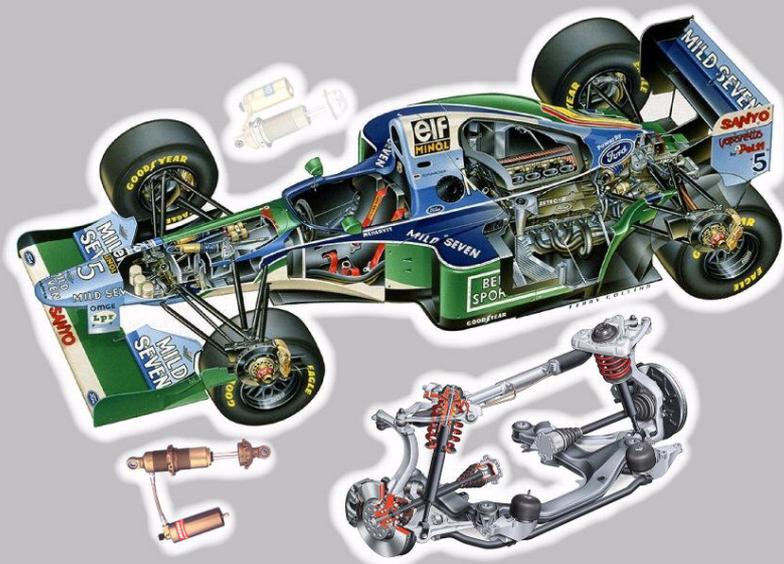


www.tecnun.es/automocion



AMORTIGUADORES Y SUSPENSIÓN

MANUALES DE AUTOMOCIÓN

Juan Alberdi Urbieta

tecnun

CAMPUS TECNOLÓGICO DE LA UNIVERSIDAD DE NAVARRA
NAFARROAKO UNIBERTSITATEKO CAMPUS TEKNOLOGIKOIA
Escuela Superior de Ingenieros • Ingeniaren Goi Mailako Eskola



PREFACIO

Siguiendo la misma idea que con el proyecto fin de carrera realizado por D. Mikel Ares Azpiroz, consistente en el diseño, construcción e implementación de un sistema de cambio semiautomático sobre un monoplaza Car Cross, se ha considerado adecuado desde el punto de vista divulgativo la creación de un nuevo manual, esta vez referido a la amortiguación de automóviles. D. Juan Alberdi Urbieto realizó como proyecto fin de carrera un simulador para modelizar amortiguadores, para después contrastarlo experimentalmente con los elementos que monta el Car Cross modelo Melmac Tenroj T600T que se encuentra en el Laboratorio de Automoción de Tecnun. Se presenta a continuación el capítulo de introducción a los amortiguadores presente en la memoria de dicho proyecto, así como unas breves especificaciones del Melmac. Espero sinceramente que el manual sea del agrado del lector.

Actualmente (enero 2003) el trabajo realizado por D. Juan Alberdi ha progresado dentro del Laboratorio. En estos momentos se están construyendo sensores de fuerza para el lado derecho del Melmac, asimismo se ha mejorado la interfaz y el comportamiento del modelo creado por el alumno y se está investigando en el campo de las suspensiones semiactivas, todo ello dentro del marco de colaboración con la empresa AP Amortiguadores.

Xabier Carrera Akutain
Ingeniero Industrial
Laboratorio de Automoción, Tecnun

ÍNDICE

1	. EL AMORTIGUADOR. INTRODUCCIÓN	4
2	. EL PASADO	6
3	. EL PRESENTE	8
3.1	AMORTIGUADORES DE DOBLE TUBO	11
3.2	AMORTIGUADORES MONOTUBO	15
3.3	OTROS.....	20
4	. EL FUTURO	23
4.1	SUSPENSIONES ADAPTATIVAS.....	24
4.2	SUSPENSIONES ACTIVAS Y SEMIACTIVAS.....	26
4.3	AMORTIGUADORES MAGNETORREOLÓGICOS	29
5	. LA SUSPENSIÓN DEL MELMAC	33
5.1	LOS AMORTIGUADORES	33
5.2	SUSPENSIÓN DELANTERA	35
5.3	SUSPENSIÓN TRASERA	36
5.4	DETALLES CONSTRUCTIVOS DE LOS AMORTIGUADORES.....	37
5.5	TRABAJO SOBRE EL MELMAC.....	38

1 **EL AMORTIGUADOR. INTRODUCCIÓN**

La suspensión de un vehículo tiene como cometido “absorber” las desigualdades del terreno sobre el que se desplaza, a la vez que mantiene las ruedas en contacto con el pavimento, proporcionando un adecuado nivel de confort y seguridad de marcha. Se puede decir que sus funciones básicas son las siguientes:

- Reducción de fuerzas causadas por irregularidades del terreno.
- Control de la dirección del vehículo.
- Mantenimiento de la adherencia de los neumáticos a la carretera.
- Mantenimiento de una correcta alineación de las ruedas.
- Soporte de la carga del vehículo.
- Mantenimiento de la altura óptima del vehículo.

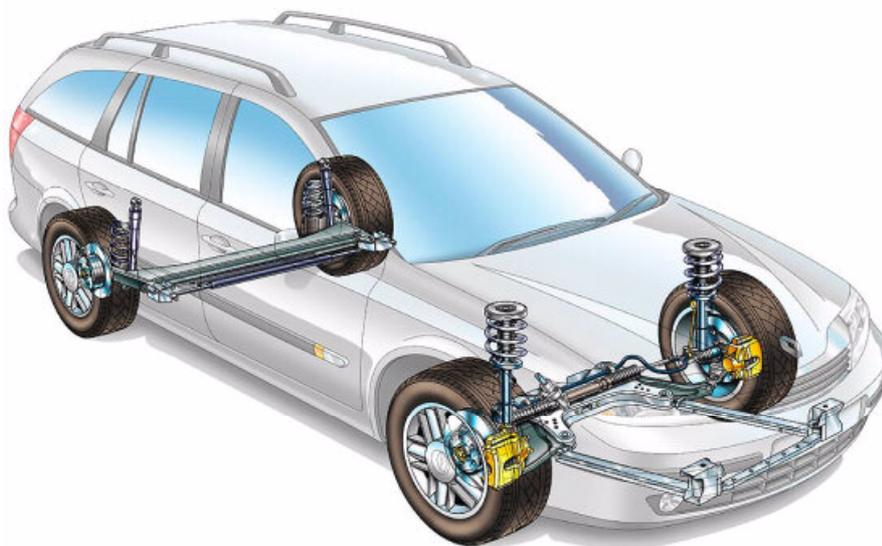


Figura 1. Disposición del conjunto de la suspensión del Renault Laguna

El comportamiento del vehículo vendrá determinado en gran medida por el tipo suspensión que lleve. Así por ejemplo, mediante su reglaje es posible variar la característica del coche (subvirador o sobrevirador).

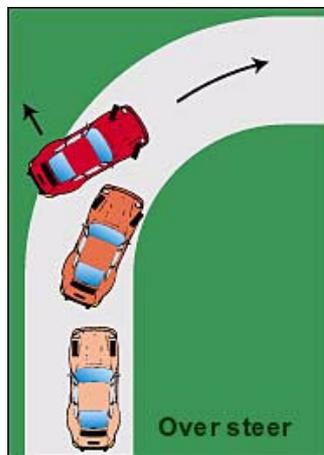


Figura 2. Vehículo sobrevirador

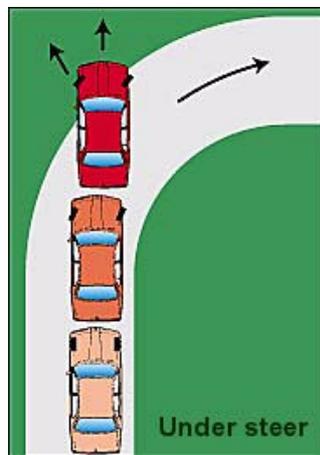


Figura 3. Vehículo subvirador

El peso del vehículo se descompone en dos partes denominadas:

- *Masa suspendida*: la integrada por todos los elementos cuyo peso es soportado por el bastidor o chasis (carrocería, motor...).
- *Masa no suspendida*: constituida por el resto de los componentes (sistemas de freno, llantas...).

El enlace entre ambas masas es materializado por la suspensión. El sistema está compuesto por un elemento elástico (que bien puede ser una ballesta, muelle helicoidal, barra de torsión, estabilizador, muelle de goma, gas, aire, etc...) y otro de **amortiguación** (amortiguador en cualquiera de sus variantes), cuya misión es neutralizar las oscilaciones de la masa suspendida originadas por el elemento elástico al adaptarse a las irregularidades del terreno transformando la energía que almacena el resorte en calor.

Queda claro pues que los amortiguadores representan uno de los componentes de mayor importancia en los vehículos. Es por ello que se pasa a detallar de forma concisa la evolución que estos han sufrido a lo largo de su historia, y asimismo describir los tipos más comunes.

2 EL PASADO

Los primitivos automóviles de finales del siglo XIX eran básicamente carruajes de caballos con motor. Las velocidades que alcanzaban eran muy reducidas y apenas necesitaban suspensión. Según fueron incrementándose las prestaciones se fue haciendo patente la exigencia de dotarlos de confort y manejabilidad. De hecho hasta 1898 las primeras suspensiones eran simples ballestas (aún con cualidades elásticas con cierto poder amortiguante) como las de los coches de caballos.



Figura 4. Ballesta primitiva

Nota: aún hoy en día se siguen empleando ballestas, pero como elemento elástico en conjunción con modernos amortiguadores telescópicos. Su uso se restringe a vehículos pesados como camiones, camionetas, todo terrenos e incluso algún deportivo de renombre como el Chevrolet Corvette.

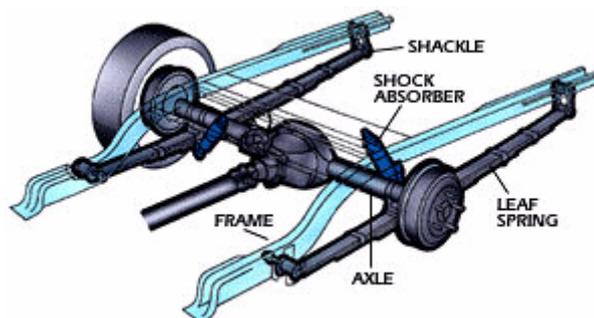


Figura 5. Ballestas como elemento elástico

Enseguida se vio la necesidad de amortiguar el movimiento oscilatorio que creaban las ballestas. Así, entre 1898 y 1899 y basándose en un invento para bicicletas los fabricantes comienzan a instalar unos primeros amortiguadores que consistían en dos simples brazos unidos mediante un tornillo con un disco de fricción entre ellos (Figura 6). La resistencia se ajustaba apretando o aflojando el tornillo. Como es de esperar, estos amortiguadores no eran muy duraderos, y su funcionamiento dejaba bastante que desear.

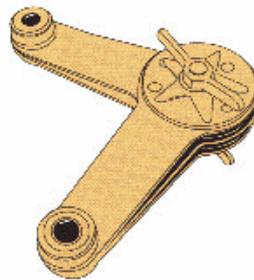


Figura 6. Amortiguador de fricción

Entre las pegas que presentan los amortiguadores de fricción frente a los actuales amortiguadores hidráulicos se encuentran las siguientes:

- En tanto no se supera la fuerza de fricción la suspensión permanece bloqueada, y el vehículo queda sin suspensión.
- Una vez superada dicha fuerza de fricción, la fuerza amortiguadora disminuye en vez de aumentar con la velocidad, como sería deseable.
- Su comportamiento se altera con el desgaste.
- Es necesario reponer las piezas desgastadas periódicamente.

El uso de amortiguadores de fricción en automoción es ya prácticamente inexistente.

3 **EL PRESENTE**

Actualmente y desde hace unos años atrás se ha impuesto en la industria el uso de los amortiguadores hidráulicos. En estos, la fuerza amortiguadora es función creciente con la velocidad.

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, que son los que se van a presentar con más detalle y a los que se hará mención de aquí en adelante.



Figura 7. Amortiguador hidráulico telescópico actual

Básicamente, 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 respectivamente.

El paso permanente vienen a ser orificios fijos (salvo cuando el amortiguador es un monotubo regulable, en cuyo caso la regulación suele consistir en la variación del tamaño del orificio) 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 ésta aumenta la apertura va siendo mayor.

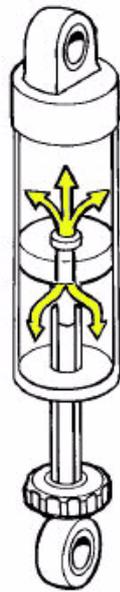


Figura 8. Flujo de aceite a través del paso permanente

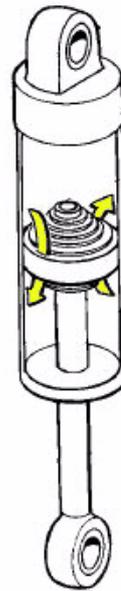


Figura 9. Flujo de aceite a través de las válvulas de apertura por presión

En la siguiente figura se puede ver 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 por área cuando el amortiguador es variable, como es nuestro caso. 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.

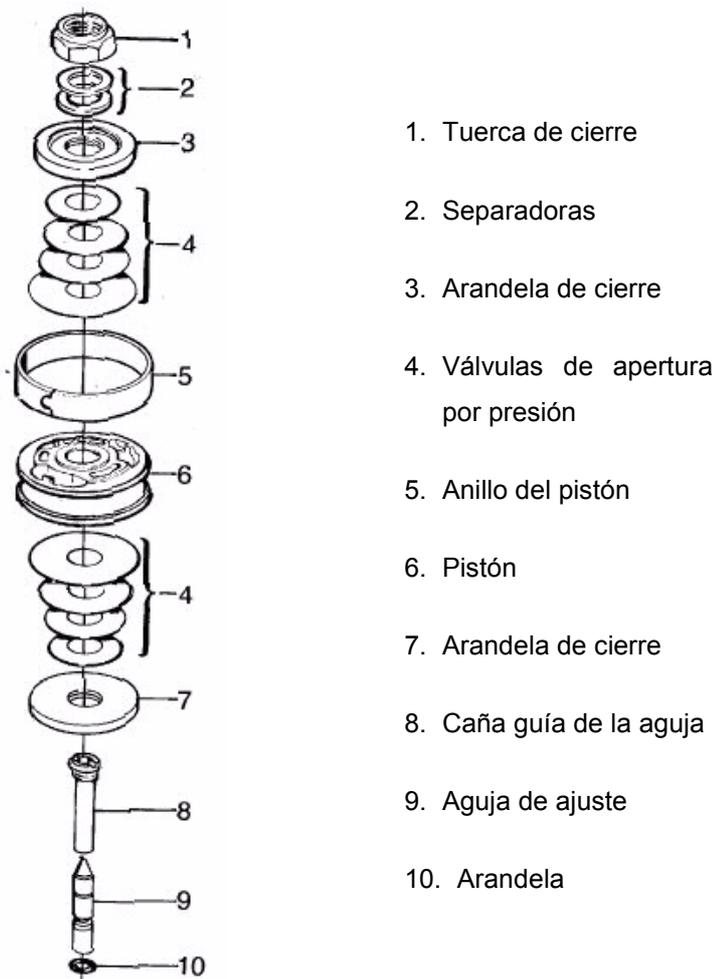


Figura 10. Explosión del pistón de un amortiguador monotubo

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 tarado de las válvulas de presión, éstas 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.

Lo normal es que las válvulas de extensión y compresión sean diferentes, lo que posibilita que el esfuerzo en compresión sea menor para una misma velocidad. En los vehículos de carretera, interesa utilizar una característica de amortiguamiento más blanda en compresión (Figura 11). 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.

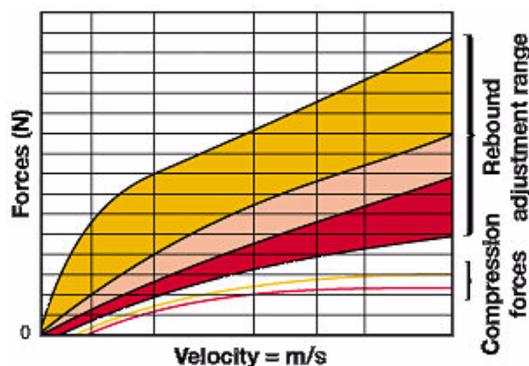


Figura 11. Diagrama fuerza velocidad de un amortiguador regulable

Existen en el mercado fundamentalmente dos tipos de amortiguadores hidráulicos telescópicos. Los de doble tubo o bitubo y los de un solo tubo o monotubo.

3.1 Amortiguadores de doble tubo

Son los más comunes en la actualidad. A su vez los hay de dos tipos. No presurizados (aceite) y presurizados (con 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.

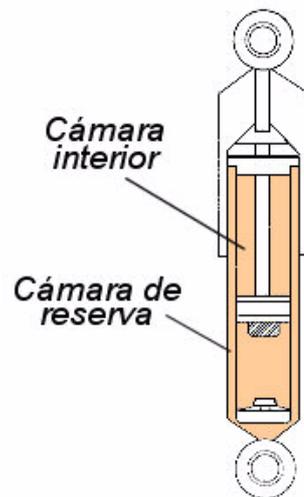


Figura 12. Esquema simplificado de un amortiguador bitubo

El funcionamiento de ambos tipos es similar. A continuación se detalla el mismo.

Componentes principales (Ver figuras 13 y 14):

- Tubo y cámara exterior o de reserva (6)
- Tubo y cámara interior o cilindro (5)
- Pistón (2) acoplado al vástago (1)
- Válvula de pie (7)
- Guía del vástago (3)
- Acoplamiento superior e inferior

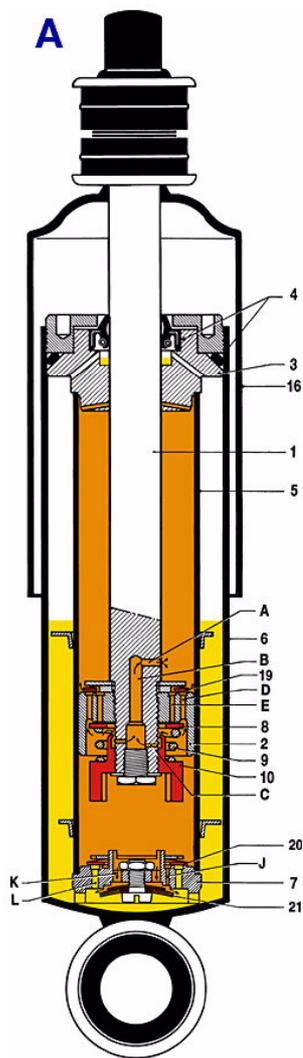


Figura 13. Esquema completo de un amortiguador bitubo no presurizado

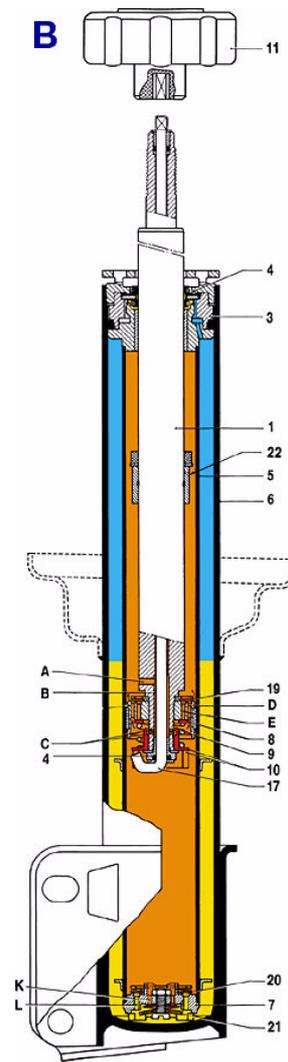


Figura 14. Esquema completo de un amortiguador bitubo presurizado

Funcionamiento:

- **Carrera de compresión:** Cuando el vástago penetra, el aceite contenido en la cámara interior fluye sin resistencia a través de los orificios A, B, C y D y la válvula de no-retorno (19) hacia el espacio generado al otro lado del pistón. Simultáneamente, una cierta cantidad de aceite se ve desplazada por el volumen que el vástago va ocupando en la cámara interior. Este aceite forzosamente pasa por la válvula de pie hacia la cámara de reserva (llena de aire a presión atmosférica o nitrógeno entre 4 y 8 bar). La fuerza de amortiguamiento viene dada por la resistencia que impone la válvula de pie al paso del aceite.
- **Carrera de extensión:** Al tirar del vástago hacia fuera el aceite que queda por encima del pistón se comprime y pasa a través de las válvulas que hay en él. La resistencia que el aceite encuentra en dichas válvulas es la fuerza de amortiguamiento de extensión. El aceite que había llegado a la cámara de reserva (6) vuelve sin hallar resistencia por la válvula de pie a la cámara interior para compensar el volumen liberado por el vástago.

No presurizados (Figura 13)

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”. Existen en el mercado algunas soluciones para evitar esto.

Presurizados (Figura 14)

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 la válvula de pie. 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.

3.2 Amortiguadores monotubo

De aparición más tardía que los bitubo, su uso está cada vez más extendido, sobre todo en vehículos de altas prestaciones y en competición. Constan de dos cámaras principales. Una contiene el aceite y la otra gas a presión (normalmente nitrógeno) que están separadas por un pistón flotante. Solamente hay válvulas en el pistón.

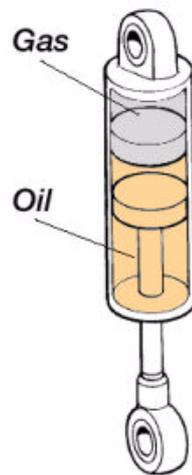


Figura 15. Esquema simplificado de un amortiguador monotubo

A la hora de describir su funcionamiento será mejor observar la Figura 16 en la que se pueden distinguir sus componentes principales:

- Tubo de presión (5)
- Pistón (2) acoplado al vástago (1)
- Pistón flotante, también llamado pistón separador (15)
- Guía del vástago (3)
- Acoplamientos superior e inferior

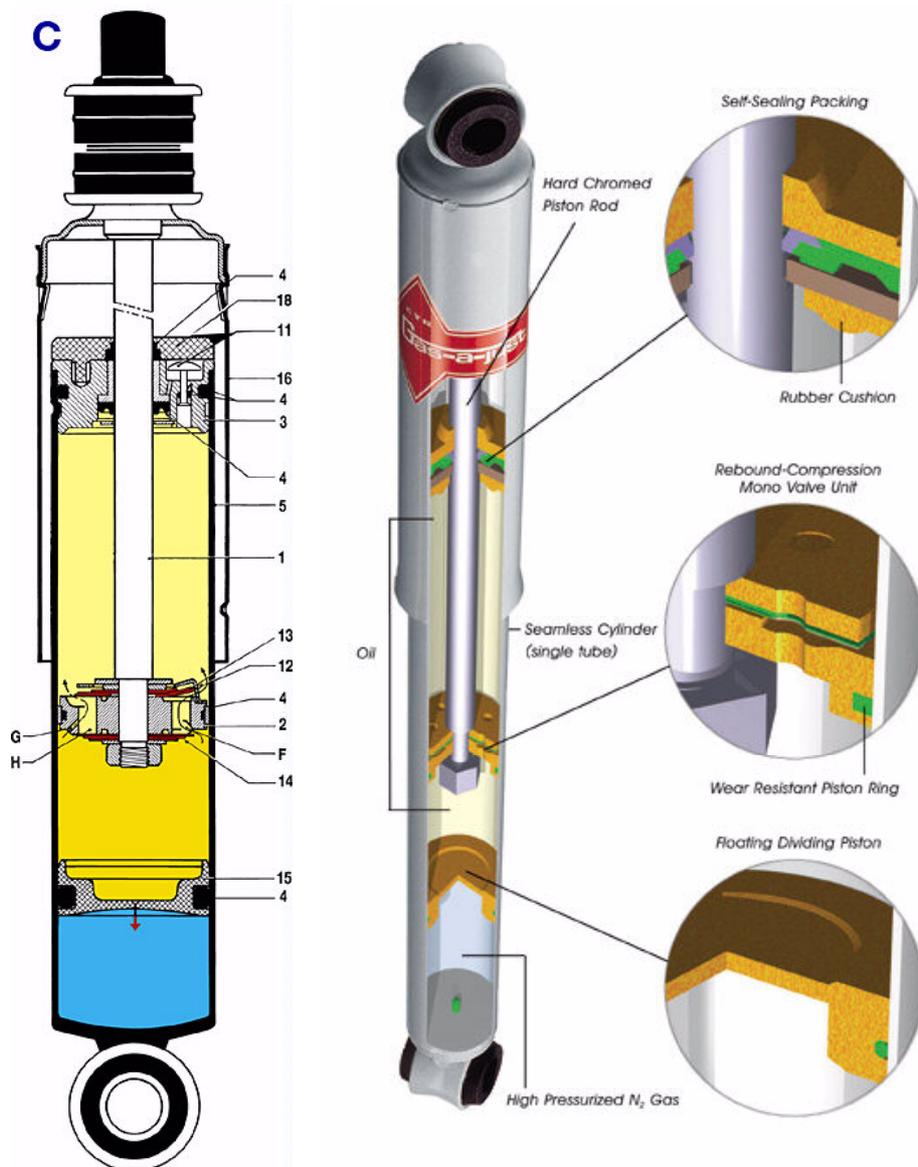


Figura 16. Esquema completo de un amortiguador monotubo

Funcionamiento:

- **Carrera de compresión (Figura 17):** A diferencia del bitubo el amortiguador monotubo no tiene cámara de reserva. El problema de ubicar el aceite que ocupa el espacio tomado por el vástago al penetrar se soluciona con una cámara de volumen variable. Mediante el pistón flotante se consigue dividir la cámara interior en dos zonas. Una la del aceite, y otra rellena de gas presurizado a una presión que oscila entre 20 y 30 bares. Al empujar el vástago hacia dentro, la presión que ejerce el aceite sobre dicho pistón flotante hace que la zona del gas se comprima, aumentando la presión a ambos lados (gas y aceite). Asimismo el aceite se ve obligado a pasar a través de las válvulas del pistón. La fuerza de amortiguamiento viene dada por la resistencia que oponen dichas válvulas al paso del aceite.

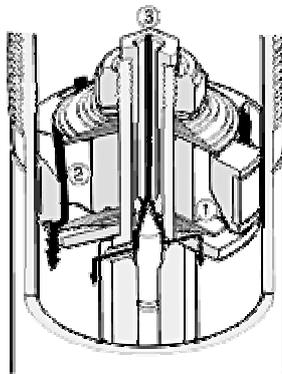


Figura 17. Flujo de aceite a través del pistón durante la carrera de compresión

- **Carrera de extensión (Figura 18):** Al tirar del vástago hacia fuera el aceite que queda por encima del pistón se comprime y pasa a través de las válvulas que hay en él. La resistencia que el aceite encuentra en dichas válvulas es la fuerza de amortiguamiento de extensión. Por la disminución de presión en la cámara, el pistón flotante vuelve hacia arriba recobrando su posición original para compensar el volumen liberado por el vástago.

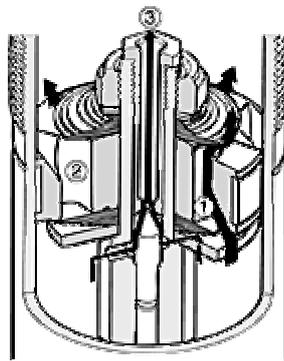


Figura 18. Flujo de aceite a través del pistón durante la carrera de extensión

Tanto en la Figura 17 como en la 18 se observa la división que se produce en el flujo del aceite según vaya por el paso permanente (3) o por las válvulas de apertura por presión (1) y (2).

Los amortiguadores monotubo presentan algunas ventajas con respecto a los bitubo 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 que siguen:

- Mayores costos 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.

3.3 Otros

Existen además otros tipos de sistemas de suspensión que no se basan en la clásica disposición muelle helicoidal-amortiguador telescópico, pero no se pretende ahondar en ellos debido a su particularidad y escasa presencia en el mercado.

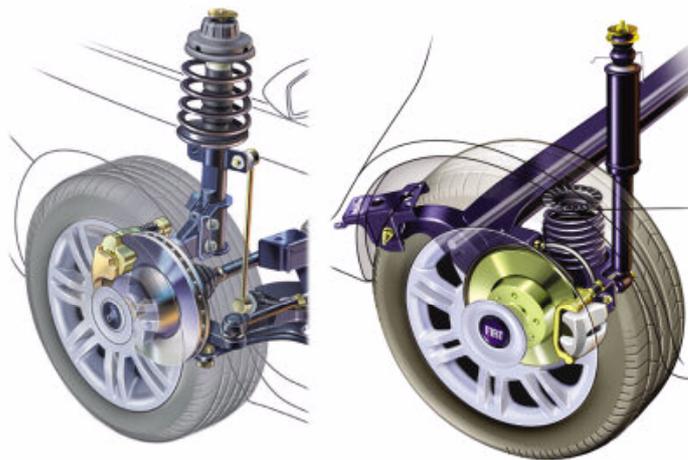


Figura 19. Suspensiones delantera y trasera convencionales del Fiat Stilo

De todos modos si que cabría hacer mención a las suspensiones neumáticas por tradicionales (Citroën las lleva utilizando desde los años 50) y porque cada vez más fabricantes las están redescubriendo, sobre todo en sus modelos de gama alta (Mercedes con la Clase E y Audi con su incipiente A8 entre otras).

La suspensión **hidroneumática** es un sistema que poco tiene que ver con los convencionales. Se basa en esferas que sustituyen al conjunto muelle-amortiguador. En su interior contienen aire y un fluido separados por una membrana. El líquido, empujado por una bomba de alta presión, forma parte de un circuito hidroneumático que une los cuatro extremos del coche. Cuando la rueda encuentra un obstáculo aumenta la presión del líquido y a través de la membrana comprime el aire, que luego se vuelve a expandir, haciendo las funciones de muelle y amortiguador. El sistema hidroneumático aporta algunas ventajas, como son el hecho de poder nivelar el vehículo así como la posibilidad de ajustar la rigidez de la suspensión.

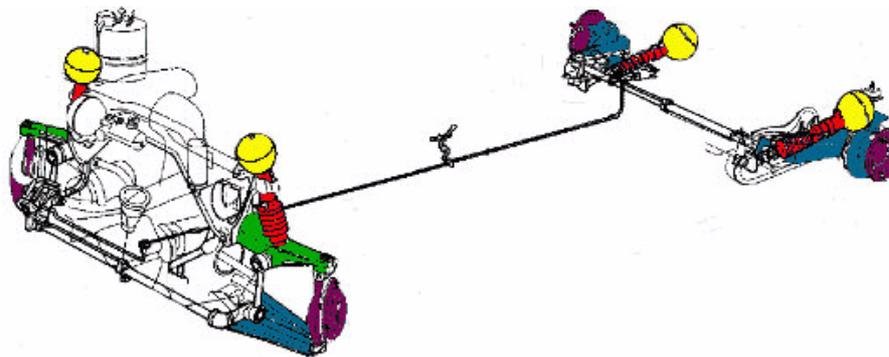


Figura 20. Elementos de la suspensión hidroneumática de Citroën

Este sistema, en su última evolución ha sido denominado por Citroën **Hidractiva 3**. Mantiene los muelles neumáticos y el sistema de conductos de aceite en el que están integrados los amortiguadores. Podría enmarcarse entre las suspensiones semiactivas, apartado que se trata a continuación, pero lo que aquí se ha pretendido destacar es el aspecto del funcionamiento neumático, más que el hecho de que sea un sistema semiactivo. Se compone de:

- Un BHI (Bloque Hidro-electrónico Integrado), verdadero corazón del sistema, que integra una potente caja electrónica, un generador autónomo de presión hidráulica (bomba y electroválvulas de distribución hidráulica) y un motor eléctrico.
- Cuatro elementos portadores con esferas de suspensión.
- Reguladores de rigidez delanteros y traseros con su esfera.
- Captadores de altura eléctricos unidos a las barras estabilizadoras.
- Un depósito de fluido.

La suspensión Hidractiva 3 conserva las ventajas inherentes a la hidráulica, como por ejemplo, una altura de referencia constante cualquiera que sea la carga del vehículo.

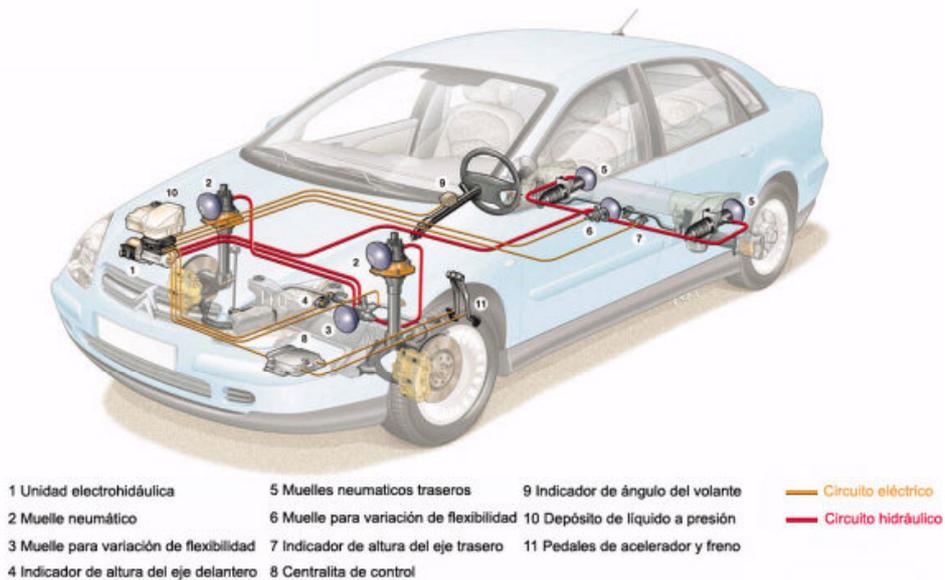


Figura 21. Elementos del sistema Hidractiva de Citroën montado en un C5

Por otro lado el Volkswagen Phaeton es la primera berlina que tiene suspensión **neumática** de serie en toda la gama. El sistema puede variar el volumen de los muelles neumáticos y con ello su flexibilidad. Consta de una bomba neumática, un acumulador de presión y sensores de altura. Un controlador electrónico determina la dureza del muelle y también la altura de la carrocería, pero no tienen ningún sistema antibalanceo. El conductor puede elegir entre dos alturas, una 25 mm superior a la normal y una 15 mm inferior (que se conecta automáticamente a partir de 160 km/h).



Figura 22. Elementos del sistema de suspensión neumática del VW Phaeton

Los amortiguadores también tienen dureza variable. No es el sistema continuo de otros modelos recientes, sino que tiene cuatro grados de dureza. El conductor puede seleccionar cualquiera de ellas manualmente.

4 **EL FUTURO**

Como en todos los ámbitos del automovilismo cada vez son más los dispositivos controlados electrónicamente. Los amortiguadores no suponen una excepción.

Lo que hasta ahora se ha visto (exceptuando las suspensiones neumáticas) han sido los componentes de las tradicionales “suspensiones pasivas”. A día de hoy aún es lo más común debido en gran parte a su menor costo, pero presentan inconvenientes. El principal es el de lograr el compromiso confort-estabilidad. Si se hace un vehículo muy cómodo para los ocupantes, se sacrifica su comportamiento dinámico y viceversa.

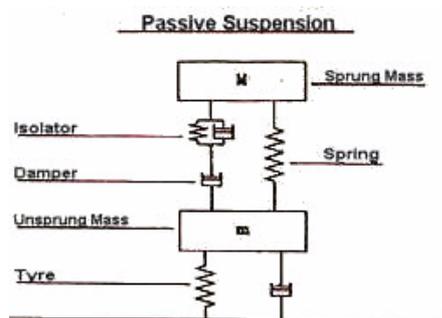


Figura 23. Esquema de una suspensión pasiva

Es por ello que actualmente están apareciendo infinidad de posibilidades de regulación. Así, la evolución de los sistemas de suspensión parece que va en la línea de los llamados sistemas “inteligentes”. En las siguientes líneas se describen algunos de ellos someramente.

4.1 Suspensiones adaptativas

Representan una evolución respecto de las suspensiones pasivas basadas en amortiguadores como los anteriormente expuestos. Se trata de modificar la rigidez del muelle o bien del amortiguador mediante actuadores de baja potencia, normalmente de manera discreta en función de diferentes parámetros previamente monitorizados por sensores.

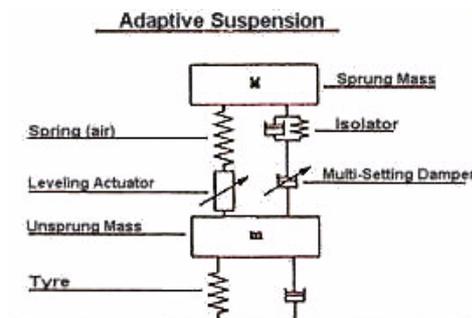


Figura 24. Esquema de una suspensión adaptativa

Un ejemplo comercial lo constituye la suspensión **CATS** (Computer Active Technology Suspension) instalada en los modelos más deportivos de Jaguar como el XKR y el S-Type R, que utiliza tecnología de regulación electrónica adaptable para cambiar de un ajuste más suave a un tarado más

firme dependiendo de la carretera y de las condiciones dinámicas de conducción. Puede variar la dureza del amortiguador en dos posiciones, de forma automática o manual. Lo curioso es que, en modo automático, la variación de dureza no es necesariamente simultánea en los cuatro amortiguadores. El sistema de control puede elegir qué amortiguadores endurece antes, para aumentar o disminuir el efecto de guiñada.

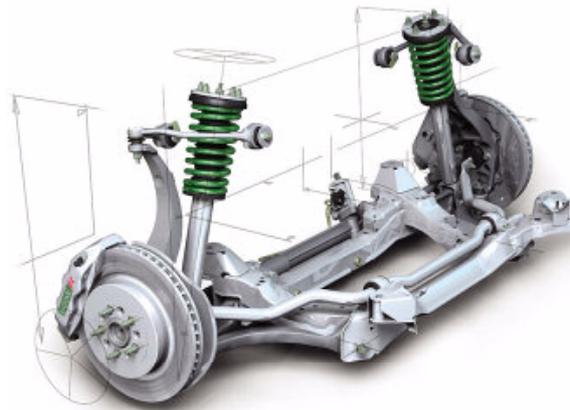


Figura 25. Tren delantero del S-Type equipado con el sistema CATS

Otro ejemplo lo representa el Volvo S60 R que monta un sistema de suspensión adaptativa desarrollado en colaboración con Öhlins Racing AB y Monroe denominado **Four-C** (Continuously Controlled Chassis Concept). Consiste en amortiguadores de dureza variable controlados por una centralita, que recibe información de distintos sensores y que está conectada con el sistema electrónico del coche. Cada milésima de segundo alterna (500 veces por segundo) la centralita controla la posición exacta de la carrocería con relación a las ruedas.

La mayor parte de la información que llega a la centralita proviene de los sensores que indican la altura de la carrocería, pero también recibe información de dos acelerómetros situados en la parte delantera, uno en la parte trasera y de uno que mide el desplazamiento del volante. Al estar integrada en el sistema electrónico del coche, la centralita puede contar con informaciones como el deslizamiento de las ruedas que transmiten los sensores de giro, e incluso puede anticipar acontecimientos. Por ejemplo, si el conductor pisa el pedal de freno, una señal eléctrica viaja más rápidamente que el aumento de presión en el sistema hidráulico, y su señal llega a la centralita antes que las pastillas lleguen a morder el disco. En tal caso, el sistema endurece la amortiguación antes incluso de que comience la deceleración.

Con toda esta información, la centralita adecua la dureza de cada amortiguador para proporcionar el mejor contacto posible entre rueda y carretera, sin que la suspensión sea incómoda. Actúa según tres programas: “confort”, “deportivo” y “deportivo avanzado”.

Four-C System (Continuously Controlled Chassis Concept)

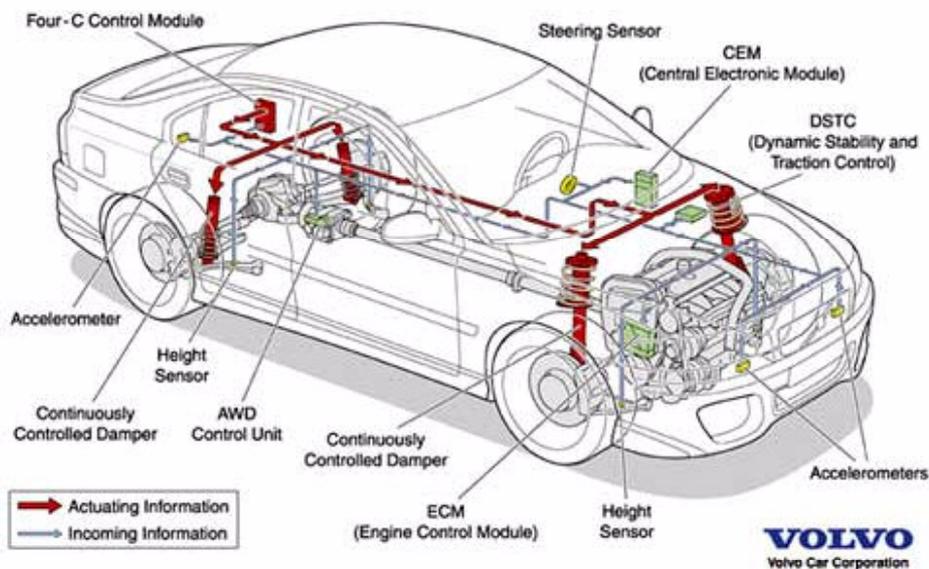


Figura 26. Esquema del sistema Four-C del Volvo S60 R

4.2 Suspensiones activas y semiactivas

Aunque sus inicios se remontan a los primeros años 80, cuando la escudería Lotus de Fórmula 1 comenzó a experimentar con suspensiones activas en el T92, no fue hasta la década de los 90 cuando realmente se convirtieron en algo práctico y viable. El motivo, sus altos costos y el consumo energético que conllevan.



Figura 27. "Magic" Senna ganó 2 GP's con el Lotus T99 de suspensión activa en 1987

Las suspensiones activas y semiactivas consisten en un sistema de lazo cerrado con retroalimentación. En las **activas** no hay muelle ni amortiguador. Un actuador hidráulico genera fuerzas para compensar el balanceo y cabeceo del vehículo, mientras que un computador electrónico se encarga de monitorizar constantemente (gracias a los diversos sensores), el perfil de la carretera y envía señales eléctricas a las suspensiones delantera y trasera. Aquí será donde los componentes hidráulicos, consistentes en bombas, actuadores y servoválvulas, actuarán manteniendo un nivel máximo de estabilidad.

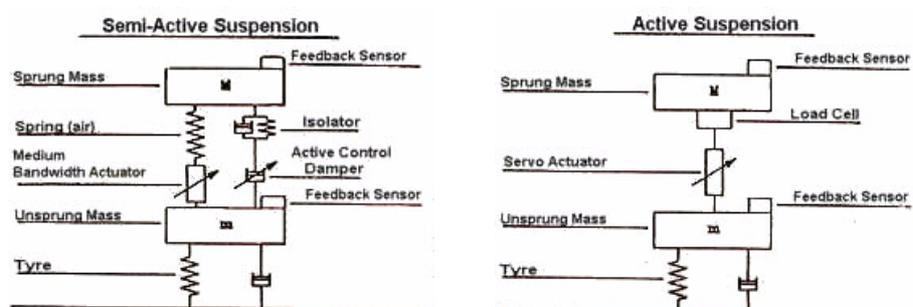


Figura 28. Esquema de las suspensiones semiactivas y activas

El tiempo de respuesta nos indica el ancho de banda. Si éste abarca un rango de frecuencias de hasta 3 ó 5 Hz el sistema de suspensión se denomina

de baja frecuencia (Low Bandwidth Systems), mientras que si el rango abarca frecuencias más elevadas, hasta 10 ó 12 Hz, se denomina de alta frecuencia (High Bandwidth Systems).

El sistema de suspensión pasiva funciona tanto para un rango alto de frecuencias como para uno bajo. La suspensión activa puede controlar ambos rangos. Pero debido al coste que suponen y a la potencia que éstos necesitan para funcionar (y que “roban” al motor, por tanto), el uso de los sistemas para altas frecuencias (suspensión activa) se reduce a la competición (como Fórmula 1, hasta que fue prohibida en 1994), aunque Lotus está desarrollando un sistema comercial que se dice verá la luz hacia 2005.

Lo que se utiliza fuera de los circuitos son las suspensiones **semiactivas**, que controlan las bajas frecuencias con elementos activos y las altas con pasivos. La diferencia estriba en que éstas sí que emplean muelles convencionales.

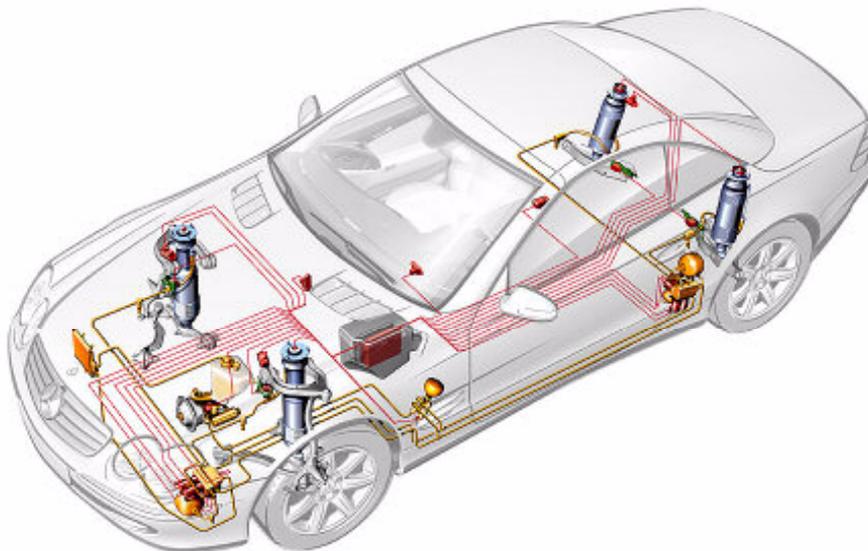


Figura 29. Elementos del sistema ABC de Mercedes montado en un SL

A día de hoy, comercialmente existen varios sistemas de ancho de banda a baja frecuencia (suspensiones semiactivas) que se desarrollan en vehículos de serie. Un caso es el **Hidreactiva 3** de Citroën del que ya se ha hablado antes.

Otro ejemplo es el **ABC** (Active Body Control) de Mercedes Benz (Figura 29). En él los muelles helicoidales se apoyan en 4 cilindros hidráulicos

extensibles abastecidos por una bomba de alta presión (200 bares). Estos cilindros pueden hacer una fuerza para compensar la extensión o compresión del muelle. De esta manera puede anular o limitar el balanceo y el cabeceo.

Se compone además de 11 sensores que miden 100 veces por segundo el movimiento de la carrocería. Dos, situados en los laterales del vehículo miden su altura y los otros 9, distribuidos en distintos lugares, miden las aceleraciones triaxialmente (lateral, longitudinal y vertical). El circuito hidráulico incluye también 2 acumuladores de presión y un refrigerador de aceite.

Los cilindros hidráulicos forman un mismo cuerpo con amortiguadores pasivos corrientes (para las altas frecuencias) que no tienen dureza variable y no necesita barras estabilizadoras.

4.3 Amortiguadores magnetorreológicos

Representan un caso particular de suspensión semiactiva y un avance relativamente reciente. Los primeros prototipos datan de principios de los 90, aunque General Motors presentó este sistema en el Salón de Francfort de 1999, y ahora emplea la segunda generación en modelos como el Cadillac Seville y paradójicamente el Chevrolet Corvette.

Se trata de amortiguadores monotubo semiactivos que en vez de aceite corriente llevan un fluido magnético-reológico, prescindiendo de válvulas electromecánicas. Este fluido está compuesto de un 40% aproximadamente de partículas metálicas flotando en él. Al magnetizarse, según si lo hace mucho o poco, modifica su viscosidad, consiguiéndose variar la dureza del amortiguador. La principal ventaja de este sistema frente a los tradicionales es la rapidez de variación del tipo de amortiguación, y las infinitas posibilidades de regulación que permite.



Figura 30. El Cadillac Seville STS esta equipado con el sistema MagneRide de Delphi

El sistema **MagneRide** de Delphi Automotive es la primera aplicación industrial de un fluido cuya viscosidad varía ante la presencia de un campo magnético. El fluido que utiliza el sistema MagneRide es una suspensión no coloidal, con partículas de hierro con un tamaño de algunas micras en un hidrocarburo sintético. Sin la presencia de un campo magnético, las partículas de hierro están dispersas al azar en el seno del fluido. A medida que aumenta el campo magnético, el fluido se vuelve fibroso y su estructura llega a ser casi plástica.

Las reacciones del fluido al pasar por los orificios del amortiguador cambian con la diferencia de viscosidad. Cuando no está magnetizado, hay una gran diferencia de velocidad entre las partículas que están próximas a las paredes del orificio, y las que fluyen rodeadas de otras partículas de fluido (Figura 31). Gracias a esa diferencia de velocidad, el caudal puede ser grande y, por tanto, el amortiguador es suave. Cuando el fluido está magnetizado, la velocidad de todas las partículas es muy semejante. El flujo es más lento y, por tanto, la dureza del amortiguador aumenta.

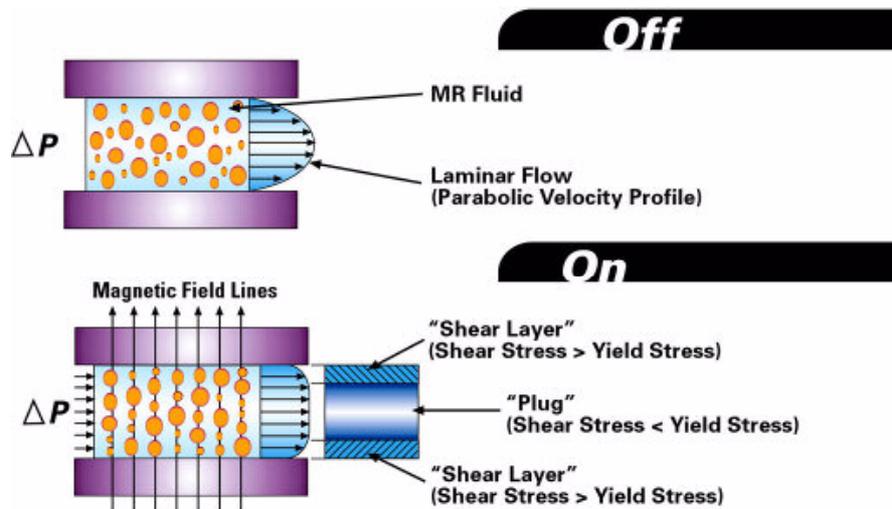


Figura 31. Magnetización del fluido del MagneRide

La intensidad del campo magnético la ajusta una centralita, que recibe señales de cinco sensores (Figura 32). Tres de ellos están ya en el control de estabilidad (ángulo de dirección, guiñada y aceleración transversal), otro es la velocidad del coche y otro la posición relativa de las ruedas. Delphi ha previsto que esta misma centralita pueda controlar un sistema de altura constante.

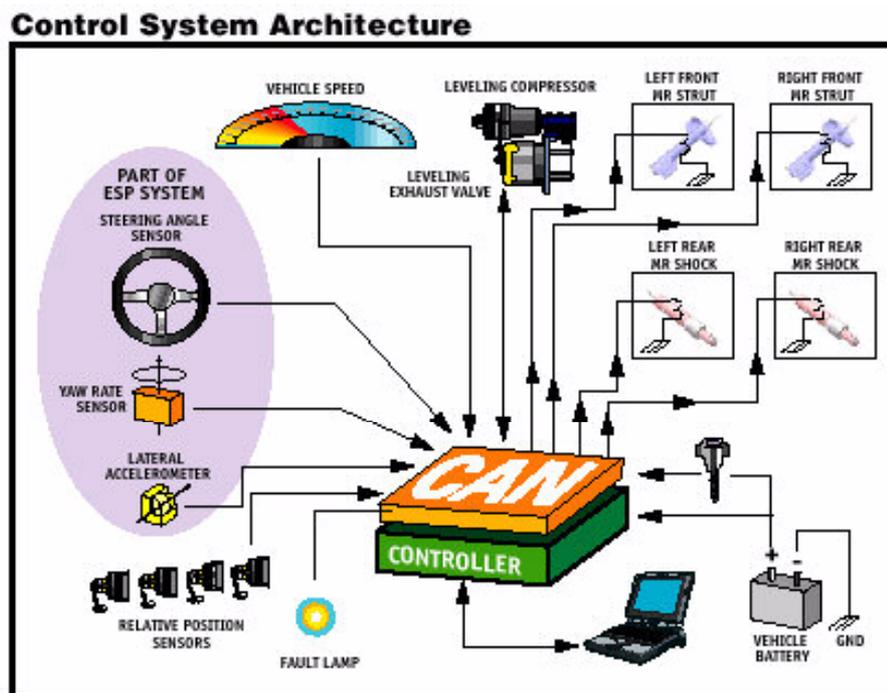


Figura 32. Esquema del sistema completo MagneRide

Esta amortiguación variable sigue el mismo principio de funcionamiento que una de electroválvulas: suave cuando es posible y dura cuando es necesario. El amortiguador se endurece cuando es preciso limitar más los rebotes del muelle para aumentar el contacto con el suelo, bien por razones de estabilidad o bien por frenada.

También actúa para frenar movimientos como el balanceo o el cabeceo, aunque la amplitud de esos movimientos depende de los muelles y las estabilizadoras, no de los amortiguadores.

5 LA SUSPENSIÓN DEL MELMAC

5.1 Los amortiguadores

El sistema de suspensión del Car Cross lleva amortiguadores hidráulicos telescópicos del tipo **monotubo** con gas a presión, y muelles helicoidales montados coaxialmente a los mismos. El fabricante que firma los amortiguadores es **Ollé**.

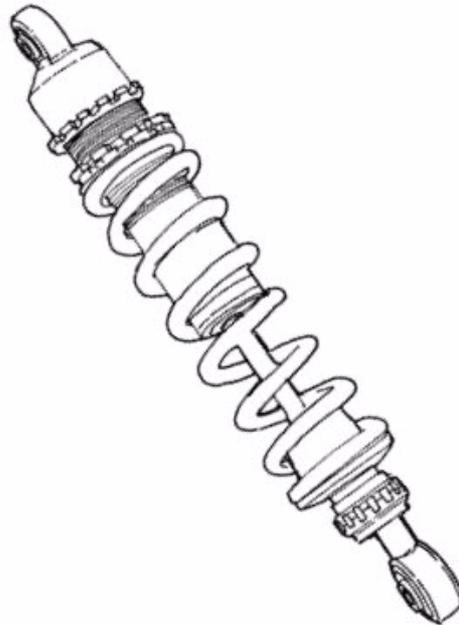


Figura 33. Conjunto muelle helicoidal-amortiguador monotubo

Estos van provistos de un dispositivo de **regulación manual**, que posibilita la elección de diferentes durezas de amortiguación mediante la variación del paso de aceite en su interior. La regulación es discreta y se dispone de una treintena de posiciones diferentes seleccionables por medio de una ruedecilla situada en el propio amortiguador. Según se avance en los “click” de la ruedecilla el amortiguador se vuelve más o menos rígido.

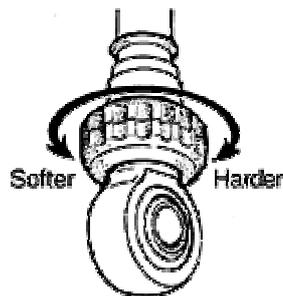


Figura 34. Detalle de la ruedecilla de ajuste de dureza del amortiguador

Asimismo, tienen mecanizada una rosca en su carcasa exterior, que hace de guía de una arandela que permite variar la precarga del muelle. Cuanto más se apriete la arandela, más comprimido quedará el muelle.

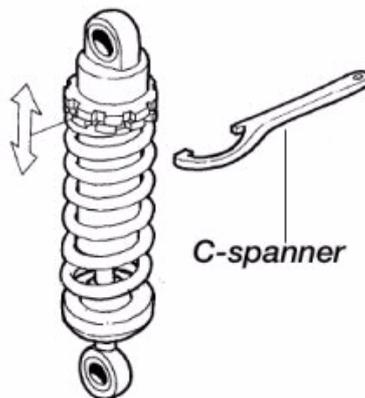


Figura 35. Dibujo de la arandela de ajuste de la precarga del muelle

Los amortiguadores llevan incorporados sensores de desplazamiento tanto delante como detrás. Además, el Melmac equipa también sensores de fuerza en un lado, que miden la fuerza ejercida por el conjunto muelle-amortiguador. Con esto y gracias al sistema de adquisición de datos, es posible monitorizar y archivar los movimientos y fuerzas generados en la suspensión del monoplaza para su posterior análisis y estudio.

5.2 Suspensión delantera

La suspensión delantera es independiente de doble triángulo, con el conjunto formado por muelle y amortiguador anclado al triángulo inferior en su parte exterior y al chasis por encima del triángulo superior en su parte interior. Los triángulos giran respecto a un eje en el chasis, mientras que el conjunto muelle-amortiguador, al actuar ligeramente inclinado en otro plano, va anclado al triángulo inferior y al chasis mediante silentblocks que permiten esa cierta desalineación.

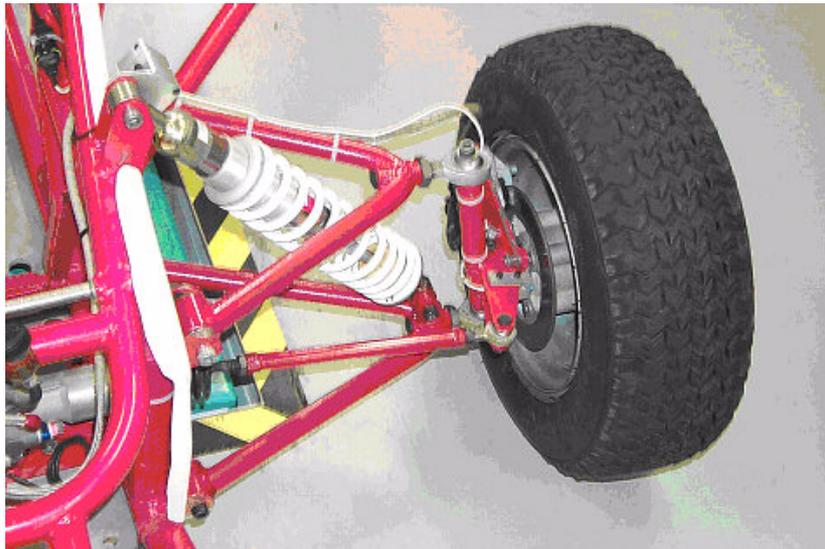


Figura 36. Suspensión delantera

La posición del triángulo superior es regulable longitudinalmente y las rótulas que articulan los triángulos con la mangueta pueden cambiar su posición colocándolas más o menos introducidas mediante una tuerca. De esta manera se puede variar la suspensión para hacer la dirección más o menos estable retrasando o avanzando el triángulo superior respecto al inferior. Esta regulación permite modificar el ángulo de avance, un parámetro que controla la estabilidad de la dirección, su tendencia a volver a la posición recta.

Variando la cantidad de rosca que queda introducida en las rótulas se puede modificar, además de la anchura entre ruedas, la caída de las mismas, pudiendo adaptar la suspensión a recorridos de tierra o asfalto con más o menos curvas. Las caídas negativas mayores se utilizarán en tierra y con

curvas, mientras que las caídas prácticamente nulas se usarán cuando se circule por asfalto, como regla habitual, aunque hay que decir que los Fórmula 1 actuales tienen una gran caída negativa en las ruedas delanteras.

5.3 Suspensión trasera

La suspensión trasera también es independiente del tipo doble triángulo, aunque en este caso consta de un trapecio superior y un triángulo y un brazo inferiores, todos ellos unidos a la mangueta mediante rótulas. Las uniones del chasis a trapecio, triángulo y brazo se realizan mediante pares de revolución cuya posición no es regulable. El conjunto muelle-amortiguador va unido mediante silentblocks a la mangueta por encima del trapecio superior, ya que tiene que quedar espacio para el palier.

Como en la suspensión delantera, las uniones realizadas mediante rótulas se pueden regular, así que se puede variar la caída para adaptar el vehículo al terreno por donde vaya a circular y también es posible modificar la convergencia de las ruedas sacando más o menos las rótulas traseras respecto a las delanteras. Además, se puede ajustar ligeramente la anchura de vías, sacando o introduciendo todas las rótulas dentro del margen de rosca que hay disponible.

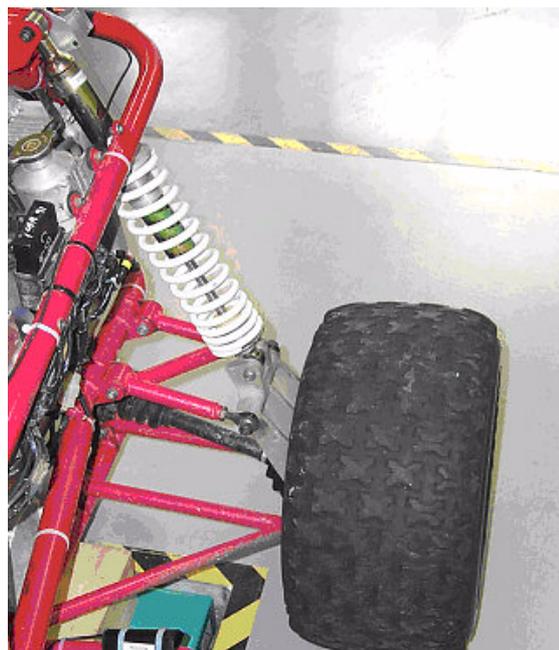


Figura 37. Suspensión trasera

5.4 Detalles constructivos de los amortiguadores

Tal y como están diseñados y construidos los brazos de la suspensión del monoplaza, el recorrido del amortiguador coincide con sus carreras máximas; es decir, que los amortiguadores hacen tope tanto a compresión como a extensión. Esto ocurre además igualmente tanto delante como detrás. O sea que la geometría de la suspensión no supone una restricción, sino que los límites los ponen los amortiguadores. De todas formas, se llega a dichos topes muy poco antes de llegarse a los topes impuestos por rótulas y demás limitaciones propias del montaje.

	DELANTERO	TRASERO
Máxima compresión	355 mm	430 mm
Máxima extensión	455 mm	570 mm

Tabla 1. Carreras de los amortiguadores

Los diámetros de carcasa y vástago de los amortiguadores son iguales en ambos casos (delante y detrás). Se reflejan en la siguiente figura.



Figura 38. Diámetros de carcasa y vástago de los amortiguadores del Melmac

En la Figura 39 se representa un croquis de los extremos de los amortiguadores para ver las dimensiones (en milímetros) de los amarres. En este caso también son iguales tanto delante como detrás.

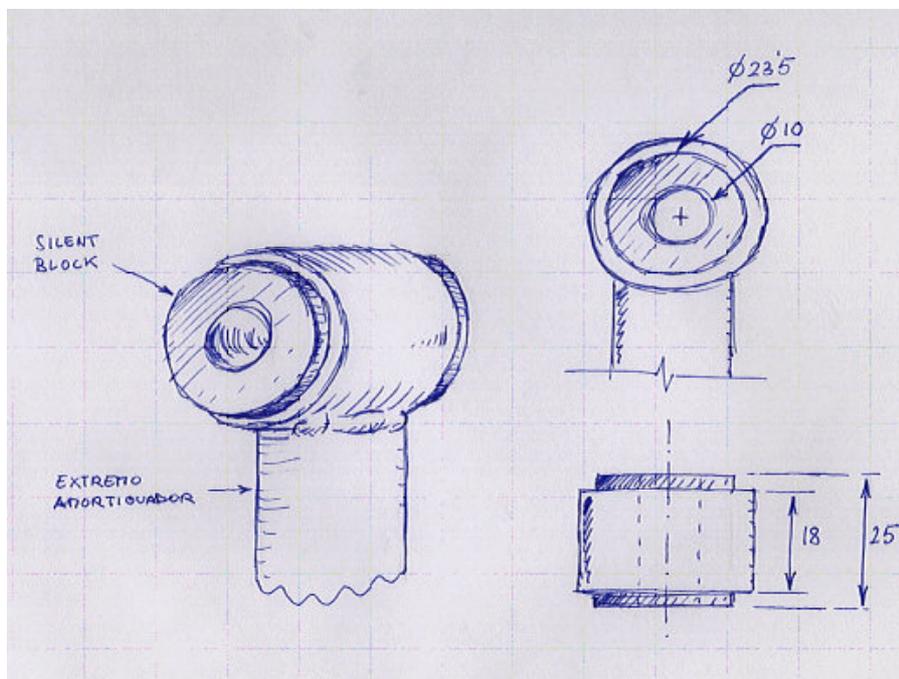


Figura 39. Croquis de los amarres de los amortiguadores del Melmac

5.5 Trabajo sobre el Melmac

El proyecto realizado por el autor servirá para modelizar unos amortiguadores controlables electrónicamente, suministrados por AP Amortiguadores, elementos indispensables para la creación del sistema de suspensión activa planeado. Más información disponible en <http://www.tecnun.es/automocion/>

MANUALES DE AUTOMOCIÓN

tecnun

CAMPUS TECNOLÓGICO DE LA UNIVERSIDAD DE NAVARRA
NAFARROAKO UNIBERTSITATEKO CAMPUS TEKNOLOGIKOA
Escuela Superior de Ingenieros • Ingeniaren Goi Mailako Eskola

www.tecnun.es/automocion

