líquido contenido en la cámara (2) va siendo comprimido, pasando a través de los orificios (J y K) a la cámara (1), en la que va quedando espacio vacío debido al movimiento ascendente de los cilindros (A y F). Otra parte del líquido pasa de (2) a la cámara de compensación (3), a través del orificio (I). Este paso forzado del líquido de una cámara a las otras, frena el movimiento ascendente de los cilindros (A y F), lo que supone una amortiguación de la suspensión.



Cuando la rueda ha pasado el obstáculo que la hizo levantarse, se produce el disparo de la ballesta o el muelle, por lo que (H) baja con la rueda y con él los cilindros (A y F). Entonces el líquido de la cámara (1) va siendo comprimido por el pistón y pasa a la cámara (2) a través de (J) (por K no puede hacerlo por impedirselo la válvula antirretorno L), lo que constituye un freno de la expansión de la ballesta o el muelle. El espacio que va quedando vacío en la cámara (2) a medida que bajan los cilindros (A y F), se va llenando de aceite que llega de la cámara (1) y, si no es suficiente, del que llega de la cámara de compensación (3) a través de (I). Por tanto, en este amortiguador vemos que la acción de frenado es mayor en la expansión que en la compresión del muelle o ballesta, permitiéndose así que la rueda pueda subir con relativa facilidad y que actúe en ese momento el muelle o la ballesta; pero impidiendo seguidamente el rebote de ellos, que supondría un mayor número de oscilaciones hasta quedar la suspensión en posición de equilibrio. Según el calibre del orificio (J), se obtiene mayor o menor acción de frenado en los dos sentidos; y según el calibre del orificio (K), se obtiene mayor o menor frenado cuando sube la rueda. En el momento que lo hace, el aceite contenido en la cámara inferior (2) no puede pasar en su totalidad a la superior (1), puesto que ésta es más reducida, debido a la presencia del vástago (C) del pistón; por ello se dispone la cámara de compensación (3), para que el líquido sobrante de la cámara inferior (2) pueda pasar a ella. Todo lo contrario ocurre cuando la rueda

baja: entonces el líquido que pasa de la cámara superior (1) a la inferior (2) no es suficiente para llenarla y por ello le entra líquido de la cámara de compensación (3).

Este tipo de amortiguador se ha visto que es de doble efecto; pero cuando la rueda sube, la acción de frenado del amortiguador es pequeña y cuando baja es grande (generalmente, el doble), consiguiéndose con ello que al subir la rueda, sea la ballesta o el muelle los que deformándose absorban la desigualdad del terreno y, cuando se produzca la expansión, sea el amortiguador el que lo frene o disminuya las oscilaciones.



La energía desarrollada por el muelle en la "compresión" y "expansión" es recogida por el amortiguador y empleado en comprimir el aceite en su interior. La energía, transformada en calor, es absorbida por el líquido. Como el amarre de los resortes se realiza entre el elemento suspendido y el eje oscilante de las ruedas, los amortiguadores se montan también sujetos a los mismos elementos, con el fin de que puedan frenar así las reacciones producidas en ellos por los resortes. Esta unión se realiza con interposición de tacos de goma, para obtener un montaje elástico y silencioso de los mismos.

La temperatura ambiente y el calor absorbido por el aceite en el funcionamiento de los amortiguadores hidráulicos, influyen sobre la viscosidad del líquido, haciendo que el mismo pase con más o menos dificultad por las válvulas que separan las cámaras, resultando una suspensión más o menos amortiguada. Por esta razón, en invierno, en los primeros momentos de funcionamiento, se observa una suspensión más dura, ya que el aceite, debido al frío, se ha hecho más denso; en verano, o cuando el vehículo circula por un terreno irregular, el aceite se hace más fluido y se nota una suspensión más blanda.

Amortiguador hidráulico presurizado

Un avance en la evolución de los amortiguadores consiste en presurizar el interior de los amortiguadores, esto trae consigo una serie de ventajas.

No presurizados
Tienen la pega de que se puede formar en ellos bolsas de aire bajo las siguientes condiciones.

- El amortiguador se almacena o transporta horizontal antes de ser instalado.

- La columna de aceite de la cámara principal cae por gravedad cuando el vehículo permanece quieto durante mucho tiempo.
- El aceite se contrae como consecuencia de su enfriamiento al final de un viaje y se succiona aire hacia la cámara principal.

Como consecuencia de ello, en especial en días fríos, algunos amortiguadores pueden padecer lo que se conoce como "enfermedad matinal".

Presurizados

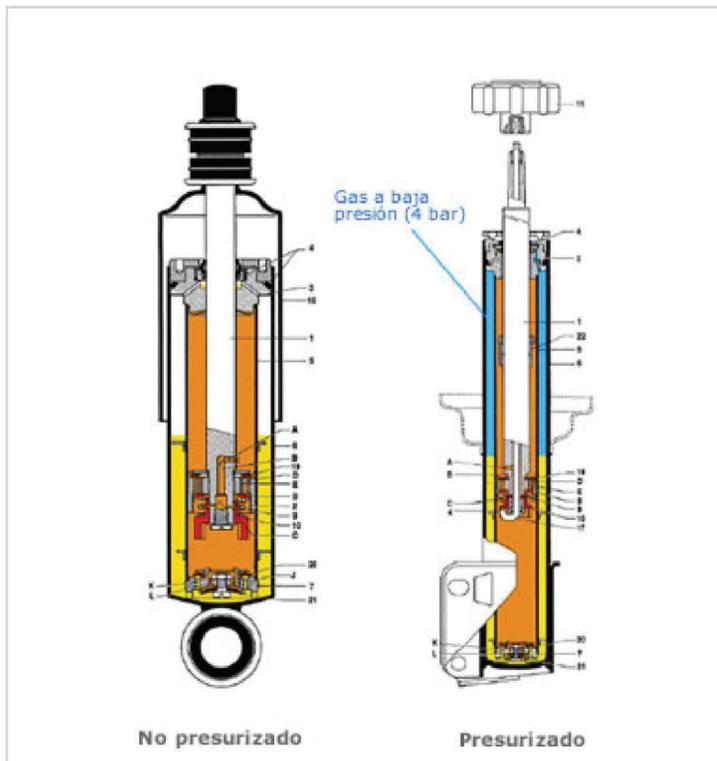
Es un tipo de configuración empleada hoy en día en la mayoría de vehículos cuando se busca mejorar las prestaciones de los amortiguadores de doble tubo convencionales. La solución consiste en añadir una cámara de gas de baja presión (4 bares) es una presión suficiente, ya que la fuerza amortiguadora en compresión la sigue proporcionando el aceite en su paso por las válvulas del émbolo.

De esta forma la fuerza de extensión realizada por el amortiguador en su posición nominal es baja. Esto permite utilizar esta solución en suspensiones McPherson en las que se requieren diámetros de amortiguador más elevados.

Sus ventajas respecto de los no presurizados son las siguientes:

- Respuesta de la válvula más sensible para pequeñas amplitudes.
- Mejor confort de marcha
- Mejores propiedades de amortiguación en condiciones extremas (grandes baches).
- Reducción de ruido hidráulico.
- Siguen operativos aunque pierdan el gas

Respecto a los amortiguadores monotubos, los de doble tubo presurizados tienen la ventaja de tener una menor longitud y fricción para las mismas condiciones de operación.

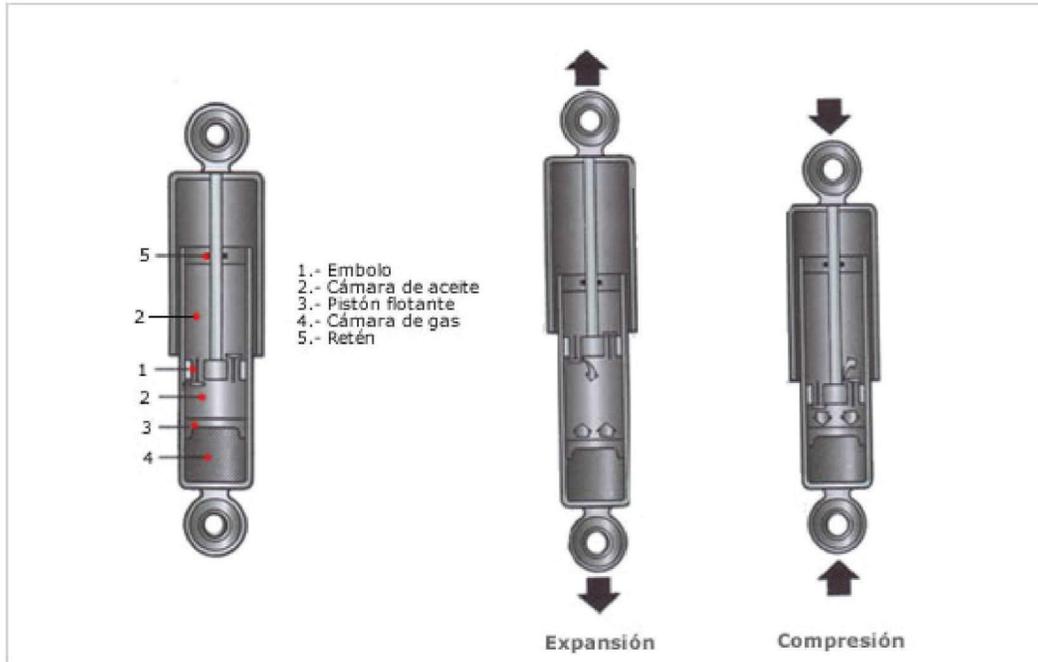


Amortiguadores

a

gas

Estos amortiguadores a gas trabajan bajo el mismo principio básico que los hidráulicos, pero contienen en uno de sus extremos nitrógeno a alta presión (aproximadamente 25 bar). Un pistón flotante separa este gas del aceite impidiendo que se mezclen. Cuando el aceite, al desplazarse el vástago, comprime el gas, éste sufre una variación de volumen que permite dar una respuesta instantánea y un funcionamiento silencioso. Los amortiguadores a gas además de amortiguar también hace en cierto modo de resorte elástico, es por ello que este tipo de amortiguadores vuelven a su posición cuando se deja de actuar sobre ellos.



- Amortiguadores de gas no regulables: suelen ser amortiguadores monotubo o bitubo, muy resistente a golpes, de alta duración y de alta resistencia a la pérdida de eficacia por temperatura de trabajo. Aunque el precio es mayor, se ve compensado por su durabilidad y fiabilidad. Es un tipo de amortiguador de muy alta calidad. Su uso es ciertamente recomendable para los vehículos de altas prestaciones.
- Amortiguadores de gas regulables: Son amortiguadores monotubo, con o sin botella exterior, con posibilidad de variación de tarados. Es un tipo de amortiguador de alta tecnología, con precio alto pero proporcional a su eficacia, por eso es el más usado en conducción deportiva, en los vehículos de competición y de altas prestaciones.

Modelos de suspensión mecánica

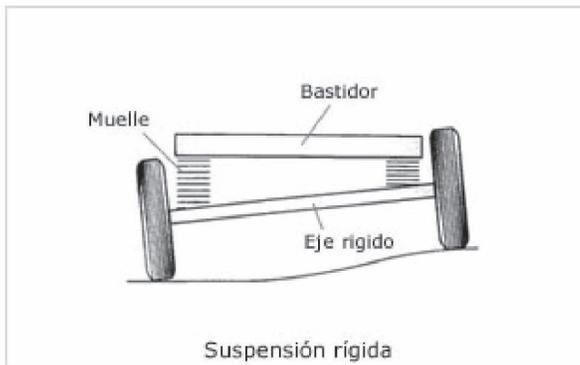
Según el tipo de elementos empleados y la forma de montajes de los mismos, existen varios sistemas de suspensión, todos ellos basados en el mismo principio de funcionamiento. Constan de un sistema elástico, amortiguación y barra estabilizadora independientes para cada uno de los ejes del vehículo.

Actualmente existen distintas disposiciones de suspensión cuyo uso depende del tipo de comportamiento que se busca en el vehículo: mayores prestaciones, mas comodidad, sencillez y economía, etc.

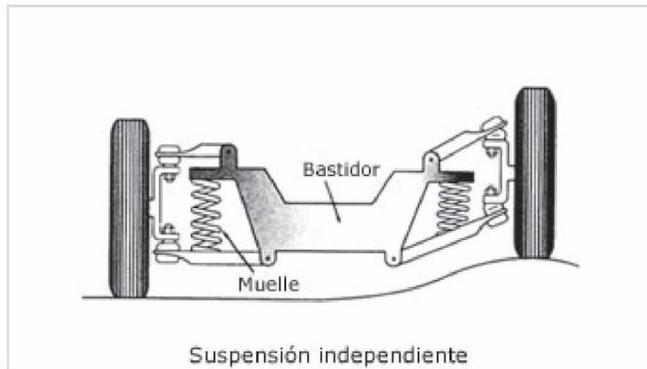
Principio

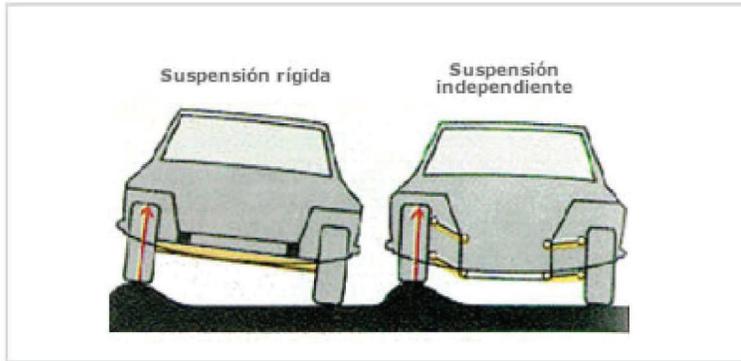
básico

Las primeras suspensiones estaban formadas por un "eje rígido" en cuyos extremos se montaban las ruedas. Como consecuencia de ello, todo el movimiento que afecta a una rueda se transmite a la otra del mismo eje. En la figura inferior podemos ver como al elevarse una rueda, se extiende su inclinación al eje y de este a la otra rueda. Como el eje va fijado directamente sobre el bastidor, la inclinación se transmite a todo el vehículo. Este montaje es muy resistente y mas económico de fabricar, pero tiene la desventaja de ser poco cómodo para los pasajeros y una menor seguridad.



El sistema de suspensión "independiente" tiene un montaje elástico independiente que no esta unido a otras ruedas. A diferencia del sistema rígido, el movimiento de una rueda no se transmite a la otra y la carrocería resulta menos afectada.





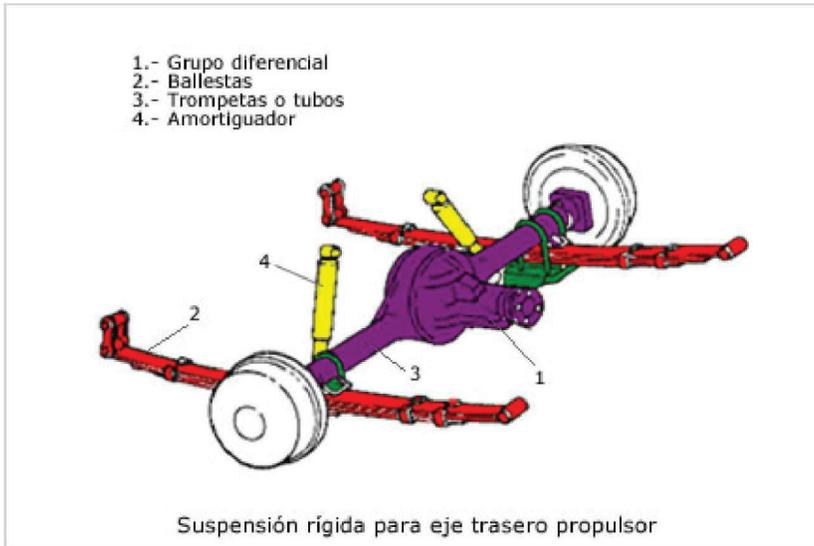
Suspensiones delanteras y traseras
 No todos los modelos de suspensión pueden ser montados en el eje delantero o trasero indistintamente; la mayor o menor facilidad de adaptación a las necesidades específicas de los dos ejes ha determinado una selección, por lo que cada tipo de suspensión se adapta mejor a uno de los dos ejes.

Clasificación de las suspensiones
 Se pueden clasificar las suspensiones mecánicas en tres grupos:

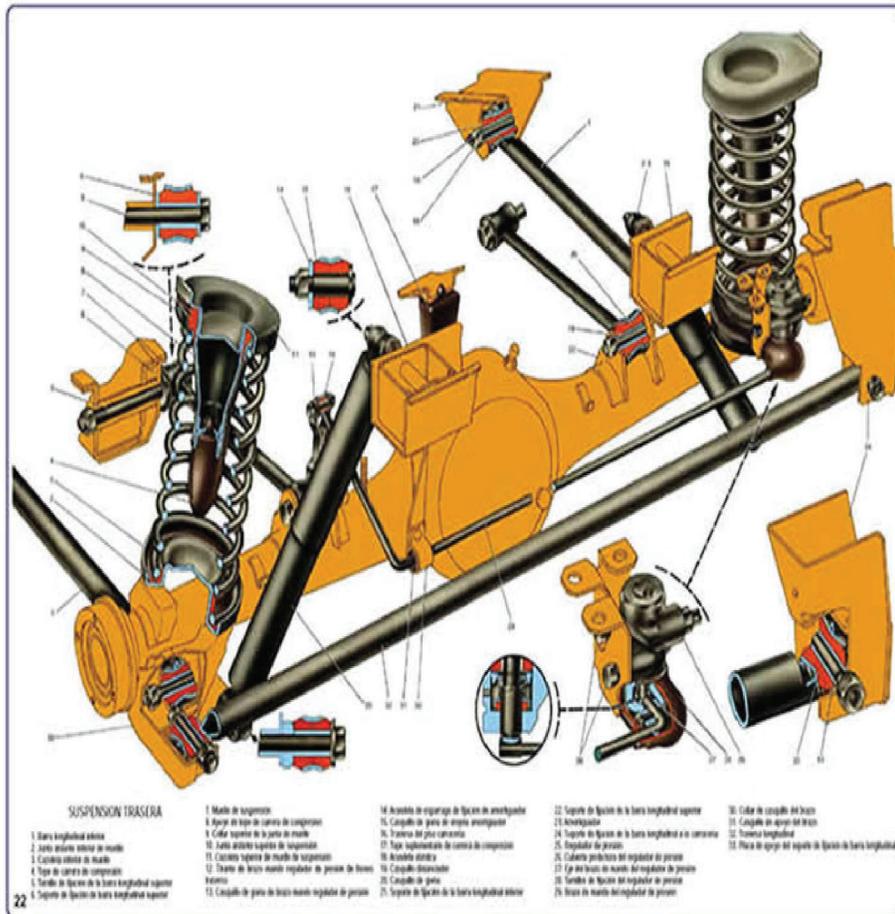
- Suspensiones rígidas: en las que la suspensión de una rueda va unida a la otra mediante un eje rígido, se transmiten las vibraciones de una rueda a la otra.
- Suspensiones semirígidas: similares a las suspensiones rígidas pero con menor peso no suspendido.
- Suspensiones independientes: en esta disposición las ruedas tienen una suspensión independiente para cada una de ellas. Por lo tanto no se transmiten las oscilaciones de unas ruedas a otras.

Suspensiones rígidas

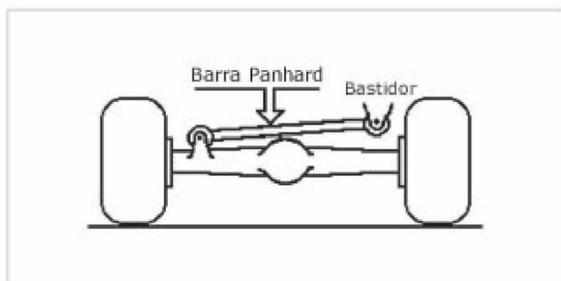
Esta suspensión tiene unidas las ruedas mediante un eje rígido formando un conjunto. Presenta el inconveniente de que al estar unidas ambas ruedas, las vibraciones producidas por la acción de las irregularidades del pavimento, se transmiten de un lado al otro del eje. Además el peso de las masas no suspendidas aumenta notablemente debido al peso del eje rígido y al peso del grupo cónico diferencial en los vehículos de tracción trasera. En estos últimos el grupo cónico sube y baja en las oscilaciones como un parte integradora del eje rígido. Como principal ventaja, los ejes rígidos destacan por su sencillez de diseño y no producen variaciones significativas en los parámetros de la rueda como caída, avance, etc. El principal uso de esta disposición de suspensión se realiza sobre todo en vehículos industriales, autobuses, camiones y vehículos todo terreno. En la figura inferior se muestra un modelo de eje rígido actuando de eje propulsor. En estos casos el eje está constituido por una caja que contiene el mecanismo diferencial (1) y por los tubos (3) que contienen los palieres. El eje rígido en este caso se apoya contra el bastidor mediante ballestas (2) que hacen de elemento elástico transmitiendo las oscilaciones. Completan el conjunto los amortiguadores (4).



En la figura inferior vemos una suspensión rígida trasera montada en el vehículo de la marca Lada Niva, que sustituye las ballestas por muelles. Esta suspensión no presenta rigidez longitudinal, de forma que el eje rígido lleva incorporada barras longitudinales que mantienen el eje fijo en su posición, evitando que se mueva en el eje longitudinal.



Ademas para estabilizar el eje y generar un único centro de balanceo de la suspensión, se añade una barra transversal que une el eje con el bastidor. A esta barra se le conoce con el nombre de de barra "Panhard". Tanto las barras longitudinales como la barra Panhard dispone de articulaciones elásticas que las unen con el eje y la carrocería.



Suspensión

semirigida

Estas suspensiones son muy parecidas a las anteriores su diferencia principal es que las ruedas están unidas entre si como en el eje rígido pero transmitiendo de una forma parcial las oscilaciones que reciben de las irregularidades del terreno. En cualquier caso aunque la suspensión no es rígida total tampoco es independiente. La función motriz se separa de la

función de suspensión y de guiado o lo que es lo mismo el diferencial se une al bastidor, no es soportado por la suspensión.

En la figura inferior se muestra una suspensión de este tipo. Se trata de una suspensión con **eje "De Dion"**. En ella las ruedas van unidas mediante soportes articulados (1) al grupo diferencial (2), que en la suspensión con eje De Dion es parte de la masa suspendida, es decir, va anclado al bastidor del automóvil. Bajo este aspecto se transmite el giro a las ruedas a través de dos semiejes (palieres) como en las suspensiones independientes. A su vez ambas ruedas están unidas entre si mediante una traviesa o tubo De Dion (3) que las ancla de forma rígida permitiendo a la suspensión deslizamientos longitudinales. Este sistema tiene la ventaja, frente al eje rígido, de que se disminuye la masa no suspendida debido al poco peso de la traviesa del eje De Dion y al anclaje del grupo diferencial al bastidor y mantiene los parámetros de la rueda prácticamente constantes como los ejes rígidos gracias al anclaje rígido de la traviesa. La suspensión posee además elementos elásticos de tipo muelle helicoidal (4) y suele ir acompañada de brazos longitudinales que limitan los desplazamientos longitudinales.

Suspensión neumática en automóviles

Este tipo de suspensión se está utilizando desde hace pocos años sobre todo en vehículos de alta gama. La suspensión neumática basa su funcionamiento en las propiedades que ofrece el aire sometido a presión. En esta suspensión, se sustituye el resorte mecánico (muelle, ballesta o barra de torsión) por un fuelle o cojín de aire que varía su rigidez.

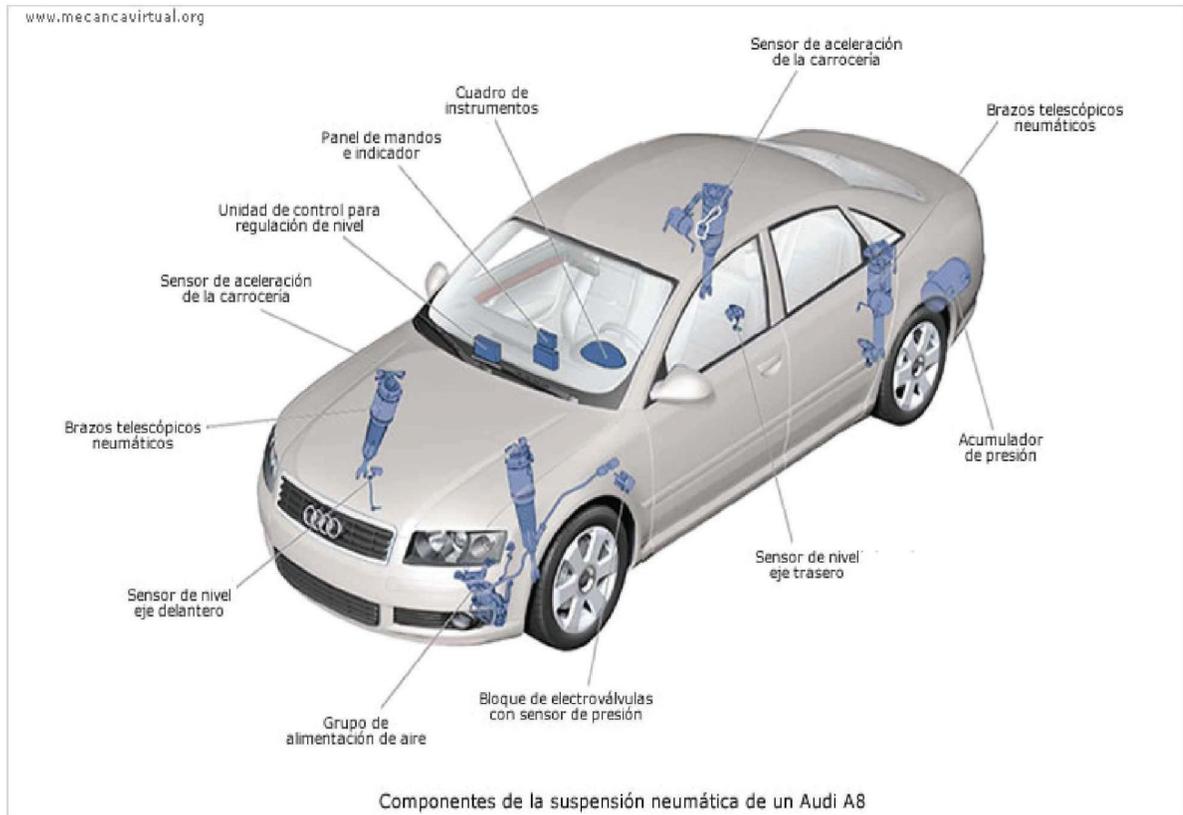
La suspensión neumática permite:

- Adaptar la carrocería a distintas alturas en función de las necesidades de marcha.
- Adaptar la suspensión y la amortiguación a la situación de la calzada y a la forma de conducir.

Se caracteriza por su elevada flexibilidad, notable capacidad de amortiguación de las vibraciones y por la autorregulación del sistema que permite mantener constante la distancia entre el chasis y la superficie de carretera independientemente de la carga presente en el vehículo.

La suspensión neumática es un sistema complejo y de coste elevado, ya que integra numerosos componentes y necesita de una instalación de aire comprimido para su funcionamiento. Esta suspensión es muy utilizada en vehículos industriales (autobuses, camiones, etc). Automóviles que utilizan esta suspensión tenemos: Audi A8, Mercedes de la Clase E, S, R, etc. y algunos todo terreno como el VW Touareg, el Range Rover y el Audi Q7 entre otros.

La suspensión neumática se puede aplicar tanto en el eje trasero o integral a las cuatro ruedas. Con esta suspensión se puede variar la altura de la carrocería manual o automáticamente en función de la velocidad, de las características de la calzada y el estilo de conducción. Se conecta o desconecta la suspensión en las patas telescópicas con un volumen de aire adicional.



Suspensión neumática integral

Esta suspensión se aplica a las cuatro ruedas, mantiene la altura del vehículo a un valor teórico constante mediante un sistema de amortiguación neumática en el eje delantero y en el eje trasero, independiente de la carga. La distancia entre el eje y la carrocería es determinada por cuatro sensores de altura llamados transmisores de nivel del vehículo. En el caso de existir diferencias con respecto al valor teórico, mediante el compresor y las electroválvulas de suspensión se varía el volumen de aire en el muelle neumático, que vuelve a regular la altura de la carrocería hasta alcanzar el valor teórico.

Como ejemplo utilizaremos como base la suspensión neumática montada en el automóvil de la marca Audi y modelo A8.

Niveles de equipamiento del vehículo

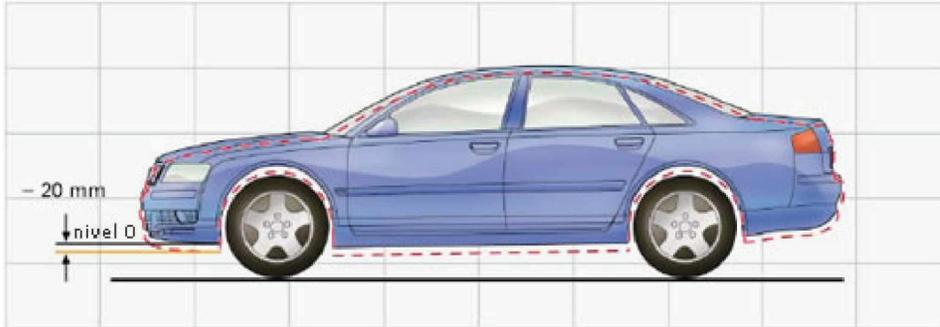
Para el Audi A8 estará disponible el tren de rodaje standard (adaptive air suspension) y el tren de rodaje deportivo (adaptive air suspension sport).

Tren de rodaje standard:

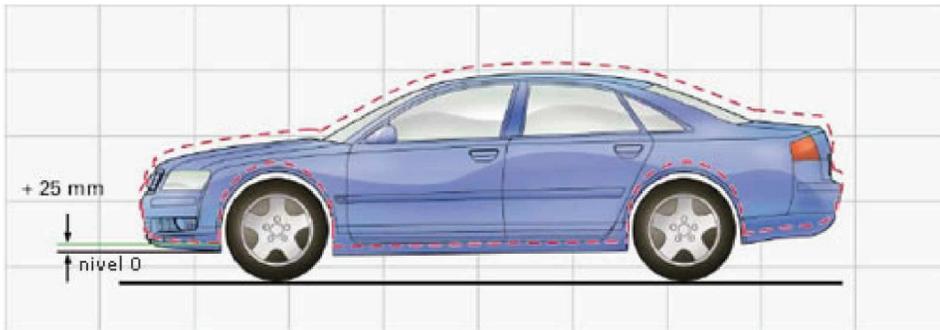
Se pueden seleccionar los siguientes programas de forma manual o automática:

- Modo «automatic»: Nivel básico del vehículo, tarado orientado hacia el confort con una familia de características de amortiguación adaptada correspondientemente. A partir de los 120 km/h se produce 30 segundos más tarde un descenso de 25 mm («descenso para autopista»). Con este nivel rebajado mejoran las condiciones aerodinámicas y se reduce el consumo de combustible.

- Modo «confort»: Altura del vehículo igual que en el modo «automatic»; una menor amortiguación que en el modo «automatic» en el margen de velocidades inferiores, combinado con un aumento del confort de conducción en comparación con el modo «automatic». No se produce el descenso automático para autopista.
- Modo «dynamic»: El nivel del vehículo se encuentra 20 mm por debajo del modo «automatic». Se ajusta automáticamente una familia de características de amortiguación con tarado deportivo. A partir de una velocidad de 120 km/h se produce 30 segundos después otro descenso de 5 mm («descenso para autopista»).



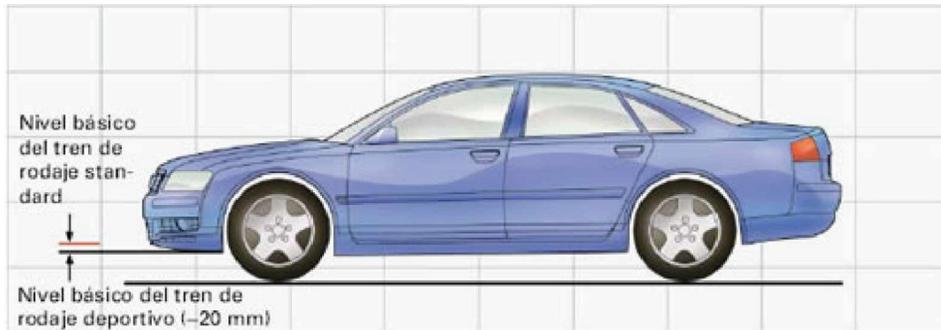
- Modo «lift»: Altura del vehículo elevada 25 mm con respecto al modo «automatic»; tarado orientado hacia el confort, igual que en el modo «automatic».



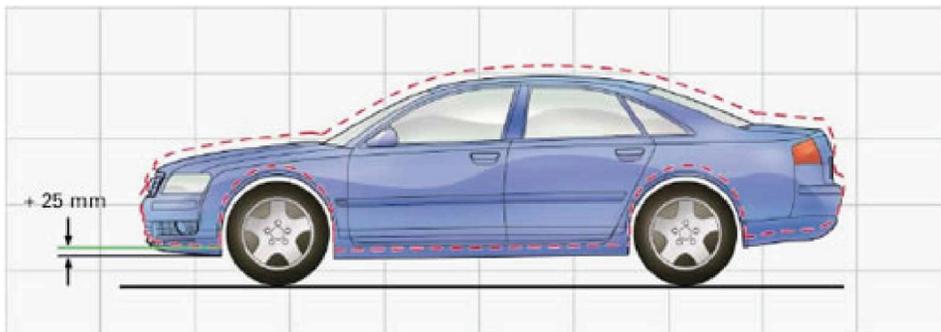
Tren de rodaje deportivo:

- Modo «automatic»: El nivel del vehículo equivale al del modo «dynamic» en el caso del tren de rodaje standard; tarado deportivo y una familia de características de amortiguación correspondientemente adaptada (un tarado más confortable que en el modo «dynamic»). 30 segundos después de superar los 120 km/h se produce otro descenso de 5 mm («descenso para autopista»).
- Modo «dynamic»: El nivel del vehículo equivale al del modo «automatic» de este tren de rodaje deportivo; tarado deportivo-tenso con la familia de características de amortiguación correspondientemente adaptada. 30 segundos después de superar los 120 km/h se produce un descenso de 5 mm («descenso para autopista»).

- Modo «comfort»: El nivel del vehículo equivale al del modo «automatic» de este tren de rodaje deportivo; una amortiguación más baja que en el modo «automatic» a velocidades inferiores. No se produce ningún descenso para autopista.



- Modo «lift»: Nivel del vehículo elevado 25 mm en comparación con el del modo «automatic» del tren de rodaje deportivo; tarado de orientación deportiva.



Componentes de la suspensión

Brazo muelle/amortiguador
 La estructura básica de los cuatro brazos telescópicos muelle/amortiguador es idéntica. El brazo de suspensión esta formado por dos partes:

- Una neumática que sustituye al muelle de las suspensiones mecánicas convencionales y que sirve principalmente para nivelar la carrocería.
- Una suspensión de reglaje continuo de la amortiguación, que utiliza amortiguadores de tarado variable a través de unas electroválvulas que controlan el paso del aceite.

Muelle neumático

Estructura:

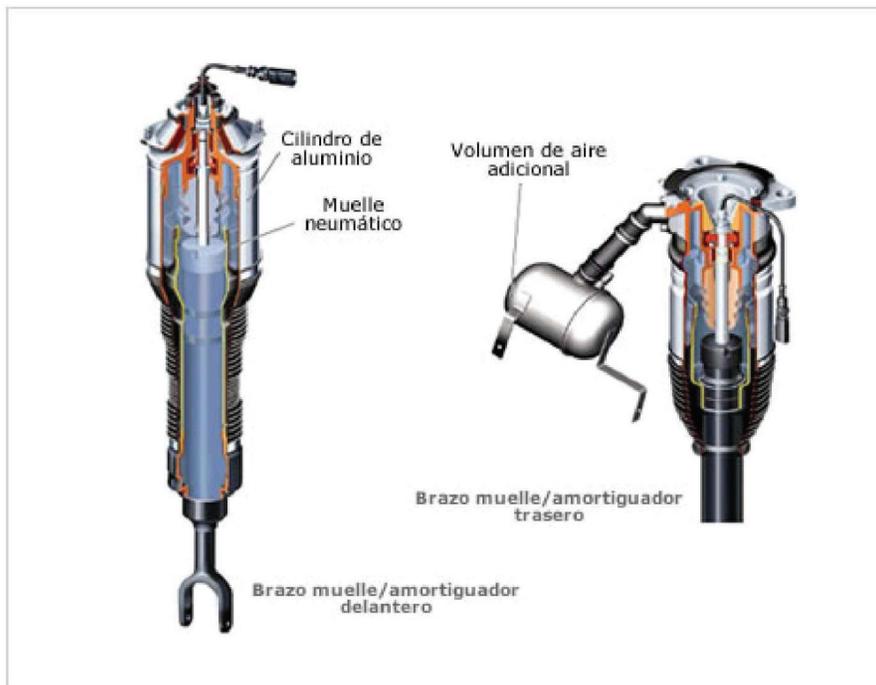
El muelle neumático es una versión guiada exteriormente, es decir, que va abrazada por un cilindro de aluminio. Para evitar la penetración de humedad entre el cilindro y la balona hay un manguito de junta que cierra la zona entre el émbolo de desarrollo de la balona y el cilindro. El

manguito de junta puede ser sustituido; la balona no es sustituible por separado. En caso de avería se tiene que sustituir el brazo muelle/amortiguador completo.

Para establecer la mayor capacidad útil posible en el maletero, con una anchura óptima para efectos de carga se procede a limitar a una cota mínima el diámetro de las balonas en el eje trasero. Para satisfacer las exigencias de confort se requiere un volumen mínimo de aire. La solución de este conflicto entre objetivos consiste en integrar un depósito para un volumen de aire adicional, comunicado con el amortiguador.

Funcionamiento:

El muelle neumático no sólo viene a sustituir al muelle de acero; en comparación con éste ofrece también ventajas esenciales. El nuevo guiado exterior del muelle neumático por medio de un cilindro de aluminio permite reducir el espesor de pared de la balona. Esto se traduce en una respuesta más sensible ante irregularidades del pavimento.



Amortiguador

Estructura:

Se monta un amortiguador bitubo de gas presurizado con reglaje eléctrico continuo (continuous damping control = amortiguador CDC). La válvula amortiguadora principal (3) en el émbolo (1) es pretensada mecánicamente por un muelle (4). Sobre la válvula está dispuesta una bobina electromagnética (5); el cable de conexión pasa hacia fuera a través de la varilla de émbolo hueca.

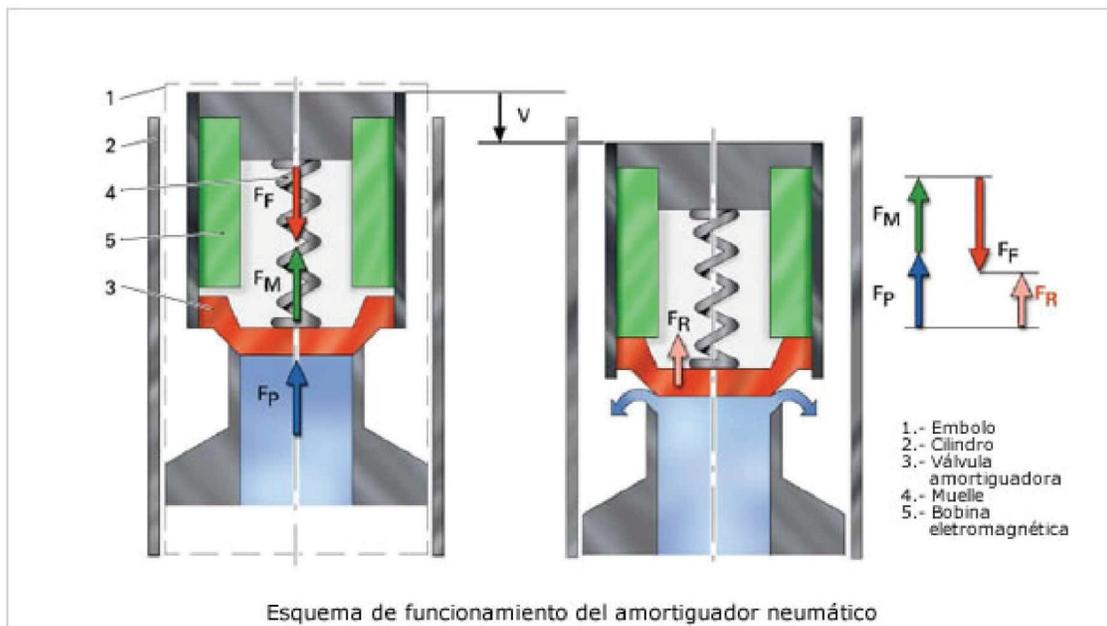
Funcionamiento:

La fuerza de amortiguación viene determinada esencialmente por la resistencia que oponen las válvulas al flujo del aceite interno. Cuanto mayor es la resistencia al flujo del aceite que las traspasa, tanto mayor es la fuerza de amortiguación.

Principio de funcionamiento tomando como ejemplo la etapa de contracción (= amortiguación en etapa de compresión):

La unidad de émbolo (1) completa se desplaza hacia abajo en el tubo cilíndrico (2), a una velocidad (v). La presión del aceite aumenta en la cámara bajo la válvula amortiguadora principal (3). La bobina electromagnética (5) recibe corriente. La fuerza electromagnética F_M actúa en contra de la fuerza de muelle F_F y la contrarresta parcialmente.

Si la suma de la fuerza electromagnética y la fuerza de la presión del aceite ($F_M + F_P$) supera a la fuerza de muelle F_F se genera una fuerza resultante F_R , a través de la cual se produce la apertura de la válvula. La magnitud de la fuerza electromagnética es regulable en función de la intensidad de corriente eléctrica aplicada. Cuanto mayor es la intensidad de la corriente, tanto menor es la resistencia al flujo y la fuerza de amortiguación. La fuerza de amortiguación máxima viene dada cuando se deja de excitar la bobina electromagnética. Para obtener la menor fuerza de amortiguación se aplica una corriente de aprox. 1.800 mA a la bobina electromagnética. En la función de emergencia no se excita eléctricamente la bobina electromagnética. En ese caso queda ajustada la fuerza de amortiguación máxima, con lo cual se establecen unas condiciones dinámicas fiables.



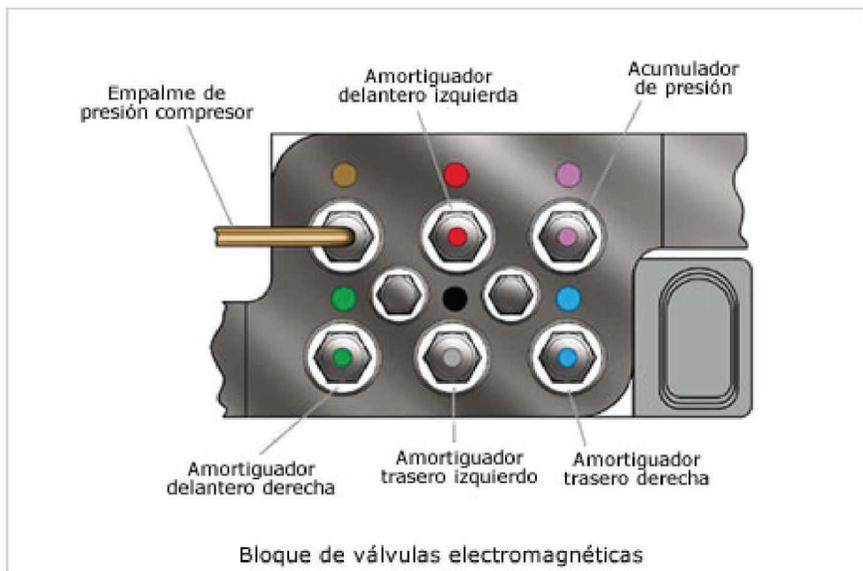
Grupo de alimentación de aire

El grupo de alimentación de aire se instala en la parte delantera izquierda del vano motor. De esta forma se evitan influencias negativas en las condiciones acústicas del habitáculo. Asimismo se puede realizar así una refrigeración más eficaz. Esto aumenta la posible duración de la conexión para el compresor y la calidad de la regulación. Funcionamiento:

Para proteger el compresor contra un posible sobrecalentamiento se procede a desactivarlo si es necesario (temperatura excesiva en la culata). La presión estática máxima del sistema es de 16 bares.



Bloque de válvulas electromagnéticas
 El bloque de válvulas electromagnéticas incluye el sensor de presión y las válvulas para excitar los muelles neumáticos y el acumulador de presión. Va instalado en el paso de rueda entre el guardabarros y el pilar A en el lado izquierdo del vehículo.



Acumulador de presión

El acumulador de presión se encuentra entre el piso del maletero y el silenciador final, por el lado izquierdo del vehículo.

Estructura:

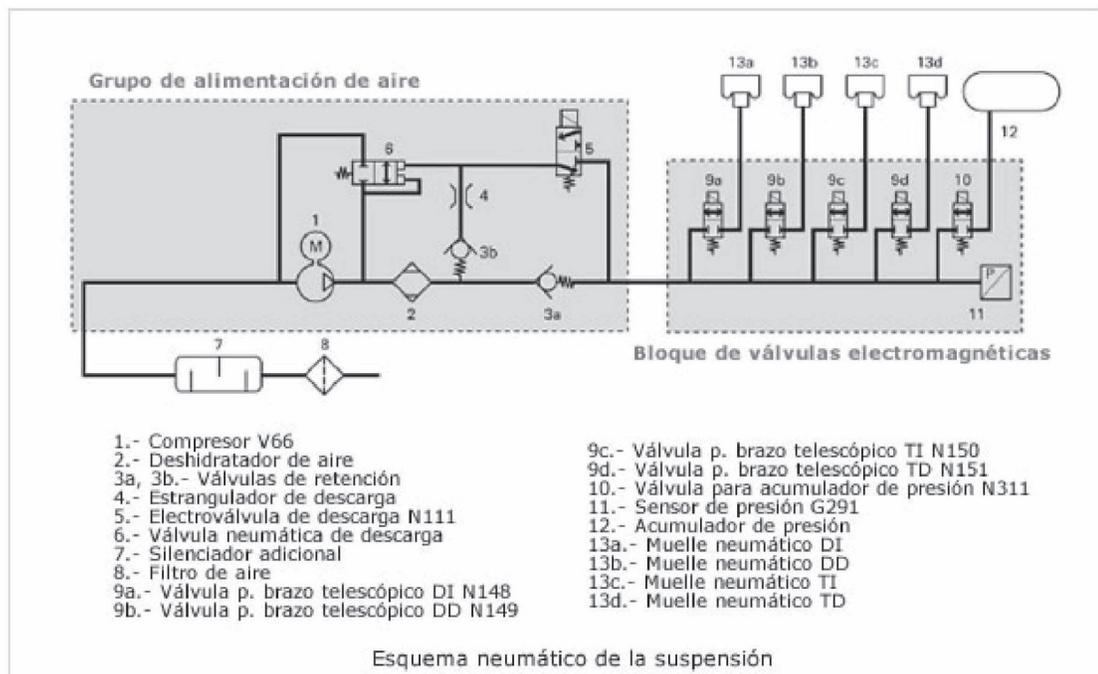
El acumulador de presión es de aluminio. Tiene una capacidad de 5,8 ltr. y una presión de servicio máxima de 16 bares.

Funcionamiento:

El objetivo del acumulador es limitar al mínimo posible la conexión del compresor. Para que los ciclos de regulaciones ascendentes puedan llevarse a cabo exclusivamente a través del acumulador de presión es preciso que exista una diferencia de presión mínima de 3 bares entre el acumulador de presión y el muelle neumático.

Funcionamiento de la suspensión neumática

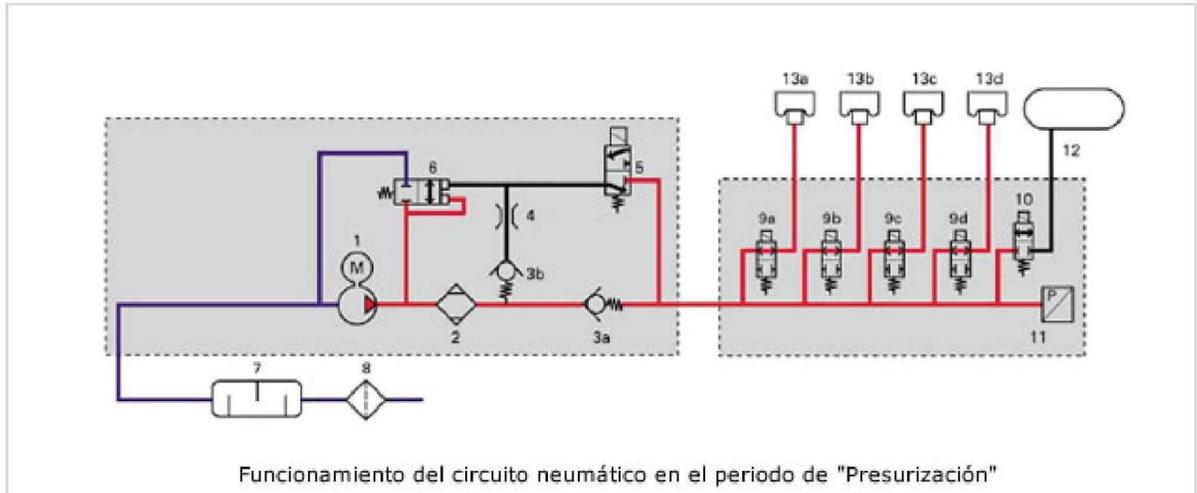
Este sistema mantiene constante el nivel de la carrocería al valor elegido por el conductor, independientemente de la carga. Para hacerlo el sistema utiliza un compresor que envía aire a las patas telescópicas por medio de las electroválvulas, hasta que se ha ajustado el nivel del vehículo. El nivel de la carrocería en el eje delantero y en el eje trasero es registrado por los sensores de nivel y es transmitido a la unidad de control. Cada bloque de suspensión o pata telescópica está comandada por una electroválvula que abre y cierra el paso de la presión de aire. Las electroválvulas de suspensión se excitan eléctricamente por parejas (eje delantero y eje trasero). El circuito neumático funciona básicamente teniendo en cuenta dos periodos de funcionamiento: presurización y despresurización.



• Periodo de presurización

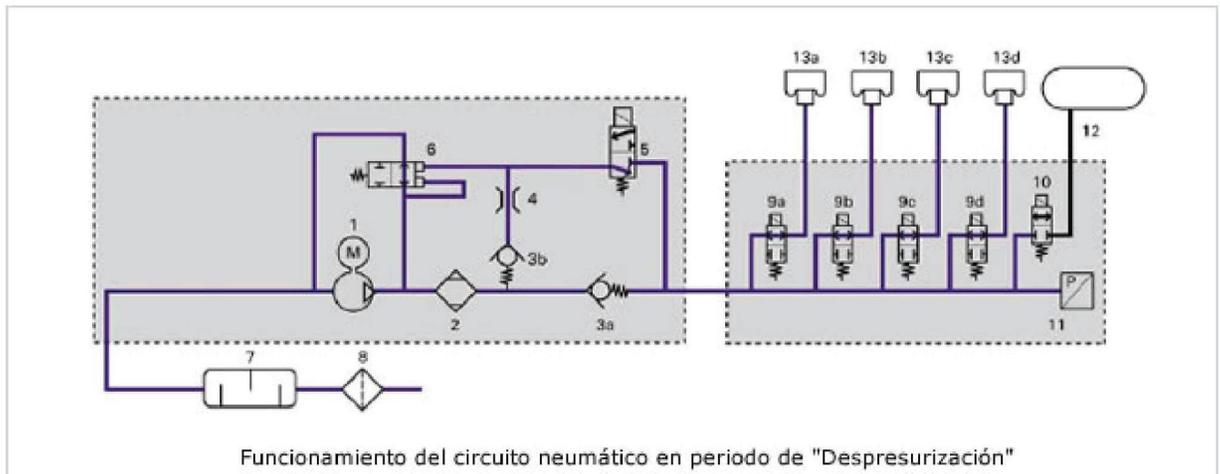
Al ser cargados los muelles neumáticos a través del acumulador de presión, la válvula (10) abre las válvulas (9) correspondientes por ejes. El acumulador de presión (12) se

carga haciendo que el compresor (1) alimente aire a través de la válvula (10) abierta. Si el vehículo se encuentra en posición lateralmente desigual también se excitan individualmente las válvulas (9a – 9d) de una lado hasta compensar esta posición.. Las válvulas (9a, 9b y 9c, 9d) son excitadas eléctricamente por parejas (eje delantero y eje trasero). El aire es aspirado por el compresor (1) a través del filtro (8) y el silenciador adicional (7). El aire comprimido pasa a través del deshidratador (2), la válvula de retención 3a y las válvulas 9 hacia los muelles neumáticos.



- **Despresurización**

Las válvulas (9a, 9b y 9c, 9d) y la electroválvula de descarga (5) abren. El caudal del aire puede pasar a través de la válvula de descarga (5) y abre así la válvula de descarga (6) neumáticamente pilotada. El caudal del aire abandona el sistema a través de la válvula de descarga (6), el silenciador adicional (7) y el filtro de aire (8). El agente secante se regenera al pasar el aire por el deshidratador (2).



- **Función posición de bloqueo**

Si la unidad de control detecta una descarga de todas las ruedas estando parado el vehículo, se cierran entonces las electroválvulas de las patas telescópicas. Con ello, el vehículo permanece en el nivel momentáneo. Ello es necesario, por ejemplo, al efectuar un cambio de rueda o en trabajos de reparación sobre plataforma elevadora.

Sensor de temperatura del compresor

Se trata de una resistencia NTC en un pequeño cuerpo de vidrio. El sensor detecta la temperatura en la culata del compresor. Su resistencia se reduce a medida que aumenta la temperatura (NTC: coeficiente negativo de temperatura). Esta variación de la resistencia es analizada por la unidad de control. El tiempo máximo de funcionamiento del compresor se calcula en función de la temperatura momentánea.

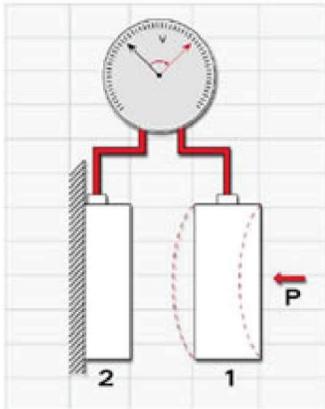
Sensor de presión

Mide las presiones en los brazos telescópicos de los ejes delantero y trasero y en el acumulador de presión. El sensor va empotrado en el bloque de válvulas electromagnéticas y no está al acceso por fuera.

Funcionamiento:

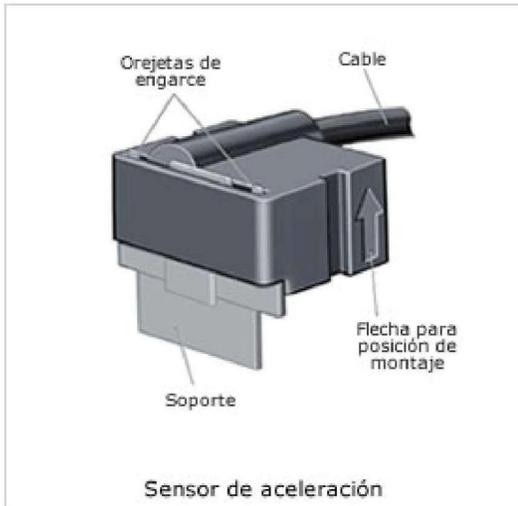
El sensor trabaja según el principio de medición capacitiva: La presión (p) a medir produce una desviación en una membrana de cerámica. Debido a ello varía la distancia entre un electrodo (1) instalado en la membrana y un electrodo contrario (2) que se encuentra fijo sobre la carcasa del sensor. Los electrodos constituyen por si mismo un condensador. Cuanto menor es la distancia de los electrodos tanto mayor es la capacidad del condensador. La capacidad es medida por el sistema electrónico integrado y transformada en una señal lineal de salida.

Mediante una excitación correspondiente de las electroválvulas es posible determinar las presiones de los muelles neumáticos y del acumulador.



Sensor de aceleración

Para poder ajustar la amortiguación óptima en cada situación es preciso conocer el desarrollo cronológico de los movimientos de la carrocería (masa amortiguada) y de los componentes de los ejes (masa no amortiguada). Las aceleraciones de la carrocería se miden con ayuda de tres sensores. Dos de ellos se encuentran en las torretas de los brazos telescópicos delanteros; el tercero se halla en el guardarrueda trasero derecho. La aceleración de los componentes de los ejes (masas no amortiguadas) se determina por análisis de las señales procedentes de los sensores de nivel del vehículo.



Sensores de aceleración de la carrocería

Los sensores van atornillados a la carrocería por medio de soportes. El sensor y el soporte están unidos por medio de engarce. Consta de varias capas de silicio y vidrio. La capa intermedia de silicio está diseñada en forma de una lengüeta en alojamiento elástico (masa sísmica). La sensibilidad del sensor viene determinada, en esencia, por el coeficiente de rigidez/elasticidad y la masa de la lengüeta.

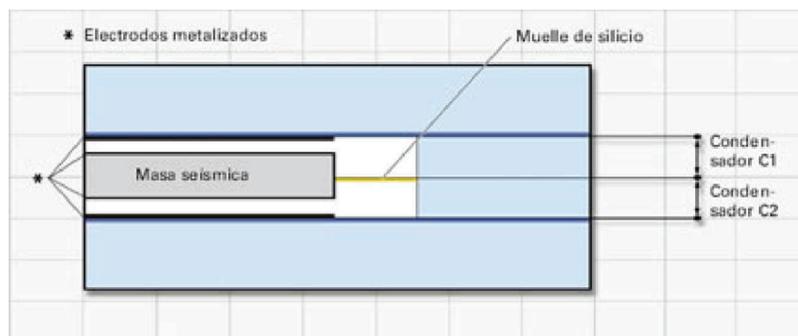
Funcionamiento:

La masa sísmica con recubrimiento de metal se utiliza como electrodo móvil, que, conjuntamente con el contraelectrodo superior e inferior, constituye respectivamente un condensador.

La capacidad de este condensador depende de las superficies de los electrodos y su distancia mutua.

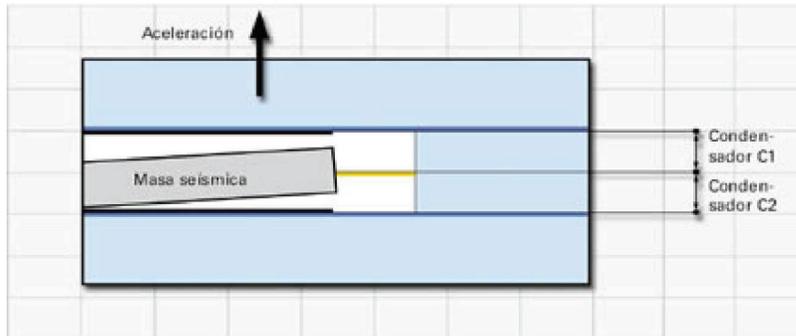
Estados de funcionamiento:

- Estado de reposo:
La masa sísmica se encuentra centrada exactamente entre los contraelectrodos. Las capacidades de ambos condensadores C1 y C2 son idénticas.



- Estado acelerado:
Debido a efectos de inercia, la masa sísmica sale de su posición central. La distancia de los electrodos varía. La capacidad aumenta a medida que se reduce la distancia. En nuestro ejemplo aumenta la capacidad del condensador C2 en comparación con la del estado de reposo, mientras que la del condensador C1 disminuye.

La tensión de alimentación es aportada por la unidad de control para el sistema de suspensión neumática. Las tensiones momentáneas correspondientes a la aceleración de la carrocería se pueden consultar a través de bloques de valores de medición.



Sensores de nivel del vehículo

Los cuatro sensores son de un mismo diseño, mientras que las sujeciones y bieletas de acoplamiento son específicas por lados y ejes.

Funcionamiento:

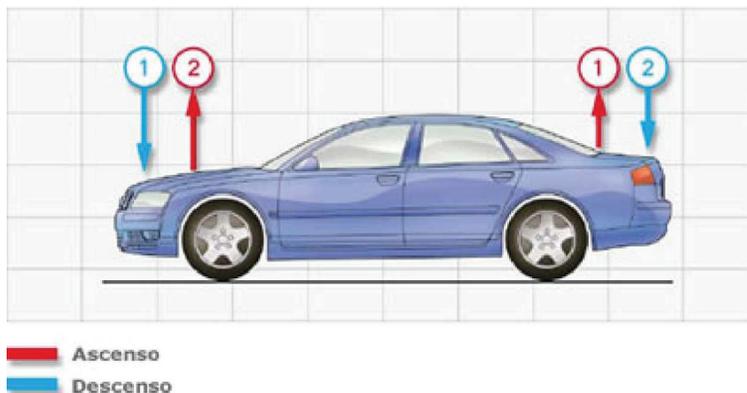
Los sensores detectan la distancia entre los brazos oscilantes del eje y la carrocería, y con ello la altura de nivel del vehículo. La detección se realiza ahora con frecuencias de 800 Hz (en el allroad 200 Hz). Esta tasa de captación es suficiente para determinar la aceleración de las masas no amortiguadas.

Concepto general de regulación

El cambio de nivel se realiza básicamente por ejes, corrigiéndose las diferencias de nivel entre los lados izquierdo y derecho del vehículo (p. ej. causadas por cargas en un solo lado). Al circular a velocidades por debajo de 35 km/h se emplea preferentemente el acumulador de presión a manera de fuente de energía. Esto presupone una suficiente diferencia de presión de 3 bares como mínimo entre el acumulador de presión y el muelle neumático.

Operación de cambio de nivel:

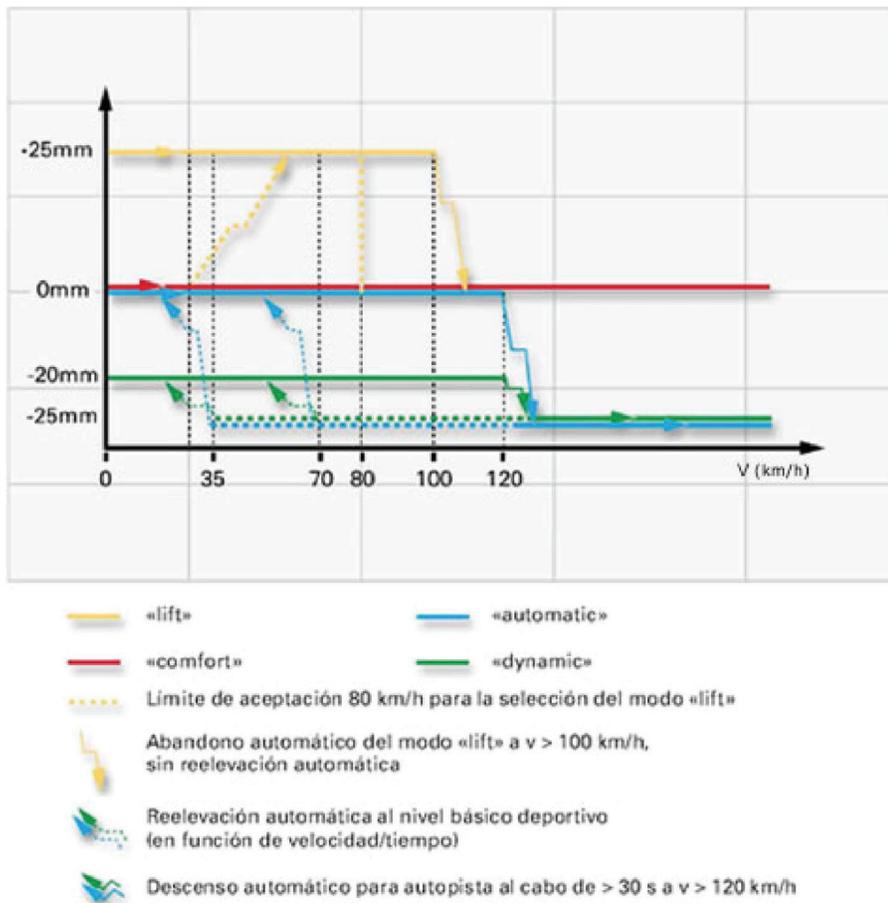
- Ascenso: Primero asciende el eje trasero y luego el eje delantero
- Descenso: Primero desciende el eje delantero y luego el eje trasero



Se ha previsto este orden, para descartar fiablemente la posibilidad de deslumbrar a terceros con motivo de los ciclos de regulación en caso de averiarse la regulación del alcance luminoso de los faros. El sistema de regulación del alcance luminoso se emplea exclusivamente en vehículos con faros de xenón.

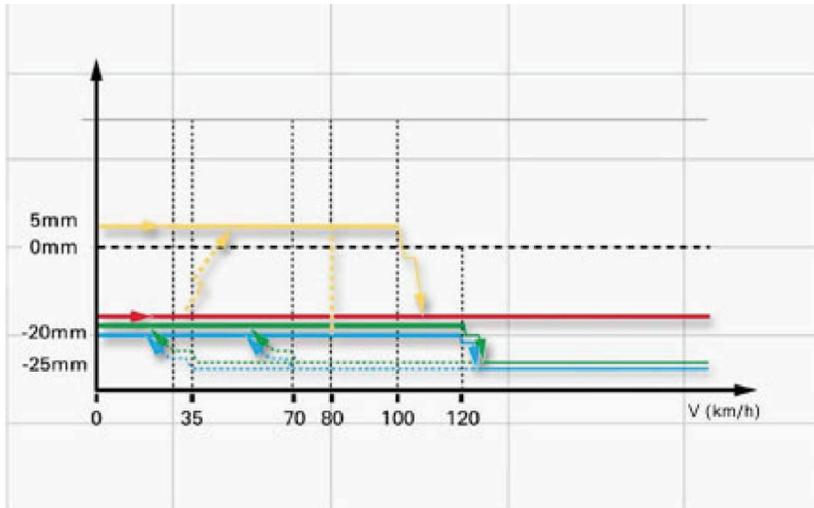
Concepto de regulación para tren de rodaje standard

- Modo «automatic» (nivel básico)
 La amortiguación se realiza orientada hacia el confort. 30 segundos después de superar los 120 km/h se produce el descenso automático de para circulación por autopista.
 La reelevación al nivel básico se efectúa de forma automática si se lleva una velocidad a 70 km/h durante 120 segundos o si la velocidad baja por debajo de 35 km/h.
- Modo «dynamic» (-20 mm)
 Se pone en vigor una familia de características de amortiguación tensa sobre todo el rango de velocidad.
 Si la velocidad de marcha supera los 120 km/h se realiza 30 segundos más tarde automáticamente un descenso adicional de 5 mm (autopista).
 La reelevación al nivel deportivo se efectúa de forma automática si se mantiene durante 120 segundos una velocidad inferior a 70 km/h o si se baja por debajo de los 35 km/h.
- Modo «comfort» (nivel básico)
 La amortiguación se regula de un modo aún más orientado hacia el confort que en el modo «automatic», sobre todo en el rango de velocidad inferior.
 No se realiza ningún descenso automático para circulación por autopista.
- Modo «lift» (+25 mm)
 Este modo sólo puede ser seleccionado al circular a una velocidad inferior a 80 km/h. A partir de los 100 km/h se abandona automáticamente este modo operativo. El modo anteriormente seleccionado («automatic», «dynamic» o «comfort») se pone en vigor en ese caso.
 Incluso si posteriormente la velocidad vuelve a descender por debajo de 80 km/h no se pasa automáticamente al modo «lift».



Concepto de regulación para tren de rodaje deportivo
 Diferencias con respecto al tren de rodaje standard:

- Mismas alturas de nivel p. modos «dynamic», «automatic» y «comfort» a velocid. < 120 km/h, pero siendo diferentes las familias de características de la amortiguación
- Nivel básico del vehículo 20 mm más bajo que en el tren de rodaje standard
- Tarado modificado, con orientación deportiva para los muelles y la amortiguación

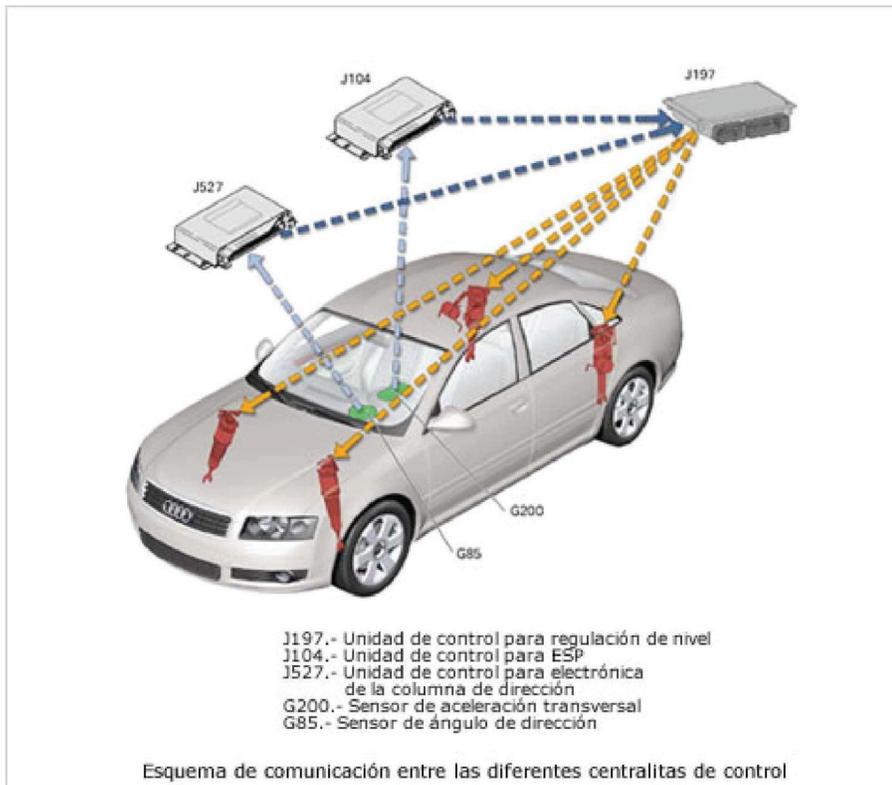


- «lift»
- «automatic»
- «comfort»
- «dynamic»
- - - Nivel básico tren de rodaje standard
- ⋯ Límite de aceptación 80 km/h para la selección del modo «lift»
- ↘ Abandono automático del modo «lift» a $v > 100$ km/h, sin reelevación automática
- ↙ Reelevación automática al nivel deportivo (en función de velocidad/tiempo)
- ↘ Descenso automático para autopista al cabo de > 30 s a $v > 120$ km/h

Concepto de regulación en estados operativos específicos

Circulación por curva

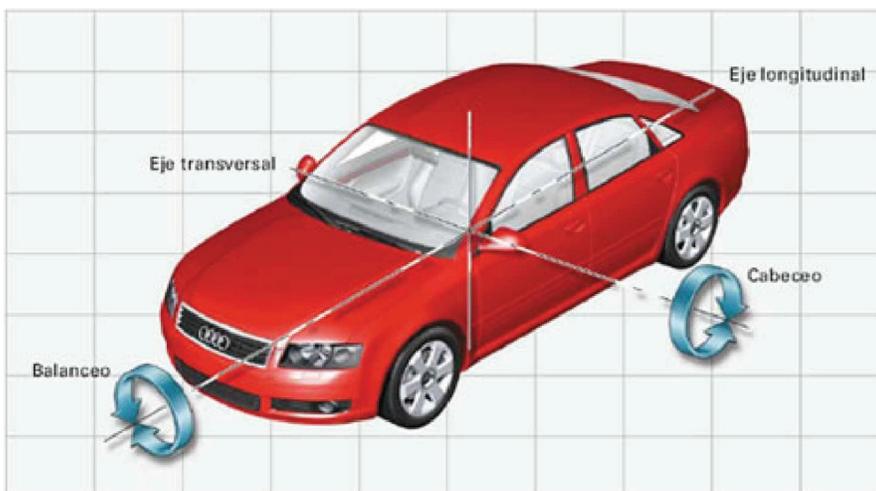
La regulación se interrumpe al circular en una curva y se reanuda a continuación. La circulación por curvas se detecta a través de las señales del sensor de ángulo de dirección y del sensor de aceleración transversal. Las fuerzas de amortiguación se adaptan a las condiciones de la marcha. De esa forma se anulan eficazmente los movimientos de la carrocería que resultan indeseables desde puntos de vista del comportamiento dinámico (p. ej. balanceos).



Funciones del sistema

Operaciones de frenado

Sobre todo al frenar con intervención de los sistemas ABS/ESP se incluye la regulación de la amortiguación, la cual actúa en función de la presión aplicada para la frenada. De este modo se limitan al mínimo los movimientos de cabeceo y balanceo de la carrocería.



Operaciones de arrancada

En las fases de arrancada se producen sobre todo movimientos de cabeceo debidos a la inercia de las masas de la carrocería. Mediante fuerzas de amortiguación adecuadas y adaptadas a cada situación se limitan al mínimo este tipo de movimientos.

Modo anticipado y modo activo post-marcha

Las diferencias con respecto a la altura teórica antes de iniciar la marcha o bien antes de conectar el encendido se compensan por regulación. Al accionar la manilla de la puerta, el capó trasero o el borne 15 se reexcita en caso dado el sistema que pudiera encontrarse en el modo desexcitado en espera, y pasa al modo anticipado.

Una diferencia de altura, causada p. ej. al bajarse del vehículo o al descargarlo después de la desconexión del encendido, se compensa por regulación en el modo activo postmarcha.

Modo desexcitado

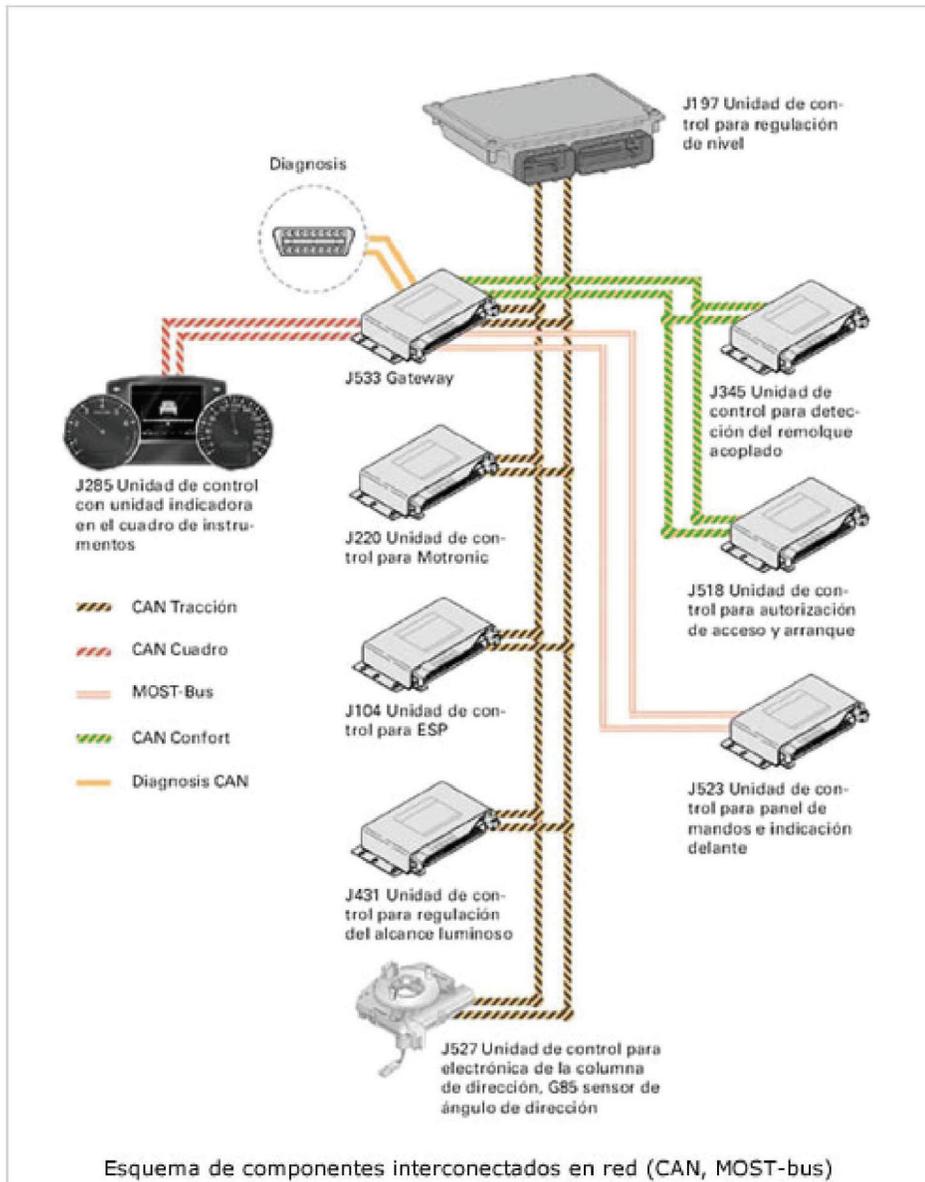
60 segundos después de haberse encontrado en el modo activo post-marcha sin haber recibido señales de entrada, el sistema pasa al modo desexcitado, con una reducción del consumo energético. El modo desexcitado se abandona brevemente al cabo de 2, 5 y 10 horas, para verificar una vez más la altura del nivel. Si existen diferencias de altura con respecto al valor teórico se compensan en caso dado con ayuda del acumulador de presión (p. ej. diferencia de altura debida al enfriamiento del aire en los muelles neumáticos).

Modo para elevador

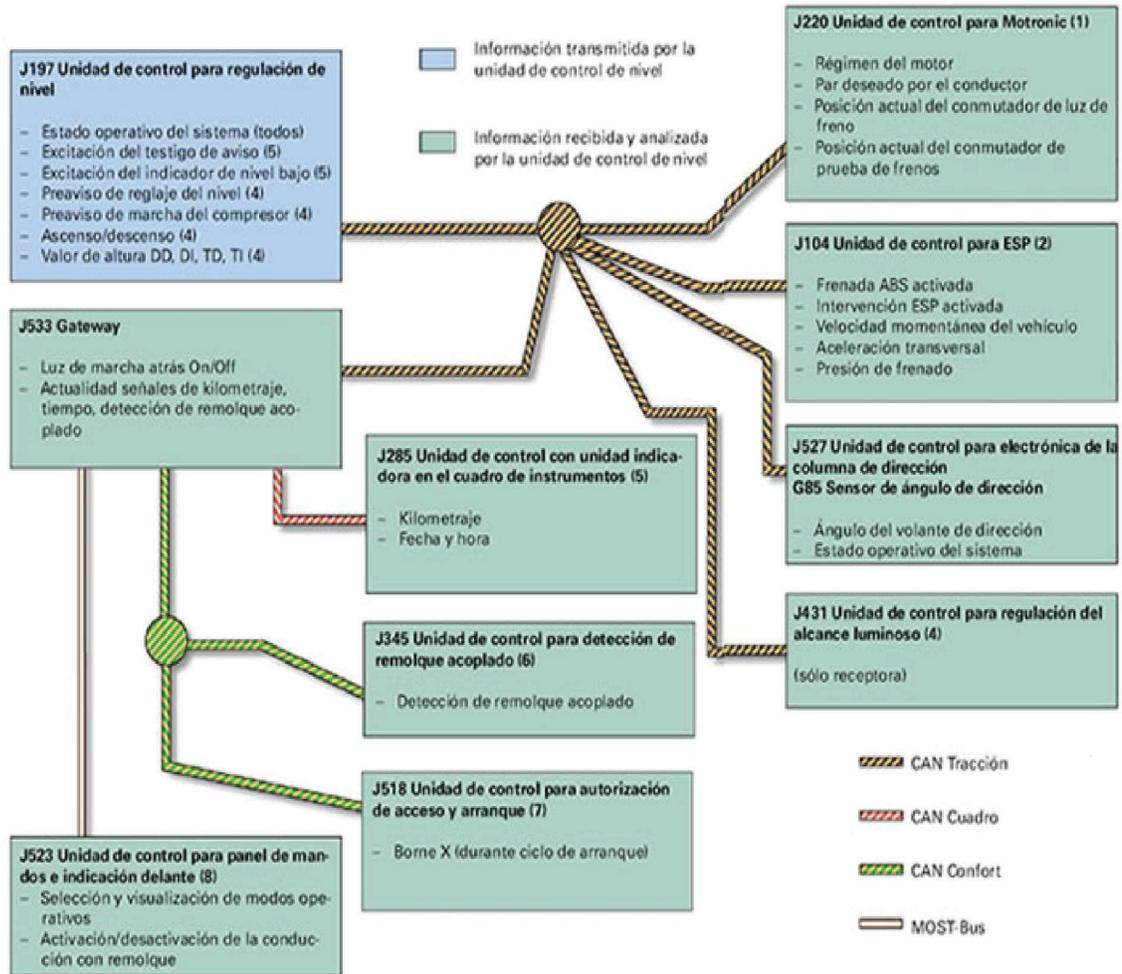
El sistema detecta que el vehículo se encuentra en el taller a bordo de un elevador para reparación del vehículo, al analizar las señales de los sensores de nivel del vehículo y la duración del ciclo de regulación correctiva en el vehículo parado. No se inscribe ninguna avería en la memoria. Este modo operativo no se visualiza a través del testigo luminoso.

Señal para regulación del alcance luminoso

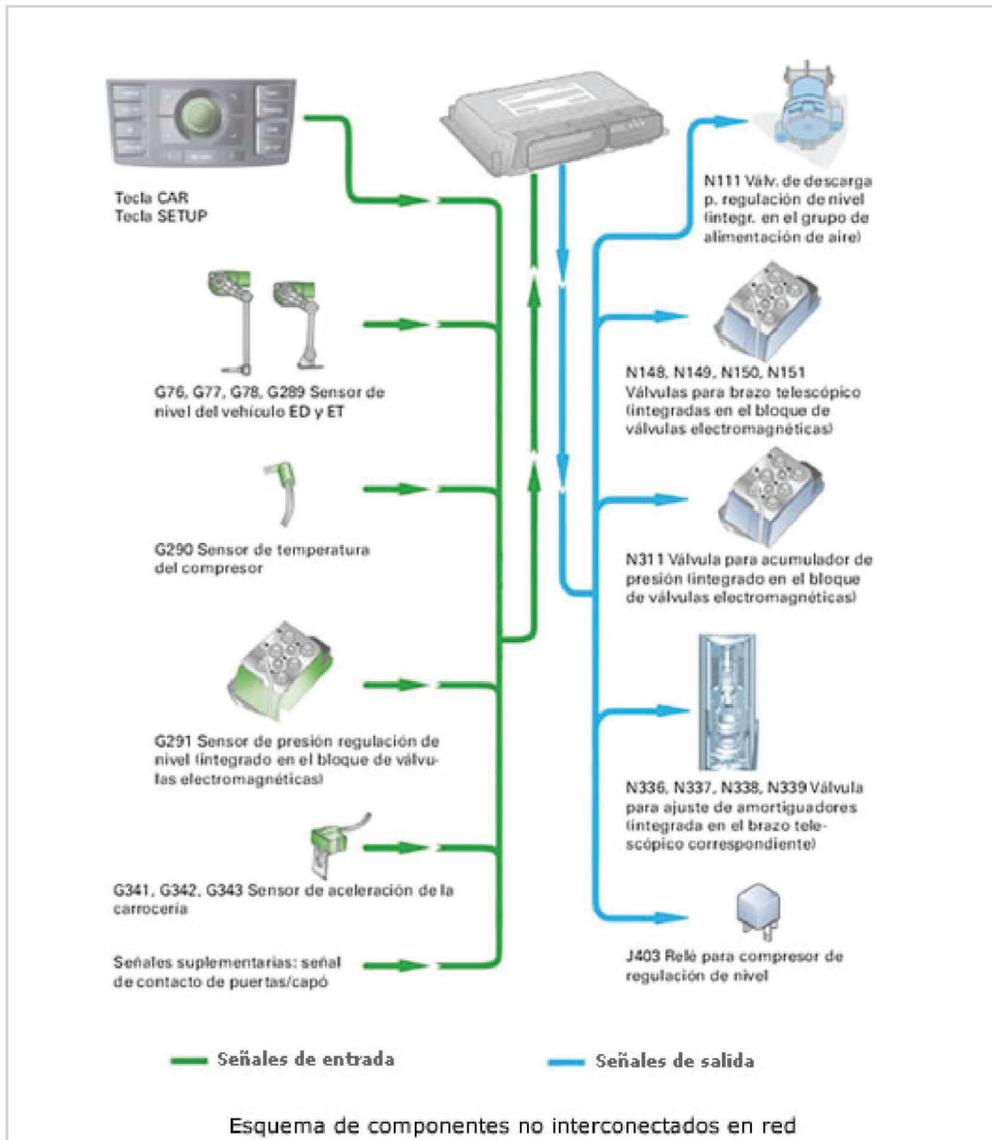
La unidad de control para regulación de nivel transmite los datos actuales de altura de la carrocería en las cuatro ruedas a la unidad de control para regulación del alcance luminoso, en un mensaje a través del CAN-Bus. Previo análisis de estas señales, la unidad de control para regulación del alcance luminoso calcula el reglaje necesario para la corrección de los faros.



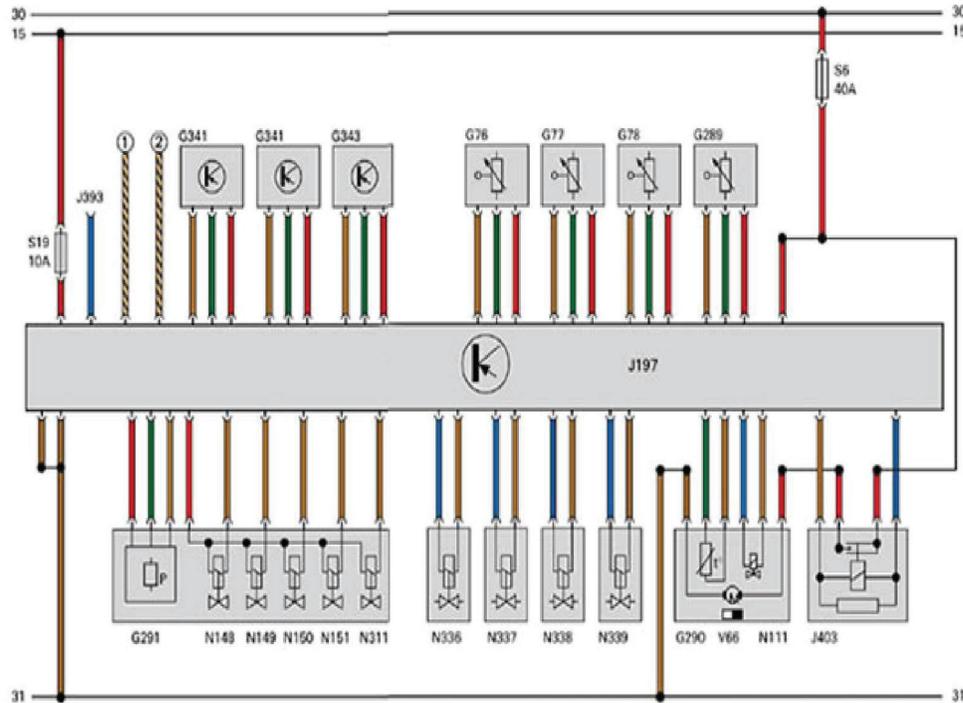
Intercambio de información vía CAN-Bus



El número entre paréntesis detrás de los contenidos del mensaje señala la unidad de control que procesa la información correspondiente: p. ej. excitación testigo de aviso procesada por parte de la unidad de control núm. 5, J285.



Esquema eléctrico del sistema de suspensión



- G76.- Sensor de nivel del vehículo, trasero izquierdo
- G77.- Sensor de nivel del vehículo, trasero derecho
- G78.- Sensor de nivel del vehículo, delantero izquierdo
- G289.- Sensor de nivel del vehículo, delantero derecho
- G290.- Sensor de temperatura del compresor, regulación de nivel
- G291.- Sensor de presión para regulación de nivel
- J393.- Unidad de control central para sistema de confort (para señal de puertas)
- G341.- Sensor de aceleración de la carrocería delante, izquierda
- G342.- Sensor de aceleración de la carrocería delante, derecha
- G343.- Sensor de aceleración de la carrocería detrás
- J197.- Unidad de control para regulación de nivel

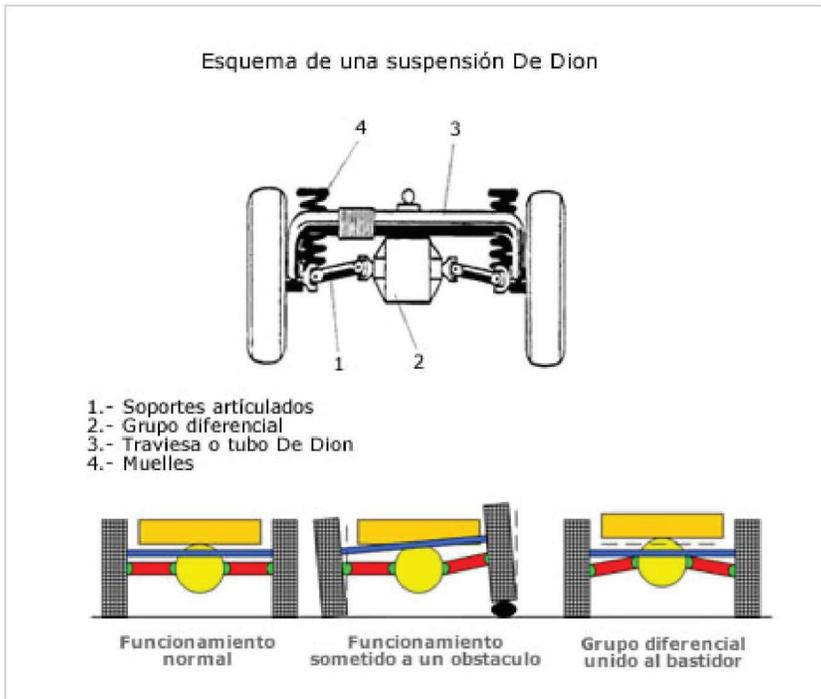
- J403.- Relé para compresor, regulación de nivel
- N111.- Válvula de descarga para regulación de nivel
- N148.- Válvula para brazo telescópico delantero izquierdo
- N149.- Válvula para brazo telescópico delantero derecho
- N150.- Válvula para brazo telescópico trasero izquierdo
- N151.- Válvula para brazo telescópico trasero derecho
- N311.- Válvula para acumulador de presión, regulación de nivel
- N336.- Válvula para reglaje del amortiguador delantero izquierdo
- N337.- Válvula para reglaje del amortiguador delantero derecho
- N338.- Válvula para reglaje del amortiguador trasero izquierdo
- N339.- Válvula para reglaje del amortiguador trasero derecho
- V66.- Motor para compresor, regulación de nivel

Codificación de colores

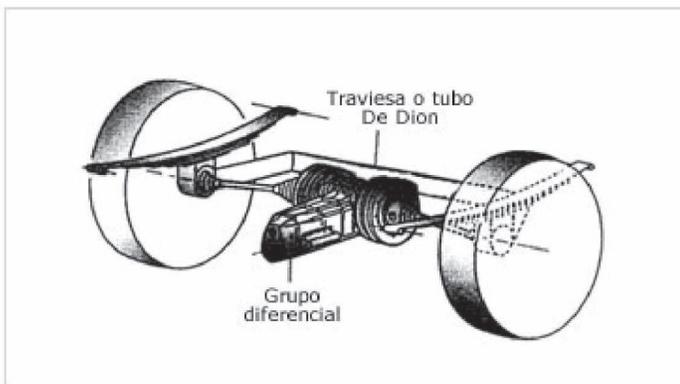
- █ = Señal de entrada
- █ = Señal de salida
- █ = Alimentación positiva
- █ = Masa
- ▨ = CAN-Bus

Señales suplementarias

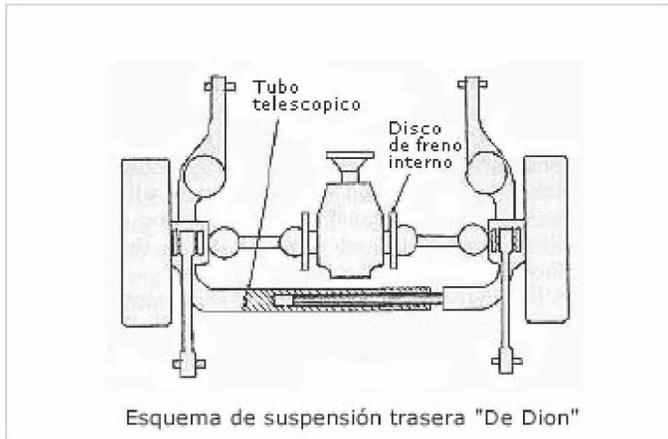
- ① CAN-High
- ② CAN-Low



Otra suspensión semirígida "De Dion" pero que utiliza ballestas en vez de muelles

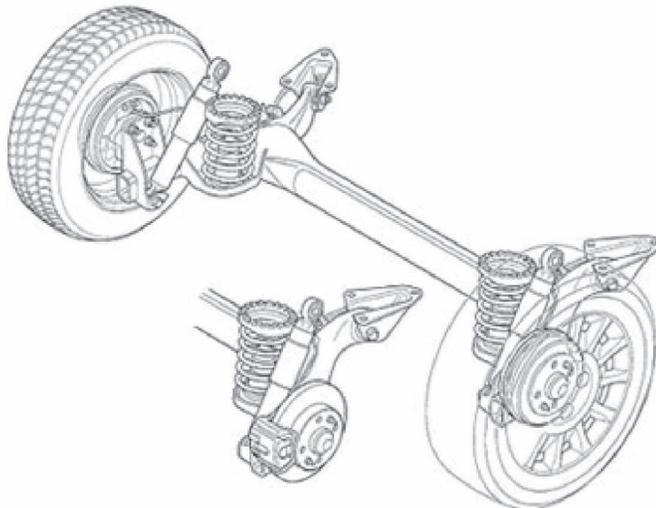


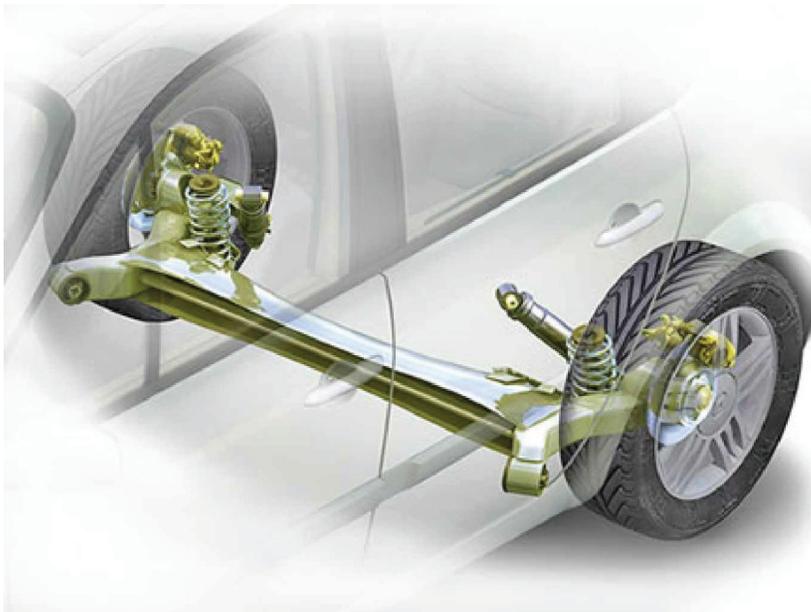
En la actualidad hay pocos coches que montan esta suspensión debido a que su coste es elevado. Alfa Romeo es uno de los fabricantes que monto este sistema, mas en concreto en el modelo 75 (figura inferior). En la actualidad lo montan vehiculos como el Honda HR-V y el Smart City Coupe.



El **"eje torsional"** es otro tipo de suspensión semirígida (semi-independiente), utilizada en las suspensiones traseras, en vehículos que tienen tracción delantera (como ejemplo: Volkswagen Golf). La travesa o tubo que une las dos ruedas tiene forma de "U", por lo que es capaz de deformarse un cierto ángulo cuando una de las ruedas encuentra un obstáculo, para después una vez pasado el obstáculo volver a la posición inicial.

Las ruedas están unidas rígidamente a dos brazos longitudinales unidos por un travesaño que los une y que se tuerce durante las sacudidas no simétricas, dando estabilidad al vehículo. Esta configuración da lugar, a causa de la torsión del puente, a una recuperación parcial del ángulo de caída de alto efecto de estabilización, características que junto al bajo peso, al bajo coste y al poco espacio que ocupan, ideal para instalarla junto con otros componentes debajo del piso (depósito de combustible, escape, etc.). Esta configuración han convertido a este tipo de suspensiones en una de las más empleadas en vehículos de gama media-baja.





Suspensión

independiente

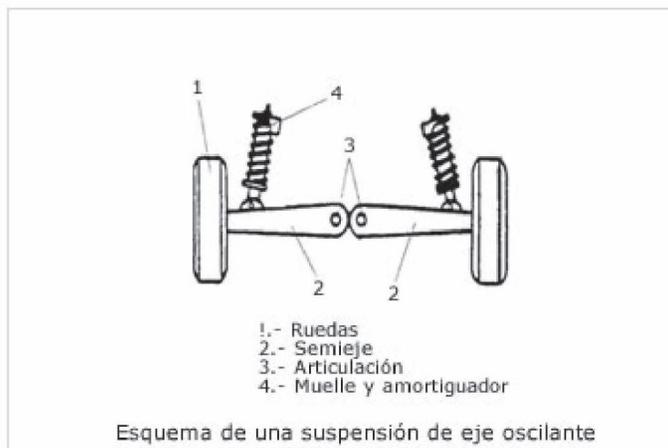
Actualmente la suspensión independiente a las cuatro ruedas se va utilizando cada vez mas debido a que es la más óptima desde el punto de vista de confort y estabilidad al reducir de forma independiente las oscilaciones generadas por el pavimento sin transmitir las de una rueda a otra del mismo eje. La principal ventaja añadida de la suspensión independiente es que posee menor peso no suspendido que otros tipos de suspensión por lo que las acciones transmitidas al chasis son de menor magnitud. El diseño de este tipo de suspensión deberá garantizar que las variaciones de caída de rueda y ancho de ruedas en las ruedas directrices deberán ser pequeñas para conseguir una dirección segura del vehículo. Por contra para cargas elevadas esta suspensión puede presentar problemas. Actualmente éste tipo de suspensión es el único que se utiliza para las ruedas directrices.

El número de modelos de suspensión independiente es muy amplio y además posee numerosas variantes. Los principales tipos de suspensión de tipo independiente son:

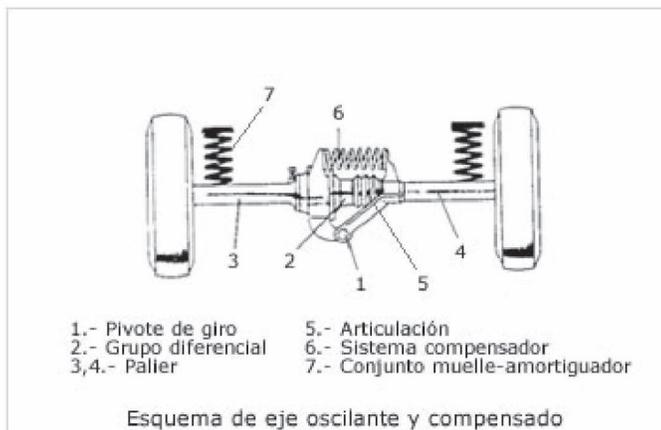
- Suspensión de eje oscilante.
- Suspensión de brazos tirados.
- Suspensión McPherson.
- Suspensión de paralelogramo deformable.
- Suspensión multibrazo (multilink)

Suspensión de eje oscilante

La peculiaridad de este sistema que se muestra en la figura inferior es que el elemento de rodadura (1) y el semieje (2) son solidarios (salvo el giro de la rueda), de forma que el conjunto oscila alrededor de una articulación (3) próxima al plano medio longitudinal del vehículo. Este tipo de suspensión no se puede usar como eje directriz puesto que en el movimiento oscilatorio de los semiejes se altera notablemente la caída de las ruedas en las curvas. Completan el sistema de suspensión dos conjuntos muelle-amortiguador telescópico (4)

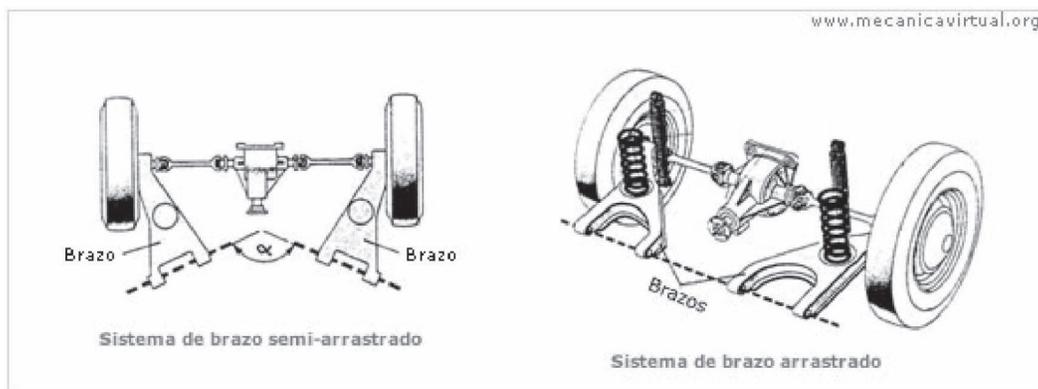


Una variante de este sistema es el realizado mediante un eje oscilante pero de una sola articulación mostrado en la figura inferior. Esta suspensión es utilizada por Mercedes Benz en sus modelos 220 y 300. La ventaja que presenta es que el pivote de giro (1) está a menor altura que en el eje oscilante de dos articulaciones. El mecanismo diferencial (2) oscila con uno de los palieres (3) mientras que el otro (4) se mueve a través de una articulación (5) que permite a su vez un desplazamiento de tipo axial en el árbol de transmisión. El sistema también cuenta con dos conjuntos muelle-amortiguador (7).



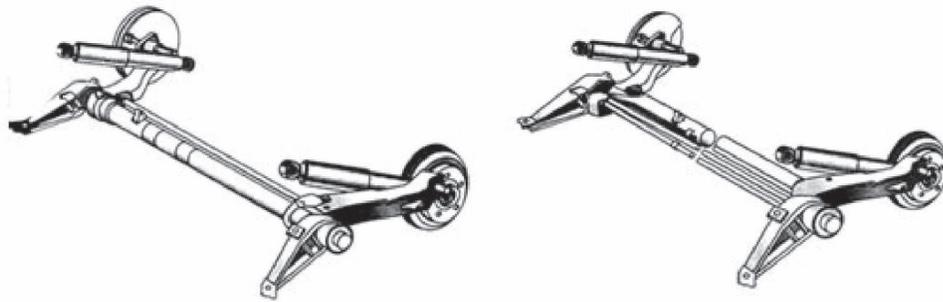
Suspensión de brazos tirados o arrastrados

Este tipo de suspensión independiente se caracteriza por tener dos elementos soporte o "brazos" en disposición longitudinal que van unidos por un extremo al bastidor y por el otro a la mangueta de la rueda. Si el eje es de tracción, el grupo diferencial va anclado al bastidor. En cualquier caso las ruedas son tiradas o arrastradas por los brazos longitudinales que pivotan en el anclaje de la carrocería. Este sistema de suspensión ha dado un gran número de variantes cuyas diferencias estriban fundamentalmente en cuál es el eje de giro del brazo tirado en el anclaje al bastidor y cuál es el elemento elástico que utiliza. En la figura inferior se muestra como los brazos tirados pueden pivotar de distintas formas: en la figura de la derecha los brazos longitudinales pivotan sobre un eje de giro perpendicular al plano longitudinal del vehículo. Este tipo de suspensión apenas produce variaciones de vía, caída o avance de la rueda. En la figura de la izquierda pivotan los brazos sobre ejes que tienen componentes longitudinales, es decir sobre ejes oblicuos al plano longitudinal del vehículo. A esta última variante también se la conoce como "brazos semi-arrastrados" y tiene la ventaja de que no precisa estabilizadores longitudinales debido a la componente longitudinal que tiene el propio brazo o soporte. Aquí las variaciones de caída y de vía dependen de la posición e inclinación de los brazos longitudinales por lo tanto, permite que se varíe durante la marcha la caída y el avance de las ruedas con lo que se mejora la estabilidad del vehículo. En cuanto al tipo de elementos elásticos que se utilizan en estas suspensiones, se encuentran las barras de torsión y los muelles.



Sistemas de suspensión de brazos tirados con barras de torsión. Las barras se montan de manera transversal a la carrocería. Como mínimo se utilizan dos, pudiendo llegar incluso a montar cuatro en vehículos cuyo tarado deba ser mayor. Por ejemplo, existen modelos que montan dos barras de torsión en el puente trasero, mientras que un modelo similar pero con mayor motorización, monta cuatro barras unidas por una gemela.

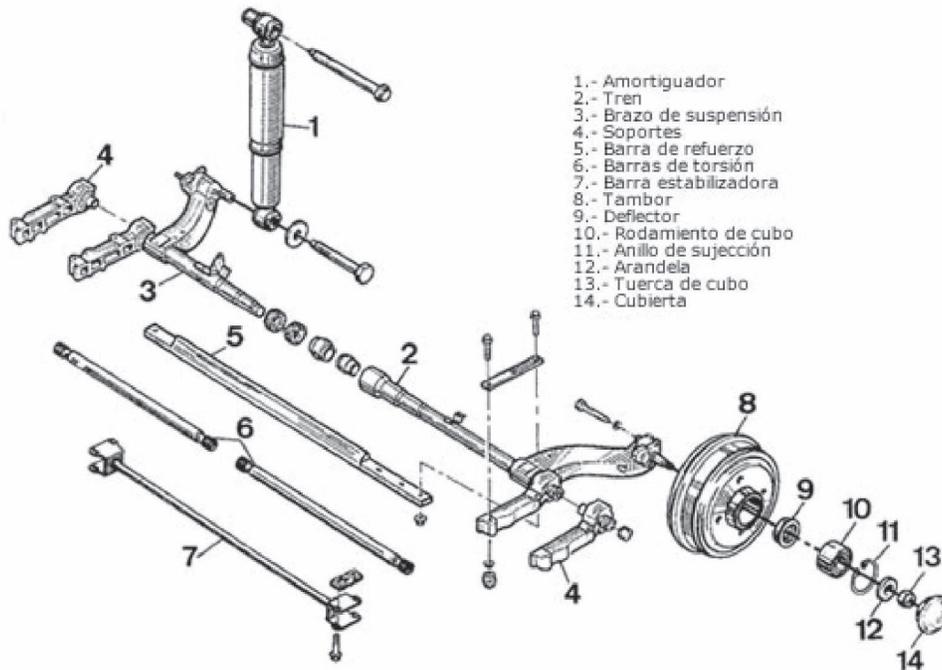
Suspensión de brazos tirados



Dos barras de torsión

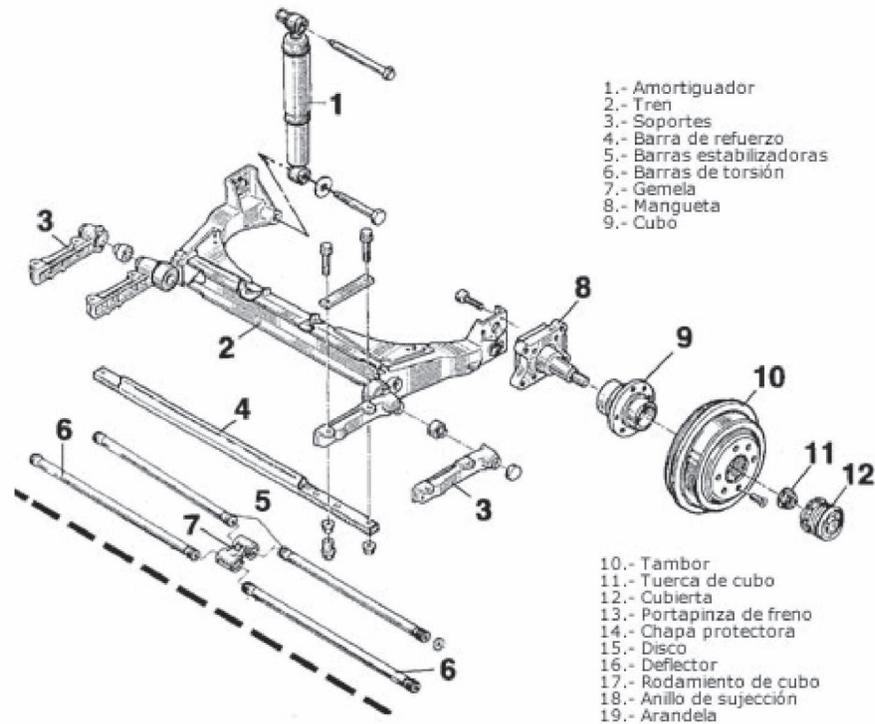
Cuatro barras de torsión

Despiece de una suspensión de brazos tirados de dos barras de torsión



- 1.- Amortiguador
- 2.- Tren
- 3.- Brazo de suspensión
- 4.- Soportes
- 5.- Barra de refuerzo
- 6.- Barras de torsión
- 7.- Barra estabilizadora
- 8.- Tambor
- 9.- Deflector
- 10.- Rodamiento de cubo
- 11.- Anillo de sujeción
- 12.- Arandela
- 13.- Tuerca de cubo
- 14.- Cubierta

Esquema de suspensión de brazos tirados de cuatro barras de torsión

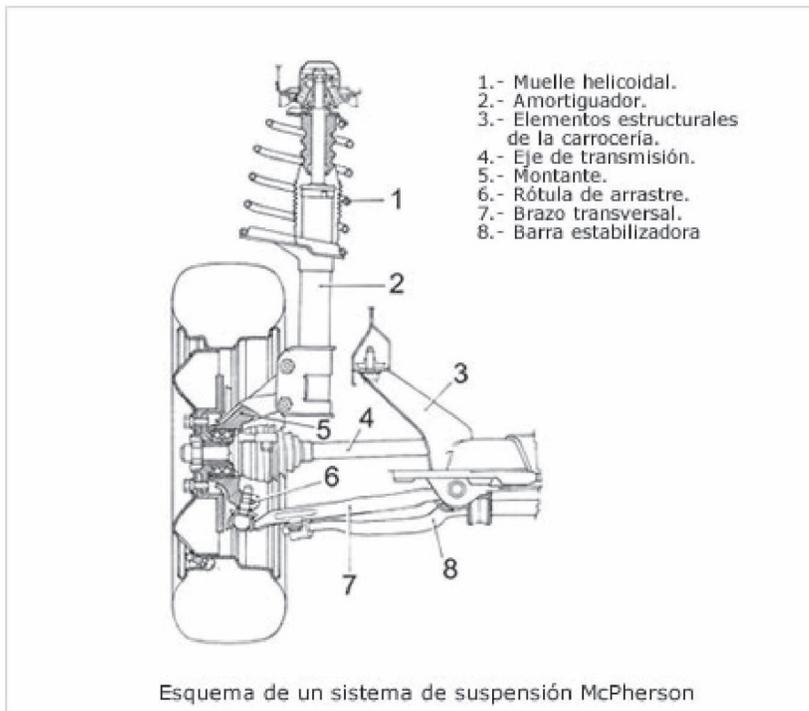


www.mecanicavirtual.org

Suspensión

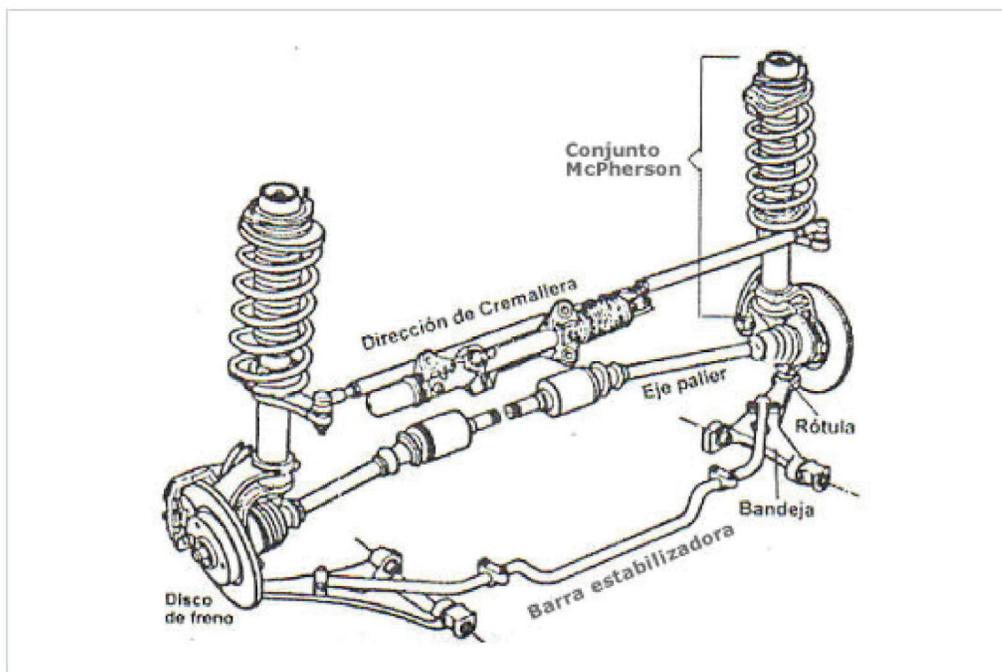
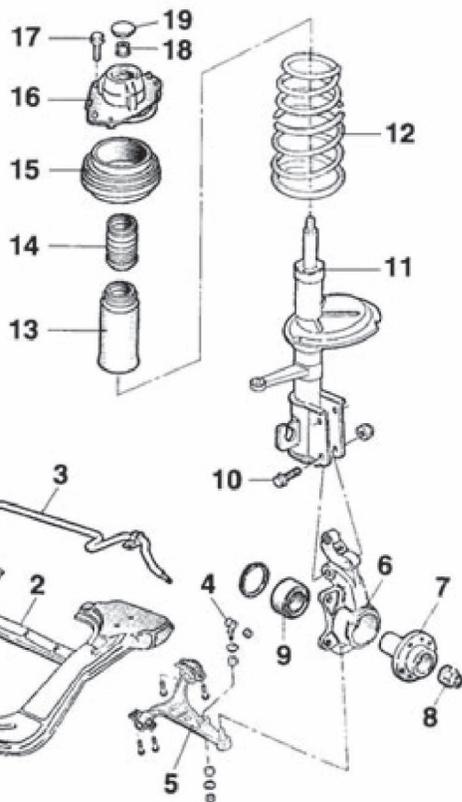
McPherson

Esta suspensión fue desarrollada por Earle S. McPherson, ingeniero de Ford del cual recibe su nombre. Este sistema es uno de los más utilizados en el tren delantero aunque se puede montar igualmente en el trasero. Este sistema ha tenido mucho éxito, sobre todo en vehículos más modestos, por su sencillez de fabricación y mantenimiento, el costo de producción y el poco espacio que ocupa. Con esta suspensión es imprescindible que la carrocería sea mas resistente en los puntos donde se fijan los amortiguadores y muelles, con objeto de absorber los esfuerzos transmitidos por la suspensión.



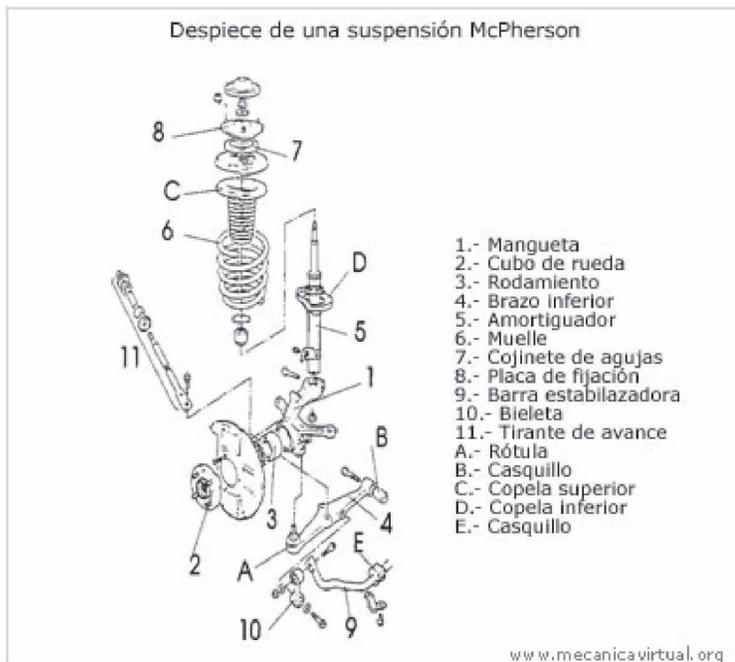
Despiece de una suspensión McPherson

- 1.- Cuna
- 2.- Travesaño
- 3.- Barra estabilizadora
- 4.- Bieleta de conexión de barra estabilizadora
- 5.- Triángulo de suspensión
- 6.- Mangueta
- 7.- Cubo
- 8.- Tuerca de transmisión
- 9.- Rodamiento de cubo
- 10.- Fijación inferior del amortiguador
- 11.- Amortiguador
- 12.- Muelle
- 13.- Guardapolvo (fuelle)
- 14.- Tope elástico
- 15.- Copela superior
- 16.- Cojinete de fijación
- 17.- Tornillo de fijación del cojinete a la carrocería
- 18.- Tuerca de vástago al amortiguador
- 19.- Tapa de plástico



La figura inferior muestra un modelo detallado de una suspensión McPherson con brazo inferior y barra estabilizadora. La mangueta (1) de la rueda va unida al cubo (2) permitiendo el giro de éste mediante un rodamiento (3). A su vez la mangueta va unida al bastidor a través de dos elementos característicos de toda suspensión McPherson:

- El brazo inferior (4) que va unido a la mangueta (1) mediante una unión elástica (A) (rótula) y unido al bastidor mediante un casquillo (B).
- El conjunto muelle helicoidal-amortiguador. El amortiguador (5) va anclado de forma fija a la parte superior de la mangueta (1) y el muelle (6) es concéntrico al amortiguador y está sujeto mediante dos copelas superior (C) e inferior (D). El amortiguador está unido al bastidor por su parte superior mediante un cojinete de agujas (7) y una placa de fijación (8). En las ruedas delanteras se hace necesaria la existencia de este cojinete axial ya que el amortiguador al ser solidario a la mangueta gira con ésta al actuar la dirección.



La suspensión tipo McPherson forma un mecanismo de tipo triángulo articulado formado por el brazo inferior (4), el conjunto muelle-amortiguador y el propio chasis. El lado del triángulo que corresponde al muelle-amortiguador es de compresión libre por lo que sólo tiene un único grado de libertad: la tracción o compresión de los elementos elásticos y amortiguador. Al transmitirse a través del muelle-amortiguador todos los esfuerzos al chasis es necesario un dimensionado más rígido de la carrocería en la zona de apoyo de la placa de fijación (8). Como elementos complementarios a esta suspensión se encuentra la barra estabilizadora (9) unida al brazo inferior (4) mediante una bieleta (10) y al bastidor mediante un casquillo (E), y en este caso un tirante de avance (11).

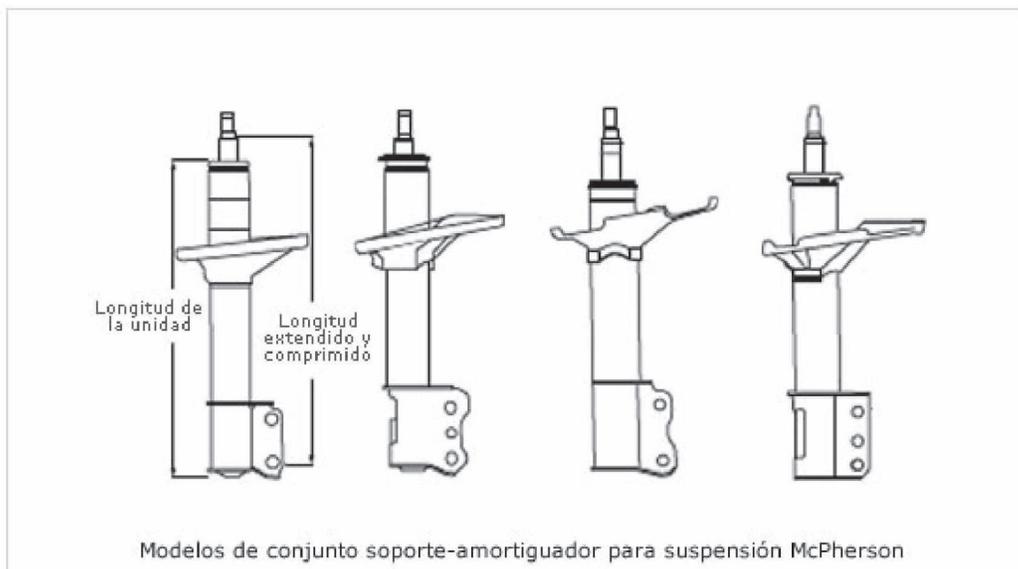
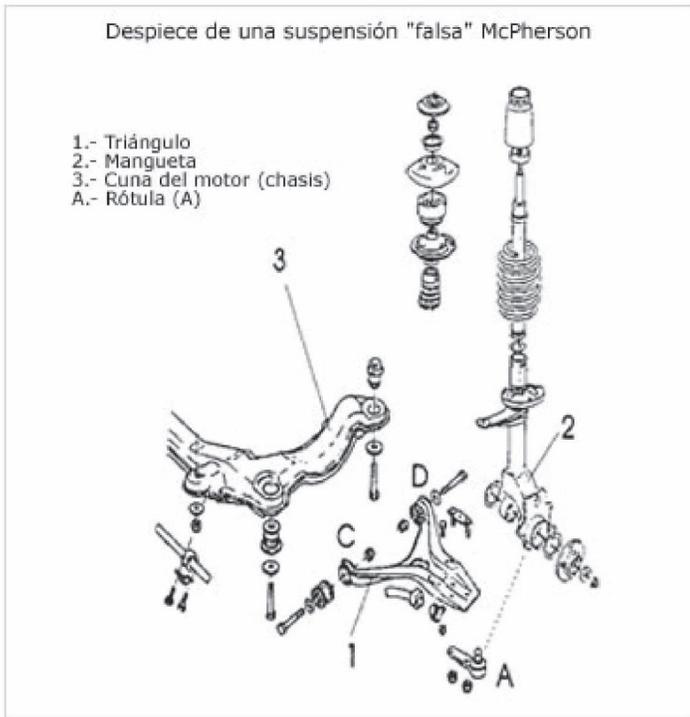
"Falsa"

McPherson

Actualmente existen múltiples variantes en cuanto a la sustitución del tirante inferior (4) que pueden ser realizada por un triángulo inferior, doble bieleta transversal con tirante longitudinal, etc. A estos últimos sistemas también se les ha denominado "falsa" McPherson, aunque en cualquier caso todos ellos utilizan el amortiguador como elemento de guía y mantienen la

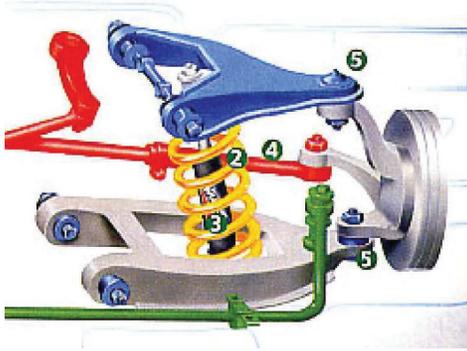
estructura de triángulo articulado. La suspensión clásica McPherson dispone de la barra estabilizadora como tirante longitudinal, mientras que las denominadas "falsa" McPherson ya absorben los esfuerzos longitudinales con la propia disposición del anclaje del elemento que sustituye al brazo inferior.

En la figura inferior se muestra un esquema McPherson donde se ha sustituido el brazo inferior por un triángulo (1) que va unido a la mangueta (2) mediante una rótula (A) y a la cuna del motor (3) mediante dos casquillos (C) y (D). El resto de los componentes es similar al de una McPherson convencional.

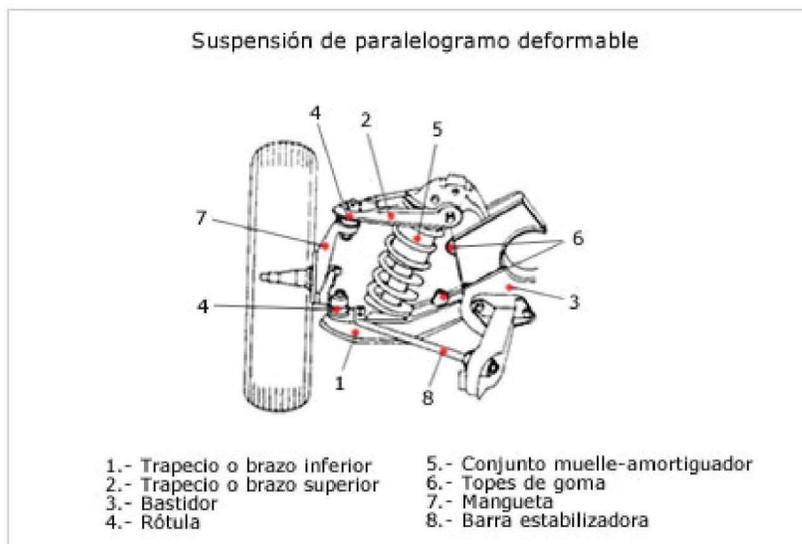


Suspensión de paralelogramo deformable

La suspensión de paralelogramo deformable junto con la McPherson es la más utilizada en un gran número de automóviles tanto para el tren delantero como para el trasero. Esta suspensión también se denomina: suspensión por trapecio articulado y suspensión de triángulos superpuestos.



En la figura inferior se muestra una suspensión convencional de paralelogramo deformable. El paralelogramo está formado por un brazo superior (2) y otro inferior (1) que están unidos al chasis a través de unos pivotes, cerrando el paralelogramo a un lado el propio chasis y al otro la propia mangueta (7) de la rueda. La mangueta está articulada con los brazos mediante rótulas esféricas (4) que permiten la orientación de la rueda. Los elementos elásticos y amortiguador coaxiales (5) son de tipo resorte helicoidal e hidráulico telescópico respectivamente y están unidos por su parte inferior al brazo inferior y por su parte superior al bastidor. Completan el sistema unos topes (6) que evitan que el brazo inferior suba lo suficiente como para sobrepasar el límite elástico del muelle y un estabilizador lateral (8) que va anclado al brazo inferior (1).



Con distintas longitudes de los brazos (1) y (2) se pueden conseguir distintas geometrías de suspensión de forma que puede variar la estabilidad y la dirección según sea el diseño de estos tipos de suspensión.



La evolución de estos sistemas de suspensión de paralelogramo deformable ha llegado hasta las actuales suspensiones llamadas multibrazo o multilink.

Suspensiones Multibrazo o Multilink

Las suspensiones multibrazo se basan en el mismo concepto básico que sus precursoras las suspensiones de paralelogramo deformable, es decir, el paralelogramo está formado por dos brazos transversales, la mangueta de la rueda y el propio bastidor. La diferencia fundamental que aportan estas nuevas suspensiones es que los elementos guía de la suspensión multibrazo pueden tener anclajes elásticos mediante manguitos de goma. Gracias a esta variante las multibrazo permiten modificar tanto los parámetros fundamentales de la rueda, como la caída o la convergencia, de la forma más apropiada de cara a la estabilidad en las distintas situaciones de uso del automóvil. Esto significa que las dinámicas longitudinal y transversal pueden configurarse de forma precisa y prácticamente independiente entre sí, y que puede alcanzarse un grado máximo de estabilidad direccional y confort.

A principios de los noventa se comenzó a instalar estos sistemas multibrazo en automóviles de serie ya dando buenos resultados aunque había reticencias para los ejes no motores. En la actualidad las grandes berlinas adoptan este sistema en uno de los trenes o en ambos. Para que una suspensión se considere multibrazo debe estar formada al menos por tres brazos.

Las suspensiones multibrazo se pueden clasificar en dos grupos fundamentales:

- Suspensiones multibrazo con elementos de guía transversales u oblicuos con funcionamiento similar al de las suspensiones de paralelogramo deformable.
- Suspensiones multibrazo que además disponen de brazos de guía longitudinal con un funcionamiento que recuerda a los sistemas de suspensión de ruedas tiradas por brazos longitudinales.

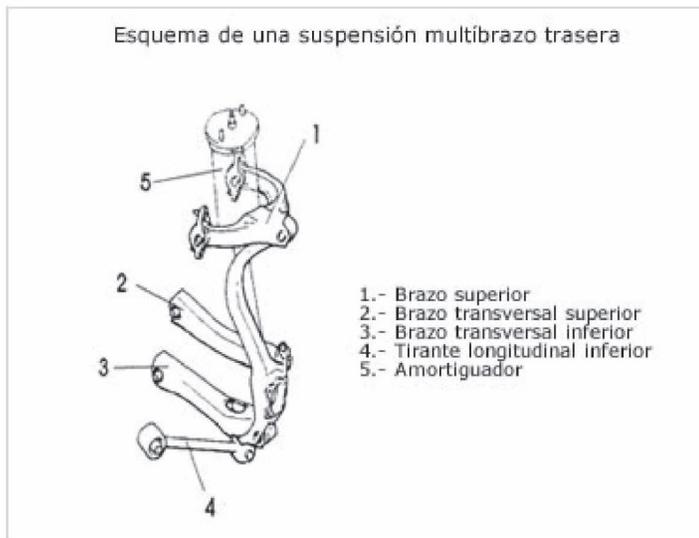
En la figura inferior se muestra en la parte izquierda un sistema multibrazo delantero y en la derecha uno trasero del tipo paralelogramo deformable con tres brazos. La suspensión delantera consta de un brazo superior (1) que va unido a una mangueta (2) larga y curvada mediante un buje de articulación (A) y un brazo inferior transversal (3) que va unido a la mangueta por una rótula doble (B) y al bastidor por un casquillo (C) que aísla de las

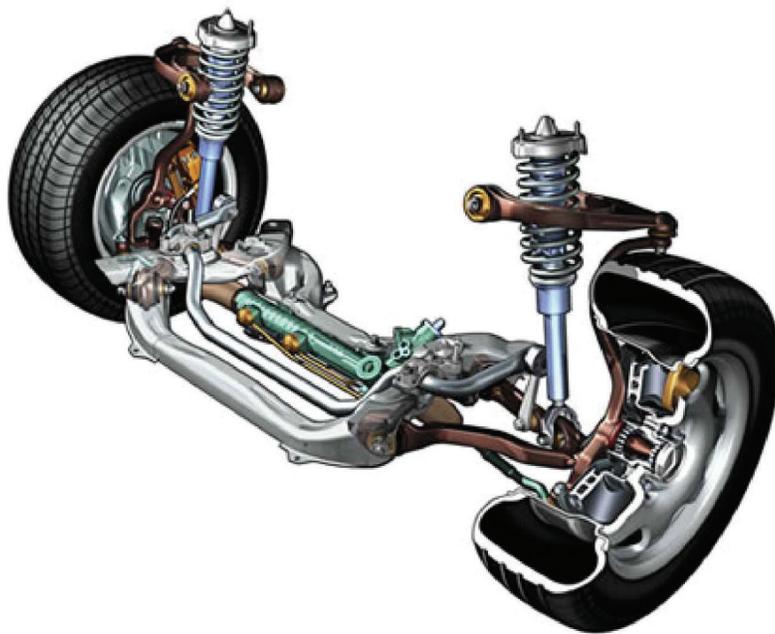
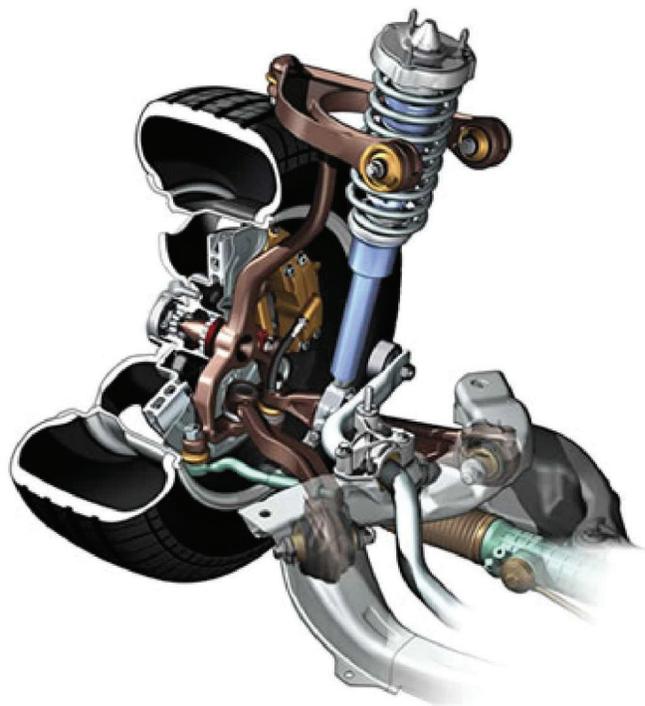
vibraciones. Cierra el paralelogramo deformable el propio bastidor como en cualquier suspensión de este tipo. Esta suspensión dispone además de un tercer brazo (4) que hace de tirante longitudinal y que está unido al bastidor y mangueta de la misma forma que el brazo inferior transversal (3). La gran altura de la prolongación de la mangueta consigue una disminución de los cambios de convergencia de la rueda y un ángulo de avance negativo.



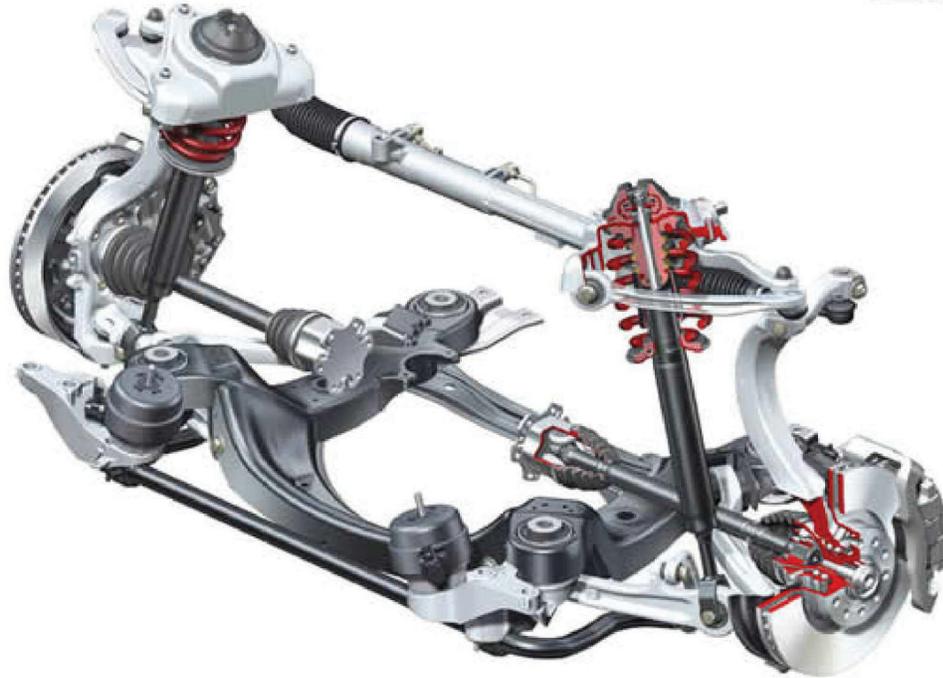
La suspensión trasera (figura inferior) consta de un brazo superior (1) con forma de triángulo como la delantera, pero dispone de dos brazos transversales, superior (2) e inferior (3) y un tirante longitudinal inferior (4). Las articulaciones son similares al modelo de suspensión delantera.

Ambos sistemas poseen como elementos elásticos muelles helicoidales y amortiguadores telescópicos (5) y también barra estabilizadora. Observar que en la disposición delantera el amortiguador va anclado a la barra inferior transversal (3) mediante una horquilla.





Audi A6
Delantera, cuatro brazos



Audi Quattro
Trasera, multibrazo

