

3. Suspensiones vehiculares

3.1. Introducción

Las funciones principales de la suspensión de un vehículo son soportar el peso de dicho vehículo, permitir su movimiento elástico controlado sobre los ejes y proteger al propio automóvil de las vibraciones extremas, absorbiendo las desigualdades del terreno mientras mantiene las ruedas en contacto con el pavimento en todo momento, así como a la vía sobre la que circula, cualesquiera que sea el estado de la vía y su utilización [4].

La suspensión trata de que no sean transmitidas las irregularidades a los ocupantes del vehículo, proporcionándoles un buen nivel de confort y seguridad, así como protegiendo al propio automóvil de las vibraciones extremas. La estabilidad del vehículo debe cumplirse cualesquiera que sean los obstáculos, los desniveles de la ruta, el radio de viraje y la pendiente.

Asimismo, debe garantizar la comodidad de los pasajeros y la protección de las mercancías transportadas, reduciendo en cuanto sean posibles los movimientos verticales, longitudinales, transversales y angulares de la parte suspendida.

El sistema de suspensión suele estar ubicado en el vehículo entre el suelo y el bastidor y está constituido genéricamente por los mismos componentes para todo tipo de vehículos diferenciándose en sus tipos y dimensiones de acuerdo a las prestaciones del vehículo y su función.

Las suspensiones de los vehículos constituyen un aspecto fundamental del diseño mecánico de cualquier vehículo. Sin embargo, en la mayor parte de los mismos, el diseño de la suspensión afecta también a otras prestaciones del mismo.

Todo ello confiere al diseño de la suspensión una gran complejidad y requiere la participación de expertos.

En la suspensión de un vehículo existen diferentes tipos de elementos que permiten asegurar las funciones de confort, estabilidad, seguridad y calidad de marcha. De forma general, estos elementos pueden dividirse en elementos elásticos y elementos amortiguadores:

- Elemento flexible. Existen multitud de sistemas que realizan esta función, como pueden ser ballestas, barras de torsión, muelles propiamente dichos, etc. Garantizan la unión entre los órganos de rodadura y el vehículo, aportando una fuerza recuperadora cuando se produce alguna separación entre ellos.
- Amortiguador. Encargado de mitigar o neutralizar las oscilaciones del elemento flexible producidas por las irregularidades del terreno. Son elementos disipadores de energía que hacen que decaiga el movimiento oscilatorio, provocado por cualquier tipo de perturbación que actúe sobre la suspensión.

A parte de estos elementos existen otros que completan la cadena cinemática de las suspensiones de un vehículo, tales como:

- Las barras estabilizadoras, encargadas de contener la inclinación de la carrocería.
- Los trapecios o brazos de suspensión que conectan la carrocería del vehículo con los elementos móviles de la suspensión, como la mangueta, elemento sobre el que se fija la rueda.
- También se consideran parte de la suspensión los asientos y los neumáticos ya que son capaces de filtrar las irregularidades del pavimento y, por lo tanto, cumplen con la definición de suspensión.

Dependiendo del sistema de suspensión utilizado, algunos elementos cumplen la doble función de ser elementos elásticos y de amortiguamiento.

Cualquier tipo de vehículo consta de las siguientes partes:

- Masa Suspendida, es la parte de la masa total que es soportada por el sistema de suspensión. Está constituida por chasis, grupo motor, carrocería, etc; además de la carga del vehículo.
- Masa no Suspendida, formada por el sistema de suspensión y los elementos que conectan dicho sistema con la vía sobre la que circula el vehículo. Son ejes, ruedas, frenos del vehículo (si están incluidos fuera del chasis), elementos de transmisión, etc.

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

3.2. Suspensiones en vehículos automóviles

3.2.1. Suspensión rígida

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 3.1 se puede ver cómo 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 más económico de fabricar, pero tiene la desventaja de ser poco cómodo para los pasajeros y una menor seguridad [5].

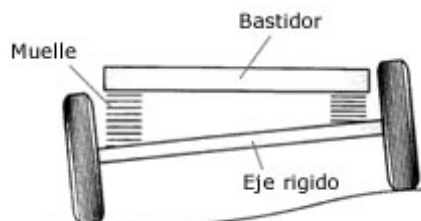


Figura 3.1. Suspensión rígida

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 3.2 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).

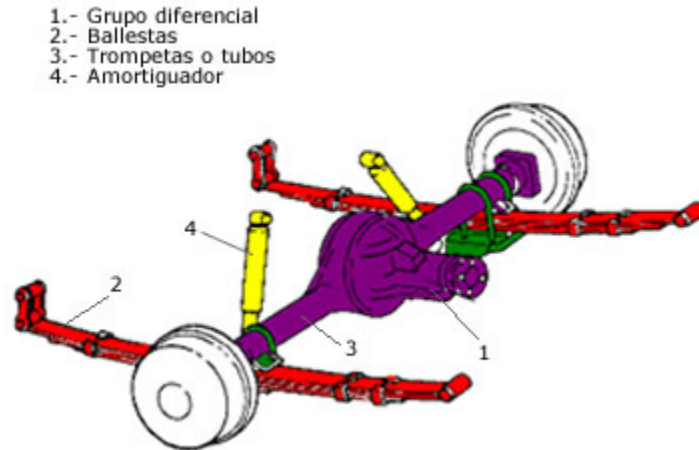


Figura 3.2. Suspensión rígida para el eje trasero propulsor

En la figura 3.3 se observa una suspensión rígida trasera 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.

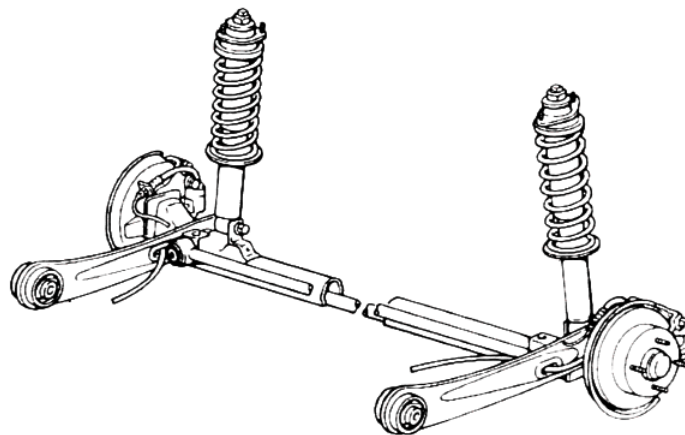


Figura 3.3. Suspensión rígida trasera

Además, 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. Esta barra es conocida como barra *Panhard*. Tanto las barras longitudinales como la barra *Panhard* disponen de articulaciones elásticas que las unen con el eje y la carrocería.

En la figura 3.4 se puede observar un esquema de la suspensión de barra Panhard.

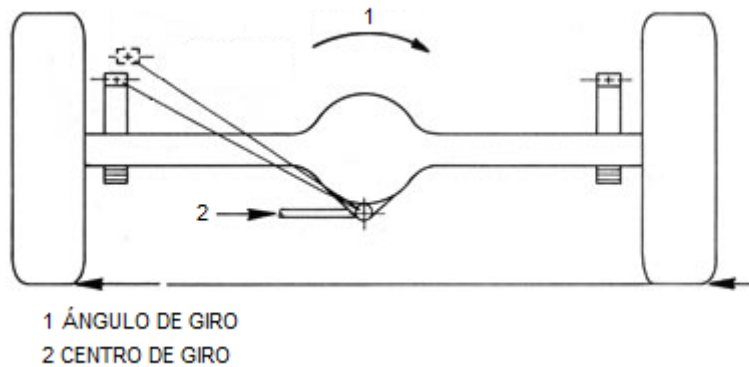


Figura 3.4. Barra Panhard

3.2.2. Suspensión semirrígida

Las suspensiones son muy parecidas a las anteriores, su principal diferencia es que las ruedas están unidas entre sí y 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 y no es soportado por la suspensión.

Existen dos tipos de suspensiones semirrígidas: la de *Dion* y la de eje torsional.

3.2.2.1. Sistema de *Dion*

En la figura 3.5 se muestra una suspensión 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 sí mediante un 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 disminuir la masa no suspendida (debido al poco peso de la traviesa del eje de *Dion* y al anclaje del grupo diferencial al bastidor), y mantener 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 (elemento 4 en la figura 5) y suele ir acompañada de brazos longitudinales que limitan los desplazamientos longitudinales.

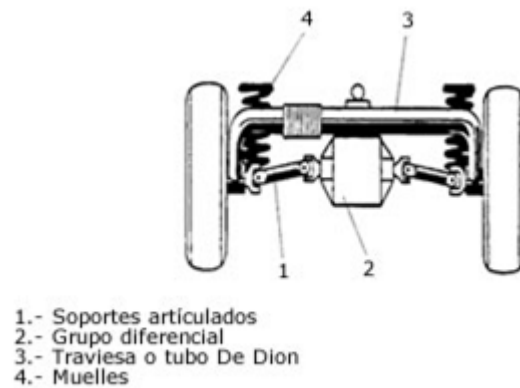


Figura 3.5. Suspensión semirrígida de Dion

Otra suspensión semirrígida *de Dion*, pero que utiliza ballestas en vez de muelles, se puede observar en la figura 3.6.

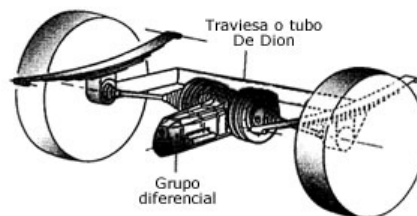


Figura 3.6. Suspensión semirrígida *de Dion* con ballestas

En la actualidad hay pocos coches que montan esta suspensión debido a que su coste es elevado.

3.2.2.2. Sistema de eje torsional

El eje torsional es otro tipo de suspensión semirrígida utilizada en las suspensiones traseras, en vehículos que tienen tracción delantera. El 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 sujetas rígidamente a dos brazos longitudinales unidos por un travesaño 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, bajo coste y poco espacio que ocupa, resulta ideal para instalarla junto con otros componentes en la parte inferior del vehículo (depósito de combustible, escape, etc.).

Esta configuración ha convertido a este tipo de suspensiones en una de las más empleadas en vehículos de gama media-baja.

En la figura 3.7 se observa un esquema de sistema de eje torsional.



Figura 3.7. Sistema de eje torsional

En la figura 3.8 se observa una figura de un eje torsional integrado en un vehículo.

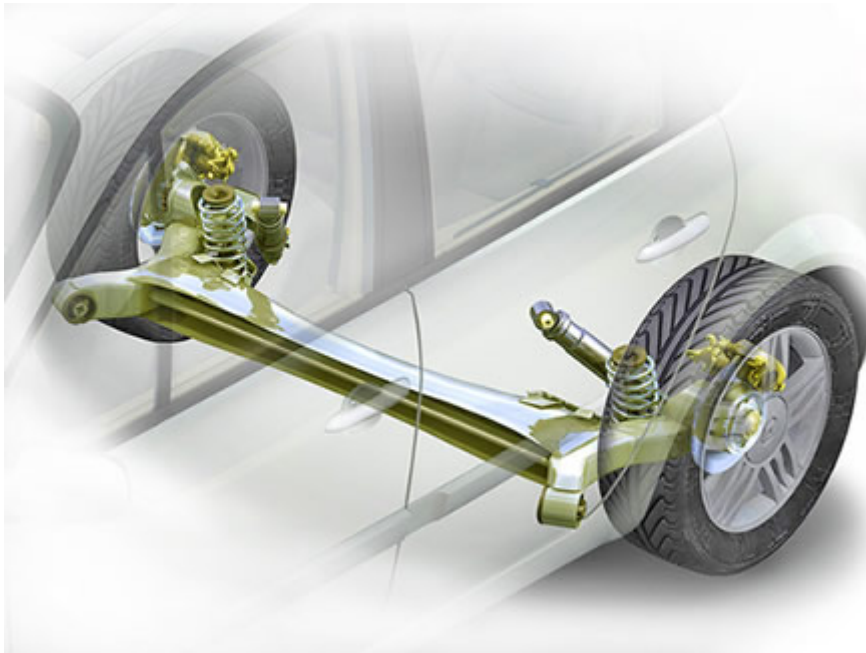


Figura 3.8. Sistema de eje torsional con vehículo

3.2.3. Suspensión independiente

El sistema de suspensión independiente tiene un montaje elástico independiente que no está 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. En la figura 3.9 se muestra una suspensión independiente.

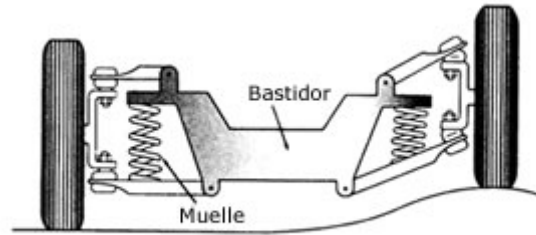


Figura 3.9. Suspensión independiente

En la figura 3.10 se observa una comparación entre suspensión rígida e independiente.

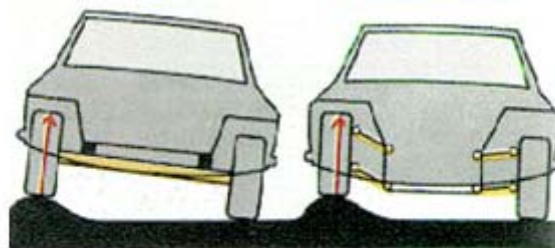


Figura 3.10. Comparación entre suspensión rígida e independiente

Actualmente, la suspensión independiente a las cuatro ruedas se va utilizando cada vez más 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 menos masa no suspendida que otros tipos de suspensión, por lo que las acciones transmitidas al chasis son de menor magnitud.

El diseño de este tipo de suspensión debe garantizar que las variaciones de caída de rueda y ancho de ruedas en dichas ruedas directrices deben ser pequeñas para conseguir una dirección segura del vehículo.

Por el contrario, para cargas elevadas esta suspensión puede presentar problemas. Actualmente este 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 suspensiones de tipo independiente son:

- Suspensión de eje oscilante.
- Suspensión de brazos tirados.

- Suspensión *McPherson*.
- Suspensión de paralelogramo deformable.
- Suspensión *multibrazo* (multilink).

3.2.3.1. Suspensión de eje oscilante

La peculiaridad de la suspensión de eje oscilante, se muestra en la figura 3.11, 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)

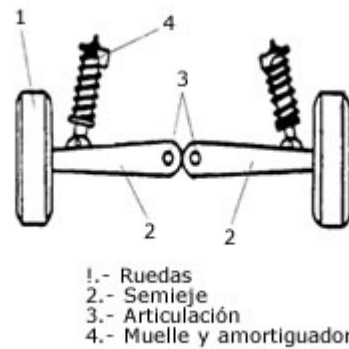


Figura 3.11. Suspensión de eje oscilante

Una variante de este sistema es realizada mediante un eje oscilante pero de una sola articulación mostrada en la figura 3.12. 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 (6) 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).

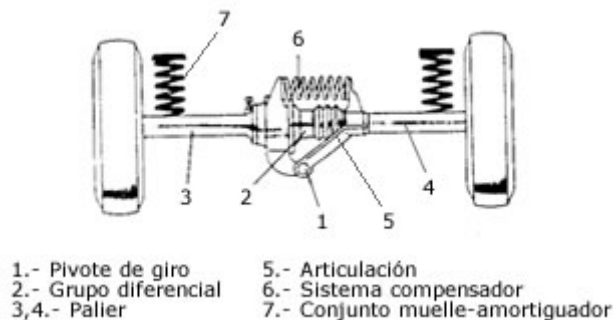


Figura 3.12. Suspensión de eje oscilante compensado

3.2.3.2. Suspensión de brazos tirados o arrastrados

La suspensión de brazos tirados o arrastrados 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 creado 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 3.13 se muestra cómo 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.

En este caso, 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.

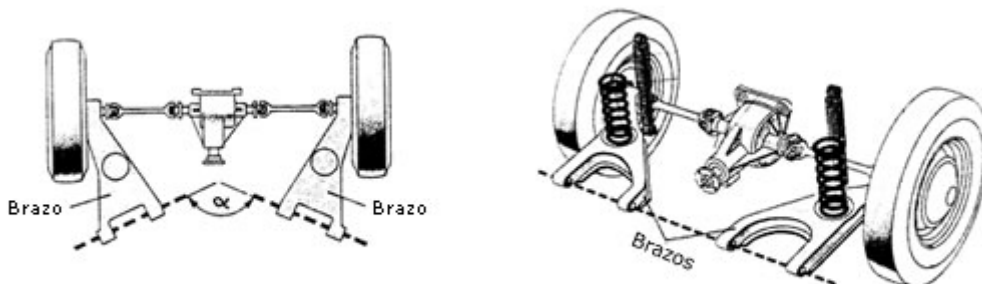


Figura 3.13. Sistema de brazo semi-arrastrado y arrastrado

3.2.3.3. Sistemas de brazos tirados con barras de torsión

En los 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 sea 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. En la figura 3.14 se observa a la izquierda una suspensión de brazos tirados con dos barras de torsión y a la derecha una suspensión de brazos tirados, en este caso con cuatro barras de torsión.

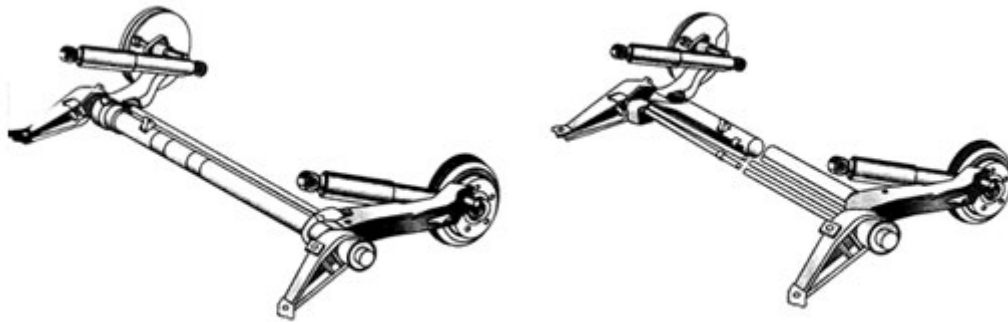


Figura 3.14. Suspensión de brazos tirados con barras de torsión

En la figura 3.15 se observa el despiece de una suspensión de brazos tirados con dos brazos.

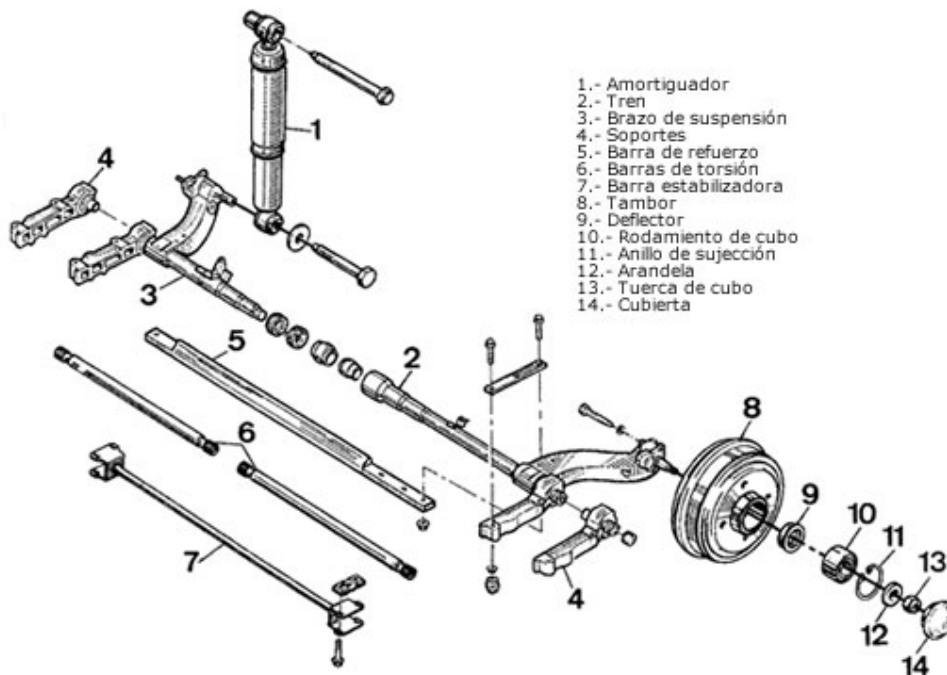


Figura 3.15. Despiece de una suspensión de brazos tirados con dos barras de torsión

En la figura 3.16 se observa el despiece de una suspensión de brazos tirados con cuatro brazos de torsión.

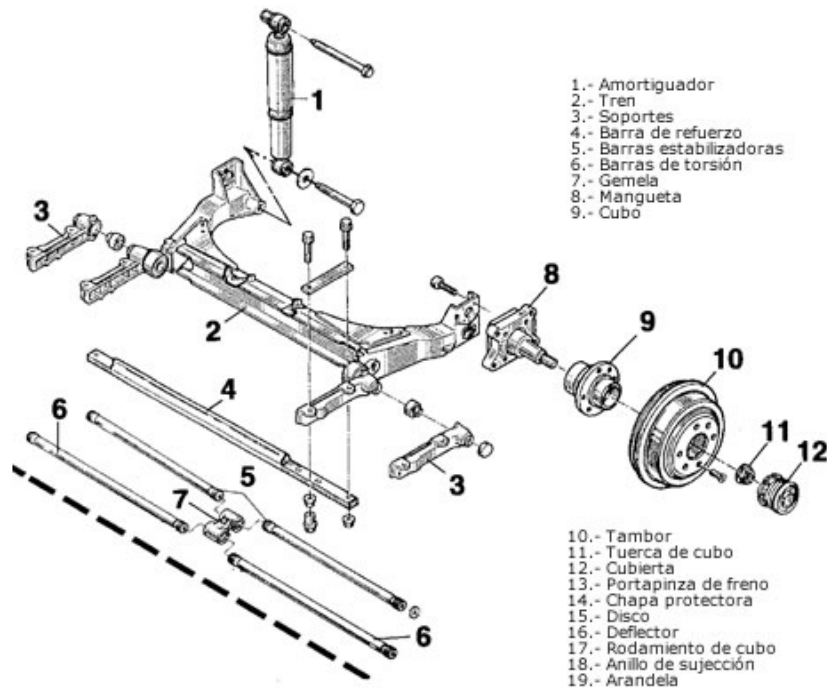


Figura 3.16. Despiece de una suspensión de brazos tirados con cuatro barras de torsión

3.2.3.4. Suspensión *McPherson*

La suspensión *McPherson* 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 coste de producción y el poco espacio que ocupa.

Con esta suspensión es imprescindible que la carrocería sea más resistente en los puntos donde se fijan los amortiguadores y muelles, con objeto de absorber los esfuerzos transmitidos por la suspensión. En la figura 3.17 se observa una suspensión *McPherson*.



Figura 3.17. Suspensión *McPherson*

En la figura 3.18 se observa un esquema de una suspensión *McPherson*.

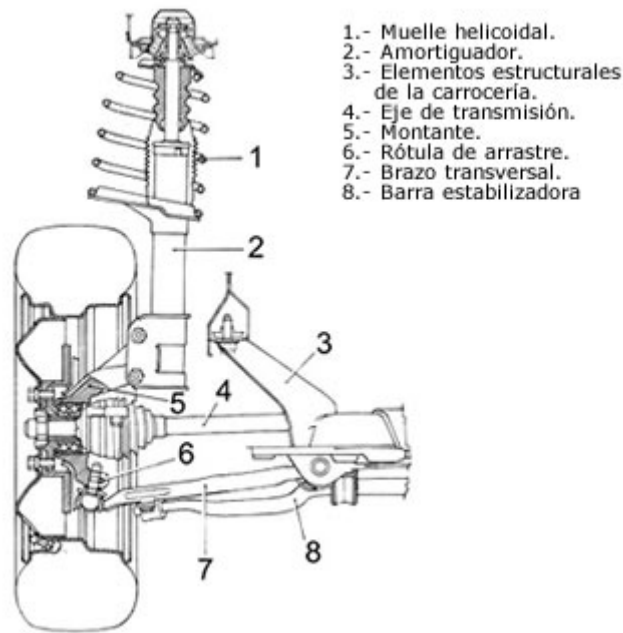


Figura 3.18. Esquema de un sistema de suspensión *McPherson*

En la figura 3.19 se observa un plano despiezado de una suspensión *McPherson*.

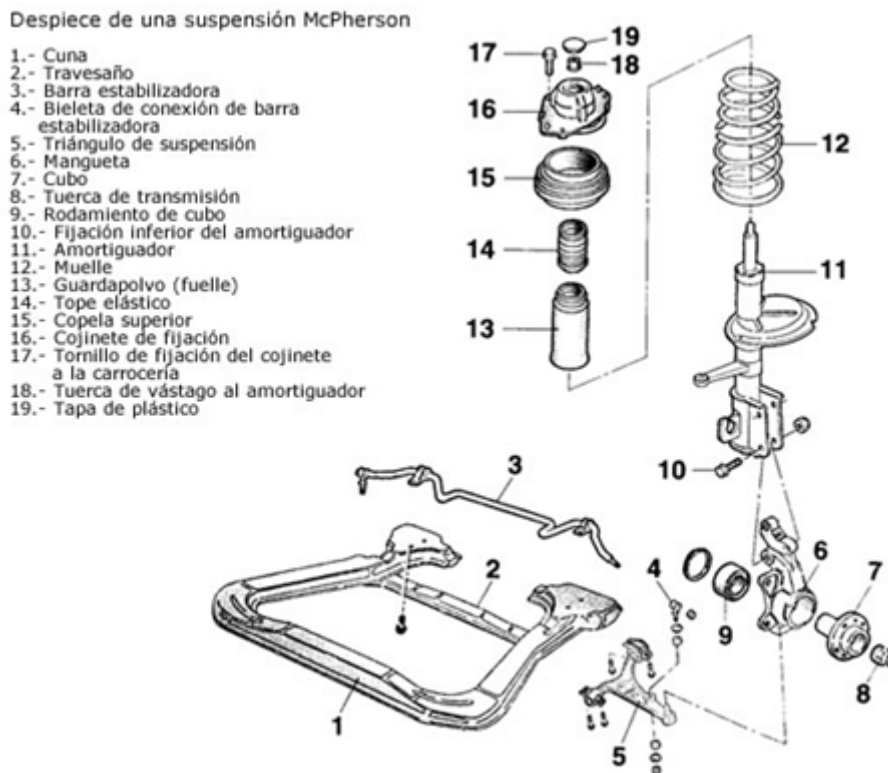


Figura 3.19. Despiece de una suspensión *McPherson*

La figura 3.20 muestra un modelo detallado de una suspensión McPherson con brazo inferior y barra estabilizadora.

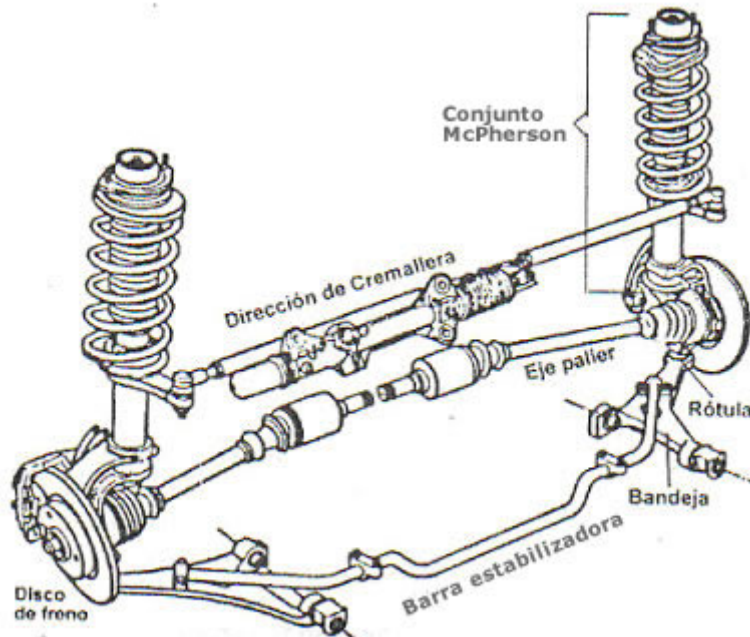


Figura 3.20. Suspensión *McPherson* con barra estabilizadora

En la figura 3.21 se detallan cada una de las partes de la suspensión:

- La mangueta (1) de la rueda va unida al cubo (2) permitiendo el giro de este 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).
- Respecto a los conjuntos 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.

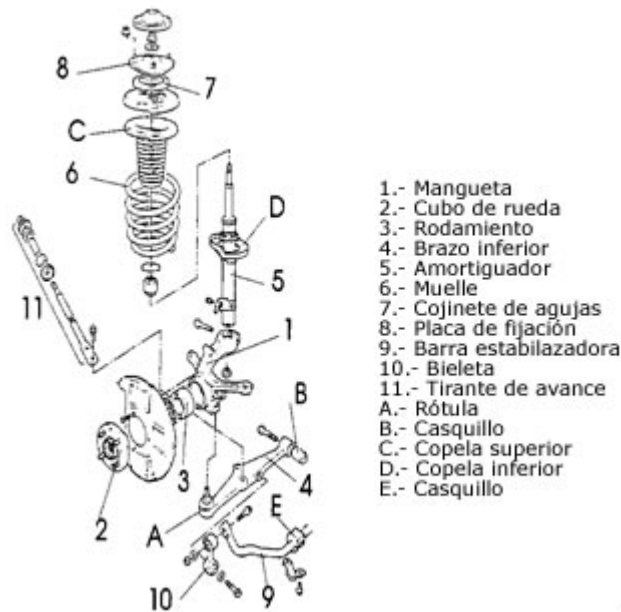


Figura 3.21. Detalle de una suspensión *McPherson*

- 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).

3.2.3.5. Falsa *McPherson*

Actualmente existen múltiples variantes en cuanto a la sustitución del tirante inferior (4 en la figura 3.21) que pueden ser realizadas por un triángulo inferior, una 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 3.22 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.

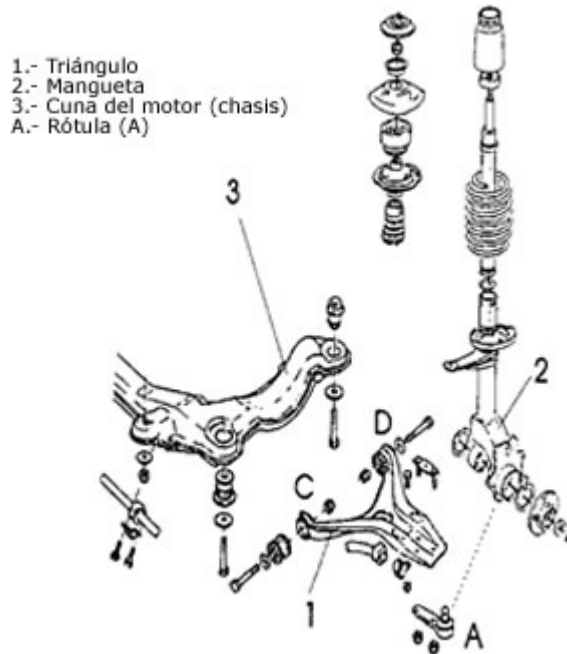


Figura 3.22. Despiece de una suspensión *falsa McPherson*

En la figura 3.23 se observan varios modelos de conjunto para la suspensión *McPherson*.

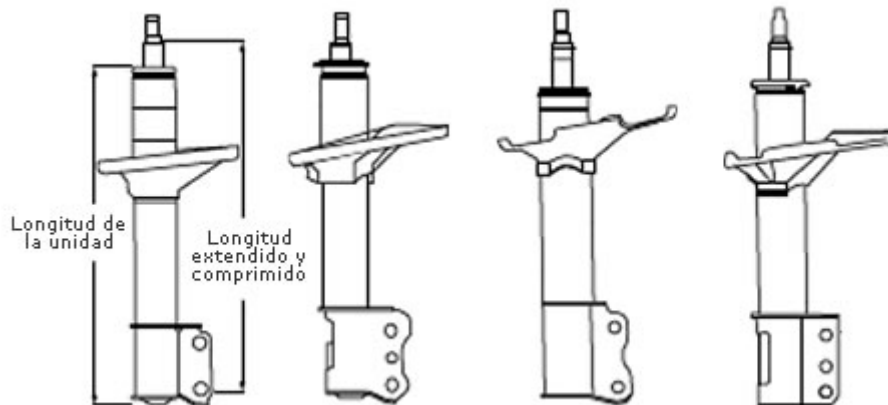


Figura 3.23. Modelos de conjunto soporte-amortiguador para la suspensión *McPherson*

3.2.3.6. 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 3.24 se muestra una suspensión de paralelo deformable con los elementos numerados.

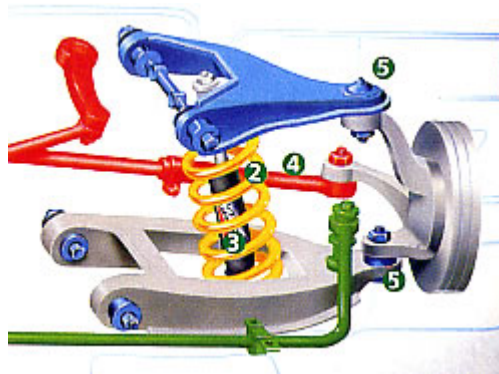
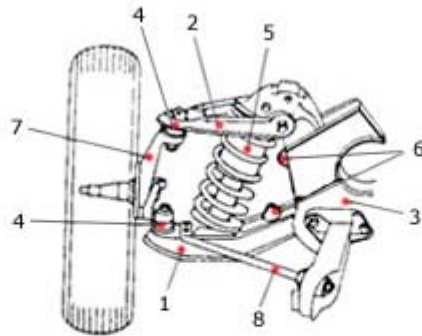


Figura 3.24. Suspensión de paralelogramo deformable

En la figura 3.25 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).



- | | |
|-------------------------------|----------------------------------|
| 1.- Trapecio o brazo inferior | 5.- Conjunto muelle-amortiguador |
| 2.- Trapecio o brazo superior | 6.- Topes de goma |
| 3.- Bastidor | 7.- Mangueta |
| 4.- Rótula | 8.- Barra estabilizadora |

Figura 3.25. Suspensión de paralelogramo deformable

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.

En la figura 3.26 se observa un detalle de una suspensión de paralelogramo deformable.



Figura 3.26. Detalle de suspensión de paralelogramo deformable

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

3.2.3.7. 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 suspensiones *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 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 3.27 se muestra un sistema multibrazo delantero y en la figura 3.28 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.

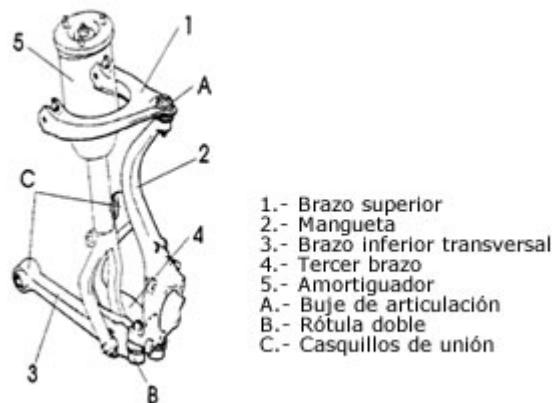


Figura 3.27. Esquema de una suspensión multibrazo delantera

La suspensión trasera se observa en la figura 3.28. Esta suspensión 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. Se puede observar que en la disposición delantera el amortiguador va anclado a la barra inferior transversal (3) mediante una horquilla.

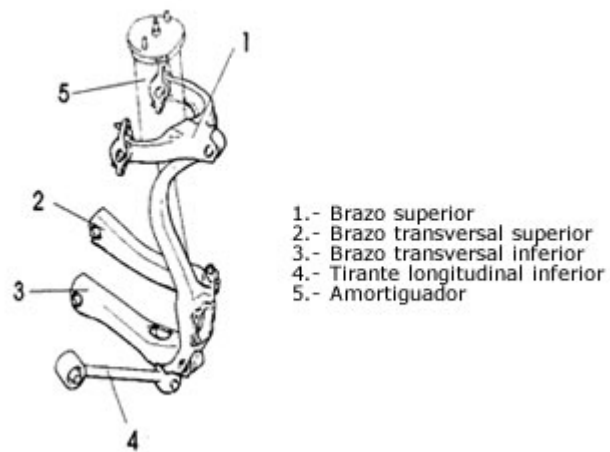


Figura 3.28. Esquema de una suspensión multibrazo trasera

En la figura 3.29 se observa una suspensión *multibrazo* trasera en una rueda.

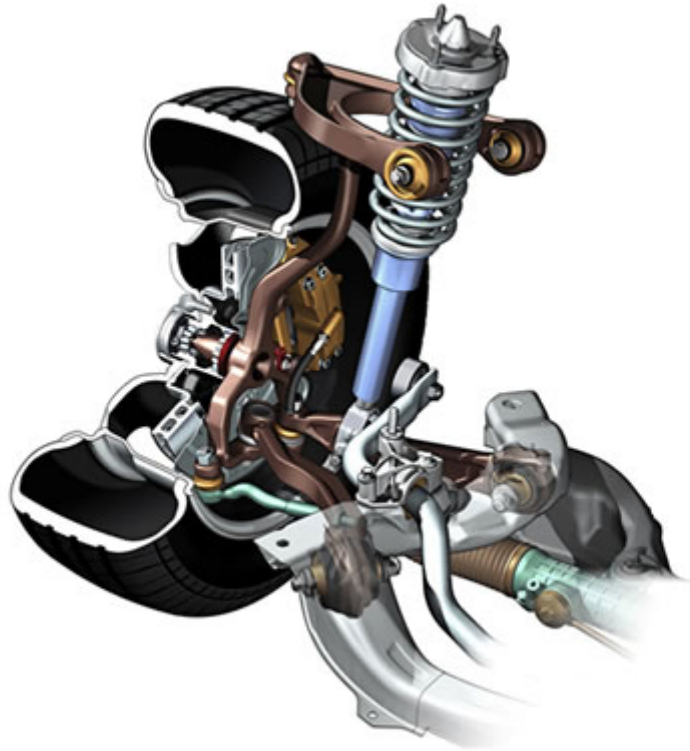


Figura 3.29. Detalle de suspensión multibrazo en una rueda

En la figura 3.30 se observa una suspensión *multibrazo* en el eje delantero.

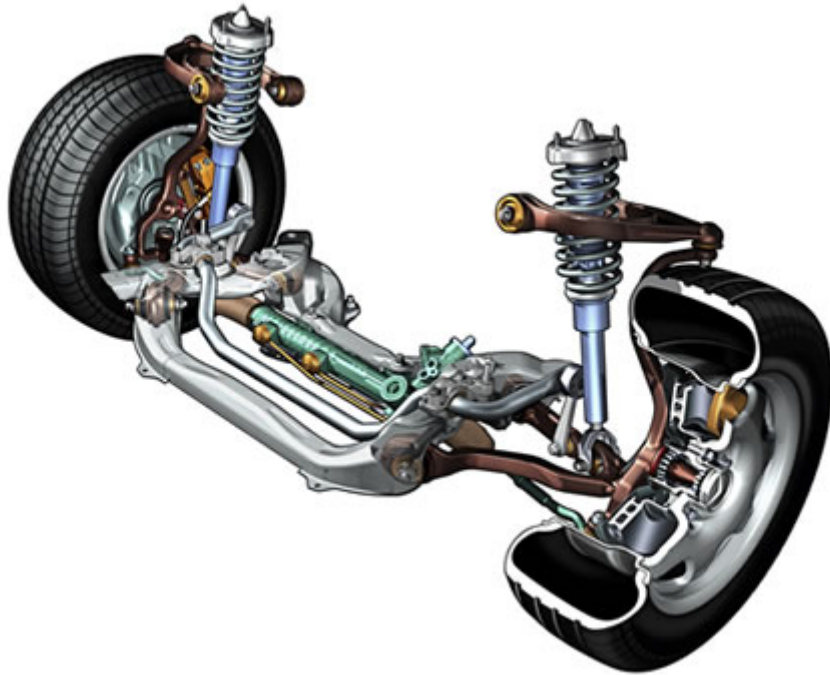


Figura 3.30. Detalle de suspensión multibrazo en el eje delantero

En la figura 3.31 se observa una suspensión *multibrazo* en un eje del Audi A6.



Figura 3.31. Suspensión multibrazo Audi A6 eje delantero

En la figura 3.32 se observa una suspensión *multibrazo* de un Audi Quattro.

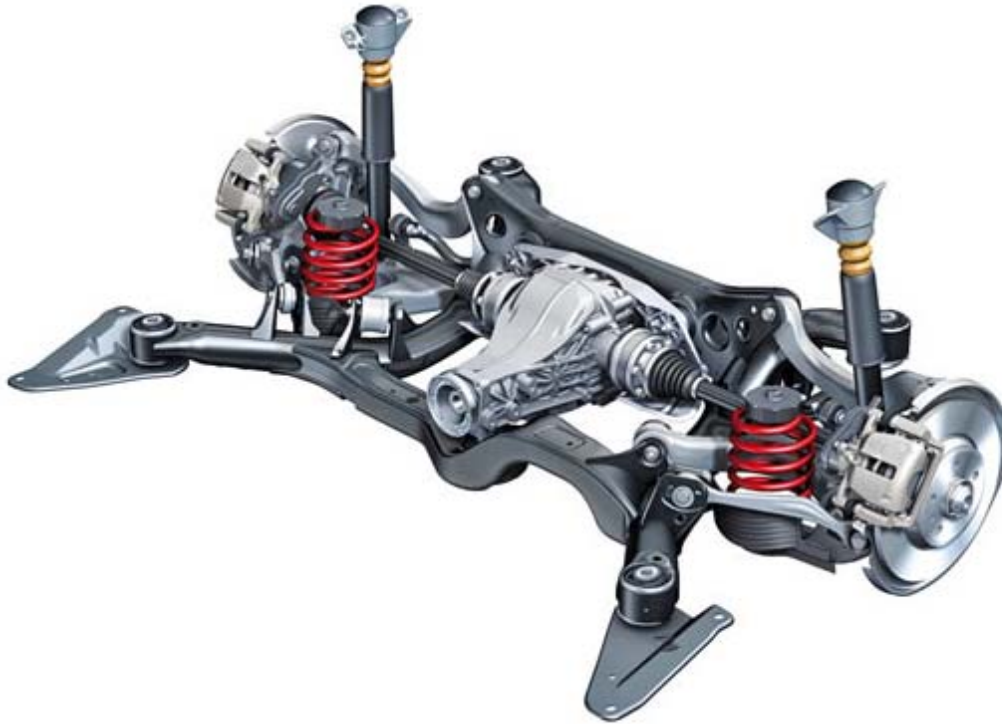


Figura 3.32. Suspensión multibrazo Audi Quattro eje trasero

En la figura 3.33 se observa una suspensión *multibrazo* de Honda.

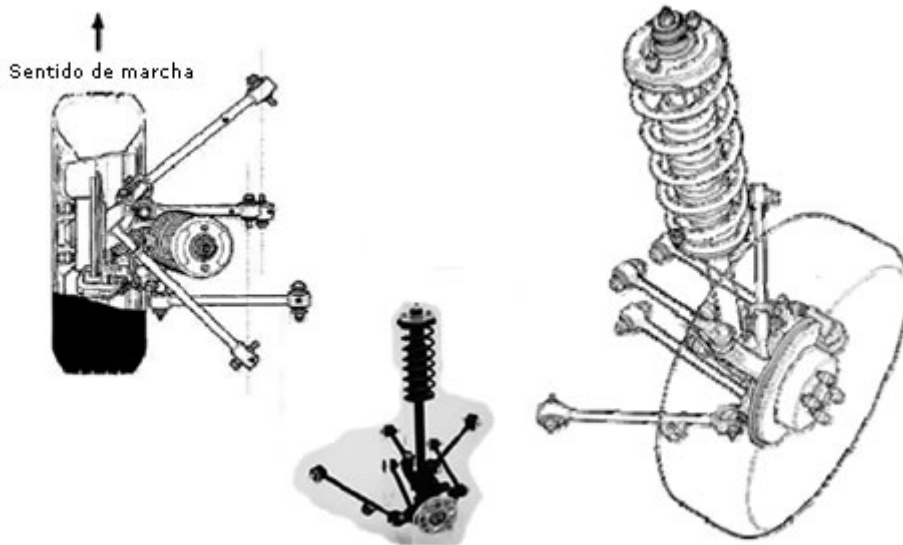


Figura 3.33. Suspensión multibrazo de Honda (5 brazos)

4. Elementos de una suspensión

4.1. Ballesta

La ballesta es un tipo de muelle compuesto por una serie de láminas de acero, superpuestas, de longitud decreciente. Actualmente se usa en camiones y automóviles pesados. La hoja más larga se llama maestra y entre las hojas se intercala una lámina de zinc para mejorar su flexibilidad.

En la figura 4.1 se puede observar una ballesta.

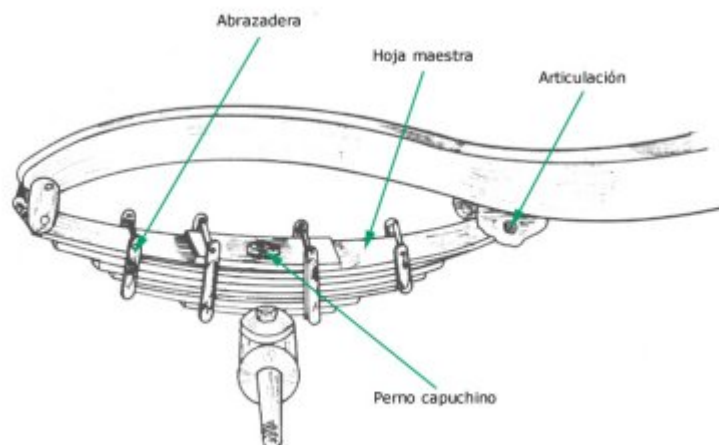


Figura 4.1. Ballesta

4.1.1. Ventajas y desventajas

Las principales ventajas de una ballesta son:

- Menor masa no suspendida: los muelles helicoidales contribuyen a aumentar la masa no suspendida. Cuanto menor es la masa no

suspendida más rápido puede responder la rueda a una velocidad determinada [10].

- b) Menor peso: en Volvo se llegó a la conclusión de que la ballesta que constituía la suspensión trasera de la furgoneta modelo 960 tenía la misma masa que uno de los dos resortes que reemplazó.
- c) Centro de gravedad de la suspensión más bajo: los muelles helicoidales y los montajes del chasis asociado hacen difícil elevar el centro de masa del coche.
- d) Las características de desgaste: Las ballestas duran más que los muelles helicoidales, aunque en los coches ligeros éste no es un problema significativo.
- e) Con la ballesta, la altura se puede ajustar cambiando la longitud de los enlaces de conexión final de la hoja a los brazos de suspensión. Esto permite pequeños cambios en la altura con efectos mínimos sobre el índice de rigidez.
- f) El resorte actúa como una barra *anti-roll*, permitiendo montar barras más pequeñas y delgadas que en un vehículo equipado con muelles helicoidales. En los vehículos de suspensión trasera rígida con montaje central, el efecto anti-vuelco no se produce.

Las principales desventajas de una ballesta son:

- a) La hoja debe abarcar desde un lado del coche al otro. Esto puede limitar las aplicaciones donde la transmisión, u otras funciones, se cruzan con ellas.
- b) Coste del material: las ballestas tienen un coste, al menos, dos veces mayor que los muelles helicoidales.
- c) Complejidad del diseño: las ballestas compuestas permiten una considerable variedad en la forma, espesor y materiales. Son más caras de diseñar, sobre todo en aplicaciones de alto rendimiento.
- d) Coste de la modificación: como resultado de un diseño especial, el cambio de los parámetros del muelle ballesta a menudo requiere una fabricación especializada. Los muelles helicoidales en varios tamaños y tipos están disponibles a bajo costo.
- e) Susceptibilidad a los daños: los fluidos del motor y las modificaciones del escape pueden debilitar o destruir las ballestas compuestas con el tiempo. El muelle ballesta es más susceptible al daño debido al calor en relación con los muelles de acero convencionales.

4.2. Muelles

Están formados por un alambre de acero enrollado en forma de espiral, tienen la función de absorber los golpes que recibe el vehículo, provenientes de las irregularidades de la carretera.

Los resortes helicoidales son probablemente los elementos de rigidez más utilizados en las suspensiones de vehículos. Normalmente se utilizan trabajando a compresión y se fabrican a partir de varillas y/o barras de acero de alta resistencia. Su tensión inicial es obtenida, durante el arrollamiento en frío, por una deformación permanente.

En algunos vehículos, en especial en suspensiones ferroviarias, es habitual utilizar resortes montados concéntricamente uno dentro de otro. Este montaje es equivalente a dos resortes en paralelo [11].

En realidad, el muelle helicoidal es un tipo especial de muelle de torsión ya que la lámina de acero, cuando se estira, el muelle está trabajando a torsión.

En la figura 4.2 se observan los muelles helicoidales en una suspensión.

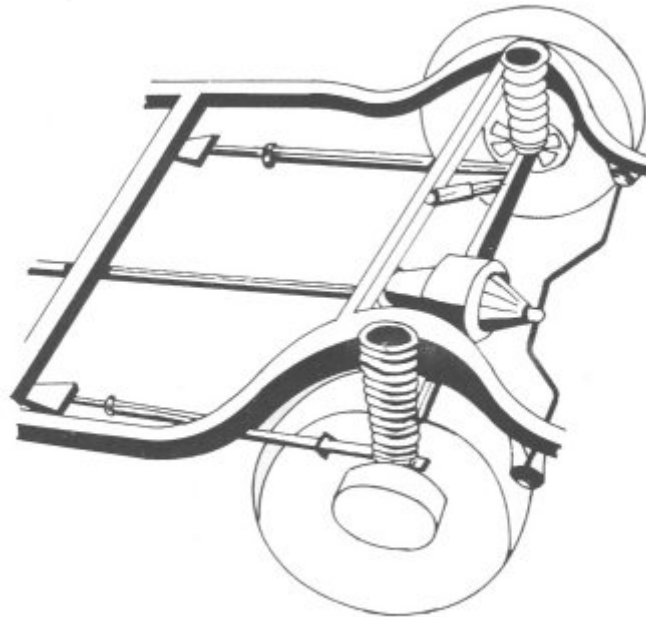


Figura 4.2. Muelles helicoidales en una suspensión

Hay tres principios básicos en el diseño de los muelles [12]:

- Cuanto más rígido sea el material, mayor es el coeficiente de rigidez.
- Cuanto más pequeño sea el diámetro del muelle (no del hilo) mayor será el coeficiente de rigidez.
- Cuanto menos espiras útiles tenga el muelle, menor será su coeficiente de rigidez.

Es decir, si se quieren fabricar muelles un poco más fuertes que el original, se puede:

- Elegir un material más rígido y mantener las dimensiones y el número de espiras.
- Reducir el diámetro del muelle, manteniendo el tamaño de cable y el número de espiras.
- Aumentar el número de espiras activas, manteniendo el tamaño del cable y el resorte del diámetro de la misma.

Para diseñar un muelle desde cero, se usan unas ecuaciones y, a través de unos requerimientos, se obtienen los parámetros del muelle.

La constante de rigidez del muelle K [N/m], se calcula con la ecuación 3.1:

$$K = \frac{G \cdot d^4}{8 \cdot N \cdot D^3} \quad (Ec 3.1)$$

donde:

G es el módulo de rigidez [N/m²].

D es el diámetro medio del resorte [m].

d es el diámetro del hilo [m].

N es el número de espiras del muelle.

Se puede hallar la constante de rigidez del muelle de manera diferente mediante la ecuación 3.2, esta constante recibe el nombre de constante de Wahl [N/m]:

$$K_{WAHL} = \frac{4 \cdot c - 1}{4 \cdot c - 4} + \frac{0.615}{c} \quad (Ec 3.2)$$

donde:

$$c = D/d.$$

Si se conocen la deflexión del muelle y la fuerza a la que está solicitado dicho muelle, se puede obtener el número de espiras mediante la ecuación 3.3:

$$N = \frac{G \cdot d^4 \cdot x}{8 \cdot F \cdot D^3} \quad (Ec 3.3)$$

donde

x es la deflexión del muelle [m].

F es una fuerza a la que está solicitado dicho muelle [N].

La energía que almacena un muelle se obtiene mediante la ecuación 3.4:

$$E = K \frac{x^2}{2} \quad (Ec 3.4)$$

donde:

E es la energía almacenada en el muelle [J].

4.2.1. Parámetros principales de un resorte

A continuación, se muestra una descripción de los parámetros más importantes de un resorte, centrando el estudio en el resorte helicoidal cilíndrico de compresión, por ser el más utilizado en los mecanismos:

- a) Número de espiras útiles (N): es el número de espiras utilizadas para obtener la flecha máxima del resorte.
- b) Número total de espiras (N_t): es el número de espiras útiles más las espiras que forman los extremos (espiras de apoyo).

$$N_t = N + 1,5 \quad (Ec 3.5)$$

- c) Sentido de arrollamiento: sentido en el que gira la espira para un observador situado en uno de los extremos del resorte. El sentido es a la derecha (RH) si la espira gira, alejándose, en el sentido de las agujas del reloj, y a la izquierda (LH) si la espira gira, alejándose, en el sentido contrario al de las agujas del reloj.
- d) Paso (p): distancia entre dos espiras útiles contiguas del resorte en estado libre, medida axialmente entre los centros de las secciones transversales del hilo de material.
- e) Diámetro interior (D_i): diámetro de la superficie cilíndrica envolvente interior del resorte.
- f) Diámetro exterior (D_e): diámetro de la superficie cilíndrica envolvente exterior del resorte.
- g) Diámetro medio (D): diámetro medio de las espiras.

$$D = \frac{1}{2} \cdot (D_i + D_e) \quad (Ec 3.6)$$

- h) Longitud del hilo de alambre (L): longitud total del hilo de alambre una vez desarrollada la hélice.
- i) Longitud en estado libre (L_0): longitud total que presenta el resorte cuando no actúa sobre el mismo ninguna fuerza exterior.

$$L_0 = N_t + 1,5 \cdot D \quad (Ec 3.7)$$

- j) Longitud a bloque (L_b): longitud total que presenta el resorte cuando todas las espiras están completamente comprimidas.
- k) Flecha máxima (f_{max}): diferencia de longitud que presenta el resorte entre el estado libre y con la carga máxima. Para un resorte de compresión, se trata de la diferencia entre la longitud en estado libre y la longitud con las espiras unidas.

$$f_{max} = L_0 - L_b \quad (Ec 3.8)$$

Los materiales empleados en la fabricación de resortes se pueden observar en la tabla 4.1 [13].

Tabla 4.1. Materiales empleados en los resortes

Nombre común	Especificación	Módulo Elástico, E, psi	Módulo de elasticidad cortante, G, psi	Densidad, ρ , lb/in. ³	Máxima temperatura de servicio °F	Principales características
Aceros alto contenido en carbono						
Alambre de piano	ASTM A228	30×10^6	11.5×10^6	0.283	250	Alta resistencia; excelente vida a la fatiga
Estirado en frío	ASTM A227	30×10^6	11.5×10^6	0.283	250	Uso general; pobre vida a la fatiga
Aceros inoxidables						
Martensítico	ASTM A276	29×10^6	11×10^6	0.280	500	No satisfactorio para aplicaciones sub-cero
Austenítico	ASTM A313	28×10^6	10×10^6	0.282	600	Buena resistencia a temperaturas moderadas; baja relajación de esfuerzos
Aleaciones con base cobre						
Latón para resorte	ASTM B134	16×10^6	6×10^6	0.308	200	Bajo costo; alta conductividad; propiedades mecánicas deficientes
Bronce fosforado	ASTM B159	15×10^6	6.3×10^6	0.320	200	Capacidad para soportar flexiones repetidas; aleación muy común
Cobre al berilio	ASTM B197	19×10^6	6.5×10^6	0.297	400	Alta resistencia elástica y a la fatiga; Templable
Aleaciones con base níquel						
Inconel 600	-	31×10^6	11×10^6	0.307	600	Buena resistencia; Alta resistencia a la corrosión
Inconel X-750	-	31×10^6	11×10^6	0.298	1100	Endurecimiento por precipitación; para altas temperaturas
Ni-Span C	-	27×10^6	9.6×10^6	0.294	200	Módulo constante sobre un amplio rango de temperatura

4.2.2. Limitaciones de diseño

Dependiendo del tipo de resorte que desee para diseñar, y dependiendo de dónde se va a utilizar, su diseño estará limitado por los siguientes factores:

a) Muelles de compresión

Si se carga el muelle con una fuerza excesiva, el muelle de compresión podría acortarse tanto que llegaría a su longitud a bloque, si en el funcionamiento el muelle debe acortarse una longitud menor que la longitud a bloque, existirá un problema.

Los resortes que operan en un ambiente de alta temperatura (como por ejemplo dentro de un motor) tendrán que ser un poco más rígidos para compensar la influencia del calor sobre ellos. El acabado influye en este ámbito también.

Como un resorte de compresión soporta una carga y se acorta, el diámetro de las bobinas de las espiras activas se incrementará. Esto es sólo un problema cuando el muelle tiene que trabajar en un espacio confinado.

b) Muelles de tracción

Existe un límite mecánico que fija hasta qué punto se puede alargar el muelle, si se sobrepasa el muelle pierde su forma y no regresa a su estado inicial, pues entra en el estado plástico.

Los resortes de tracción que operan en un ambiente de alta temperatura pueden ser enrollados de manera muy fina, ya que el calor tiende a debilitar el muelle.

- Muelles de torsión

Cuando un muelle de torsión sufre un esfuerzo, el diámetro del cuerpo de la bobina disminuye, por lo que si el resorte tiene algo dentro de la bobina actuará como un freno mecánico de la acción del muelle.

4.3. Barra de torsión

La barra de torsión es de un acero especial para muelles, de sección redonda o cuadrangular y cuyos extremos se hallan fijados, uno, en un punto rígido y el otro en un punto móvil, donde se halla la rueda. En las oscilaciones de la carretera la rueda debe vencer el esfuerzo de torsión de la barra [14].

Obviando las barras estabilizadoras, la barra de torsión central permite un grado limitado de libertad de cada rueda cuando se les obliga.

4.4. Barra estabilizadora

La barra estabilizadora es una barra de hierro, que suele colocarse en la suspensión trasera. Su misión es impedir que el muelle de un lado se comprima excesivamente mientras que por el otro se distiende.

4.5. Suspensión de caucho

Un muelle de goma es un tipo de aislador de vibración. Proporciona una amortiguación de la energía transmitida a través de la goma.

Una aplicación común de este muelle se encuentra en los sistemas de suspensión del vehículo, donde un muelle de goma (o, más frecuentemente, caucho sintético o de poliuretano) separa las caras de los dos objetos de metal al tiempo que permite una cierta cantidad de movimiento.

Este movimiento permite a las partes la suspensión de moverse libremente y reducir al mínimo la transmisión de ruidos y vibraciones [15].

La principal ventaja de un muelle de caucho, en comparación con una conexión sólida, es que produce menos ruido y las vibraciones se transmiten. Otra ventaja es que requieren poca o ninguna lubricación.

Sin embargo, presentan los siguientes inconvenientes:

- Las juntas de goma se pueden deteriorar rápidamente debido a la presencia de aceites y el calor y frío extremos.
- La flexibilidad de la goma también introduce un elemento variable en el sistema de suspensión. Esto puede producir cambios en las ruedas del vehículo en condiciones de carga elevada (curvas y frenado), afectando negativamente el manejo del vehículo. Por esta razón es habitual, últimamente, el reemplazo muelles de caucho goma por materiales más rígidos, como el poliuretano.

Las principales aplicaciones en los vehículos son las siguientes:

- Enlaces barra estabilizadora y montajes.
- Montaje del amortiguador.
- En el equilibrio del cigüeñal, algunos motores de alta velocidad en línea de combustión interna son propensos a las vibraciones por la torsión de su cigüeñales, algunos motores son especialmente propensos debido a la longitud del cigüeñal.

4.6. Muelle neumático

La suspensión neumática es un tipo de suspensión vehicular impulsada por una bomba de aire accionada por el motor, por un motor eléctrico o un compresor. Esta bomba presuriza el aire y usa el aire comprimido como un resorte.

La suspensión neumática reemplaza resortes de acero convencionales. Si el motor se queda sin funcionar por un período prolongado, el coche se queda en el suelo. El propósito de la suspensión neumática es proporcionar una calidad de marcha suave y en algunos casos, autonivelante.

Durante la última década, aproximadamente, la suspensión de aire se ha vuelto extremadamente popular en la cultura del automóvil personalizado. Se utilizan para proporcionar una suspensión regulable para, por ejemplo, ser capaz de aumentar a un nivel lo suficientemente alto como para maniobrar sobre obstáculos e inconsistencias en las carreteras (y estacionamiento).

Estos sistemas emplean por lo general pequeños compresores de aire eléctrico o accionado por el motor que llenan un tanque de aire a bordo del receptor que almacena aire comprimido para su uso en el futuro sin tener que esperar.

Alta presión, bombonas de gas industrial, como el nitrógeno o los tanques de dióxido de carbono utilizado para almacenar los gases de protección para la soldadura, se suelen utilizar en configuraciones de suspensión más extremas.

Cualquiera de estos sistemas de depósito puede ser totalmente ajustables, pudiendo ajustar la presión de cada rueda individual de aire.

En el depósito de aire, el control de la presión está presente, bajo control común con electroválvulas neumáticas. Esto permite al usuario hacer ajustes con sólo pulsar un botón.

La instalación y configuración de estos sistemas varía para las diferentes marcas y modelos, pero el principio básico sigue siendo el mismo. El resorte de metal se retira y se introduce una bolsa de aire.

En los vehículos con suspensión de ballesta, como los camiones, la ballesta a veces es eliminada y reemplazada con una suspensión *multilink*. Estas barras están generalmente en una configuración de brazo de arrastre y la bolsa de aire puede estar a una distancia vertical entre la carcasa del eje y un punto en el bastidor del vehículo. En otros casos, la bolsa de aire se encuentra en el lado opuesto del eje de las barras de enlace principal en un miembro adicional en voladizo. Si las barras de enlace principales se orientan paralelas al eje

longitudinal (de conducción), la caja del eje puede ser restringida lateralmente, ya sea con una barra *Panhard* o vinculación de Watt.

En algunos casos, dos de las barras de enlace se pueden combinar en una forma triangular que limita efectivamente el eje de los vehículos lateralmente.

4.6.1. Los problemas comunes de suspensión de aire

El fracaso del puntal del aire es generalmente causado por la *putrición húmeda*, debido a la vejez y a la humedad en el sistema de aire que daña desde el interior. Las piezas de la suspensión de aire pueden fallar porque el caucho se seca [16].

Se pueden producir perforaciones en la bolsa de aire por los desechos en la vía. Con aplicaciones a medida, una instalación incorrecta puede causar que las bolsas de aire se rocen con el bastidor del vehículo u otras partes circundantes, dañándolas.

La extensión de más de un muelle neumático que no está lo suficientemente limitada por otros componentes de la suspensión, como un amortiguador, también puede conllevar la falla prematura de dicho muelle a través de la ruptura de las capas.

La falta de aire comprimido generalmente ocurre cuando las líneas de aire, que debe ser enviado a las bolsas de aire a través del chasis del vehículo, rozan contra una arista de un miembro del chasis o de un componente de la suspensión en movimiento. Este modo de fallo normalmente tardará en ocurrir después de la instalación inicial del componente. Una falla en la línea de aire también ocurre si un pedazo de escombros en la carretera impacta con una línea de aire y la desgarras.

El fallo del compresor se debe principalmente a una fuga de aire. El compresor se apaga tratando de mantener la correcta presión del aire en un sistema con un escape de aire. El fallo del compresor también puede ser causado por la humedad dentro del sistema de aire que entra en contacto con sus componentes electrónicos.

La secadora, que funciona para eliminar la humedad del sistema de aire, con el tiempo se satura y no puede realizar su función. Esto hace que la humedad se acumule en el sistema y puede quemar el compresor.

4.7. Amortiguador

El amortiguador es un dispositivo que absorbe energía, utilizado normalmente para disminuir las oscilaciones no deseadas de un movimiento periódico o para absorber energía proveniente de golpes o impactos.

Los amortiguadores son un componente común de la suspensión de los automóviles y otros vehículos, para ayudar a que las ruedas se mantengan pegadas al suelo. Frenan las oscilaciones siguientes al movimiento inicial del bache. Este efecto de rebote se evita en las suspensiones neumáticas como la hidroneumática.

4.7.1. Tipos de amortiguadores

Pueden ser de fricción, de gas, reológicos e hidráulicos, y estos últimos se dividen en giratorios, de pistón y telescópicos, que son los más usados.

Todos permiten que las oscilaciones producidas por las irregularidades de la marcha sean más elásticas. Para controlar el número y la amplitud de estas, se incorporan a la suspensión los amortiguadores.

Los amortiguadores de fricción son poco empleados y constan de dos brazos sujetos, uno al bastidor y otro al eje o rueda correspondiente. Los brazos se unen entre sí con unos discos de amianto o fibra que al oscilar ofrecen resistencia a las ballestas o muelles [17]. En la figura 4.3 se muestra un amortiguador de fricción.

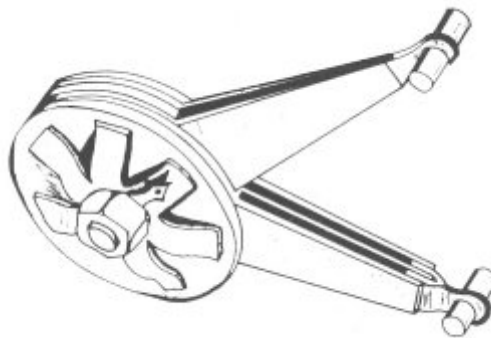


Figura 4.3. Amortiguador de fricción

4.7.1.1. Amortiguadores hidráulicos

Actualmente y desde hace unos años, se ha impuesto en la industria el uso de los amortiguadores hidráulicos, en los que la fuerza amortiguadora es función creciente con la velocidad [18].

Han existido otros tipos de amortiguadores hidráulicos, como son los giratorios y los de pistón, pero apenas se estilan y los que actualmente se utilizan son los de tipo telescópico.

Los amortiguadores hidráulicos telescópicos constan de un pistón que trabaja dentro de un cilindro en el que hay aceite. Sobre el pistón existen una serie de orificios y unas válvulas precomprimidas que permiten el paso de aceite de una parte a otra del pistón cuando la presión supera un valor dado. Los orificios representan el paso permanente y las válvulas el paso de apertura por presión.

El paso permanente son orificios fijos que restringen el flujo del caudal. En el caso de las válvulas de apertura por presión, para que estas se abran es necesario ejercer sobre ellas una determinada presión y, a medida que esta aumenta, la apertura va siendo mayor.

En la figura 4.4 se pueden observar en detalle el pistón con los discos que componen las válvulas de apertura por presión y la aguja que regula el diámetro de la válvula de apertura cuando el amortiguador es variable. Si se mueve la rosca de ajuste de la dureza del amortiguador para *ablandarlo*, la aguja abrirá el orificio facilitando el paso del aceite y disminuyendo la rigidez del amortiguador y viceversa.

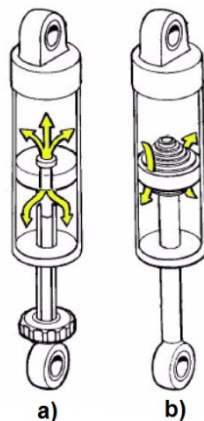


Figura 4.4. Flujo de aceite a través del paso y de las válvulas

Cuando la velocidad entre ambos extremos del amortiguador es baja, las válvulas de apertura por presión permanecen cerradas y el aceite pasa a través de los orificios del paso permanente. Una vez la presión del aceite alcanza la de apertura de las válvulas de presión, estas empiezan a abrirse y dejan pasar el aceite. Cuanto más aumenta la presión, las válvulas se abren más hasta que su apertura es completa y la ley de fuerza en el amortiguador queda controlada nuevamente por el paso del aceite a través del orificio del paso permanente.

Normalmente, las válvulas de extensión y compresión son diferentes, lo que posibilita que el esfuerzo en compresión sea menor para una misma velocidad. En los vehículos, interesa utilizar una característica de amortiguamiento más blanda en compresión. Esto se hace para evitar la transmisión a través del amortiguador de las grandes fuerzas compresivas que se generarían en el mismo cuando la rueda se encuentra con un obstáculo.

Existen dos tipos de amortiguadores hidráulicos: los de doble tubo y los monotubo.

a) Amortiguadores de doble tubo

Son los más comunes. Los hay de dos tipos: no presurizados (aceite) y presurizados (aceite y gas). Constan de dos cámaras: una llamada interior y otra de reserva. Hay válvulas en el pistón y en la base del amortiguador, llamada válvula de pie. En la figura 4.5 se observa un amortiguador de doble tubo.

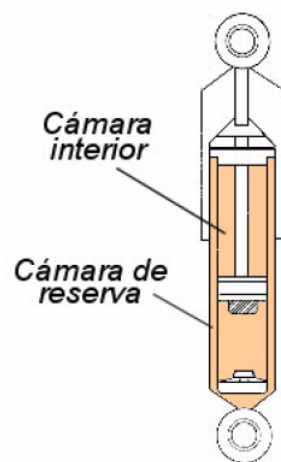


Figura 4.5. Esquema simplificado de un amortiguador de doble tubo

Los amortiguadores presurizados tienen ciertas ventajas frente a 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.
- Reducción de ruido hidráulico.
- Siguen operativos aunque pierdan el gas.

b) Amortiguadores monotubo

De aparición más tardía que los de doble tubo, su uso cada vez está más extendido, sobretodo en vehículos de altas prestaciones y en competición.

Constan de dos cámaras principales, una contiene el aceite y la otra gas a presión que están separadas por un pistón flotante. Solamente hay válvulas en el pistón. Se puede observar un amortiguador monotubo en la figura 4.6.

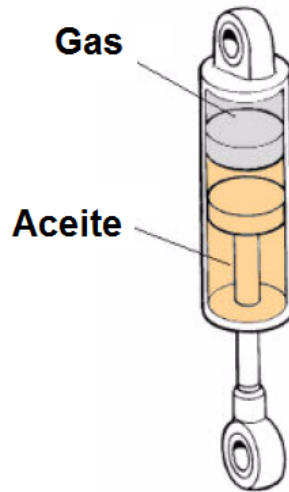


Figura 4.6. Esquema simplificado de un amortiguador monotubo

Los amortiguadores monotubo presentan algunas ventajas con respecto a los de doble tubo no presurizados:

- Buena refrigeración debido a que la cámara está en contacto directo con el aire. Esto se traduce en una mayor eficacia, pues hay que tener en cuenta que el amortiguador es un dispositivo que convierte la energía cinética en energía calorífica.
- Mayor diámetro de pistón a igual diámetro de carcasa, lo que permite reducir las presiones de operación.
- El nivel de aceite no baja al quedar el vehículo estacionado, lo que evita funcionamientos deficientes al volver a arrancar.
- Debido a la presurización, el aceite no forma espuma, evitando problemas de cavitación y resultando un buen amortiguamiento incluso con pequeñas vibraciones de alta frecuencia.
- Gracias al pistón separador, no queda restringida la posición de montaje, pudiéndose colocar incluso tumbados.

Como desventajas se podrían citar las siguientes:

- Mayores costes derivados de requerimientos superiores de precisión, tolerancias de fabricación y estanqueidad del gas.

- La valvulería es más compleja.
- Su mayor necesidad de espacio puede aumentar su longitud por encima de 100 mm en aplicaciones a automóviles.
- Otra desventaja es la fuerza de extensión que realizan en su posición nominal, debido a la presión interna del gas y a la diferencia de áreas efectivas a ambos lados del pistón. Esta fuerza puede provocar variaciones en la altura de suspensión que es necesario considerar en su diseño.